

28 a 31 de maio de 2017 | Brasília/DF
www.sobrac2017.com.br

PROPOSTA DE SISTEMA PARA MEDIÇÃO DO LIMIAR DE RECONHECIMENTO DA FALA COM FONTES SONORAS E RUÍDO DISTRIBUÍDAS ESPACIALMENTE

AGUIRRE, Sergio L.¹; PAUL, Stephan¹; CORDIOLI, Julio A.¹;
MASIEIRO, Bruno S.²

(1) Laboratório de Vibrações e Acústica, UFSC, Florianópolis, SC

(2) Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP

RESUMO

Próteses auditivas como aparelhos de amplificação sonora individual (AASI) e implantes cocleares (IC) são importantes coadjuvantes na sociabilização de um indivíduo com perda auditiva, por exemplo restaurando a capacidade de compreender a fala. Os testes de inteligibilidade da fala utilizados atualmente para avaliar candidatos a uma prótese auditiva não consideram a distribuição espacial de fontes sonoras e de ruído, podendo levar a indicações incorretas ou excluindo indicações que seriam necessárias. Assim, testes que consideram a distribuição espacial das fontes sonoras e ruído seriam desejáveis e precisam ser desenvolvidos e implementados tendo em vista ainda as condições técnicas existentes nos centros de avaliação. Para um ambiente de pesquisa, o presente trabalho apresenta uma proposta de um sistema de avaliação da inteligibilidade da fala no plano horizontal utilizando Sistema Vetorial de Panorama por Amplitude (SVPA), Originalmente em inglês *Vector Base Amplitude Panning* (VBAP) com 8 alto-falantes distribuídos em forma octogonal. Considerando as limitações técnicas existentes nos centros de avaliação, que dispõem de cabines audiométricas com espaço para apenas dois alto-falantes, a técnica de reprodução biauricular por alto-falantes com cancelamento de diafonia (Cross-Talk-Cancellation - CTC) apresenta-se como a mais indicada para a criação de fontes sonoras virtuais, e deve ser implementada nestes ambientes. O Erro de Localização Perceptual (ELP) será avaliado delimitando a resolução da percepção espacial em cada técnica para o número proposto de alto-falantes.

Palavras-chave: Áudio espacial, VBAP, Biauricular, Mascaramento espacial

ABSTRACT

Hearing prostheses such as hearing aids and cochlear implants are of utmost importance for deaf people, providing the ability to understand speech. Actually speech-in-noise recognition tests used to identify candidates for hearing aids and cochlear implants do not take into account that speech and noise are usually spatially distributed. This may result in unnecessary indications but also might exclude patients that should receive a hearing aid or cochlear implant. It is therefore desirable to have test procedures and set-ups that take spatial distributions of noise and speech signal into account and can be implemented in existing facilities. In the present work a proposal based on Vector Base Amplitude Panning (VBAP) with 8 loudspeakers in the horizontal plane was developed to be used in a research environment and a

dipole set-up with cross-talk-cancellation - CTC is being proposed to be used in facilities that have only a two-way system. The Perceptual Location Error (PLE) will be evaluated by delimiting the resolution of spatial perception in each technique for the proposed number of loudspeakers.

Keywords: Spatial audio, VBAP, Binaural, Spatial Masking

1. INTRODUÇÃO

Perdas auditivas podem ser um fator limitante na sociabilização de um indivíduo, Existem entretanto próteses auditivas 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 pela portaria ministerial 2.776 de 2014 (BRASIL, 2014) elevou-se o número de pacientes que, por meio de avaliação utilizando tais critérios, têm direito ao implante coclear. Contudo, testes de inteligibilidade da fala utilizados atualmente não consideram a distribuição espacial de fontes sonoras e ruído, podendo levar a indicações incorretas ou excluindo indicações que seriam realmente necessárias.

