

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo

Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em
Amplitude

Recife
2010

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo

Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em
Amplitude

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento do
Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal
de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Dr. Otávio Gomes Lins

Co-orientadora: Dra. Silvana Maria Sobral Griz

Recife
2010

Ficha catalográfica elaborada pela
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

A663r Araújo, Fabiana Cristina Mendonça de.
Respostas auditivas de estado estável a ruído branco modulado em
amplitude / Fabiana Cristina Mendonça de Araújo. – 2010.
112 f.: il.; tab.; quad.; 30 cm.

Orientador: Otávio Gomes Lins.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS.
Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do
Comportamento. Recife, 2010.
Inclui referências e anexos.

1. Potencial evocado auditivo de estado estável. 2. Respostas evocados
auditivos de estado estável. 3. Audição normal. 4. Ruído branco. 5. Limiar
eletrofisiológico. I. Lins, Otávio Gomes (Orientador). II. Título.

612.665 CDD (22.ed.)

UFPE (CCS2016-040)

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo

Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude

Tese aprovada em: 02 de junho de 2010

Otávio Gomes Lins – Médico, Doutor em Neurologia e Neurociência pela Universidade Federal de São Paulo – Prof. Adjunto do Departamento de Neuropsiquiatria da UFPE

Silvana Maria Sobral Griz – Fonoaudióloga, Doutora em Psicologia Cognitiva pela Universidade Federal de Pernambuco – Prof^a. Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da UFPE

Denise Costa Menezes – Fonoaudióloga, Doutora em Letras pela Universidade Federal de Pernambuco – Prof^a. Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da UFPE

Lílian Ferreira Muniz – Fonoaudióloga, Doutora em Psicologia Cognitiva pela Universidade Federal de Pernambuco – Prof^a. Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da UFPE

Pedro de Lemos Menezes – Fonoaudiólogo, Doutor em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São Paulo – Prof. Adjunto da UNCISAL

Suplentes

Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano – Fisioterapeuta, Doutora em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento – Prof^a. Adjunta do Departamento de Anatomia da UFPE

Belmira Lara da Silveira – Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – Prof^a. Adjunta da UFPE

DEDICO ESTE TRABALHO...

Aos meus pais, **Elias e Evinalda**, pelo exemplo de vida, de companheirismo, carinho e apoio dedicados a mim durante toda a minha caminhada.

Aos meus irmãos, **Marjorie, Hugo e Joyce**, que vibraram comigo cada vitória...

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, que tem guiado meus caminhos, e por estar sempre ao meu lado, dando-me força e conforto durante toda esta jornada.

Ao **Prof. Dr. Otávio Gomes Lins**, por ter acreditado na minha capacidade de pesquisadora; pelo cuidado e paciência a cada orientação; por ter sido um exemplo de humanidade e competência. Por ter dedicado tempo e disponibilizado conhecimento para a construção deste estudo e minha formação.

À **Profa. Dra. Silvana Griz**, por ter me apoiado desde o início, contribuindo na minha formação profissional e como docente. Pela dedicação e paciência durante toda a execução deste trabalho. Pelas contribuições valiosas.

Às minhas colegas do programa de Pós-graduação, **Danielle e Alexandra**, pelo apoio e companheirismo durante todo o curso.

Aos **professores do Departamento de Fonoaudiologia da UFPE**, que me incentivaram e vibraram comigo a cada conquista.

Aos meus amigos, **Mirella e Wallace**, pelo companheirismo, carinho e altruísmo para comigo.

Aos **voluntários**, que se dispuseram em favor da ciência e do meu aprendizado profissional.

E a **todos** aqueles que estiveram comigo, fazendo parte desta conquista.

“Na procura de conhecimentos, o primeiro passo é o silêncio, o segundo ouvir, o terceiro relembrar, o quarto praticar e o quinto ensinar aos outros”

Texto Judaico

RESUMO

Introdução: As Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável (REAEE) é uma técnica de avaliação objetiva da audição e pode ser realizado com estímulos diversos em ambas as orelhas ao mesmo tempo. O método consiste em modular em amplitude e/ou frequência cada estímulo principal com uma frequência diferente e apresentá-los simultaneamente. As REAEE ocorrem quando um estímulo repetitivo evoca respostas de ondas elétricas cujo componente de frequência se mantém constante em amplitude e fase durante o tempo de estimulação, denominadas respostas de estado estável (REST). No domínio da frequência, a REST aparece na frequência em que cada estímulo foi modulado. Dois tipos principais de estímulos têm sido utilizados, o tom puro e o ruído. **Objetivo:** Descrever os achados das Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável para adultos com audição normal, utilizando o estímulo de ruído branco modulado em amplitude. **Método:** 22 adultos com audição normal, com idades entre 18 e 34 anos. Foi utilizado como estímulo o ruído branco modulado em amplitudes de 85 Hz para a orelha esquerda e 95 Hz para a orelha direita, apresentados simultaneamente, em intensidades entre 80 e 10 dB peNPS. **Resultados:** Analisando as amplitudes das RAEE e do ruído foi observado que nas intensidades de 20 e 10 dB peNPS, não houve em média diferença estatística significativa ($p= 0,06$) em ambas as intensidades, sendo assim sugeriu-se a intensidade de 30 dB peNPS para o registro significativo das RAEE a ruído branco modulado em amplitude. A fase das RAEE diminuiu com a diminuição da intensidade, entre 299 e 137 graus. A partir dos dados obtidos pela fase foi possível estimar a latência aparente, sendo observado um aumento da latência com a diminuição da intensidade, variando entre 17,3 ms e 20,4 ms entre as intensidades de 80 a 30 dB peNPS. Quanto aos limiares eletrofisiológicos foi possível o registro em média a 20 dB peNPS. Porém, propõe-se com limiar sugestivo de audição normal o de 30 dB peNPS, uma vez que todos os indivíduos obtiveram registro das RAEE nesta intensidade e sendo a diferença entre a amplitude das RAEE e do ruído estatística significativa ($p= 0$). Quanto ao tempo de realização do exame observou-se que em média o tempo de registro aumentou com a diminuição da intensidade, sendo o tempo máximo utilizado para obtenção das respostas significativas de aproximadamente 1 minutos a 30 dB peNPS (limiar eletrofisiológico). **Conclusões:** Conclui-se que as REAEE a ruído branco modulado em amplitude caracterizam-se pela diminuição da amplitude da resposta e do ruído com a diminuição da intensidade do estímulo. Quanto ao tempo de teste, este exame demonstrou ser rápido na obtenção das respostas bilaterais necessária para conclusão do diagnóstico audiológico. Sendo assim as REAEE a ruído branco modulado em amplitude pode ser incluído como método de avaliação auditiva, principalmente com o objetivo de triagem auditiva, devido às características das respostas ao estímulo de ruído utilizado.

Palavras-chave: Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável, Audição Normal, Perda Auditiva, Ruído Branco, Limiares eletrofisiológicos.

ABSTRACT

Introduction: Auditory Steady State Responses (ASSR) is an objective assessment of technical hearing and can be performed with various stimuli in both ears at the same time. The method is to modulate amplitude and/or frequency every major stimulus with a different frequency and display them simultaneously. The ASSR occurs when a repetitive stimulus evokes responses from electrical waves whose frequency component is kept constant in amplitude and phase during the stimulation time, called steady state responses. In the frequency domain, the ASSR appears in the frequency in which each stimulus was modulated. Two main types of stimuli have been used, the pure tone and noise. **Objective:** To describe the findings of the Evoked Responses Auditory Steady State of adults with normal hearing using the white noise stimulus amplitude modulated. **Method:** 22 adults with normal hearing, aged between 18 and 34 years. Was used as a stimulus white noise modulated in amplitude of 85 Hz for the left ear and 95 Hz for the right ear, presented simultaneously at intensities between 80 and 10 dB peSPL. **Results:** analyzing the amplitudes of ASSR and noise was observed that the intensities of 20 and 10 dB peSPL, there were on average statistically significant difference ($p = 0.06$) in both intensities, therefore suggested the intensity 30 dB peSPL for significant record of ASSR white noise amplitude modulated. The phase of the ASSR decreased with decreasing intensity between 299 and 137 degrees. From the data obtained by the phase it was possible to estimate the apparent onset, being observed an increase in latency with decreasing intensity ranging between 17.3 ms and 20.4 ms between intensities of 80 to 30 dB peSPL. As for the electrophysiological thresholds it was possible to record an average of 20 dB peSPL. However, it is proposed with suggestive threshold of normal hearing to 30 dB peSPL, since all subjects had record of ASSR this intensity and the difference between the amplitude of the ASSR and statistically significant noise ($p = 0$). As for the time of the examination, it was observed that the average registration time increased with decreasing intensity, the maximum time used to obtain meaningful answers about 1 minute 30 dB peSPL (electrophysiological threshold). **Conclusions:** It is concluded that are ASSR white noise amplitude modulated characterized by decreasing the amplitude of the response and noise with decreasing intensity of the stimulus. As for the test time, this test proved to be quick in obtaining bilateral responses required to complete the audiological diagnosis. Thus the ASSR white noise modulated in amplitude can be included as hearing assessment method, mainly for the purpose of hearing screening due to the characteristics of responses to noise stimulus used.

Keywords: Auditory Evoked Potential Steady State , Evoked Responses State Hearing Stable, Normal Hearing , Hearing Loss , White Noise , Thresholds electrophysiological

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).....41

Figura 2 – FFT das respostas de estado estável e do ruído para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para a orelha esquerda e direita, respectivamente, nas diversas intensidades.....45

Artigo Original - Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude

Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).....53

Figura 2 – FFT das respostas de estado estável e do ruído para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para as orelhas esquerda e direita, respectivamente, nas diversas intensidades.....55

Figura 3 – Amplitudes médias (linha contínua) e o desvio padrão (linhas verticais) das RAEE e amplitude média do ruído (linha pontilhada) em função da intensidade para indivíduos com audição normal.....57

Figura 4 – Tempo médio para registro das RAEE em segundo em relação à intensidade do estímulo em adultos com audição normal.....59

Artigo Original: Limiares de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude

Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).....70

Figura 2 – FFT das respostas de estado estável (em amarelo) e do ruído (em cinza) para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para as orelhas esquerda e direita, respectivamente, a 80 dB NPS (a- resposta presente) e 20 dB NPS (b- resposta ausente).....72

Figura 3– Tempo médio para registro das RAEE em segundos em relação à intensidade do estímulo em adultos com audição normal.....7

LISTA DE TABELAS

Artigo Original - Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude

Tabela 1 – Caracterização da amplitude das RAEE e do ruído em função da intensidade do estímulo em adultos com audição normal.....57

Tabela 2 – Caracterização das fases das RAEE em função da intensidade do estímulo em adultos com audição normal.....58

Tabela 3– Tempo para registro significativo das RAEE em segundo e por *sweeps* em relação à intensidade do estímulo em indivíduos com audição normal.....58

Artigo Original: Limiares de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído banco modulado em amplitude

Tabela 1 –Limiares tonais por frequência e eletrofisiológico por ruído branco modulado em amplitude em adultos com audição normal.....74

Tabela 2 – Diferenças dos limiares (dB NA) tonais e eletrofisiológicos por frequência em adultos com audição normal.....74

Tabela 3– Tempo para registro significativo das RAEE em segundo e por número de *sweeps* em relação à intensidade do estímulo em indivíduos com audição normal.....75

LISTA DE QUADROS

Artigo Original: Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude: Revisão Sistemática

Quadro 1: Descritores e expressões usadas para a busca nos bancos de dados eletrônicos e suas combinações.....	27
Quadro 2: Resultado da pesquisa por descritor no portal da BIREME e PUBMED.....	28
Quadro 3 – Artigos pesquisados no portal da BIREME e motivo de exclusão.....	29
Quadro 4 - Artigos encontrados no portal da PUBMED e suas justificativas de exclusão.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Amplitude modulada
AD	Analógico-Digital
CCE	Célula Ciliada Externa
CCI	Célula Ciliada Interna
C _{PA}	Configuração da Perda Auditiva
C _z	Vértex
DA	digital – analógico
daPA	decaPasqual
dB	deciBell
dB HL	<i>deciBell Hearing Level</i>
dB NA	deciBell Nível de Audição
dB nNA	deciBell Nível de Audição normatizado
dB NPS	deciBell Nível de Pressão Sonora
dB NS	deciBell Nível de Sensação
dB SPL	<i>deciBell Sound Pressure Level</i>
DP	Desvio Padrão
D _T	Diferença do limiar eletrofisiológico coma M _T
D _{Tr}	Diferença do limiar eletrofisiológico coma M _{Tr}
EEG	Eletroencefalograma
EOA	Emissões Otoacústicas
FFT	Transformada Rápida de Fourier (<i>Fast Fourier Transform</i>)
FM	Frequência Modulada
Graup _{PA}	Grau da Perda Auditiva
HC – UFPE	Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco
Hz	Hertz
IRF	Índice de Reconhecimento de Fala
KHz	KiloHertz
Kohm (KΩ)	KiloOhm
LC	Limite de confiança
LRF	Limiar de reconhecimento de fala
LT _T	Limiares Tonais Totais
LT _{Tr}	Limiares Tritonais
M ₁	Mastóide da Orelha Esquerda
M ₂	Mastóide da Orelha Direita
MASTER	<i>Multiple Auditory Stead Response</i>
ms	millessegundos
M _T	Média Total (500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz)
M _{Tr}	Média tritonal (500, 1000 e 2000 Hz)
μV	Micro Volte
nV	Nano Volte
PEA	Potenciais Evocados Auditivos
PEAEE	Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável

PEATE	Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico
RB	Ruído Branco
REAEE	Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável
REST	Respostas de Estado Estável
RN	Recém Nascido
Seg.	Segundos
T	Total
T _R	Tritonal
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
WN	<i>White Noise</i>

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
Artigo de Revisão	
3. MÉTODOS.....	38
3.1. Ética.....	39
3.2. Local.....	39
3.3. Casuística.....	39
3.4. Procedimentos.....	40
3.5. Material.....	45
3.6. Análise Estatística.....	46
4. RESULTADOS.....	47
Artigo Original: Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude	
	48
Artigo Original: Limiares de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído banco modulado em amplitude	
	65
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS	
ANEXOS	

Historicamente, a avaliação audiológica tem sido um desafio, uma vez que os principais procedimentos de avaliação dependem das respostas comportamentais auditivas, que estão vinculadas aos aspectos maturacionais e cognitivos do sujeito, além dos auditivos (Sininger, 2003; JCIH, 2007).

Os principais métodos de avaliação audiológica são a Audiometria tonal Liminar e a Logaudiometria. Através destes procedimentos é possível obter a mínima resposta detectada pelo indivíduo a estímulos sonoros específicos, denominada limiar auditivo. Estes procedimentos são considerados como a bateria de teste que avaliam verdadeiramente a função auditiva (Katz, 2002).

Para tanto são utilizados estímulos de tom puro, nas oitavas de frequências e interoitavas entre 250 e 8000 Hz, buscando a caracterização/configuração da função auditiva, o que fornecerá informações sobre a acuidade para estímulos simples (tom puro), os quais compõem a maior parte do espectro dos sons produzidos na fala humana.

Utiliza-se também o estímulo de fala (som complexo: composto por vários tons puros) para avaliar a resposta comportamental do indivíduo e a capacidade do sistema auditivo em analisar este tipo de som.

Porém existem algumas limitações para a avaliação auditiva comportamental. Por ser dependente de questões maturacionais e cognitivas, torna-se inviável em indivíduos menores que seis meses de idade, e em indivíduos que apresentem alguma dificuldade motora e/ou cognitiva. Para estes então é necessária a avaliação auditiva por outros procedimentos que não requeiram do sujeito resposta ativas.

Os procedimentos e as técnicas de avaliação auditiva têm se desenvolvido através dos anos. A partir da década de 1970, com a utilização de exames eletrofisiológicos, que não necessitam da participação do sujeito, tornou-se possível a identificação da deficiência auditiva em uma população difícil de obter limiares auditivos comportamentais, como recém-nascidos (RN), crianças muito pequenas e adultos difíceis de testar.

Segundo a *American Academy of Pediatrics* (1999), há uma ocorrência de problemas auditivos de 3 para cada 1000 nascimentos, sendo que, quando analisada apenas a população de RN de alto risco, esse número se elevou para 2 a 4 alterações em 100 nascimentos.

Devido à ocorrência da perda auditiva e, principalmente, de suas conseqüências, tem sido enfatizada a importância da identificação e intervenção até os seis meses de idade para perdas auditivas congênitas (Yoshinaga-Itano *et al.*, 1998; Moller, 2000).

A meta de um programa de saúde auditiva é a identificação precoce e a caracterização da perda auditiva (diagnóstico) para possibilitar uma intervenção o mais cedo possível, ou seja, um encaminhamento imediato de RN/crianças e/ou adulto após detecção e diagnóstico da perda auditiva, para um atendimento terapêutico apropriado e adaptação de dispositivos eletrônicos, buscando maximizar o desenvolvimento das habilidades auditivas, de fala e linguagem (JCIH, 2007; Sininger, 2003).

Para proporcionar uma intervenção apropriada, é necessário um rápido e eficiente processo de triagem e diagnóstico da perda auditiva. É indicada uma bateria básica de exames, que incluem testes de avaliação auditiva comportamental como: audiometria tonal liminar e Logaudiometria; e procedimentos fisiológicos /eletrofisiológicos como: a imitânciometria (avalia a fisiologia da orelha média e limiar do reflexo do músculo estapédico), Emissões Otoacústicas (EOA) (avalia a fisiologia das células ciliadas externas do órgão de córti); e do Potencial Evocado Auditivo de Tronco Encefálico (PEATE) (avalia a fisiologia do nervo vestibulococlear e vias do tronco encefálico) (Sininger, 2003).

Clinicamente, o PEATE tem sido o procedimento recomendado para estimar limiares auditivos em crianças e adultos que não podem ser testados pelas técnicas convencionais de audiometria (Stapells, Oates, 1997).

Dentre os procedimentos eletrofisiológicos o PEATE permite avaliar respostas auditivas para diferentes intensidades e diferentes frequências de estímulos, possibilitando a obtenção de informações mais precisas e detalhadas sobre o funcionamento neurofisiológico da audição (Stapells, Oates, 1997; Sininger, 2003).

Porém, existem algumas limitações/dificuldades neste procedimento. Devido a sua característica de resposta (sincronia neuronal), este só é eliciado por estímulos rápidos, como o clique ou um *toneburst*, o que diminui a especificidade do estímulo, devido suas características acústicas. Como relatado anteriormente, é necessário a avaliação audiológica por frequências específicas.

Além da especificidade da frequência, o tempo de avaliação é um complicador, pois, no que concerne a avaliação audiológica, é necessário a busca do limiar auditivo

eletrofisiológico (menor intensidade na qual é possível observar respostas eletrofisiológicas auditivas), utilizando-se a variação das intensidades. Desta forma o tempo de teste aumenta, pois é realizada a busca do limiar em cada orelha separadamente e para cada estímulo necessário para a avaliação.

Além das questões relatadas acima, outro questionamento na avaliação com o PEATE, é a subjetividade da análise das respostas, ou seja, apesar de ser um teste objetivo/fisiológico, quem determina a presença ou não da resposta é o avaliador. Sendo assim, o resultado da análise sofre influência da acurácia do avaliador em relação à realização do teste e análise dos resultados.

Atualmente vem sendo estudada uma nova técnica eletrofisiológica para avaliação audiológica, é o Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável (PEAEE), o qual resolve em parte as limitações levantadas no PEATE.

Os PEAEE são potenciais que avaliam a neurofisiologia do sistema auditivo por meio de uma estimulação acústica com ritmos altos de apresentação. O estímulo pode ser modulado em amplitude e dependendo da frequência de modulação, pode se avaliar estruturas diferentes do sistema nervoso auditivo (Herdman *et al.*, 2002). Desta forma, o espectro do estímulo será acusticamente composto pela frequência do estímulo principal (estímulo portador) e por duas frequências, adjacentes à principal, decorrentes da influência da frequência de modulação. Por exemplo, ao utilizar um tom puro de 1000 Hz modulado em 100 Hz, tem-se um estímulo de espectro de frequência composto por 900, 1000 e 1100 Hz (Lins, Picton, 1995; Picton, van Roon, John, 2007).

Os PEAEE ocorrem quando um estímulo repetitivo evoca respostas de ondas elétricas cujo componente de frequência se matem constante em amplitude e fase durante o tempo de estimulação, denominadas respostas auditivas de estado estável (RAEE) (Jonh *et al.*, 1998; Picton *et al.*, 2001).

As RAEE são produzidas quando houver uma estimulação numa velocidade suficientemente rápida que provoca a sobreposição da respostas elétricas. Após alguns estímulos, os potenciais registrados assumem uma característica de ondas periódicas, na frequência de modulação (Jonh *et al.*, 1998; Picton *et al.*, 2001).

O surgimento da RAEE na frequência que o estímulo é modulado pode ser explicado pelo modelo de transdução coclear proposto por Regan (1993). Segundo o autor, o estímulo

sonoro faz vibrar a membrana basilar na cóclea, movimentando os cílios das células ciliadas internas (CCI), provocando a polarização e despolarização destas células. Como estas sinapses são excitatórias as células ganglionares só geram potenciais de ação quando as CCI se despolarizam, sendo assim o nervo auditivo transmite uma versão retificada do estímulo sonoro. Na retificação do estímulo modulado então é gerada energia na frequência da modulação sendo esta possível de ser analisada no espectro de frequência da REAEE.

Segundo Lins *et al.* (1995), os potenciais de estado estável para tons de amplitude modulada entre 80 e 110 Hz podem ser facilmente registrados no escalpo humano e apresentam uma clara relação com as diferentes variáveis acústicas. Fornecem dados importantes para a avaliação fisiológica do sistema auditivo e podem ser muito úteis na audiometria objetiva por serem obtidos em intensidades próximas aos limiares. As respostas podem ser eliciadas por ruído branco ou estímulos específicos em frequência (tom puro).

Os parâmetros principais para a análise das REST são a amplitude e a fase da resposta, na frequência de estimulação, analisadas automaticamente pelo *software* do equipamento, através de técnicas estatísticas bem definidas (distribuição F e o teste T²), que determinam clara e objetivamente se uma resposta está ou não presente (Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007).

O exame de PEAAE pode ser realizado em várias frequências em ambas as orelhas ao mesmo tempo (Lins *et al.*, 1996; Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007; Picton, van Roon, John, 2009). O método consiste em modular a amplitude de cada estímulo com uma frequência diferente e apresentá-los simultaneamente. A resposta a cada um deles pode ser avaliada independentemente, analisando-se o componente espectral correspondente à frequência na qual a portadora de cada estímulo foi modulada (Lins, 2002).

Dois tipos principais de estímulos têm sido utilizados na avaliação com o exame PEAAE, o tom puro e o ruído. Dentre estes estímulos, o de tom puro tem sido mais estudado, sendo descrito os protocolos de avaliação e características de suas respostas (Lins *et al.*, 1996; John, Picton, 2000; Sinniger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Dependendo do estímulo e do protocolo utilizado, o exame do PEAAE pode ser utilizado com o objetivo de detecção e/ou diagnóstico da perda auditiva. Segundo John, Dimitrijevic e Picton (2003), em alguns casos, a utilização de estímulos que aumentem a amplitude de resposta é mais significativa do que a realização do exame com outros estímulos

que permitam uma maior especificidade de frequência, como por exemplo, nos casos de triagem auditiva. Esses autores indicam a realização do exame de PEAAE utilizando estímulos de banda larga, pois estes apresentam respostas de amplitudes maiores quando comparado a outros estímulos.

Pode-se observar então que esta técnica caracteriza-se como uma alternativa de avaliação audiológica, e que a estimulação por ruído branco pode contribuir para uma avaliação rápida na detecção da perda auditiva. Sendo assim, o presente estudo teve por **objetivo** descrever os achados das Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude, mais **especificamente** realizar uma revisão sistemática do uso das Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude; descrever os achados das Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude em indivíduos com audição normal; e descrever os achados quanto aos limiares eletrofisiológicos por meio das Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude, em indivíduos com audição normal.

ARTIGO DE REVISÃO

Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude: Revisão Sistemática

Auditory Steady State Response to Amplitude Modulated White Noise: Systematic Review

Autores:

Araújo, F.C.M.; Griz, S.M.S.; Lins, O.G.

Detalhamento dos Autores:

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo, Fonoaudióloga, Doutoranda em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento pela Universidade Federal de Pernambuco.

Otávio Gomes Lins, Médico, Doutor em Medicina (Neurologia), Professor Adjunto do Departamento de Neuropsiquiatria da Universidade Federal de Pernambuco.

Silvana Maria Sobral Griz, Fonoaudióloga, Doutora em Psicologia Cognitiva, Professora Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço para correspondência:

Rua Teles Junior, N. 33, apartamento: 1002, Aflitos. Recife-PE. CEP: 52050-040

Endereço eletrônico:

fabiana_fono@yahoo.com.br

RESUMO

Introdução: As Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude vem sendo estudado como método de avaliação auditiva, entretanto, não há parâmetros bem definidos e a literatura é escassa. **Objetivo:** Realizar uma revisão sistemática do uso das Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude. **Método:** Foi realizada busca eletrônica nos portais Pubmed e Bireme, as bases de dados incluíram: Lilacs, Medline, Biblioteca de teses da CAPES e Cochrane, sem restrição de língua ou ano de publicação. Os critérios de inclusão utilizados foram: realizados em humanos, utilizando a técnica de múltipla estimulação, e uso do ruído branco como estímulo. **Resultados:** Foram encontrados 13 artigos, sendo 1 selecionado Após a aplicação dos critérios de inclusão. **Conclusões:** A referência encontrada não se trata de estudo clínico, descreve apenas a possibilidade de registro das respostas de estado estável ao se utilizar o estímulo de ruído branco modulado em amplitude. Frente ao obtido neste levantamento da literatura, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos clínicos para elucidar e definir parâmetros e protocolos, dados necessários para sua inclusão na rotina clínica de avaliação audiológica.

Palavras-chave: Respostas Auditivas de Estado Estável, Ruído Branco.

ABSTRACT

Introduction: The Auditory Steady State Responses to White noise amplitude modulation have been studied as auditive appraisal method, however, there are no defined parameters for its utilization and there are few literature concern this subject. **Objective:** To perform a systematic review about the use of Auditory Steady State Responses to White noise amplitude modulation. **Method:** The research was conducted in Pubmed and Bireme portals, and the analyzed data bases were: Lilacs, Medline, CAPES and Cochrane digital library of theses and dissertations, without restrictions of any language or year of publication. The include criteria used were: perform in human beings, used the multiple stimulation technique and use White noise with stimuli. **Resulted:** Have been found 13 researches, but only 1 was selected after the include criteria application. **Conclusion:** The reference founded was not about clinical study, only describe the possibility of registration a steady state responses when used a white noise amplitude modulation with stimuli. Referring about the data obtained in this review, its comes to be necessary the development of studies about clinical application for better elucidation and definition of parameters and protocols of its utilization.

Key-words: Auditory Steady State , White Noise.

INTRODUÇÃO

A audição é o sentido humano, que permite a análise e interpretação dos sons, através do sistema auditivo. Está relacionada diretamente com a comunicação oral e desenvolve um papel determinante no desenvolvimento cognitivo, de linguagem, psico-social e educacional^{1,2}.

Sendo assim, a avaliação da audição tem sido objeto de vários estudos, pois alteração da função auditiva pode causar diversas consequências para o indivíduo.

Dentre os procedimentos que auxiliam a avaliação auditiva, destacam-se os exames dos Potenciais Evocados Auditivos (PEA). Os PEA são instrumentos de valor inestimável para a audiologia clínica, pois avalia a integridade do sistema auditivo e possibilita estimar o limiar auditivo. Além disso, caracteriza-se por ser uma técnica simples, não invasiva, de alta sensibilidade, baixa variabilidade e alta reprodutibilidade de respostas³.

O objetivo da avaliação auditiva é a identificação e a caracterização da perda auditiva (diagnóstico) para possibilitar uma intervenção o mais cedo possível, buscando assim maximizar o desenvolvimento das habilidades auditivas, de fala e linguagem^{1,2}. Sendo assim, quanto mais precisas forem às informações quanto à caracterização da perda em relação à frequência e limiar auditivo, maiores serão as possibilidades de intervenção no sujeito.

Com o intuito de aperfeiçoar a avaliação auditiva para aquisição de limiares auditivos e obtenção das respostas por especificidade de frequência, vem sendo estudado e descrito o Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável (PEAEE).

Os PEAEE são potenciais que avaliam a neurofisiologia do sistema auditivo, por meio de um estímulo (estímulo principal) que deve ser modulado em amplitude. Dependendo da frequência de modulação podem-se avaliar estruturas diferentes do sistema nervoso auditivo⁴. O espectro desse estímulo é composto pela frequência do estímulo principal (estímulo portador) e por duas frequências, adjacentes à principal, decorrentes da influência da frequência de modulação. Por exemplo, se utilizarmos um tom puro de 1000 Hz modulado em 100 Hz, terá um estímulo de espectro de frequência composto por 900, 1000 e 1100 Hz^{5,6}.

Os PEAEE geram uma resposta conhecida como respostas evocadas auditivas de estado estável (REAEE), que ocorrem quando o estímulo evoca respostas elétricas cujo componente de frequência se matem constante em amplitude e fase durante o tempo de estimulação⁷.

As REAEE são produzidas quando houver uma estimulação com uma velocidade suficientemente rápida para provocar a sobreposição das respostas elétricas. Sendo assim, após alguns estímulos os potenciais registrados assumem uma característica de ondas periódicas, na frequência de modulação^{7, 8}.

Os parâmetros principais para a análise das REAEE são a amplitude e a fase da resposta. Essas medidas são analisadas automaticamente pelo *software* do exame, por meio de testes estatísticos bem definidos, distribuição F e o T2, que determinam clara e objetivamente se uma resposta está ou não presente^{8, 9}.

O exame de PEAAE pode ser realizado utilizando-se várias frequências como estímulo, em ambas as orelhas, ao mesmo tempo¹⁰. O método consiste em modular a amplitude de cada frequência (estímulo portador) com uma frequência diferente (frequência de modulação) e apresentá-los simultaneamente. A resposta elétrica a cada um dos estímulos modulados pode ser avaliada independentemente, através da análise do componente espectral da resposta, correspondente à frequência na qual a portadora de cada estímulo foi modulada¹¹.

Estudos têm sido realizados com esta nova técnica, com o intuito de verificar as diversas possibilidades de estímulo e utilização clínica^{7,8,9,11,12,13,14,15}. Por ser um procedimento que avalia a resposta neural, vários aspectos que podem interferir no objetivo e no registro do exame de PEAAE, tais como: tipo e duração do estímulo, tipo de transdutor do estímulo, montagem dos eletrodos, filtros (passa - alta e passa-baixa), número de estímulos, números de estímulos apresentados por segundo, entre outros. Além dos parâmetros de registro, é importante a definição dos critérios de análise das respostas.

Dois tipos principais de estímulos têm sido utilizados na avaliação com o PEAAE, o tom puro e o ruído^{7,9,15}. Dentre estes, o de tom puro tem sido mais estudado, sendo descrito os protocolos de avaliação e características das respostas^{7,9,11,14}. Os estudos têm demonstrado que a avaliação com estímulos de tons puros fornecem especificidade de frequência, porém, as respostas são de amplitude reduzida e o tempo de realização de teste aumenta quando comparados a avaliação com o estímulo de ruído branco, o qual elicia respostas com amplitudes maiores e, portanto diminui o tempo de detecção das RAEE.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática do uso das Respostas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com o questionamento sobre quais os métodos de avaliação da audição poderiam ser realizados através dos exames de potencial evocado auditivo. Dentre os exames de PEA, o foco da revisão sistemática da literatura foi pesquisa de artigos que tratem da realização do exame do potencial evocado auditivo de estado estável utilizando ruído branco modulado em amplitude como estímulo, como um teste útil na avaliação audiológica.

A revisão sistemática da literatura foi realizada por três pesquisadores. Dois pesquisadores (FCMA e DGP) realizaram inicialmente buscas de forma independente e cega. Um terceiro pesquisador (OGL), revisor, foi consultado nos casos de discordância para estabelecer um consenso. Os critérios de coleta dos artigos foram padronizados e elaborados antes do início da busca. Um protocolo de pesquisa foi elaborado e seguido rigorosamente pelos pesquisadores, definindo as bases de dados a serem pesquisadas, os descritores e os critérios de inclusão dos artigos.

Os critérios de inclusão foram: (1) serem estudos realizados com seres humanos; (2) serem estudos que utilizaram a técnica de múltiplas estimulações auditivas (*Multiple Auditory Stead Response* - MASTER); e, (3) estudos que utilizaram o ruído branco como estímulo.

A busca dos artigos foi realizada no período entre dezembro de 2009 a abril de 2010. Não houve restrição quanto ao idioma, data da publicação ou desenho de estudo. Os descritores utilizados foram os seguintes: Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, Ruído Branco, no idioma inglês (*Auditory Steady State or Frequency following; White noise or broadband noise*). As referências dos artigos selecionados também foram verificadas para identificar outros estudos que pudessem ter sido omitidos na busca eletrônica.

Os descritores utilizados para a realização das buscas nos bancos de dados eletrônicos, bem como as suas combinações podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1: Descritores e expressões usadas para a busca nos bancos de dados eletrônicos e suas combinações.

D1 – (“Auditory Steady State” or “frequency following”)

D2 - ("White noise" or "broadband noise")

D1 e D2 - ("Auditory Steady State" or "frequency following") and ("White noise" or "broadband noise")

No Quadro 1 observamos os descritores e suas combinações, formando as expressões descritas nos itens D1, D2. Para a busca utilizamos a combinação entre as expressões do item D1 e D2, que combinou todas as expressões, reunindo os descritores para a obtenção dos artigos.

A estratégia de busca abrangeu mais de um portal e a várias bases de dados incluindo os não-publicados, como as bases de dados de teses e dissertações. Foram utilizados os portais da BIREME e PUBMED, e as bases de dados incluíram: Lilacs, Scielo, Medline, Biblioteca de teses da CAPES e Cochrane.

Todos os artigos obtidos na busca foram organizados em tabelas e avaliados quanto à condição de incluído ou excluído com base nos critérios de inclusão.

RESULTADO

Os resultados encontrados, para cada descritor e suas combinações, em cada banco de dados pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2: Resultado da pesquisa por descritor no portal da BIREME e PUBMED.

Descritores	BIREME	PUBMED
Auditory Steady State or frequency following	406	722
White noise or broadband noise	2703	3249
(Auditory Steady State or frequency following) and (White noise or broadband noise)	6	16

Como resultados iniciais obtiveram-se 22 artigos. Ao se comparar a relação dos artigos encontrados entre os bancos de dados, observou-se que havia três artigos em comum, sendo estes excluídos da lista do portal da PUBMED. Portanto, como resultados finais da busca obtiveram-se seis artigos no portal da BIREME e 13 artigos no portal da PUBMED, totalizando 19 artigos a serem analisados.