Diante disso, há a necessidade de testes que apresentem condições mais realísticas da percepção auditiva no contexto de avaliação de pessoas com perdas auditivas. Testes que apresentados com apenas um canal (alto-falante) apresentam uma deficiência na representação sonora dos fatos cotidianos. Sistemas com distribuição espacial de fontes sonoras em um ambiente controlado são apresentados como alternativa para a determinação de limiares de reconhecimento da fala, um parâmetro importante na decisão clínica e fonoaudiológica para indicação a implante coclear (IC) ou aparelho de amplificação sonora individual (AASI).

2. AUDIÇÃO BIAURICULAR

O sistema auditivo humano é biauricular, com receptores em lados opostos da cabeça, no qual o processamento da integração dos impulsos nervosos gerados pelas duas orelhas é realizado no sistema central da audição. A capacidade biauricular dos seres humanos é importante na localização de fontes sonoras no espaço, bem como na supressão da reverberação subjetiva percebida em ambientes fechados e supressão de fontes sonoras indesejadas (BENESTY et al., 2008). O sistema auditivo é considerado como o conjunto formado por cabeça, os ombros, tronco, pavilhão auditivo e canal auditivo, que modificam o som (filtros) até a chegada à membrana timpânica. A capacidade de localização de fontes sonoras no espaço pelo ser humano está baseada em pistas auditivas de diferença no tempo de chegada da onda sonora entre as orelhas, em inglês *Interaural Time Difference* (ITD) e de nível de pressão sonora com espectros de magnitude em frequência diferentes entre as orelhas, em inglês intitulado *Interaural Level Difference* (ILD).

Redução do mascaramento devido à espacialidade

A impressão espacial do som percebida por humanos depende principalmente da pressão sonora na orelha do ouvinte e da psicoacústica de audição espacial (BENESTY et al., 2008). Uma das maiores dificuldades para deficientes auditivos é compreender a fala em ambientes ruidosos. Quando o ruído mascarador é separado espacialmente da fonte sonora existe um aumento da inteligibilidade da fala no ruído, pois os sinais da fala e de ruído chegam às membranas timpânicas em tempos diferentes e com espectros de magnitude em frequência diferentes.

A diferença de tempo de chegada para cada orelha e para cada sinal¹ produz um melhoramento efetivo da Relação sinal-ruído (SNR) (BEST et al., 2012). Por isso, sinais acústicos em situações com ruído mascarador são detectados mais facilmente utilizando a informação direcional (EBATA et al., 1968). Ainda a detecção de sinais é melhor em campo livre separando espacialmente o sinal e o ruído mascarador; sendo este o fenômeno conhecido como Redução do Mascaramento Devido a Espacialidade, cujo termo original em inglês é *Spatial release from Masking* (SRM) (SUZUKI et al., 2009; IHLEFELD; SHINN-CUNNINGHAM, 2008).

A grande maioria dos estímulos sonoros ao qual o paciente é submetido no dia a dia tem origem um conjunto de fontes espacialmente separadas, e a avaliação audiológica necessita dessa abordagem para um diagnóstico correto. Assim a importância do SRM na comunicação fica evidente, e para uma avaliação adequada da audição residual, o fenômeno SRM precisa ser considerado. A audição biauricular produz uma melhora efetiva no Limiar de Reconhecimento da Fala (LRF) de até 12 dB em relação à audição monaural (BENESTY et al., 2008). Em humanos com deficiência auditiva o benefício do SRM é menor, contudo Bronkhorst (2000) discute que o ILD é bastante afetado (devido às perdas auditivas serem em maioria nas altas frequências) enquanto o ITD apresenta-se da mesma maneira que em uma pessoa de audição normal, sendo isso um fator determinante para a menor sensibilidade do SRM em pessoas com deficiência auditiva ao acréscimo de fontes de ruído competitivo.