Os artigos encontrados foram analisados de acordo com os critérios de inclusão/exclusão, com o intuito de selecionar os que se enquadram no objetivo desta revisão sistemática. Dos artigos encontrados na busca do portal da BIREME, nenhum atendeu aos

critérios de inclusão desta pesquisa. O Quadro 3 mostra os artigos encontrados e o motivo de sua exclusão.

Quadro 3 – Artigos pesquisados no portal da BIREME e motivo de exclusão

Título do Artigo	Autor	Ano	Justificativa de Exclusão
Age-related changes in transient and oscillatory brain responses to auditory stimulation during early adolescence.	Poulsen C; Picton TW; Paus T	2009	Avaliação da maturação cerebral e desenvolvimento cognitivo.
Forecasting the growth of multicell tumour spheroids: implications for the dynamic growth of solid tumours.	Chignola R; Schenetti A; Andrighetto G; Chiesa E; Foroni R; Sartoris S; Tridente G; Liberati D	2000	Não avalia a audição.
Stochastic resonance in brain activity elicited by auditory stimuli.	Tanaka K; Nemoto I; Kawakatsu M; Uchikawa Y	2009	Não avalia a audição
Short-latency auditory responses obtained by cross correlation.	Dobie RA; Wilson MJ	1984	Estudo com animais. Uso do ruído branco como mascaramento
Identification and separation of acoustic frequency following responses (FFRS) in man.	Sohmer H; Pratt H	1977	Uso do estímulo <i>toneburst</i> e o ruído branco como mascaramento.
The auditory brain stem response in five vertebrate classes.	Corwin JT; Bullock TH; Schweitzer	1982	Estudo com animais. Técnica do <i>ABR</i> . Uso do ruído branco como mascaramento.

Dos artigos encontrados no portal da BIREME, observou-se que as publicações ocorreram entre os anos de 1982 e 2009. Os primeiros artigos publicados realizaram procedimentos de avaliação audiológica, em animais, com a utilização do estímulo de ruído branco com objetivo de mascaramento auditivo e não como estímulo principal da avaliação auditiva. Outras publicações mais recentes mostraram que os objetivos do exame se relacionavam a avaliação neurológica.

Na busca realizada no portal da PUBMED obteve-se 13 artigos, os quais também foram submetidos aos fatores de inclusão/exclusão (Quadro 4).

A busca no portal da PUBMED, apresentou publicações entre os anos de 1977 e 2009. Os primeiros artigos publicados realizaram procedimentos de avaliação audiológica em animais. Outros utilizaram o ruído branco com objetivo de mascaramento auditivo e não como estímulo principal da avaliação auditiva. Obtiveram-se também estudos que tiveram por objetivos a avaliação neurológica. Sendo observado que apenas um dos artigos encontrados atendeu aos critérios de inclusão desta pesquisa.

Quadro 4 - Artigos encontrados no portal da PUBMED e suas justificativas de exclusão

Título do Artigo	Autor	Ano	Justificativa de Exclusão
Effects of contralateral noise on 40-Hz and 80-Hz auditory steady-state responses	Maki A, Kawase T, Kobayashi T.	2009	Uso do ruído branco como mascaramento.
Resolving precise temporal processing properties of the auditory system using continuous stimuli.	Lalor EC, Power AJ, Reilly RB, Foxe JJ.	2009	Avalia processamento auditivo.
Stochastic resonance in auditory steady-state responses in a magnetoencephalogram.	Tanaka K, Kawakatsu M, Nemoto I.	2008	Avaliação neurológica.
Age-related changes in transient and oscillatory brain responses to auditory stimulation in healthy adults 19-45 years old.	Poulsen C, Picton TW, Paus T.	2007	Avalia maturação cerebral e desenvolvimento de linguagem.
Efficient stimuli for evoking auditory steady-state responses,	John MS, Dimitrijevic A, Picton TW	2003	_____
Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses.	Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P, Purcell DW, Adamonis J, Ostroff J, Nedzelski JM, Picton TW.	2002	Utiliza como estímulo frequência específica.
Forecasting the growth of multicell tumour spheroids: implications for the dynamic growth of solid tumours.	Chignola R, Schenetti A, Andrighetto G, Chiesa E, Foroni R, Sartoris S, Tridente G, Liberati D.	2000	Avaliação neurológica.
Human short-latency auditory responses obtained by cross-correlation.	Wilson MJ, Dobie RA.	1987	Utiliza estímulos de bandas de frequência (800 a 6000 Hz).
Short-latency auditory responses obtained by cross correlation.	Dobie RA, Wilson MJ.	1984	Estudo com animais. Utiliza ruído branco como mascaramento.
Frequency-following responses in the cat.	Mair IW, Laukli E.	1984	Estudo com animais. Utiliza ruído branco como mascaramento.
The 500 Hz frequency-following potential in kangaroo rat: an evaluation with noise masking.	Bledsoe SC Jr, Moushegian G.	1980	Estudo com animais. Utiliza ruído branco como mascaramento.
Far-field cochlear microphonic responses to continuous pure tones recorded from the scalps of cats.	Schwent VL, Jewett DL.	1980	Estudo com animais. Utiliza ruído branco como mascaramento.
Identification and separation of acoustic frequency following responses (FFRS) in man.	Sohmer H, Pratt H.	1977	Utiliza estímulo <i>toneburst</i> . Utiliza ruído branco como mascaramento.

Como resultado final da busca, foi selecionado o artigo: **Efficient stimuli for evoking auditory steady-state responses**, publicado em 2003, pelos autores: John MS, Dimitrijevic A, Picton TW. Este estudo teve como objetivo comparar a amplitude das respostas de estado estável para diferentes estímulos, considerando o tempo necessário de registro para que as respostas fossem significantes. Foram utilizados os seguintes estímulos: tom puro, ruído de banda larga e ruído de banda limitada, clique, breves tons e breve *noise-burst*. Os estímulos

foram modulados com frequências entre 75 e 100 Hz. A estimulação foi dicótica entre 30 e 50 dB NS. Foram avaliados adultos, em estado sonolento ou dormindo durante o registro. Foram observadas respostas para ruído maiores do que as respostas obtidas para tons puros. No que se refere ao tempo de registro, para a intensidade de 32 dB nNA, os testes com ruído foram entre 43 segundos e 2 minutos mais rápidos quando comparados aos registros obtidos com tons puro, que tiveram um tempo de registro médio de 2 minutos, com cerca de 25% dos exames sem detecção de respostas após 5 minutos. Para intensidades de 45 dB NAn, as respostas do exame do potencial evocado auditivo de estado estável, para cliques e estímulos transientes, foram maiores em amplitude do que as de ruído de banda larga. Quanto ao tempo de registro do teste, o estímulo transiente foi registrado com uma média de 20 segundos, sendo um pouco mais rápido que o ruído modulado. Os autores concluíram que os potenciais evocados auditivos de estado estável para ruído modulado em amplitude ou estímulo transiente podem ser utilizados na avaliação audiológica, tendo como vantagens a rapidez e objetividade nos procedimentos de coleta e análise dos registros.

DISCUSSÃO

Os procedimentos e as técnicas de avaliação auditiva têm se desenvolvido através dos anos. Há evidências de estudos do PEA, desde 1930. Porém, apenas a partir da década de 1970, com os estudos de Jewett e Williston é que estes potenciais começaram a ser utilizados com o objetivo de avaliação da integridade do sistema auditivo com vistas à detecção e diagnósticos de perdas auditivas³.

Dentre os exames de PEA, o mais utilizado na prática audiológica é o PEA de curta latência que avalia a integridade das vias auditivas até o tronco encefálico, conhecido como Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico (PEATE), descrito inicialmente por Jewett e Williston (1971)¹⁶. O PEATE tem sido o procedimento recomendado para estimar limiares auditivos em crianças e adultos que não podem ser testados pelas técnicas convencionais de audiometria¹⁷. Porém, outros estudos têm demonstrado o potencial clínico do exame do potencial evocado auditivo de estado estável^{9,10,11,12,13,14,15}.

Isso porque o exame do PEAE pode evocar respostas de várias estruturas do sistema auditivo, dependendo da frequência de modulação utilizado. Os primeiros PEAE foram

descritos por Galambos, em 1981, utilizando estímulos com modulação em 40 Hz, sendo estes potenciais de média latência¹⁸. Um estudo realizado demonstrou que frequências mais baixas do que 40 Hz podem evocar respostas semelhantes às encontradas no exame do PEAE de longa latência¹⁹. Entretanto, estes potenciais não puderam ser utilizados na prática clínica, pois suas respostas não são bem reproduzidas em neonatos e lactantes³, provavelmente por questões maturacionais. Além disso, esses potenciais são influenciados pelo sono.

Estudos demonstraram que, por meio da técnica de modulação de um estímulo, é possível avaliar várias estruturas do sistema auditivo mais periférico^{4,20}. A utilização de estímulos modulados com frequências entre 80 e 110 Hz evocam potenciais relacionados aos neurônios do oitavo nervo craniano, incluindo o núcleo coclear, o colículo inferior e o córtex auditivo^{4,8,15,20}. Essas estruturas são avaliadas por meio do PEATE, cuja aplicação clínica é amplamente descrita, por permitir a estimativa de limiares auditivos. Nesses casos, o estímulo portador da modulação pode variar desde um tom puro a um ruído. O que determinará o tipo de estímulo utilizado é o objetivo do teste.

Nos exames convencionais de PEA, a utilização do ruído branco como estímulo tem sido associada à avaliação por meio dos cliques, pois ambos os estímulos têm um espectro de frequência abrangente, ou seja, não são específicos quanto à frequência⁹.

O ruído branco foi descrito como um estímulo que possui um espectro de frequência predominantemente retangular, entre os seus limites, podendo ser criado com filtros de banda de 1 a 8000 Hz. Relatam ainda que o espectro do estímulo possa ser influenciado pelo tipo de transdutor utilizado, pois quando se utiliza os fones de inserção, estes funcionam como um filtro, pois seu transdutor passa energia até aproximadamente 4500 Hz, diminuindo gradativamente a energia em frequências acima de 4500 Hz¹⁵.

Estudos demonstram que as respostas elétricas obtidas por meio do estímulo de ruído branco apresentam uma amplitude maior quando comparada à estimulação de estímulos de tons puros^{7,9,15}.

Foi demonstrado que as respostas evocadas por uma estimulação com ruído branco modulado em amplitude, foram duas vezes maiores quando comparadas às respostas evocadas por um tom puro de 1000 Hz⁷.

Devido sua característica espectral e a amplitude das respostas evocadas por meio do estímulo de ruído branco, este tem sido sugerido como um instrumento de triagem auditiva, como o mesmo direcionamento do PEATE com estímulo clique⁹.

Não foi observado estudo que tivesse objetivo de pesquisas de limiares eletrofisiológicos com o PEAE por ruído branco. O estudo que pesquisou o efeito do estímulo nas REAE concluiu que em intensidades entre 30 e 50 dB NS é possível obter respostas de estado estável para estímulo de ruído branco modulado em amplitude¹⁵.

Quanto ao tempo realização do exame observou-se na literatura uma média de 43 segundos para ruídos modulados em amplitude, 2 minutos para estímulos de tom puro e 20 segundos para cliques e outros estímulos transientes¹⁵. Sabendo que a estimulação foi bilateral para o estímulo tom puro e transiente, o tempo total para a obtenção de respostas dobra. Observando o tempo gasto com a utilização do estímulo ruído modulado em amplitude, que apresenta estimulação simultânea, pode-se afirmar que este procedimento configura-se um teste rápido.

Comparando-se o procedimento clínico atualmente utilizado (PEATE) com o tempo de realização do exame de PEAE pode-se afirmar que ele supera a rapidez de avaliação, uma vez que no PEATE a avaliação é feita em cada orelha separadamente e só possibilita a estimulação com um estímulo.

Os estudos apresentados levam ao questionamento da possibilidade de utilização do exame do PEAE com ruído branco modulado em amplitude como possível estímulo para triagem e diagnóstico auditivos. Sabe-se que a avaliação audiológica, visa à caracterização da função auditiva, principalmente no que se refere a limiares auditivos, pois estes são os que norteiam os procedimentos de intervenção auditiva, quando necessário. A determinação dos limiares eletrofisiológicos direciona o tipo de intervenção.

O PEAE é caracterizado por evocar REAE. Estas respostas são analisadas de forma diferente a habitualmente utilizada com os outros exames de PEA. No exame de PEATE, as respostas são analisadas no domínio do tempo, ou seja, o principal parâmetro de análise da resposta do PEATE é a medida de latência absoluta da onda e medida do tempo do intervalo inter-picos²¹.

No exame de PEAE, as REAE se caracterizam por amplitude e frequência constantes durante a estimulação, o que dificulta a identificação da resposta em relação ao

ruído se esta for analisada no domínio do tempo. A REAEE é evocada por um estímulo portador modulado, o qual gera a resposta na frequência de modulação do estímulo. Há uma técnica de transformação da resposta do domínio do tempo para o domínio da frequência, o que possibilita a análise da REAEE em relação ao ruído, uma vez que a REST terá frequência de resposta específica e o ruído aparecerá disperso no espectro de análise⁵. Os registros obtidos são transformados para o domínio da frequência, através da Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* - FFT)^{5,11}.

O registro consiste em uma série de números complexos que representam a amplitude da resposta em uma série de pontos no tempo. Esses dados são representados em um vetor bidimensional em coordenadas cartesianas X e Y, que são transformadas em coordenadas polares de amplitude (que é o comprimento do vetor) e fase (que significa a rotação do vetor em torno de sua origem).

No domínio do tempo, essas respostas são difíceis de separar do ruído, apenas observando os registros das ondas. Entretanto, no domínio da frequência, é fácil identificá-las, pois a resposta a cada tom ocorre precisamente na frequência em que este foi modulado, enquanto que o ruído é distribuído amplamente no espectro das frequências. A presença da resposta é analisada através de dois testes estatísticos, a distribuição de F e o teste T², eliminando a subjetividade na análise das respostas.

Há relato da possibilidade de registro das RAEE para estímulo de ruído branco modulado em amplitude¹⁵. Porém, não há descrição das características das respostas quanto à amplitude e fase, e nem correlação destas variáveis quanto à intensidade, na busca de limiares auditivos eletrofisiológicos. O estudo relata que quanto à amplitude observou-se uma média de 90 nV¹⁵. A fase da RAEE se relaciona com a latência da respostas. Sendo assim, é possível estimar a latência aparente utilizando a informação da fase⁸.

Para os procedimentos de triagem auditiva, estudos devem ser realizados para que sejam determinados limiares eletrofisiológicos de corte, configurando o critério de passa e falha. Para a avaliação audiológica, por meio do PEAEE, além do entendimento sobre o tipo de estímulo utilizado e tipo de modulação do estímulo, é necessária a descrição dos parâmetros utilizados para a obtenção dos registros, pois, como todos os PEA, eles podem sofrer influências de questões sobre o protocolo utilizado para a obtenção dos PEAEE.

Observa-se que há uma escassez de literatura sobre este assunto, principalmente para o uso do estímulo de ruído branco na aplicação clínica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo foi possível observar que o exame do PEAAE tem sido sugerido como procedimento de avaliação audiológica e que o estímulo de ruído branco evoca respostas de estado estável, com amplitudes consistentes, sendo este estímulo recomendado principalmente para a triagem auditiva.

Observou-se também que não há protocolo determinado para o uso do ruído branco para a avaliação audiológica. Há apenas a sugestão do uso de modulação em amplitude em frequências entre 75 e 100 Hz.

Conclui-se então que há necessidade de estudos que descrevam as respostas de estado estável para ruído branco, bem como da proposta de protocolos de avaliação que permitam a determinação de critérios de passa e falha para a triagem auditiva e critérios para diagnóstico audiológico, dados necessários para sua inclusão na rotina clínica de avaliação audiológica.

REFERÊNCIAS

1. Sininger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.
2. Joint Committee on Infant Hearing. Position Statement: Principles and Guidelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. *Revista Pediatrics, Califórnia*. 2007; 120(6):897-922.
3. Hood LJ. Clinical applications of the auditory brainstem responses. San Diego – London: singular publishing group INC, 1998.
4. Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapellls, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses. *Brain Topograpy*. 2002; 15(2):69-86.
5. Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Revista Electroencephalography and Clinical Neurology*. 1995; 96(5): 420-432.

6. Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear.* 2007; 28:542-557.
7. John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. *Audiology.* 1998; 37:59-82.
8. Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiologi.* 2001; 112:1698-1711.
9. Picton, T.W.; John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Purcell, D. Human auditory steady-state responses. *International Journal of Audiology.* 2003; 42:177-219.
10. Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. *Ear & Hearing.* 1996; 17(2): 81-96.
11. Lins, O.G. Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.
12. John, M.S.; Picton, T.W. MASTER: a windows program for recording multiple auditory steady-state responses. *Comput Methods Programs Biomed.* 2000a; 61:125-150.
13. John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res.* 2000b;141:57-79.
14. Picton, T.W.; Roon, P.V.; John, M.S. Multiple auditory steady state responses (80-101 Hz): effects of ear, gender, handedness and modulation rate. *Ear & Hearing.* 2009;30(1):100-9.
15. John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. *Ear & Hearing.* 2003;24(5):406-423.
16. Jewett DL, Williston JS. Auditory evoked far fields average from the scalp of humans. *Brain* 1971, 4:681-96.
17. Stapells DR, Oates P. Estimation of the pure-tone audiogram by the auditory brainstem response: a review. *Audiol neurotol* 1997; 2:257-280.
18. GALAMBOS, R.; MAKEIG, S.; TALMACHOFF, P.J.: A 40 Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 1981; 78: 2643-2647.
19. Maiste, A.; Picton T. Human auditory evoked potentials to frequency-modulated tones. *Ear Hear.* 1989;10:153-160.

20. Sinninger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. *In*: KATZ, J.: Handbook of clinical audiology. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins, 298-322, 2002.
21. Stapells DR. Frequency-specific evoked potential audiometry in infants. A Sound Foundation Through Early Amplification: Proceedings of an International Conference. Phonak, 2000.

Este estudo tem por objetivo caracterizar as respostas auditivas de estado estável com estimulação de ruído branco modulado em amplitude.

Os sujeitos selecionados foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e assinaram o termo de consentimento a ela referente (ANEXO I).

3.1 Ética

O projeto de pesquisa foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco e aprovado sob o protocolo nº 050/09 (ANEXO II).

3.2 Local

Os exames foram realizados nos ambulatórios de audiometria, do Departamento de Fonoaudiologia da UFPE, e no ambulatório de neurologia do Hospital das Clínicas da UFPE (HC – UFPE), onde houve agendamento dos exames de acordo com a disponibilidade de horários da clínica e dos pacientes contatados.

3.3.Casuística

Participaram desta pesquisa sujeitos convidados e provenientes dos ambulatórios de audiologia e neurologia do Hospital das Clínicas da UFPE.

O grupo pesquisado foi composto de vinte e dois adultos, 11 do gênero feminino e 11 do gênero masculino, com idades entre 18 e 34 anos, sem queixas auditivas, convidados de forma particular. Os sujeitos foram submetidos à audiometria tonal e vocal e imitanciometria, para avaliar a audição. Após esta avaliação inicial foram analisados de acordo com os critérios de inclusão determinados para este estudo. Os pacientes selecionados realizaram o PEAEE.

Os critérios de inclusão foram:

- a) Não apresentar queixas de alterações de orelha externa e/ou média;
- b) Não apresentar impedimento para realização dos exames, como por exemplo: secreções, cerume, corpo estranho;
- c) Apresentar respostas dentro do padrão de normalidade na audiometria tonal e vocal.
- d) Apresentar timpanometria com curva tipo “A” e reflexos acústicos presentes dentro do padrão de normalidade.

3.4 Procedimentos

Houve flexibilidade quanto à ordem de realização dos procedimentos, porém todos foram realizados no mesmo dia de avaliação.

Os procedimentos realizados foram:

1) Timpanometria:

Foi introduzida uma sonda na orelha do indivíduo, por meio da qual se aplicou uma pressão variando de + 200daPa a – 200daPA (de forma decrescente) e um som contínuo de 1000 Hz, possibilitando a captação do deslocamento da membrana timpânica, o que possibilitou a obtenção do tipo de curva timpanométrica, demonstrando a integridade da orelha média e a adequação da transmissão da onda sonora da orelha externa à orelha interna.

Foi considerado como padrão de normalidade a curva tipo A.

2) Audiometria Tonal e Vocal

O paciente foi levado à sala de avaliação onde foi realizada a meatoscopia. Posteriormente foi colocado dentro de uma cabina acústica, para a realização do exame.

Foram utilizados os fones supra-aurais TDH39 e o vibrador ósseo, como transdutores dos estímulos de tons puros avaliados. Antes de iniciar o teste o sujeito foi instruído a levantar a mão todas as vezes que ouvisse o estímulo acústico.

Foram testadas as freqüência de 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000 Hz pela via aérea.

Iniciava-se o teste com intensidade por volta de 40 dB NA, sendo diminuída esta intensidade de 10 em 10 dB até o paciente parasse de responder, em seguida aumentava-se de 5 dB, variando para determinar o limiar auditivo em cada freqüência.

Foram considerados como limiares normais os que apresentavam intensidades menores do que 20 dB NA.

Foi realizado o Limiar de reconhecimento de fala (LRF). Tendo uma intensidade inicial de 40 dB NS, sendo diminuída de 10 em 10 dB até que o sujeito não respondesse 50% das palavras apresentadas, aumentando de 5 dB para determinar o LRF.

Posteriormente testou-se o Índice Percentual de Reconhecimento de Fala (IPRF), sendo realizado a uma intensidade de 40 dB NS, na qual foi apresentada uma lista de 25 monossílabos, para cada orelha separadamente. Foram consideradas respostas normais quando se obteve um IPRF maior ou igual a 88%.

3) Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável

O exame foi realizado dentro de uma sala silenciosa, com iluminação diminuída para favorecer o relaxamento do paciente, sendo estes acomodados em uma maca. Todos foram avaliados quando se encontravam quietos ou em sono natural. Todos os exames foram realizados numa mesma sessão, não sendo necessária remarcação ou re-teste.

O protocolo de avaliação utilizado tanto para registro das REAEE como da pesquisa dos limiares eletrofisiológicos seguiram os padrões descritos abaixo.

Estímulo

Foi utilizado o ruído branco, retangular, com filtros passa-alta de 1 Hz e passa-baixa de 8000 Hz (ver Figura 1), modulado 100% em amplitude com 85 Hz, na orelha esquerda, e 95 Hz, na orelha direita. Optou-se pela modulação simples em amplitude, uma vez que a utilização da modulação simples (*Amplitude Modulated* - AM) tem demonstrado um registro das amplitudes maiores do que quando utilizado a modulação combinada (FM e AM) (John, Dimitrijevic e Picton, 2003).

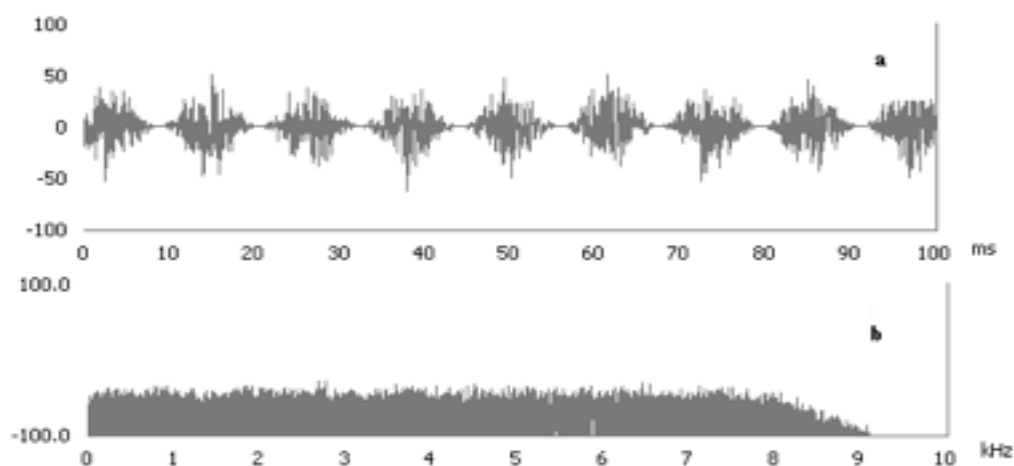


Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).

Produção do Estímulo

Os estímulos foram produzidos digitalmente e convertidos para a forma analógica. O conversor digital-analógico (DA) foi dirigido pelo mesmo *clock* que o conversor analógico-digital (AD). A frequência de conversão DA foi de 32000 Hz, exatamente 32 vezes a frequência de conversão AD. O sinal analógico foi amplificado e filtrado (passa - alta em 70 Hz e passa-baixa em 110 Hz).

Apresentação do Estímulo

O estímulo foi apresentado por meio dos fones de inserção ER3A. Este tipo de transdutor, devido suas características eletroacústicas, funciona como filtro, fazendo com que haja atenuação gradativa para as frequências acima de 4500 Hz.

Eletrodos

Os eletrodos foram montados de forma ao eletrodo ativo ser colocado no vértex (C_z), eletrodo de referencia ser colocado na mastóide da orelha direita (M_2) e o eletrodo terra, na mastóide da orelha esquerda (M_1). A impedância dos eletrodos não ultrapassou 2 K Ω e entre os eletrodos de 5 K Ω ; para tanto, foi realizada uma limpeza da superfície com uma pasta abrasiva e álcool, gaze e uma pasta eletrolítica onde foram colados os eletrodos.

Amplificadores e filtros

Os registros foram amplificados (10 000 vezes), filtrados (passa-baixas: 1 Hz, passa - alta: 300 Hz, 6 dB/oitava) e digitalizado 679 Hz, exatamente 1/32 a frequência de digitalização da conversão DA. Esta relação exata entre a frequência de conversão AD e da conversão DA é fundamental, pois permite o uso da Transformada Rápida de Fourier (FFT) de altíssima resolução para melhorar a relação sinal ruído (Lins, 2002)

Rejeição de artefatos e promediação

A unidade básica de registro foi a varredura. Cada varredura durou 12 segundos (8182 pontos de digitalização), sendo dividida em 16 sessões de 750 ms (512 pontos). Para permitir que uma sessão contendo artefatos pudesse ser rejeitada sem a perda de toda a varredura as frequências de modulação foram escolhidas de modo que cada sessão contivesse sempre um número inteiro de ciclos de modulação. Isto permite que sessões descontínuas possam ser articuladas em sequência sem perda de continuidade da varredura. Uma sessão foi rejeitada quando contivesse qualquer potencial maior que 80 μV .

Várias varreduras foram promediadas para melhorar a relação sinal-ruído. O número de varreduras máximo utilizado foi de 48.

Transformação da resposta de estado estável para o domínio da frequência

Os registros foram transformados para o domínio da frequência por um FFT (Figura 2). O registro digitalizado consiste em uma série de números representando a amplitude da resposta em uma série de pontos no tempo. Um registro digital no domínio da frequência consiste em uma série de números complexos representando os componentes espectrais em uma série de pontos no espectro de frequência. Os componentes espectrais são representados por números complexos porque são vetores bidimensionais. Um número complexo possui duas partes, chamada de real e imaginária, representando as projeções do vetor em coordenadas cartesianas X e Y. Normalmente estas coordenadas X e Y são transformadas em coordenadas polares representativas da amplitude (comprimento do vetor) e fase (rotação do vetor em torno da origem (Lins, 2002)). Sendo assim a amplitude e a fase são calculadas a partir das informações de X e Y:

- Amplitude = $\sqrt{X^2 + Y^2}$
- Fase = $\arctan(Y/X)$

Detecção da Resposta

A resposta auditiva de estado estável foi analisada em relação à amplitude e à fase da respostas. A presença ou ausência de uma resposta foi decidida por duas técnicas estatísticas, a distribuição F e o teste T^2 .

A distribuição F avalia se a amplitude da resposta (obtida na frequência de modulação do estímulo) é significativamente maior do que a amplitude do espectro de frequência do ruído (Wei, 1990) (ver Figura 2).

O teste T^2 avalia se a resposta é replicável. Após a realização do FFT de cada sessão de análise é obtido 16 pares de componentes ortogonais X e Y, os quais são utilizados para calcular o limite de confiança bidimensional a 95% da média. Uma resposta é considerada presente se a origem (o zero) não estiver nos limites de confiança.

Além das análises estatísticas utilizadas, optou-se por incluir a permanência da resposta por dois *sweeps* consecutivos, como critério de presença da resposta. O máximo de sweeps utilizados durante o teste foram 48, sendo este o período máximo para o registro da resposta.

Estratégia para registro das RAEE

Para tanto, foram apresentados os estímulos de ruído branco modulado em amplitudes com intensidades entre 80 e 10 dB peNPS (esta última, a menor intensidade do equipamento). As respostas foram consideradas presente quando a análise das distribuições F e dos testes T^2 foi significativa (para um $p > 0,05$) e com estabilidade dessas respostas durante dois *sweeps* consecutivos.

Estratégia para obtenção dos limiares eletrofisiológicos

Para tanto, foram apresentados, nos indivíduos com audição normal, os estímulos de ruído branco modulado em amplitudes com intensidades entre 80 e 10 dB peNPS (esta última, a menor intensidade do equipamento). As respostas foram consideradas presente quando a

análise das distribuições F e dos testes T^2 foi significativa (para um $p > 0,05$) e com estabilidade dessas respostas durante dois *sweeps* consecutivos.

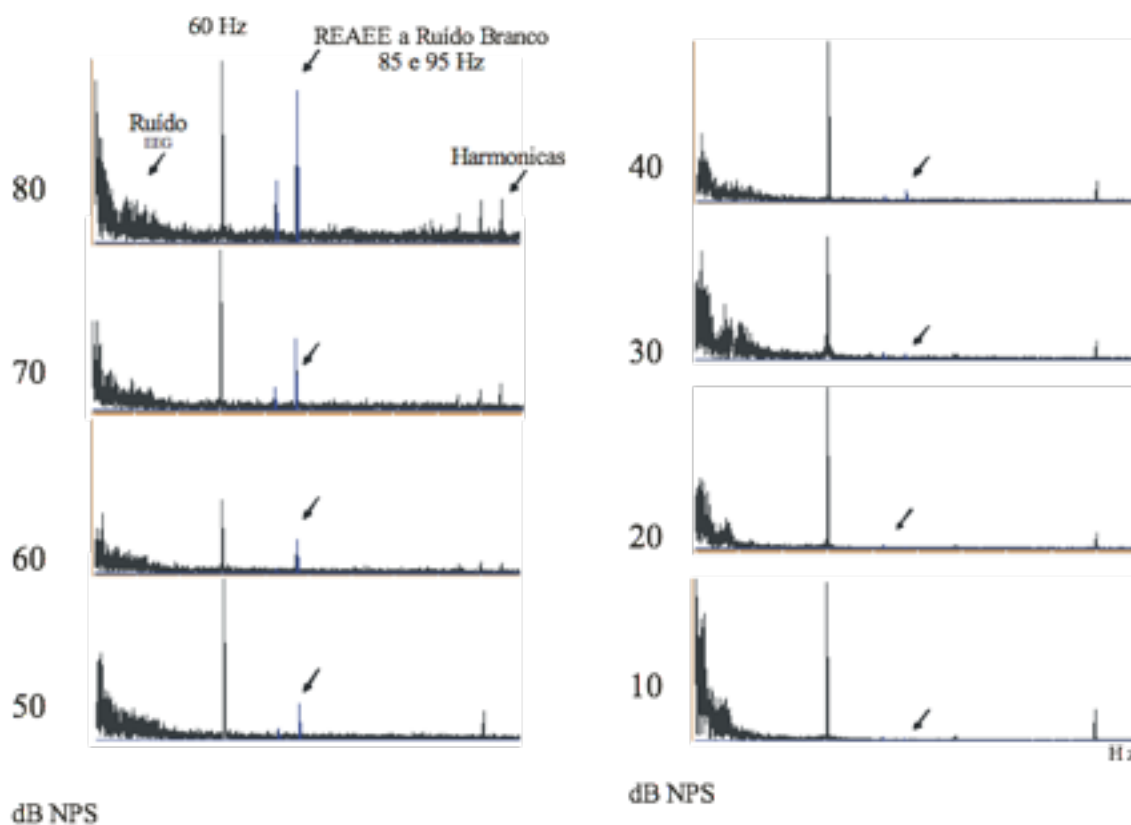


Figura 2 – FFT das respostas de estado estável e do ruído para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para a orelha esquerda e direita, respectivamente, nas diversas intensidades.

3.5 Material

Otoscópio Mini-Heine 2000;

Audiômetro – Áudio teste 227

Imitanciômetro – AZ7

PEAEE – MASTER Biologic

3.6 Análise Estatística

A significância estatística das diferenças foi avaliada através do teste t de Student e análises de variância de medidas repetidas com ajuste de Greehouse-Geiser para os graus de liberdade. As comparações post-hoc foram feitas através do teste de Tukey HSD. Uma diferença foi considerada significativa quando o $p < 0,05$.

Foi utilizada também os cálculos de médias e desvios padrões, médias vetoriais e desvio padrão circular (Picton et al, 2001).

ARTIGO ORIGINAL

Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude

Auditory Steady State Response to Amplitude Modulated White Noise

Autores:

Araújo, F.C.M.; Griz, S.M.S; Lins, O.G.

Detalhamento dos Autores:

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo, Fonoaudióloga, Doutoranda em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento pela Universidade Federal de Pernambuco.

Otávio Gomes Lins, Médico, Doutor em Medicina (Neurologia), Professor Adjunto do Departamento de Neuropsiquiatria da Universidade Federal de Pernambuco.

Silvana Maria Sobral Griz, Fonoaudióloga, Doutora em Psicologia Cognitiva, Professora Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço para correspondência:

Rua Teles Junior, N. 33, apartamento: 1002, Aflitos. Recife-PE. CEP: 52050-040

Endereço eletrônico:

fabiana_fono@yahoo.com.br

RESUMO

Introdução: As Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude vem sendo estudado como método de avaliação auditiva, entretanto, não há parâmetros bem definidos e a literatura é escassa. **Objetivo:** Descrever os achados das respostas evocadas auditivas de estado estável a ruído branco modulado em amplitude em adultos com audição normal. **Método:** Foram avaliados 22 sujeitos, com audição normal, entre 18 e 24 anos, sendo 11 do gênero masculino. Todos foram avaliados pelo Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, com o estímulo de ruído branco modulado em amplitude de 85 e 95 Hz para as orelhas esquerda e direita respectivamente, variando-se a intensidade do estímulo entre 80 e 10 dB peNPS. **Resultados:** Foram registradas Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável em todos os indivíduos. Observou-se também que as respostas diminuíram com a diminuição da intensidade, sendo observada diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as amplitudes das respostas e do ruído até a intensidade de 30 dB peNPS. O tempo de registro significativo das respostas aumentaram com a diminuição da intensidade. **Conclusões:** Por meio deste estudo foi possível concluir que as respostas evocadas auditivas de estado estável a ruído branco modulado em amplitude possuem características próprias que as fazem promissoras para a realização da avaliação audiológica, em especial na triagem auditiva.