3. LIMIAR DE RECONHECIMENTO DA FALA

A avaliação fonoaudiológica compreende algumas etapas como anamnese, avaliação do aproveitamento auditivo e de percepção/inteligibilidade residual da fala², avaliação da comunicação (fala e voz), avaliação e orientação de expectativas e motivação para ouvir (GOMEZ et al., 2004). A avaliação da audição residual pode ser realizada de forma objetiva através de avaliação eletrofisiológica da via auditiva ou com avaliações subjetivas através de resposta comportamental do indivíduo sujeito a estímulos auditivos que podem ser tons puros, ruídos filtrados, sons ambientais, sons verbais (fonemas, palavras ou sentenças) *clicks* ou *tone bursts* (GAMA, 2004).

Dentro das etapas da avaliação audiológica, a avaliação do aproveitamento auditivo e de reconhecimento/inteligibilidade da fala consiste em testes com apresentação de palavras, sílabas ou fonemas ao paciente em ambiente acusticamente tratado buscando mensurar o Limiar de Reconhecimento da Fala (LRF) de forma a complementar a audiometria tonal³.

Nos testes, o reconhecimento é quantificado por meio do LRF, que é uma medida de inteligibilidade da fala que considera uma relação entre limiares de tom puro em determinadas frequências e o nível de pressão sonora mínimo de apresentação do sinal na qual o indivíduo repete o estímulo corretamente em 50% das apresentações, sendo geralmente utilizado a média dos limiares tonais de 500 Hz, 1 kHz e 2 kHz (GAMA, 2004; CAPORALI; SILVA, 2004).

¹Atrasos causados pela velocidade de propagação do som no ar ser finita.

²A audiometria da fala é constituída de testes de índice de reconhecimento de fala, limiar de detecção de fala e limiar de reconhecimento de fala (KRUGER; KRUGER, 1997), também chamados de testes de reconhecimento ou inteligibilidade da fala (PENROD, 1999).

³Exame que avalia a capacidade auditiva do indivíduo através de estímulos acústicos de tom puro. Esses estímulos são transmitidos por um fone de ouvido, alto-falante ou vibrador ósseo.

4. SÍNTESE DE CAMPO SONORO

A síntese de campo sonoro compreende uma série de técnicas para a criação de eventos sonoros utilizando transdutores eletroacústicos (alto-falantes). A aplicação mais generalizada é a reprodução sonora para entretenimento de ouvintes humanos. Também é aplicada para reprodução espacialmente distribuída de ruído (motores, ruas, Interior de carro, etc.) e vozes em laboratório.

Existem dois conceitos gerais para a síntese de campo sonoro através de alto-falantes. Eles diferem-se na questão de discretização do campo sonoro existente no ambiente e a consequente criação do campo sonoro para um ponto ou área. O primeiro centra-se em um arranjo de alto-falantes em torno de um ponto ótimo (*sweet spot*), recriando o evento sonoro para aquele ponto. O segundo conceito procura criar um campo sonoro completo em uma área de escuta, não apenas em um ponto (VORLÄNDER, 2007).

As diversas técnicas de síntese de campo sonoro por meio de alto-falantes têm suas limitações. A diafonia (*cross talk*), um exemplo importante de limitação, ocorre pelo fato do sinal de um alto-falante ser recebido por ambas as orelhas. Assim a interferência prejudica a reprodução da espacialidade. A seguir é feita uma breve descrição das técnicas que pretende-se utilizar.

4.1 Técnica de reprodução biauricular com cancelamento de diafonia

Essa técnica tem como objetivo recriar o sinal de som original nas duas orelhas do ouvinte a partir de um par de alto-falantes. Nesse caso o sinal original é processado com uma matriz de quatro filtros para cancelar a contribuição do alto-falante oposto à cada orelha, buscando apresentar apenas o sinal do caminho direto (alto-falante mais próximo à orelha).

A Figura 1 exemplifica o esquema da técnica de reprodução biauricular, onde as matrizes de transferência H_{RL} e H_{LR} , são referentes à medição do sinal obtido nas orelhas mais distantes e, portanto, são invertidas no processamento buscando o cancelamento. Diversos trabalhos estão disponíveis na literatura sobre síntese biauricular com cancelamento, abordando cálculo, procedimento de medições de HRTF's (Sigla em inglês para *Head Related Transfer Function*. Função de transferência relacionada à cabeça), modelagem e reprodução como (JUNIOR, 2005; LOKKI et al., 2002; SUSNIK et al., 2003; PULKKI; KARJALAINEN, 2015; MASIERO, 2012) e (BEGAULT, 1994).