Palavras-chave: Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável, Audição Normal, Perda Auditiva, Ruído Branco

ABSTRACT

Introduction: Auditory steady-state Responses (ASSR) to white noise modulated in amplitude has been studied as a method to assess hearing, however, there is no well defined parameters and the literature is scarce. **Objective:** To describe the findings of the responses ASSR white noise modulated in amplitude in adults with normal hearing. **Methods:** We studied 22 subjects with normal hearing between 18 and 24 years. All were assessed by the Auditory Evoked Potential Steady State, with the stimuli of white noise modulated in amplitude at 85 and 95 Hz for the left and right ears respectively, varying the stimulus intensity between 100 and 10 dB SPL. **Results:** We recorded responses evoked auditory steady state in all subjects, and the amplitude of the responses were greater at all intensities in individuals with normal hearing. It was also noted that the responses decreased with the decrease in intensity and the time of registration of the responses were significantly higher in lower intensities and for individuals with hearing loss. **Conclusions:** In this study it was concluded that the responses evoked auditory steady-state white noise modulated in amplitude have characteristics that make them promising for the audiological evaluation, especially in the hearing screening.

Key-words: Evoked Auditory Steady State, Evoked Response Auditory Steady State, Normal Hearing, Hearing Loss, Noise White, electrophysiologic threshold.

INTRODUÇÃO

A avaliação da audição tenha sido objeto de vários estudos, pois alteração da função auditiva pode causar consequências importantes para o indivíduo, uma vez que este sentido humano está relacionada diretamente com a comunicação oral e desenvolve um papel determinante no desenvolvimento cognitivo, de linguagem oral, psico-social e educacional (Sininger, 2003; JCIH2007).

Existem diversos métodos de avaliação auditiva, dentre estes se destacam os exames dos Potenciais Evocados Auditivos (PEA). Os exames de PEA avalia a integridade da do sistema auditivo e possibilita estimar o limiar auditivo. Além disso, caracteriza-se por ser uma técnica simples, não invasiva, de alta sensibilidade, baixa variabilidade e alta reprodutibilidade de respostas (Hood, 1998, Araújo et al., 2004; Lourenço et al. 2008).

O objetivo da avaliação auditiva é a identificação e a caracterização da perda auditiva (diagnóstico), o mais cedo possível, para possibilitar uma intervenção antes dos 6 meses de idade, buscando assim maximizar o desenvolvimento das habilidades auditivas, de fala e linguagem (JCIH, 2007; Sininger, 2003). Sendo assim, quanto mais precisas forem às informações quanto à caracterização da perda auditiva em relação à frequência e limiar auditivo, maiores serão as possibilidades de intervenção adequada.

Com o intuito de aperfeiçoar a avaliação auditiva, com o auxílio de exames eletrofisiológicos que permitam obtenção de respostas de limiares a diversos tipos estímulos, vem sendo estudado e descrito o Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável (PEAEE).

Os PEAEE são potenciais que avaliam a neurofisiologia do sistema auditivo, por meio de uma estimulação acústica com altos ritmos de apresentação. O estímulo deve ser modulado em amplitude e dependendo da frequência de modulação, pode se avaliar estruturas diferentes do sistema nervoso auditivo (Herdman *et al.*, 2002). Desta forma, o espectro do estímulo será acusticamente composto pela frequência do estímulo principal (estímulo portador) e por duas frequências, adjacentes à principal, decorrentes da influência da frequência de modulação. Por exemplo, ao utilizar um tom puro de 1000 Hz modulado em 100 Hz, tem-se um estímulo de espectro de frequência composto por 900, 1000 e 1100 Hz (Lins; Picton, 1995a; Lins; Picton, 1995b; Picton, van Roon, John, 2007).

Os PEAEE ocorrem quando um estímulo repetitivo evoca respostas de ondas elétricas cujo componente de frequência se matem constante em amplitude e fase durante o tempo de

estimulação, denominadas respostas são as respostas auditivas de estado estável (RAEE) (Jonh *et al.*, 1997; Picton *et al.*, 2001).

As RAEE são produzidas quando houver uma estimulação numa velocidade suficientemente rápida que provoca a sobreposição da respostas elétricas. Após alguns estímulos, os potenciais registrados assumem uma característica de ondas periódicas, na frequência de modulação (Jonh *et al.*, 1998; Picton *et al.*, 2001).

Os parâmetros principais para a análise das RAEE são a amplitude e a fase da resposta, na frequência de estimulação, analisadas automaticamente pelo *software* do equipamento, através de técnicas estatísticas bem definidas (distribuição F e o teste T^2), que determinam clara e objetivamente se uma resposta está ou não presente (Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007).

As RAEE podem ser obtidas em várias frequências em ambas as orelhas ao mesmo tempo (Lins *et al.*, 1996; Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007; Picton, van Roon, John, 2009). O método consiste em modular em amplitude e/ou frequência cada estímulo com uma frequência diferente e apresentá-los simultaneamente. A resposta a cada um deles pode ser avaliada independentemente, analisando-se o componente espectral correspondente à frequência na qual a portadora de cada estímulo foi modulada (Lins, 2002).

Dois tipos principais de estímulos têm sido utilizados na avaliação com as RAEE, o tom puro e o ruído. Dentre estes estímulos, o de tom puro tem sido mais estudado, sendo descrito os protocolos de avaliação e características de suas respostas (Lins *et al.*, 1996; John, Picton, 2000b; Sinninger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Dependendo do estímulo e do protocolo utilizado, as RAEE podem ser utilizadas com o objetivo de detecção e/ou diagnóstico da perda auditiva. Segundo John, Dimitrijevic e Picton (2003), em alguns casos, a utilização de estímulos que aumentem a amplitude de resposta é mais significativa do que a realização do exame com outros estímulos que permitam uma maior especificidade de frequência, como por exemplo, nos casos de triagem auditiva. Esses autores indicam a realização do exame da RAEE utilizando estímulos de banda larga, pois estes apresentam respostas de amplitudes maiores quando comparado a outros estímulos.

Em revisão de literatura na área, não foram encontrados estudos clínicos que utilizassem o PEAE por ruído branco com o objetivo de diagnóstico auditivo ou triagem

auditiva, não sendo encontrados critérios e nem parâmetros quanto a análise das RAEE a ruído branco que possam nortear sua inclusão na rotina clínica de avaliação audiológica.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo descrever os achados das respostas auditivas de estado estável a ruído branco modulado em amplitude em adultos com audição normal.

MÉTODOS

Participaram deste estudo 22 indivíduos adultos, com audição normal, sendo 11 do gênero feminino e 11 do gênero masculino, com idade entre 18 e 34 anos.

Audiometria tonal

Os limiares auditivos foram obtidos usando a técnica descendente, diminuindo a intensidade de 10 dB e aumentando em 5 dB para determinação dos limiares. Considerou-se o limiar auditivo a menos intensidade na qual o indivíduo respondeu 50% dos estímulos apresentados. Este procedimento estima o limiar com intervalo de confiança de 5 dB.

Foi utilizado o audiômetro Audio test 227, com fones supra-aurais TDH39 e o vibrador ósseo B-71. Avaliaram-se as frequências de 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000 Hz, na via aérea, e 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz, na via óssea. Foram considerados como limiares auditivos normais os que apresentavam intensidades menores ou iguais a 20 dB NA (Hood, 1998; Hall, 1992).

Obtenção das RAEE

Estímulo

Foi utilizado o ruído branco, retangular, com filtros passa-alto de 1 Hz e passa-baixo de 8000 Hz (ver Figura 1), modulado 100% em amplitude com 85 Hz, na orelha esquerda, e 95 Hz, na orelha direita. Optou-se pela modulação simples em amplitude, uma vez que a utilização da modulação simples (*Amplitude Modulated* - AM) tem demonstrado um registro

das amplitudes maiores do que quando utilizado a modulação combinada (FM e AM) (John, Dimitrijevic e Picton, 2003).

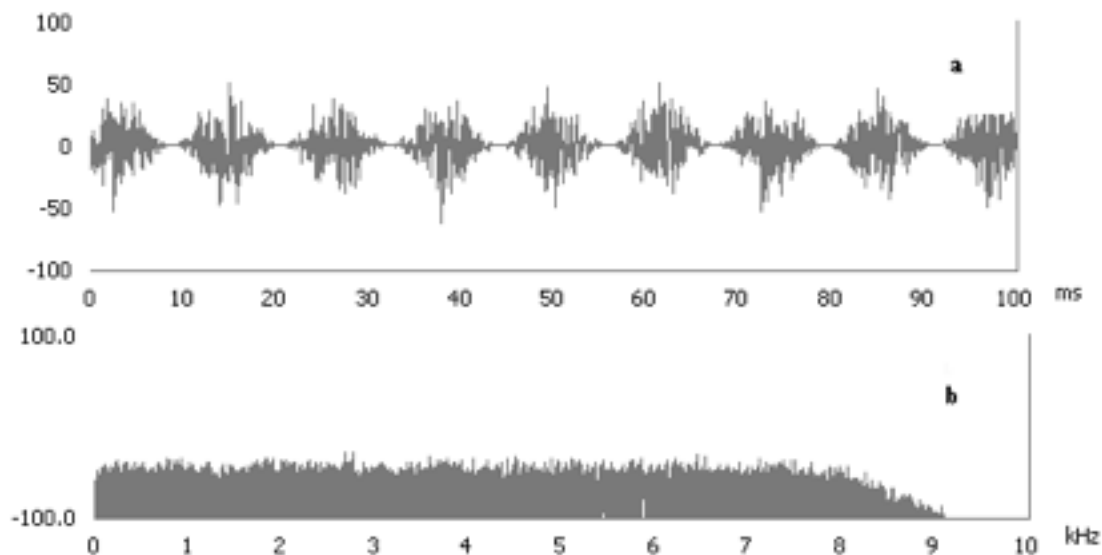


Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).

Apresentação do Estímulo

O estímulo foi apresentado por meio dos fones de inserção ER3A. Este tipo de transdutor, devido suas características eletroacústicas, funciona como filtro, fazendo com que haja atenuação gradativa para frequências acima de 4500 Hz.

Produção do Estímulo

Os estímulos foram produzidos digitalmente e convertidos para a forma analógica. O conversor digital-analógico (DA) foi dirigido pelo mesmo *clock* que o conversor analógico-digital (AD). A frequência de conversão DA foi de 32000 Hz, exatamente 32 vezes a frequência de conversão AD. O sinal analógico foi amplificado e filtrado (passa-alto em 70 Hz e passa-baixo em 110 Hz).

Eletrodos

Os eletrodos foram montados de forma ao eletrodo ativo ser colocado no vértex (C_z), eletrodo de referencia ser colocado na mastóide da orelha direita (M_2) e o eletrodo terra, na mastóide da orelha esquerda (M_1). A impedância dos eletrodos não ultrapassou 2 K Ω e entre os eletrodos de 5 K Ω ; para tanto, foi realizada uma limpeza da superfície com uma pasta abrasiva e álcool, gaze e uma pasta eletrolítica onde foram colados os eletrodos.

Deteccção da Respostas

A resposta auditiva de estado estável foi analisada em relação à amplitude e à fase da respostas. A presença ou ausência de uma resposta foi decidida por duas técnicas estatísticas, a distribuição F e o teste T^2 . A distribuição F avalia se a amplitude da resposta (obtida na frequência de modulação do estímulo) é significativamente maior do que a amplitude do espectro de frequência do ruído (Wei, 1990) (ver Figura 2).

O teste T^2 avalia se a resposta é replicável. Após a realização do FFT de cada sessão de análise é obtido 16 pares de componentes ortogonais X e Y, os quais são utilizados para calcular o limite de confiança bidimensional a 95% da média. Uma resposta é considerada presente se a origem (o zero) não estiver nos limites de confiança.

Além das análises estatísticas utilizadas, optou-se por incluir a permanência da resposta por dois *sweeps* consecutivos, como critério de presença da resposta. O máximo de sweeps utilizados durante o teste foram 48, sendo este o período máximo para o registro da resposta.

Estratégia para obtenção das REAEE

Para tanto, foram apresentados os estímulos de ruído branco modulado em amplitudes com intensidades entre 80 e 10 dB peNPS (esta última, a menor intensidade do equipamento). As respostas foram consideradas presente quando a análise das distribuições F e dos testes T^2

foi significativa (para um $p < 0,05$) e com estabilidade dessas respostas durante dois *sweeps* consecutivos.

Análise Estatística

A significância estatística das diferenças foi avaliada através do teste t de Student e análises de variância de medidas repetidas com ajuste de Greehouse-Geiser para os graus de liberdade. As comparações post-hoc foram feitas através do teste de Tukey HSD. Uma diferença foi considerada significativa quando o $p < 0,05$.

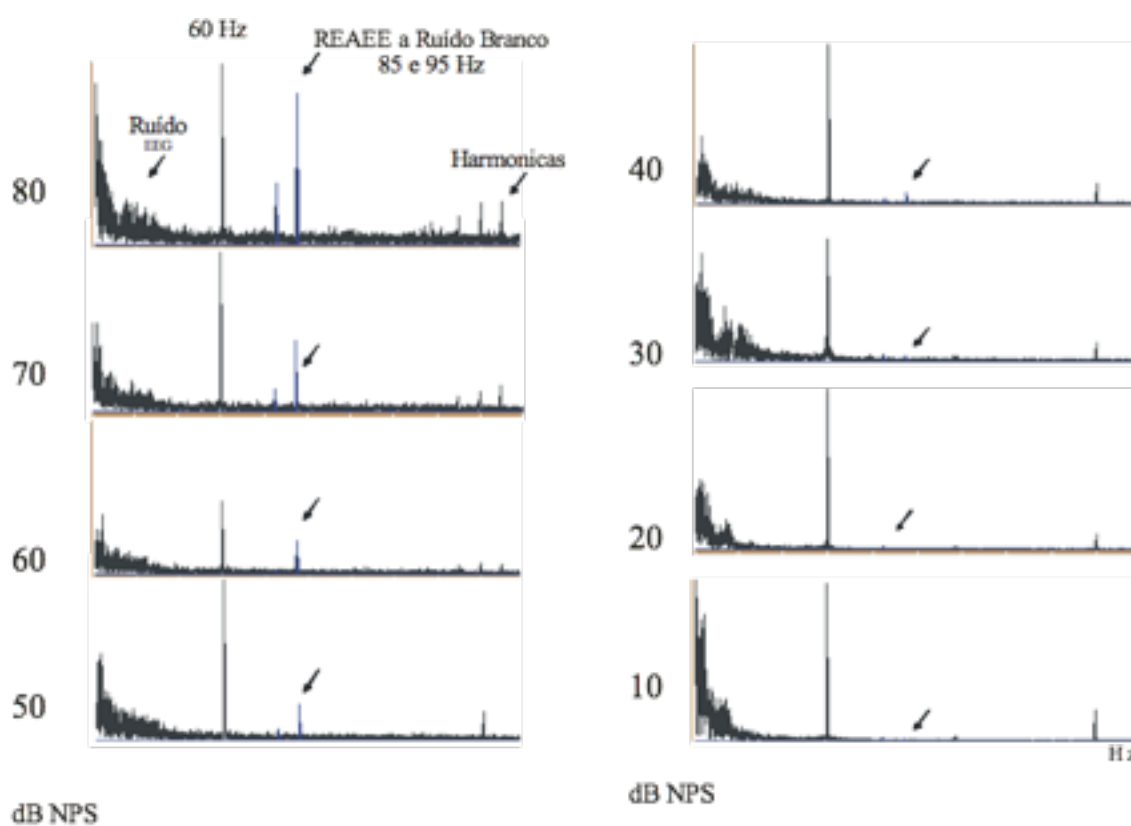


Figura 2 – FFT das respostas de estado estável e do ruído para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para as orelhas esquerda e direita, respectivamente, nas diversas intensidades.

RESULTADOS

Este estudo avaliou indivíduos com audição normal, no intuito de descrever as RAEE a ruído branco modulado em amplitude, nas intensidades entre 80 e 10 dB peNPS.

Não foi observada diferença estatística quando avaliada as variável orelha. Optou-se, então, por realizar a análise por orelha, sendo consideradas, no estudo, o grupo com 44 orelhas (22 sujeitos) com audição normal.

A análise dos resultados foi realizada segundo as variáveis: amplitude e fase das RAEE e do ruído e tempo de aquisição das respostas, nas várias intensidades avaliadas.

Amplitude das RAEE e do Ruído

Foram registras RAEE em todas as intensidades testadas. Quanto à detecção da resposta (a partir da distribuição F), observou-se que a amplitude média das RAEE diminui a medida em que a intensidade do estímulo diminui. A análise da média das amplitudes do ruído demonstrou o mesmo tipo de comportamento.

A Tabela 1 demonstra os dados que comprovaram este comportamento das amplitudes das RAEE e do ruído em relação à intensidade em indivíduos com audição normal. Todas as variações das médias das amplitudes para as RAEE e para o ruído foram estatisticamente significantes em função da diminuição da intensidade (para um valor de $p < 0,05$).

Ao se compara as amplitudes das RAEE com a do ruído em cada intensidade avaliada, observou-se que em 20 e 10 dB peNPS não foi observada diferença estatisticamente significativa entre as amplitudes, $p=0,06$ em 20 dB peNPS e $p=1$ em 10 dB peNPS. Nas intensidades a partir de 30 dB pe NPS todas as comparações entre as amplitudes das RAEE e do ruído apresentaram uma diferença estatisticamente significativa com $p=0$.