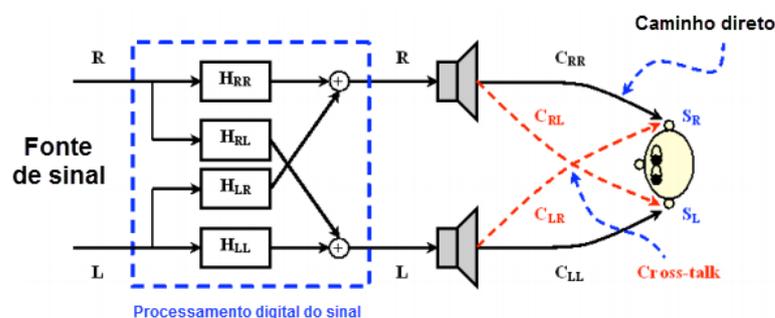


Figura 1: Esquema de representação da técnica de reprodução biauricular com cancelamento de diafonia.

Fonte: FARINA et al., 2004.

4.2 Panorama de amplitude

Considerando uma variação de amplitude entre os alto-falantes a síntese de campo sonoro pode utilizar o método de Panorama de amplitude em duas dimensões (2D), o qual é fundamentado na Lei dos Senos e das Tangentes. A hipótese desse método considera alto-falantes dispostos simetricamente, equidistantes em relação ao ouvinte e sem elevação (mesmo plano horizontal). É uma aproximação de primeira ordem da composição dos sinais emitidos, podendo criar fontes virtuais. A derivação de ambas as leis é apresentada em (BENESTY et al., 2008).

A partir do Panorama de Amplitude 2D o sistema Sistema Vetorial de Panorama por Amplitude (SVPA) não limita a quantidade de alto-falantes utilizáveis, contudo utilizando apenas 3 simultaneamente (no máximo, podendo ser 1 ou 2). Os alto-falantes são arranjados em uma esfera de referência, e a fonte virtual criada não pode ser posicionada fora dessa região (FARIA, 2005). A Figura 2 apresenta um exemplo de distribuição de fontes sonoras para síntese de uma fonte virtual p utilizando SVPA.

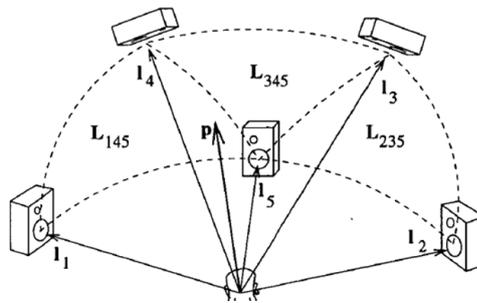


Figura 2: Esquema de representação do Sistema Vetorial de Panorama por Amplitude (SVPA).

Fonte: PULKKI, 1997.

Alguns fatores colaboram para que métodos baseados em Panorama de Amplitude sejam bastante utilizados em aplicações de áudio virtual, como o baixo custo computacional, a flexibilidade do posicionamento dos alto-falantes, o equacionamento e a não utilização de HRTF. Faria (2005) discute uma maior tolerância fora da posição preferencial *hot-spot* pelas técnicas de panorama de amplitude às incoerências sônicas em comparação com as técnicas que exploram indicações temporais ou de fase.

5. APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO AUDITIVA

A criação de um campo sonoro em condições acusticamente controladas, com separação espacial de fontes sonoras, permite a aproximação dos testes de reconhecimento da fala às condições normais às quais os pacientes com deficiência auditiva, candidatos a implante coclear ou mesmo pacientes já implantados, vivenciam. A proposta inicial do sistema é construir um ambiente de pesquisa referência para testes do limiar do reconhecimento da fala. A partir dessa referência pretende-se estudar a efetividade de fontes sonoras virtuais em pessoas com déficit auditivo e adequar o sistema à realidade técnica das clínicas de avaliação considerando a disponibilidade de equipamentos e ambientes, apresentando os requisitos mínimos para a execução padronizada do teste. Para tal um ambiente de pesquisa está sendo projetado, bem como as técnicas de reprodução espacial de campos sonoros serão implementadas e avaliadas.

5.1 Proposta e projeto do espaço de avaliação

A percepção auditiva do espaço é bastante influenciada por propriedades energéticas do campo sonoro como o tempo de reverberação (TR), os espectros das ondas sonoras componentes do campo e a relação entre os níveis do som direto e reverberante. Assim sendo, há a necessidade de controlar e padronizar os parâmetros de isolamento e condicionamento acústico do ambiente selecionado para avaliar a audição de pacientes.

As condições de isolamento sonoro definem o ruído de fundo máximo permitido no ambiente. O projeto do espaço de avaliação foi concebido para atender a norma ISO 8253-1 *Audiometric test methods – Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry* ISO (2010) que é referendada pela Norma Regulamentadora NR-7 (Programa de controle médico de saúde ocupacional) (BRASIL, 13 mai. 1996) e pela Resolução 364 (Conselho Federal de Fonoaudiologia CFFa, 2009) a qual trata do assunto para cabines audiométricas.

As dimensões foram baseadas nos critérios definidos pela ITU-R BS.1116-3 (União Internacional de Telecomunicações, Setor de Radiocomunicação (ITU-R), 2015), afim de atender aos critérios da distribuição modal.

O espaço a ser construído está em fase final de projeto e contará com uma área de piso de 8,69 m² e um volume de 20,43 m³ (2,35 × 3,12 × 2,78) m (A×L×P), em um sistema *box-in-box* de construção seca com isolamento de vibração e condicionamento acústico. O espaço será localizado no prédio do Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A distribuição modal pode ser verificada na Figura 3a. Observa-se que não há modos coincidentes. A densidade modal por banda de terço de oitava até a frequência de Schroeder (f_s)⁴ pode ser verificada na Figura 3b, sendo que ela cresce monotonicamente atendendo aos critérios de Bonello (BRANDÃO, 2016).

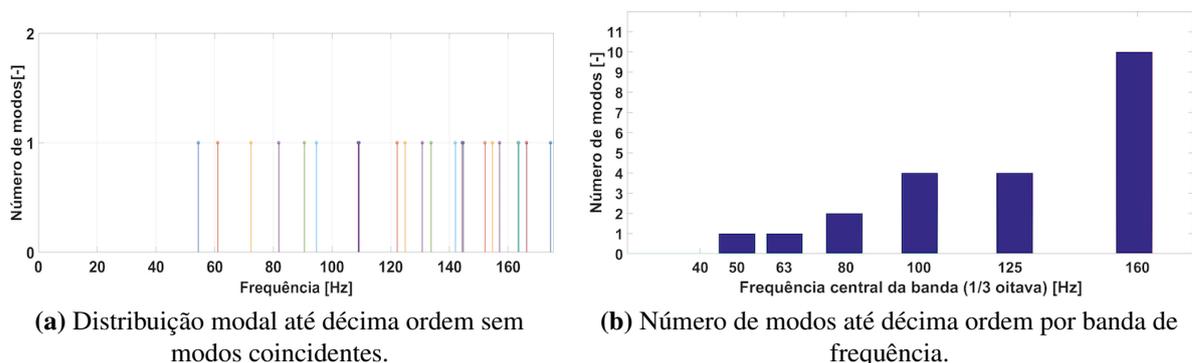


Figura 3: Distribuição modal e numero de modos por banda de frequência

Fonte: Elaborada pelo autor.

O TR objetivo⁵ do ambiente foi projetado para 0,14 segundos observando a recomendação

⁴ $f_s = 165,57$ Hz considerando o Tempo de Reverberação de 0,14 s

⁵ TR objetivo é calculado a partir da definição realizada pela recomendação pela ITU-R BS.1116-3 como um valor fixo dependente do volume da sala, a tolerância na variação do TR objetivo tem variações com a banda de frequência analisada. Assim, o TR objetivo não pode ser considerado um TR médio.