Tabela 1 – Caracterização da amplitude das RAEE e do ruído em função da intensidade do estímulo em adultos com audição normal

<i>Amplitude</i>	<i>80</i>	<i>70</i>	<i>60</i>	<i>50</i>	<i>40</i>	<i>30</i>	<i>20</i>	<i>10</i>
<i>(μV)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>	<i>(dB peNPS)</i>
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
RAEE	4,8 (5,0)	2,9 (3,0)	0,4 (1,7)	1,1 (1,5)	0,8 (1,2)	0,4 (1,2)	0,3 (0,4)	0,1 (0,2)
Ruído	0,4 (0,3)	0,3 (0,2)	0,2 (0,1)	0,2 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0)

A Figura 3 mostra as médias e desvios padrões dos 44 sujeitos, audiológicamente normais. Observa-se que acima de 60 dB peNPS a amplitude das RAEE cresceram mais rapidamente (176 nV) quando comparadas as intensidades menores que 60 dB peNPS (26 nV).

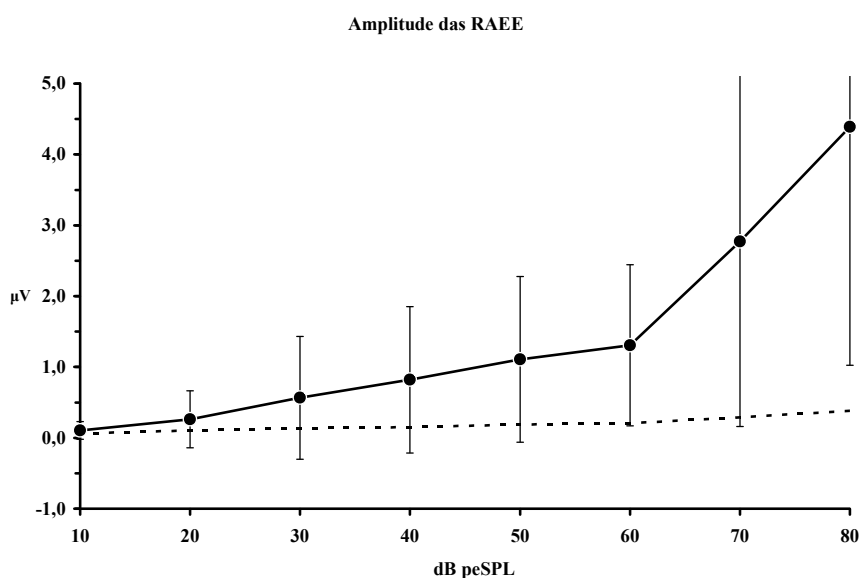


Figura 3 – Amplitudes médias (linha contínua) e o desvio padrão (linhas verticais) das RAEE e amplitude média do ruído (linha pontilhada) em função da intensidade para indivíduos com audição normal.

Fase das REAEE

Além da amplitude, também foi analisada a variável fase da RAEE. Observou-se que, em média, a fase variou entre 237 e 86 graus para a orelha direita e 299 e 137 graus para a

orelha esquerda, para as diferentes intensidades (Tabela 2). Observou-se que as fases decresceram com a diminuição da intensidade em ambas as orelhas.

Tabela 2 – Caracterização das fases das RAEE em função da intensidade do estímulo em adultos com audição normal.

Intensidade	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
Fase OD	237 (48)	222 (53)	220 (70)	175 (82)	166 (67)	149 (67)	123 (71)	86 (71)
Fase OE	299 (23)	288 (48)	264 (73)	241 (72)	240 (65)	233 (57)	194 (63)	137 (67)

Tempo para registro significativo das RAEE

Quanto ao tempo necessário para obtenção de RAEE significativas nas diferentes intensidades, observou-se que o tempo aumentou na medida que a intensidade do estímulo diminuiu (Figura 5). Por exemplo, obteve-se um tempo médio de 37 segundos (2,3 *sweeps*), para a intensidade de 80 dB peNPS, e um tempo médio de 268 segundos (16,73 *sweeps*), para 10 dB peNPS em indivíduos audiológicamente normais (Tabela 3).

Tabela 3– Tempo para registro significativo das RAEE em segundo e por *sweeps* em relação à intensidade do estímulo em indivíduos com audição normal.

Intensidade	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
# Sweep	2,3 (0,8)	2,1 (0,5)	3,9 (6,7)	3,1 (3,1)	3,3 (2,7)	3,9 (2,9)	7,8 (5,0)	16,7 (16,2)
Tempo (s)	37 (13)	34 (7)	62 (107)	49 (50)	53 (43)	62 (47)	125 (173)	268 (260)

A Figura 4 demonstra a variação do tempo de aparecimento das respostas em função da diminuição da intensidade em indivíduos com audição normal. Observa-se que a partir de 30 dB peNPS a um aumento abrupto do tempo para registro das RAEE, sendo observado um tempo em média maior que 1 minuto para o registro das amplitudes nas intensidades de 20 e 10 dB peNPS.

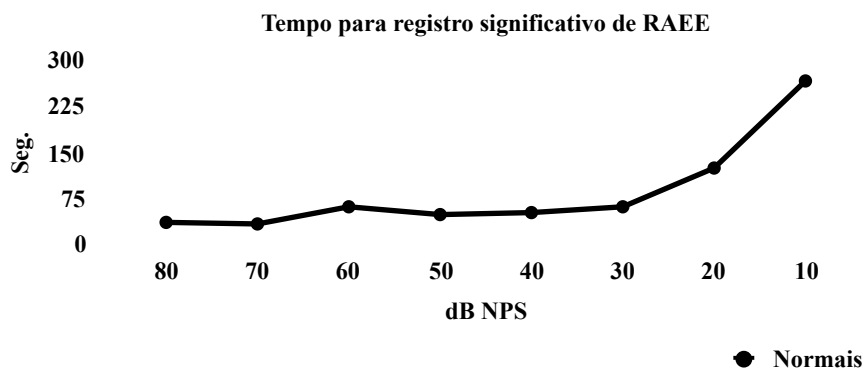


Figura 4 – Tempo médio para registro das RAEE em segundo em relação à intensidade do estímulo em adultos com audição normal.

DISCUSSÃO

Amplitude das REAEE e do Ruído

Este estudo demonstrou que é possível registrar de forma consistente as RAEE a ruído branco modulado em amplitude (100%) nas frequências de 85 e 95 Hz. O registro das RAEE em frequências de modulação entre 80 e 110 Hz vem sendo aplicadas em vários estudos e para diferentes estímulos (Lins, 2002; Jonh, Dimitrijevic, Picton, 2003; Duarte *et al.*, 2008; Picton, van Roon, John, 2009; Alaerts et al. 2010).

As RAEE com frequências de modulações entre 80 e 110 Hz evocam repostas relacionadas aos neurônios do oitavo nervo craniano, incluindo o núcleo coclear, o colículo inferior e o córtex auditivo (Picton, Dimitrijevic, John, 2001; Herdman *et al.*, 2002). Essas estruturas são estruturas avaliadas por meio do PEATE, cuja aplicação clínica é amplamente descrita, por permitir a estimativa de limiares auditivos (Hood, 1998; Hall, 1992; Sinninger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Comparando os achados das amplitudes das RAEE, de indivíduos com audição normal, com a literatura, observou-se que estas se mostraram maiores do que as respostas obtidas por meio de tons puros ou outros ruídos relatados na literatura (Lins, 2002; John, Dimitrijevic e Picton, 2003). Este fato se deve por ser o ruído branco um estímulo de banda larga. Portanto, estimula uma área maior da cóclea, o que gera RAEE maiores devido à abrangência do espectro de frequência do estímulo.

As RAEE para indivíduos com perda auditiva sensorineural demonstraram-se consistentemente menores do que as amplitudes dos indivíduos com audição normal. Isto se deve ao fato de haver

Na cóclea as RAEE são geradas a partir da despolarização e hiperpolarização das CCI (onde há a dissociação da frequência de modulação do estímulo principal) e da transmissão desses impulsos elétricos pelas sinapses com as células ganglionares (onde ocorre a retificação do estímulo acústico) (Lins, 2002). Portanto, alteração da fisiologia das células ciliadas externas (CCE) e internas (CCI) do órgão de córti restringe a população das CEE e CCI provocando uma diminuição das estruturas que respondem ao estímulo acústico apresentado.

A intensidade do estímulo provocou alteração nas amplitudes das RAEE e do ruído. Foi observada uma relação direta entre estas variáveis, ou seja, ao decrescer a intensidade do estímulo houve uma diminuição das amplitudes das RAEE e do ruído. Este comportamento observado das respostas em decorrência da variação da intensidade é característico das RAEE independente do estímulo utilizado (Lins, 2002; Jonh, Dimitrijevic, Picton, 2003; Duarte *et al.*, 2008; Picton, van Roon, John, 2009; Alaerts *et al.* 2010). Esta variação não esta relacionada ao tipo de estímulo e sim a energia de apresentação do estímulo acústico, ou seja, quanto maior a intensidade do estímulo maior será a amplitude (energia) da resposta (Lins, 2002).

Analizando o comportamento das RAEE em relação à variação das intensidades do ruído branco modulado em amplitude (Figura3), observou-se que a partir da intensidade de 60 dB peNPS houve uma relação de crescimento maior das amplitudes, (176 nV), em relação às intensidades mais baixas (26 nV). Este comportamento foi descrito por Lins, Picton e Picton (1995), para RAEE a estímulos de tons puros, sendo que neste estudo foi encontrada uma relação de crescimento maior nas amplitudes a partir da intensidade de 70 dB NPS. Houve também diferença da relação de crescimento sendo a do estudo de Lins, Picton e Picton (1995) menor do que a do presente estudo, este fato deve-se a diferença do tipo de estímulo utilizado.

A relação de crescimento diferente para estímulos de forte intensidade (60 ou 70 dB NPS) provavelmente deve-se a modificação da função filtro passa-banda da cóclea. Para sons próximos ao limiar auditivo, a largura da banda é estreita, porém, em fortes intensidades a

cóclea passa a se comportar como um filtro de passa-alta, ou seja, há a estimulação das frequências acima do espectro de frequência do estímulo principal (Lins, Picton, Picton, 1995; Lins, 2002).

Fase das REAEE

A transformação da RAEE do domínio do tempo para o domínio da frequência, através do FFT, gera uma resposta vetorial bidimensional a ser analisada para a detecção da presença da resposta. Uma destas características bidimensionais da RAEE é a fase. É por meio de sua análise que se verifica a replicabilidade das respostas.

As fases demonstram um comportamento similar ao das amplitudes quando comparadas as intensidades dos estímulos. Há uma diminuição das fases com a diminuição do estímulo (Lins, Picton, Picton, 1995; Lins, 2002; Picton, Dimitrijevic, John, 2001; Alaerts et al., 2010).

A fase é relacionada a latência da resposta. Pode-se converter a fase em latência, porém isto envolve algumas derivações ambíguas da natureza vetorial das fases (John, Picton, 2000a). A latência obtida pela conversão da fase é chamada de latência aparente. Este cálculo é feito a partir da comparação do mesmo estímulo portador modulado em frequências diferentes. A latência aparente será a diferença das fases obtidas dividida pela diferença das frequências de modulação, por fim divide-se o resultado por 360 graus, obtendo a latência aparente em segundos.

Neste estudo foram obtidas latências aparentes aproximadamente entre 17 e 18 ms para as intensidades entre 80 e 50 dB peNPS, de 20 ms em 40 dB peNPS, 23,2 ms em 30 dB peNPS, havendo um decréscimo das latências a partir de 20 dB peNPS, descrevendo um comportamento no qual a latência aumentou quando se diminuiu a intensidade do estímulo. A diminuição da latência nas intensidades a partir de 20 dB peNPS provavelmente deve-se a uma variação maior das fases, pois perto dos limiares auditivos, a fase apresenta um comportamento randômico.

Não foram encontrados estudos que calculassem a latência aparente para o estímulo de ruído branco modulado em amplitude. Porém, observando estudos com outros estímulos

pode-se observar que a latência aparente descrita tem variado de 8 a 41 ms dependendo do estímulo, frequência de modulação e intensidade utilizada (Picton *et al*, 2003).

Tempo para registro significativo das RAEE

Um dos pontos de discussão sobre a utilização das RAEE na rotina clínica de avaliação auditiva é a possibilidade de diminuir o tempo de teste para a obtenção de limiares auditivos.

Acredita-se que por ser a RAEE um teste que se utiliza de uma técnica de múltipla estimulação (utiliza-se vários estímulos em ambas as orelhas simultaneamente) o tempo de registro das respostas seja diminuído. Em média as RAEE a ruído branco modulado em amplitude tiveram registros mais rápidos nas intensidades mais fortes. Este fato deve-se provavelmente pelo aumento das amplitudes das RAEE a intensidades supra-liminares, o que facilita a detecção das respostas.

Implicações Clínicas

A utilização da RAEE a ruído branco modulado em amplitude na rotina clínica de avaliação auditiva fornece dados importantes sobre a fisiologia do sistema auditivo.

Sendo assim a utilização do ruído branco como estímulo nos PEAE propicia o registro de informações de uma área mais ampla da cóclea, não fornecendo informações de frequência específica, mas sendo consistente na detecção das alterações auditiva, sendo então o uso do ruído branco mais indicado na triagem auditiva.

Quanto ao tempo de teste, comparando as RAEE e o Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico (PEATE), exame eletrofisiológico atualmente utilizado para avaliação auditiva para estimativa de limiares e respostas de frequências (Katz, 2002; Sininger, 2003, Araújo, 2004; Marttila, Karikoski, 2006), observa-se que devido a múltipla estimulação as RAEE são mais rapidamente detectadas em ambas as orelhas.

CONCLUSÃO

Por meio deste estudo foi possível concluir que as respostas evocadas auditivas de estado estável a ruído branco modulado em amplitude possuem características que as fazem promissoras para a realização da avaliação audiológica, em especial na triagem auditiva.

REFERÊNCIAS

- Alaerts J; Luts H; Van Dun B; Desloovere C; Wouters J. Latencies of auditory steady-state responses recorded in early infancy. *Audiol Neurotol*; 2010;15(2): 116-27.
- Araújo, F.C.M. Interpretação Clínica do Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico na Frequência Específica de 1000 Hz em recém nascidos [dissertação]. São Paulo (SP): Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2004.
- Duarte, J. L.; Alvarenga, K. F.; Garcia, T. M.; Costa Filho, O. A.; Lins, O. G. A resposta auditiva de estado estável na avaliação auditiva: aplicação clínica. *Pró-Fono R. Atual. Cient.* 2008;20(2):105-110.
- Hall JW III . Handbook of auditory evoked response. Massachusetts: Allyn and Bacon, 1992.
- Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapellls, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses. *Brain Topograpy*. 2002; 15(2):69-86.
- Hood LJ. Clinical applications os the auditory brainstem responses. San Diego – London: singular publishing group INC, 1998.
- Joint Committee on Infant Hearing. Position Statement: Principles and Guildelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. *Revista Pediatrics*, Califórnia. 2007; 120(6): 897-922.
- John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. *Audiology*. 1998; 37:59-82.
- John, M.S.; Picton, T.W. MASTER: a windows program for recording multiple auditory steady-state responses. *Comput Methods Programs Biomed*. 2000a;61:125-150.
- John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res*. 2000b;141:57-79.

Jonh, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. *Ear & Hearing*. 2003;24(5):406-423.

Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Revista Electroencephalography and Clinical Neurology*. 1995a; 96(5):420-432.

Lins, O.G., Picton, P.E.; Picton, T.W. Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.*;1995b;97(5):3051-3063.

Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. *Ear & Hearing*. 1996; 17(2): 81-96.

Lins, O.G. Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.

Lourenço, E. A.; Oliveira, M. H.; Umemura, A.; Vargas, A. L.; Lopes, K. C.; Pontes Júnior, A. V. Audiometria de resposta evocada de acordo com sexo e idade: achados e aplicabilidade. *Rev. bras. otorrinolaringol*. 2008;74(4):545-551.

Marttila T. I., Karikoski J. O. Comparison between audiometric and ABR thresholds in children. Contradictory findings. *Eur Arch Otorhinolaryngol*; 2006;263:399–403.

Picton, T.W.; John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Purcell, D. Human auditory steady-state responses. *International Journal of Audiology*. 2003; 42:177-219.

Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiology*. 2001; 112:1698-1711.

Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear*. 2007; 28:542-557.

Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Multiple Auditory Steady State Responses (80 – 101 Hz): Effects of Ear, Gender, Handedness, Intensity and Modulation Rate. *Ear & Hearing*. 2009;30(1):100-9.

Sininger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. In: Katz, J.: *Handbook of clinical audiology*. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins, 298-322, 2002.

Sininger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.

Wei, W.W.S. Estimation of the spectrum. In: *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. Redwood City: Addison-Wesley; 1990; p. 256-287.

ARTIGO ORIGINAL

Limiares de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude

Threshold of Auditory Steady State Response evoked to amplitude modulated white noise

Autores:

Araújo, F.C.M.; Griz, S.M.S; Lins, O.G.

Detalhamento dos Autores:

Fabiana Cristina Mendonça de Araújo, Fonoaudióloga, Doutoranda em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento pela Universidade Federal de Pernambuco.

Otávio Gomes Lins, Médico, Doutor em Medicina (Neurologia), Professor Adjunto do Departamento de Neuropsiquiatria da Universidade Federal de Pernambuco.