ITU-R BS.1116-3 quanto ao valor (Eq. 1) e os limites em frequência para o referido TR.

$$T_m = 0,25 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,14 \text{ [s]}, \quad [\text{Eq. 1}]$$

sendo V o volume da sala [m^3] e V_0 o volume de referência de 100 m^3

A distância do *array* de alto-falantes circular ao centro (raio) será de 1,3 m. Considerando o campo distante hidrodinâmico com início a partir de meio comprimento de onda, o mesmo inicia em $\approx 131 \text{ Hz}$ para essa configuração. A sala será destinada a ensaios diversos, sendo assim a montagem dos alto-falantes realizada sobre *stands* possibilitando novas configurações.

5.2 Sistema de reprodução de fontes sonoras proposto

As maiores diferenças de nível de pressão sonora e de tempo de chegada entre as orelhas são produzidas no plano horizontal, por isso a maior parte das pesquisas de localização de fontes sonoras e mascaramento de sinais concentra o *array* de alto-falantes horizontalmente (GRIMM et al., 2015). Tal abordagem será utilizada, dispondo oito alto-falantes no plano horizontal octogonalmente como indica a Figura 4. Os alto-falantes indicados para o sistema são monitores de referência ativos, da marca Genelec modelo 8030B de alto-falantes *woofer* com 5 polegadas e *Tweeter* com domo de metal de 3/4 de polegada.

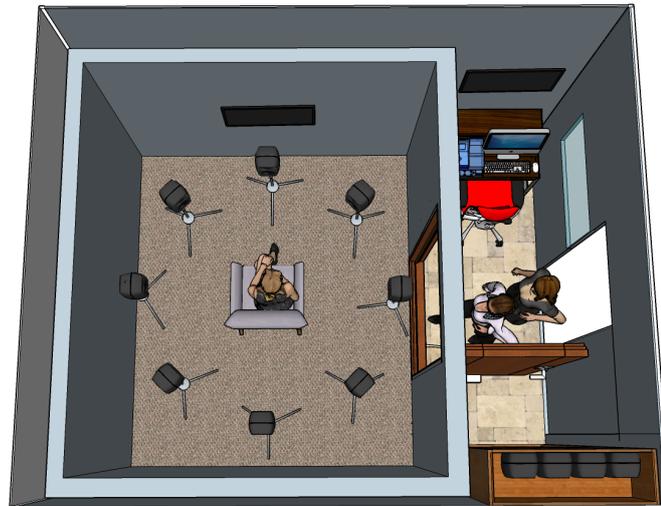


Figura 4: Layout e disposição dos alto falantes para sala de avaliação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizando o modelo auditivo de estimação baseado em direção de Dietz et al. (2011), (GRIMM et al., 2015) apresenta que com um conjunto de oito alto-falantes com o sujeito no centro, sem movimentar a cabeça, o erro de localização espacial percebido para a técnica de SVPA de aproximadamente 5° (ver Figura 5.). Segundo estudos experimentais de Kerber e Seeber (2012) são suficientemente adequados para a avaliação, tal estudo apresentou um erro médio quadrático na localização das fontes sonoras pelos ouvintes normais de 5° .

O sistema Ambisonics de alta ordem (AAO), originalmente em inglês intitulado *High Order Ambisonics* (HOA) (baseado na teoria de harmônicos esféricos derivados do teorema de Green

para representação de frente de onda, no qual é proposto uma cadeia de gravação e reprodução, no estudo de (KERBER; SEEBER, 2012) apresenta resultados superiores. Ainda que com AAO o resultado do erro perceptual de localização com oito alto-falantes apresente-se melhor, pela facilidade de implementação, gravação e manipulação dos sinais a técnica SVPA foi selecionada para a implementação inicial. Em caso de a técnica SVPA não alcançar a performance de localização pretendida outras técnicas serão implementadas e avaliadas.

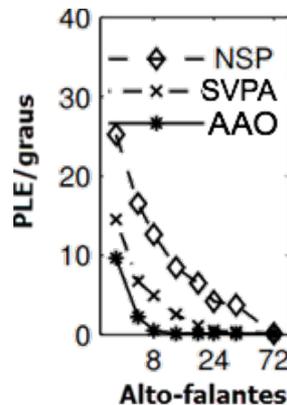


Figura 5: Erro de localização perceptual segundo modelo de (DIETZ et al., 2011) para alto-falante mais próximo do ouvinte (NSP), sistema vetorial baseado em amplitude (SVPA) e Ambisonics de alta ordem (AAO).

Fonte: GRIMM *et al.*, 2015.

A avaliação da implementação da técnica no ambiente será realizada *a priori* utilizando modelos biauriculares de audição com estimulação acústica como aqueles sugeridos por (DIETZ et al., 2011) e (WANG; COLBURN, 2012), bem como modelos biauriculares de audição com estimulação elétrica a fim de prever a resposta de localização de fontes sonoras de usuários de IC (KELVASA; DIETZ, 2015). Posteriormente ensaios com ouvintes normais e deficientes auditivos serão realizados para validar os resultados. A adequação à realidade técnica dos centros de avaliação auditiva será realizada em uma etapa futura utilizando, em princípio, a técnica de reprodução biauricular com HRTF's obtidas com simulador de tronco e cabeça. Após os resultados da técnica implementada inicialmente serem validados no ambiente de pesquisa as comparações com a técnica de reprodução biauricular servirão para validar o sistema que seja adequado e padronizado para execução dos testes em ambientes clínicos.

REFERÊNCIAS

BEGAULT, D. R. *3DD Sound for Virtual Reality and Multimedia*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc., 1994. ISBN 0-12-084735-3.

BENESTY, J.; SONDHI, M.; HUANG, Y. *Springer Handbook of Speech Processing*. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. (Springer Handbook of Speech Processing). ISBN 978-3-540-49125-5, 978-3-540-49127-9.

BEST, V.; MARRONE, N.; MASON, C. R.; KIDD, G. The influence of non-spatial factors on measures of spatial release from masking. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 131, n. 4, p. 3103–3110, 2012.

BRANDÃO, E. *ACUSTICA DE SALAS*. [S.l.]: EDGARD BLUCHER, 2016. v. 1. ISBN 9788521210061.

BRASIL. *NR-7 Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional*: Portaria n 8, de 08 de maio de 1996 - altera norma regulamentadora NR-7. 13 mai. 1996. Diário Oficial da União, Brasília, n. 134,91.

BRASIL. *Portaria do Ministério da Saúde No. 2.276 de 18 de dezembro de 2014*. 2014. Diário Oficial da União, Brasília, n. 246,183. Acesso em: 22 out. 2016.

BRONKHORST, A. W. The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acta Acustica united with Acustica*, S. Hirzel Verlag, v. 86, n. 1, p. 117–128, January 2000.

CAPORALI, S. A.; SILVA, J. Reconhecimento de fala no ruído em jovens e idosos com perda auditiva. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, scielo, v. 70, p. 525 – 532, 08 2004. ISSN 0034-7299.

Conselho Federal de Fonoaudiologia CFFa. **RESOLUÇÃO 364 Dispõe sobre o nível de pressão sonora das cabinas/salas de testes audiológicos e dá outras providências**. 2009. <<http://www.fonoaudiologia.org.br/legislacaoPDF/Res%20364-09-%20ambiente%20acustico.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

DIETZ, M.; EWERT, S. D.; HOHMANN, V. Auditory model based direction estimation of concurrent speakers from binaural signals. *Speech Communication*, v. 53, n. 5, p. 592 – 605, 2011. ISSN 0167-6393. Perceptual and Statistical Audition.

EBATA, M.; SONE, T.; NIMURA, T. Improvement of hearing ability by directional information. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 43, n. 2, p. 289–297, 1968.