Silvana Maria Sobral Griz, Fonoaudióloga, Doutora em Psicologia Cognitiva, Professora Adjunta do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço para correspondência:

Rua Teles Junior, N. 33, apartamento: 1002, Aflitos. Recife-PE. CEP: 52050-040

Endereço eletrônico:

fabiana_fono@yahoo.com.br

RESUMO

Introdução: As Respostas Auditivas de Estado Estável a ruído branco modulado em amplitude vem sendo estudado como método de avaliação auditiva, entretanto, não há parâmetros bem definidos e a literatura é escassa. **Objetivo:** descrever os achados de limiares eletrofisiológicos, obtidos com o estímulo ruído branco modulado em amplitude, e compará-los aos limiares auditivos tonais, em adultos com audição normal. **Método:** Foram avaliados 22 sujeitos, com audição normal, entre 18 e 24 anos. Todos foram avaliados pelo Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, com o estímulo de ruído branco modulado em amplitude de 85 e 95 Hz para as orelhas esquerda e direita respectivamente, variando-se a intensidade do estímulo entre 100 e 10 dB NPS. **Resultados:** Os limiares eletrofisiológicos por meio dos Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável com ruído branco registrados em indivíduos com audição normal foram de 40 dB NA em 41% (9) dos indivíduos e 30 dB NA em 59% (13) dos indivíduos. **Conclusões:** Por meio deste estudo foi possível concluir que os limiares eletrofisiológicos obtidos pelo Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude é um método de avaliação auditiva capaz de detectar perdas auditivas de diferentes graus, sendo um limiar de até 40dB NA sugestivo de audição normal. **Palavras-chave:** Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável, Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável, Ruído Branco, Limiares eletrofisiológicos

ABSTRACT

Introduction: State of Auditory Responses Stable white noise modulated in amplitude has been studied as hearing assessment method, however, there is no well-defined parameters and the literature is scarce. **Objective:** To describe the findings of electrophysiological thresholds obtained with the white noise stimulus amplitude modulated, and compare them to the auditory thresholds in adults with normal hearing. **Method:** We evaluated 22 subjects with normal hearing between 18 and 24 years. All were evaluated by Evoked Auditory Steady State, with white noise stimulus amplitude modulated 85 and 95 Hz for the left and right ears respectively, varying the intensity of the stimulus between 100 and 10 dB SPL. Results: The electrophysiological thresholds through Evoked Potential State Hearing Stable with white noise recorded in individuals with normal hearing were 40 dB HL in 41% (9) of individuals and 30 dB HL in 59% (13) of individuals. **Conclusions:** Through this study it was concluded that the electrophysiological thresholds obtained by Evoked Potential State Auditory Steady by white noise modulated in amplitude is a hearing assessment method capable of detecting hearing loss in varying degrees, with a threshold of up to 40dB NA suggestive normal hearing.

Keywords: Evoked Auditory Steady State, Evoked Responses State Hearing Stable, White Noise, Thresholds electrophysiological

INTRODUÇÃO

A audição é um dos sentidos humanos, que permite a análise e interpretação dos sons, através do sistema auditivo. Está relacionada diretamente com a comunicação oral e desenvolve um papel determinante no desenvolvimento cognitivo, de linguagem oral, psico-social e educacional (Sininger, 2003; JCIH2007). Isso fez com que a avaliação da audição tenha sido objeto de vários estudos, pois alteração da função auditiva pode causar consequências importantes para o indivíduo.

Dentre os procedimentos que auxiliam a avaliação auditiva, destacam-se os exames dos Potenciais Evocados Auditivos (PEA). Os exames de PEA são instrumentos de valor inestimável para a audiologia, pois avalia a integridade da do sistema auditivo e possibilita estimar o limiar auditivo. Além disso, caracteriza-se por ser uma técnica simples, não invasiva, de alta sensibilidade, baixa variabilidade e alta reprodutibilidade de respostas (Hood, 1998, Araújo, 2004; Lourenço et al. 2008).

O objetivo da avaliação auditiva é a identificação e a caracterização da perda auditiva (diagnóstico), o mais cedo possível, para possibilitar uma intervenção antes dos 6 meses de idade, buscando assim maximizar o desenvolvimento das habilidades auditivas, de fala e linguagem (JCIH, 2007; Sininger, 2003). Sendo assim, quanto mais precisas forem às informações quanto à caracterização da perda auditiva em relação à frequência e limiar auditivo, maiores serão as possibilidades de intervenção adequada.

Com o intuito de aperfeiçoar a avaliação auditiva, com o auxílio de exames eletrofisiológicos que permitam obtenção de respostas de limiares a diversos tipos estímulos, vem sendo estudado e descrito o Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável (PEAEE).

Os PEAEE são potenciais que avaliam a neurofisiologia do sistema auditivo, por meio de uma estimulação acústica com altos ritmos de apresentação. O estímulo deve ser modulado em amplitude e dependendo da frequência de modulação, pode se avaliar estruturas diferentes do sistema nervoso auditivo (Herdman *et al.*, 2002). Desta forma, o espectro do estímulo será acusticamente composto pela frequência do estímulo principal (estímulo portador) e por duas frequências, adjacentes à principal, decorrentes da influência da frequência de modulação. Por exemplo, ao utilizar um tom puro de 1000 Hz modulado em 100 Hz, tem-se um estímulo de espectro de frequência composto por 900, 1000 e 1100 Hz (Lins; Picton, 1995; Picton, van Roon, John, 2007).

Os PEAAE ocorrem quando um estímulo repetitivo evoca respostas de ondas elétricas cujo componente de frequência se mantém constante em amplitude e fase durante o tempo de estimulação, denominadas respostas são as respostas evocadas auditivas de estado estável (REAAE) (Jonh *et al.*, 1997; Picton *et al.*, 2001).

As REAAE são produzidas quando houver uma estimulação numa velocidade suficientemente rápida que provoca a sobreposição das respostas elétricas. Após alguns estímulos, os potenciais registrados assumem uma característica de ondas periódicas, na frequência de modulação (Jonh *et al.*, 1998; Picton *et al.*, 2001).

Os parâmetros principais para a análise das REST são a amplitude e a fase da resposta, na frequência de estimulação, analisadas automaticamente pelo *software* do equipamento, através de técnicas estatísticas bem definidas (distribuição F e o teste T^2), que determinam clara e objetivamente se uma resposta está ou não presente (Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007).

O exame de PEAAE pode ser realizado em várias frequências em ambas as orelhas ao mesmo tempo (Lins *et al.*, 1996; Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007; Picton, van Roon, John, 2009). O método consiste em modular a amplitude de cada estímulo com uma frequência diferente e apresentá-los simultaneamente. A resposta a cada um deles pode ser avaliada independentemente, analisando-se o componente espectral correspondente à frequência na qual a portadora de cada estímulo foi modulada (Lins, 2002).

Dois tipos principais de estímulos têm sido utilizados na avaliação com o exame PEAAE, o tom puro e o ruído. Dentre estes estímulos, o de tom puro tem sido mais estudado, sendo descrito os protocolos de avaliação e características de suas respostas (Lins *et al.*, 1996; John, Picton, 2000; Sinniger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Dependendo do estímulo e do protocolo utilizado, o exame do PEAAE pode ser utilizado com o objetivo de detecção e/ou diagnóstico da perda auditiva. Segundo John, Dimitrijevic e Picton (2003), em alguns casos, a utilização de estímulos que aumentem a amplitude de resposta é mais significativa do que a realização do exame com outros estímulos que permitam uma maior especificidade de frequência, como por exemplo, nos casos de triagem auditiva. Esses autores indicam a realização do exame de PEAAE utilizando estímulos de banda larga, pois estes apresentam respostas de amplitudes maiores quando comparado a outros estímulos.

Em revisão de literatura na área, não foram encontrados estudos clínicos que utilizassem o PEAAE por ruído branco com o objetivo de diagnóstico auditivo ou triagem auditiva, não sendo encontrados critérios e nem parâmetros quanto a análise das REAAE a ruído branco que possam nortear sua inclusão na rotina clínica de avaliação audiológica.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo descrever os achados de limiares eletrofisiológicos, obtidos com o estímulo ruído branco modulado em amplitude, e compará-los aos limiares auditivos tonais, em adultos com audição normal.

MÉTODOS

Participaram deste estudo 22 indivíduos adultos, com audição normal, sendo 11 do gênero feminino e 11 do gênero masculino, com idade entre 18 e 34 anos.

Obtenção de limiares auditivos tonais

Os limiares auditivos foram obtidos usando a técnica descendente, diminuindo a intensidade de 10 dB e aumentando em 5 dB para determinação dos limiares. Considerou-se o limiar auditivo a menos intensidade na qual o indivíduo respondeu 50% dos estímulos apresentados. Este procedimento estima o limiar com intervalo de confiança de 5 dB.

Foi utilizado o audiômetro Audio test 227, com fones supra-aurais TDH39 e o vibrador ósseo B-71. Avaliaram-se as frequências de 250, 500, 1000, 2000, 3000, 6000 e 8000 Hz, na via aérea, e 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz, na via óssea. Foram considerados como limiares auditivos normais os que apresentavam intensidades menores ou iguais a 20 dB NA (Hood, 1998; Hall, 1992).

Obtenção dos limiares eletrofisiológicos por meio do PEAAE

Estímulo

Foi utilizado o ruído branco, retangular, com filtros passa-alta de 1 Hz e passa-baixa de 8000 Hz (ver Figura 1), modulado 100% em amplitude com 85 Hz, na orelha esquerda, e 95 Hz, na orelha direita. Optou-se pela modulação simples em amplitude, uma vez que a utilização da modulação simples (*Amplitude Modulated* - AM) tem demonstrado um registro

das amplitudes maiores do que quando utilizado a modulação combinada (FM e AM) (John, Dimitrijevic e Picton, 2003).

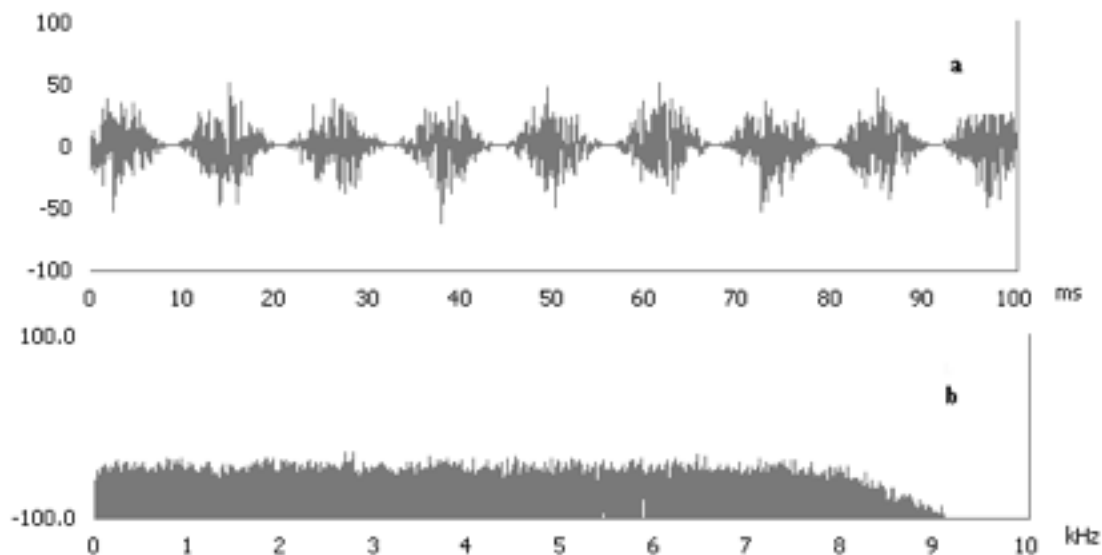


Figura 1 – Configuração do estímulo de ruído branco modulado em amplitude, no domínio do tempo (a) e no domínio da frequência (b).

Apresentação do Estímulo

O estímulo foi apresentado por meio dos fones de inserção ER3A. Este tipo de transdutor, devido suas características eletroacústicas, funciona como filtro, fazendo com que haja atenuação de 3 dB, para frequências acima de 4500 Hz.

Produção do Estímulo

Os estímulos foram produzidos digitalmente e convertidos para a forma analógica. O conversor digital-analógico (DA) foi dirigido pelo mesmo *clock* que o conversor analógico-digital (AD). A frequência de conversão DA foi de 32000 Hz, exatamente 32 vezes a frequência de conversão AD. O sinal analógico foi amplificado e filtrado (passa-alta em 70 Hz e passa-baixa em 110 Hz).

Eletrodos

Os eletrodos foram montados de forma ao eletrodo ativo ser colocado no vértex (C_z), eletrodo de referencia ser colocado na mastóide da orelha direita ($M2$) e o eletrodo terra, na mastóide da orelha esquerda ($M1$). A impedância dos eletrodos foi mantida abaixo dos 5 Kohm.

Detecção da Respostas

A resposta auditiva de estado estável foi analisada em relação à amplitude e à fase da respostas. A presença ou ausência de uma resposta foi decidida por duas técnicas estatísticas, a distribuição F e o teste T^2 . A distribuição F avalia se a amplitude da resposta (obtida na frequência de modulação do estímulo) é significativamente maior do que a amplitude do espectro de frequência do ruído (ver Figura 2).

O teste T^2 avalia se a resposta é replicável. Após a realização do FFT de cada sessão de análise é obtido 16 pares de componentes ortogonais X e Y, os quais são utilizados para calcular o limite de confiança bidimensional a 95% da média. Uma resposta é considerada presente se a origem (o zero) não estiver nos limites de confiança.

Estratégia para obtenção dos limiares eletrofisiológicos

Para tanto, foram apresentados os estímulos de ruído branco modulado em amplitudes com intensidades entre 80 e 10 dB NPS (esta última, a menor intensidade do equipamento).

As respostas foram consideradas presente quando a análise das distribuições F e dos testes T^2 foi significativa (para um $p > 0,05$) e com estabilidade dessas respostas durante dois *sweeps* consecutivos.

Os limiares eletrofisiológicos foram obtidos em dB NPS, sendo transformados para dB NA utilizando-se um fator de correção o acréscimo de 18 dB.

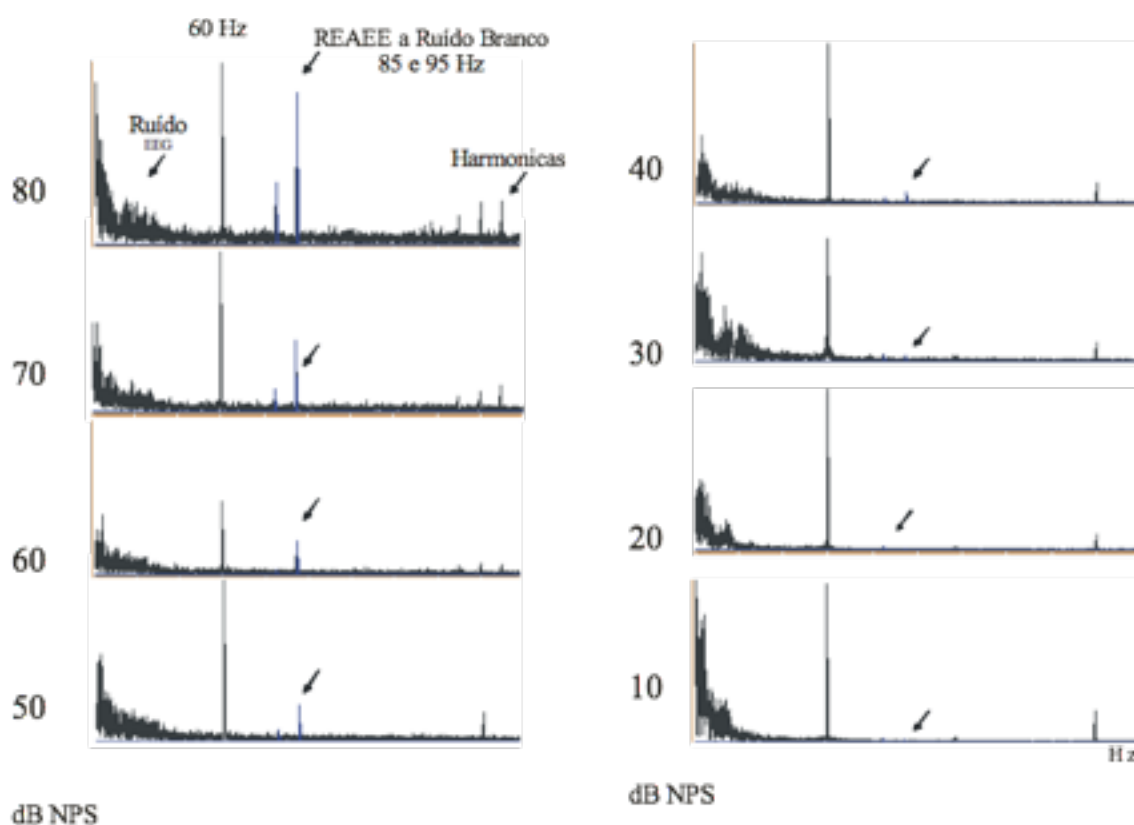


Figura 2 – FFT das respostas de estado estável (em amarelo) e do ruído (em cinza) para estímulo de ruído branco modulado em amplitude a 85 e 95 Hz, para as orelhas esquerda e direita, respectivamente, a 80 dB NPS (a- resposta presente) e 20 dB NPS (b- resposta ausente)

Análise Estatística

A significância estatística das diferenças foi avaliada através do teste t de Student e análises de variância de medidas repetidas com ajuste de Greenhouse-Geisser para os graus de liberdade. As comparações post-hoc foram feitas através do teste de Tukey HSD. Uma diferença foi considerada significativa quando o $p < 0,05$.