FARIA, R. R. A. **AURALIZAÇÃO EM AMBIENTES AUDIOVISUAIS IMERSIVOS**. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP, 6 2005.

GAMA, M. R. *Desenvolvimento e estudo comparativo de listas de palavras para uso na medida do limiar de reconhecimento de fala em crianças de 5 a 7 anos de idade*. Tese (Doutorado) — Instituto de Psicologia Universidade de São Paulo Neurociências e Comportamento, 2004. Acesso em: 21 out. 2016.

GOMEZ, M. V. S. G.; GUEDES, M.; TSUJI, R.; CASTILHO, A.; NETO, R. V. B.; BENTO, R. F. Critérios de seleção e avaliação médica e audiológica dos candidatos ao implante coclear: Protocolo hc-fmusp. *Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia*, ISSN 1516-1528, v. 8, n. 4, p. 295–317, 2004.

GRIMM, G.; EWERT, S. D.; HOHMANN, V. Evaluation of spatial audio reproduction schemes for application in hearing aid research. *CoRR*, abs/1503.00586, 2015.

IHLEFELD, A.; SHINN-CUNNINGHAM, B. Spatial release from energetic and informational masking in a selective speech identification task). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 123, n. 6, p. 4369–4379, 2008.

ISO, I. O. f. S. *Acoustics – Audiometric test methods – Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry*. [S.l.], 2010.

JUNIOR, A. C. L. F. *Auralização: técnicas de modelagem e simulação binaural de ambientes acústicos virtuais*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2005.

KELVASA, D.; DIETZ, M. Auditory model-based sound direction estimation with bilateral cochlear implants. *Trends in Hearing*, v. 19, p. 2331216515616378, 2015.

KERBER, S.; SEEBER, B. U. Sound localization in noise by normal-hearing listeners and cochlear implant users. *EAR and HEARING*, v. 33(4), p. 445–457, 2012. ISSN 0196-0202.

KRUGER, B.; KRUGER, F. Speech audiometry in usa. In: MARTIN, M. (Ed.). *Speech audiometry*. Michigan University: Wiley, 1997, (Exc Business And Economy). p. 89. ISBN 9781897635124.

LOKKI, T.; SAVIOJA, L.; VAANANEN, R.; HUOPANIEMI, J.; TAKALA, T. Creating interactive virtual auditory environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 22, n. 4, p. 49–57, Jul 2002. ISSN 0272-1716.

MASIERO, B. *Individualized Binaural Technology: Measurement, Equalization and Perceptual Evaluation*. Logos Verlag Berlin, 2012. (Aachener Beiträge zur Technischen Akustik). ISBN 9783832532741. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=WCBvNj6skJgC>>.

PENROD, J. Logoaudiometria. In: KANTZ, J. (Ed.). *Tratado de audiologia clínica 4. ed.* São Paulo: Manole, 1999. p. 146–162.

PULKKI, V.; KARJALAINEN, M. *Communication Acoustics: An Introduction to Speech, Audio and Psychoacoustics*. [S.l.]: Wiley, 2015. ISBN 9781118866559.

SUSNIK, R.; SODNIK, J.; UMEK, A.; TOMAZIC, S. Spatial sound generation using hrtf created by the use of recursive filters. In: *The IEEE Region 8 EUROCON 2003. Computer as a Tool*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, p. 449–453 vol.1.

SUZUKI, Y.; BRUNGART, D.; IWAYA, Y.; IIDA, K.; CABRERA, D.; KATO, H. *Principles and Applications of Spatial Hearing*. 1. ed. [S.l.]: World Scientific Publishing Company, 2009. ISBN 9814313874,9789814313872.

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.

VORLÄNDER, M. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2007. (RWTHeedition). ISBN 9783540488309.

WANG, L.; COLBURN, H. S. A modeling study of the responses of the lateral superior olive to ipsilateral sinusoidally amplitude-modulated tones. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, v. 13, n. 2, p. 249–267, 2012. ISSN 1438-7573.