RESULTADOS

Este estudo avaliou indivíduos com audição normal, no intuito de descrever os achados de limiares eletrofisiológicos das RAEE a ruído branco modulado em amplitude, nas intensidades entre 80 e 10 dB NPS.

Não foi observada diferença estatística quando avaliada a variável orelha. Optou-se, então, por realizar a análise por orelha, sendo consideradas, no estudo, 44 orelhas (22 sujeitos) com audição normal.

A análise dos resultados foi realizada segundo as variáveis limiares tonais e limiares eletrofisiológicos de RAEE a ruído branco modulado em amplitude em indivíduos com audição normal.

Limiares de sujeitos com audição normal

Os indivíduos foram considerados audiológicamente normais por meio da obtenção dos limiares tonais nas oitavas de frequências e interoitavas entre 250 e 8000 Hz, apresentando limiares tonais auditivos menores ou igual a 20 dB NA. Porém para a análise foram utilizadas apenas as frequências de 250, 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz, uma vez que o tipo de transdutor utilizado filtrou as frequências acima de 4500 Hz. As médias dos limiares tonais para as frequências consideradas para a análise deste estudo podem se observadas na Tabela 1.

Os dados de limiares tonais demonstraram limiares menores nas frequências mais agudas do que nas frequências abaixo de 1000 Hz. A média tritonal (M_{Tr}) das frequências de 500, 1000 e 2000 Hz foi em média ligeiramente maior do que a média total (M_T) das frequências (500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz).

O limiar eletrofisiológico obtido por meio das RAEE a ruído branco modulado em amplitude foi em média 30 (± 4) dB NA, demonstrando-se maior do que os limiares tonais, com limiares de confiança de 95% entre 22 – 38 dB NA.

Quando comparado o limiar eletrofisiológico e os limiares tonais obteve-se uma diferença média maior nas frequências agudas (2, 3 e 4 KHz) do que nas frequências abaixo de 1000 Hz (Tabela 2).

Tabela 1 –Limiars tonais por freqüência e eletrofisiológico por ruído branco modulado em amplitude em adultos com audição normal.

Freqüências (HZ)	Ruído Branco	250	500	1000	2000	3000	4000	M_{Tr}	M_T
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
Limiars (dB NA)	30 (4)	13 (4)	14 (4)	11 (5)	8 (6)	7 (7)	7 (7)	11 (4)	10 (4)
LC95%	22-38	5-21	6-22	1-21	-4-20	-7-21	-7-21	3-19	2-18

LC95% - Limite de Confiança a 95%

M_{Tr} – média dos limiars tonais de 500, 1000 e 2000 Hz

M_T – média dos limiars tonais de 250, 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz

Por ser o estímulo de ruído branco um estímulo de banda larga optou-se por compará-lo com as M_{Tr}, que é o dado utilizado para a classificação da perda auditiva quanto ao grau, e a M_T, aglutinando as freqüências testadas visando a obtenção de um limiar, provavelmente, composto de um espectro de freqüência maior.

Na comparação do limiar eletrofisiológico com as M_{Tr} e M_T, observou-se que a diferença com a M_T é ligeiramente maior que a da M_{Tr}, 20 e 19 dB respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 – Diferenças dos limiars (dB NA) tonais e eletrofisiológicos por freqüência em adultos com audição normal.

Freqüências (Hz)	250	500	1000	2000	3000	4000	M_{Tr}	M_T
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
Diferença	17 (5)	16 (5)	19 (5)	23 (6)	23 (8)	23 (7)	19 (5)	20 (5)
LC95%	7-27	6-26	9-29	11-35	7-39	9-37	9-29	10-30

LC95% - Limite de Confiança a 95%

M_{Tr} – média dos limiars tonais de 500, 1000 e 2000 Hz

M_T – média dos limiars tonais de 250, 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz

Tempo para registro dos Limiars eletrofisiológicos

Quanto ao tempo necessário para registro das RAEE no limiar eletrofisiológico, observou-se que o tempo aumentou na medida que o a se aproximou do limiar eletrofisiológico (Figura 3). Por exemplo, obteve-se um tempo médio de 37 segundos (2,3

sweeps), para a intensidade de 80 dB NPS, e um tempo médio de 268 segundos (16,7 *sweeps*), para 10 dB NPS em indivíduos audiológicamente normais (Tabela 3). Observou-se então que em média foi necessário um tempo de 267,64 segundos (16,73 *sweeps*) para a obtenção de registro de RAEE no limiar eletrofisiológico de adultos com audição normal (Tabela 3).

Tabela 3– Tempo para registro significativo das RAEE em segundo e por número de *sweeps* em relação à intensidade do estímulo em indivíduos com audição normal.

Intensidade	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)	(dB peNPS)
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
# Sweep	2,3 (0,8)	2,1 (0,5)	3,9 (6,7)	3,1 (3,1)	3,3 (2,7)	3,9 (2,9)	7,8 (5,0)	16,7 (16,2)
Tempo	37 (13)	34 (7)	62 (107)	49 (50)	53 (43)	62 (47)	125 (173)	268 (260)

A Figura 3 demonstra a variação do tempo de aparecimento das respostas em função da diminuição da intensidade em indivíduos com audição normal.

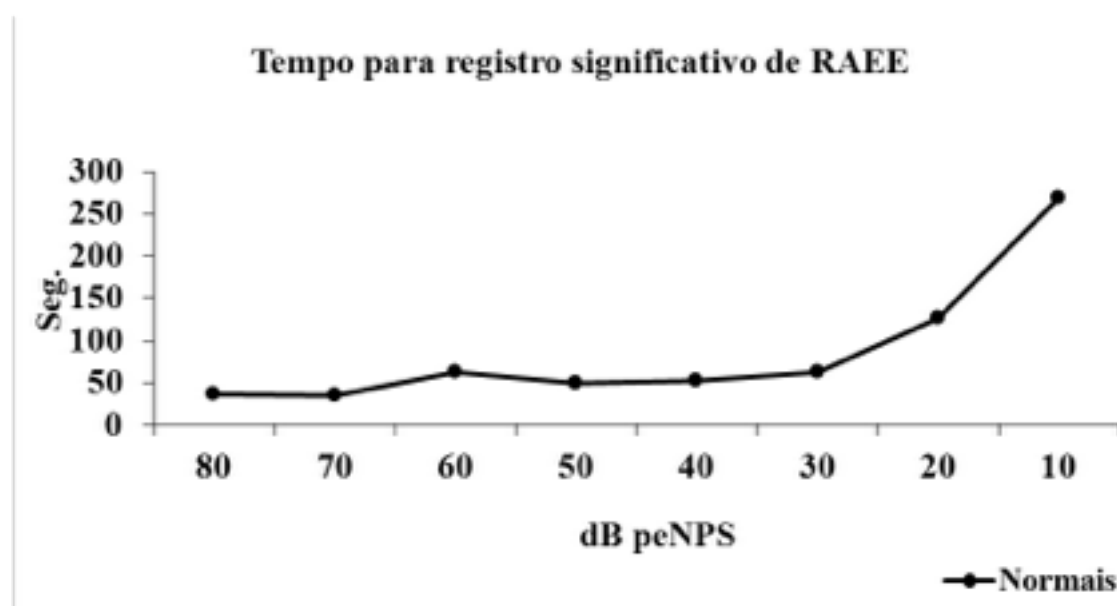


Figura 3– Tempo médio para registro das RAEE em segundo em relação à intensidade do estímulo em adultos com audição normal.

DISCUSSÃO

Limiares de sujeitos com audição normal

Este estudo demonstrou que é possível pesquisar o limiar eletrofisiológico dos PEAE por ruído branco modulado em amplitude. Nos adultos com audição normal foi observado em

aproximadamente 41% (9) indivíduos o registro do limiar eletrofisiológico a 20 dB NPS, sendo a maioria, 59% (13) dos indivíduos, com limiares eletrofisiológicos obtidos a 10 dB NPS.

Na conversão dos limiares para nível de audição, podemos dizer que foram obtidos limiares eletrofisiológicos entre 30 e 40 dB NA nos adultos com audição normal. Estes achados estão compatíveis com os da literatura que descrevem os limiares fisiológicos maiores do que os limiares tonais (Ozdek *et al.*, 2009; Hatzopoulos *et al.*, 2009; Rodrigues, Lewis, 2010; Qian *et al.*, 2010; Hatzopoulos *et al.*, 2010). Atualmente utiliza-se o PEATE como método de obtenção de limiares, sendo considerado neste método vigente o limiar de 30 dB NA correlacionado a audição normal. Observa-se então que o PEATE por ruído branco obteve limiares similares ao método padrão ouro em pesquisa de limiares eletrofisiológicos auditivos (Araújo, 2004; Qian *et al.*, 2010).

O ruído branco é um estímulo de espectro de frequência amplo, sendo o estímulo indicado para realização de triagens auditivas, pois, provavelmente, fornece informações mais gerais do funcionamento da cóclea.

Ao comparar o limiar eletrofisiológico com os limiares tonais de frequências específicas, observou-se que os limiares tonais das frequências mais graves foram mais próximos dos limiares eletrofisiológicos encontrados. Este fato deve ser provavelmente por haver uma maior sensibilidade auditiva para sons mais agudos, o que provoca limiares tonais melhores para estas frequências (Ozdek *et al.*, 2009; Hatzopoulos *et al.*, 2009; Rodrigues, Lewis, 2010; Qian *et al.*, 2010; Hatzopoulos *et al.*, 2010).

Buscando uma comparação entre limiares que pudessem ter espectro de frequências similares, compararam-se os limiares fisiológicos com as médias tritonais e totais. Foi observado nesta análise que houve uma correlação ligeiramente maior dos limiares quando comparados com as médias totais. Este fato demonstra que na obtenção do limiar eletrofisiológico há a contribuição de todas as frequências que constituem o estímulo para a formação da REATE, ao contrário do que acontece com o estímulo clique, amplamente utilizado para pesquisa de limiares com o exame do PEATE, o qual, apesar de ser um estímulo de banda larga tem a sua maior energia concentrada nas frequências entre 2000 e 4000 Hz, não fornecendo de forma fidedigna informações de frequências graves (Araújo, 2004).

Desta forma provavelmente a utilização do PEAAE por ruído branco fornece de forma mais fidedigna informações sobre o funcionamento geral da cóclea, objetivo este principalmente indicado nas triagens auditivas.

Tempo para registro dos Limiares eletrofisiológicos

O tempo necessário para obtenção das respostas significativas no limiar auditivo aumentou quanto menor fosse o limiar eletrofisiológico. Para um limiar eletrofisiológico a 40 dB NA obteve-se um tempo médio de 2 minutos (7,84 *sweeps*) em adultos com audição normal, obtendo um limite de confiança de aproximadamente -2 – 18 *sweeps*. Sendo assim podem-se obter respostas sugestivas de audição normal a 40 dB NA em até aproximadamente 5 minutos de estimulação.

Considerando que 5 minutos seria um tempo máximo de estimulação para a obtenção de RAEE a ruído branco e que a técnica avalia as duas orelhas simultaneamente, este tempo máximo de registro de limiares pode ser considerado rápido em comparação aos exames de potências auditivos que visem avaliação de limiares (D'haenens *et al.*, 2010).

Implicações Clínicas

A avaliação auditiva por meio dos PEAAE por ruído branco modulado em amplitude fornece informações sobre o funcionamento da cóclea tanto de frequências graves quanto agudas, sendo influenciado por todas as frequências que compõem o estímulo. Desta forma não fornece informações de frequências específicas, porém é sugere informações sobre o funcionamento médio de todas as frequências estimuladas.

O limiar eletrofisiológico de 40 dB NA pode ser sugestivo de audição normal, podendo ser considerado como a intensidade de um critério de passa-falha numa triagem auditiva.

O tempo necessário para registro das RAEE no limiar eletrofisiológico é de aproximadamente 8 *sweeps*, com um limite de confiança entre -2-18, sendo assim pode-se também utilizar o tempo como mais um critério na construção de um protocolo de triagem auditiva com o PEAAE por ruído branco modulado em amplitude.

CONCLUSÃO

Por meio deste estudo observou-se que é possível obter limiares eletrofisiológicos auditivos através do exame do Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude, sendo estes limiares correlacionados com limiares tonais.

Limiares eletrofisiológicos de 40 dB NA obtidos pelas RAEE pode sugestivo de audição normal. O tempo necessário para registro significativo dos limiares por meio das RAEE foram em média de 2 minutos, sendo estes dados sugeridos como protocolo de passa e falha na análise dos dados na triagem auditiva.

REFERÊNCIAS

Araújo, F.C.M. Interpretação Clínica do Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico na Frequência Específica de 1000 Hz em recém nascidos [dissertação]. São Paulo (SP): Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2004.

D'haenens W, Vinck BM, Maes L, Bockstael A, Keppler H, Philips B, Swinnen F, Dhooge I. Determination and evaluation of clinically efficient stopping criteria for the multiple auditory steady-state response technique. Clin Neurophysiol. 2010; Apr 22. [Epub ahead of print].

Hall JW III . Handbook of auditory evoked response. Massachusetts: Allyn and Bacon, 1992.

Hatzopoulos S, Ciorba A, Petruccelli J, Grasso D, Sliwa L, Kochanek K, Skarzynski H, Martini A. Estimation of pure-tone thresholds in adults using extrapolated distortion product otoacoustic emission input/output-functions and auditory steady state responses. Int J Audiol. 2009;48(9):625-31.

Hatzopoulos S, Prosser S, Ciorba A, Giarbini N, Kochanek K, Sliwa L, Skarzynski H, Martini A. Threshold estimation in adult normal- and impaired-hearing subjects using auditory steady-state responses. Med Sci Monit. 2010;16(1):CR21-7.

Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapellls, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses. Brain Topografy. 2002; 15(2):69-86.

Hood LJ. Clinical applications os the auditory brainstem responses. San Diego – London: singular publishing group INC, 1998.

Joint Committee on Infant Hearing. Position Statement: Principles and Guidelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. *Revista Pediatrics, Califórnia*. 2007; 120(6): 897-922.

John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. *Audiology*. 1998; 37:59-82.

John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res*. 2000;141:57-79.

John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. *Ear & Hearing*. 2003;24(5):406-423.

Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Revista Electroencephalography and Clinical Neurology*. 1995; 96(5):420-432.

Lins, O.G., Picton, P.E.; Picton, T.W. Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.*;1995b;97(5):3051-3063.

Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. *Ear & Hearing*. 1996; 17(2): 81-96.

Lins, O.G. Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.

Lourenço, E. A.; Oliveira, M. H.; Umemura, A.; Vargas, A. L.; Lopes, K. C.; Pontes Júnior, A. V. Audiometria de resposta evocada de acordo com sexo e idade: achados e aplicabilidade. *Rev. bras. otorrinolaringol*. 2008;74(4):545-551.

Ozdek A, Karacay M, Saylam G, Tatar E, Aygener N, Korkmaz MH. Comparison of pure tone audiometry and auditory steady-state responses in subjects with normal hearing and hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Jun 18. [Epub ahead of print]

Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiology*. 2001; 112:1698-1711.

Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear*. 2007; 28:542-557.

Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Multiple Auditory Steady State Responses (80 – 101 Hz): Effects of Ear, Gender, Handedness, Intensity and Modulation Rate. *Ear & Hearing*. 2009;30(1):100-9.

Qian L, Yi W, Xingqi L, Yinsheng C, Wenying N, Lili X, Yinghui L. Development of tone-pip auditory brainstem responses and auditory steady-state responses in infants aged 0-6 months. *Acta Otolaryngol.* 2010 Jan 21. [Epub ahead of print]

Rodrigues GR, Lewis DR. Threshold prediction in children with sensorineural hearing loss using the auditory steady-state responses and tone-evoked auditory brain stem response. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2010;74(5):540-6.

Sininger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. *In*: Katz, J.: *Handbook of clinical audiology*. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins, 298-322, 2002.

Sininger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.

Por meio deste estudo foi possível observar que o exame dos Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude tem sido sugerido como procedimento de avaliação audiológica e que o estímulo de ruído branco evoca respostas de estado estável, com amplitudes consistentes, sendo este estímulo recomendado principalmente para a triagem auditiva.

Observou-se também que não há protocolo determinado para o uso do ruído branco para a avaliação audiológica. Há apenas a sugestão do uso de modulação em amplitude em frequências entre 75 e 100 Hz.

Quando a caracterização das Respostas Auditivas de Estado Estável (RAEE) a ruído branco modulado em amplitude foi possível concluir que as respostas diminuem de amplitude com a diminuição da intensidade do estímulo, sendo observado em média amplitudes de 4,82 μ V a 80 dB NPS e 0,1 μ V em 10 dB NPS

O exame do Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude demonstrou-se um método eficiente para a obtenção de limiares eletrofisiológicos, sendo estes limiares correlacionados com limiares tonais.

O estudo demonstrou que limiar eletrofisiológico de 40 dB NA pode ser sugestivo de audição normal, uma vez que o fator de correção entre o limiar médio das frequências de 250, 500, 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz e o limiar eletrofisiológico foi de 20 dB.

Conclui-se então que o exame do Potencial Evocado Auditivo de estado Estável por ruído branco modulado em amplitude pode ser incluído como método de avaliação auditiva, principalmente com o objetivo de triagem auditiva, devido as características das respostas ao estímulo de ruído utilizado.

REFERÊNCIAS

- American Academy of Pediatrics – Task Force Newborn and Infant hearing. *Pediatrics* 1999;103:527-30.
- Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapelllls, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses. *Brain Topografy*. 2002; 15(2):69-86.
- John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. *Audiology*. 1998; 37:59-82.
- John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res*. 2000;141:57-79.
- Jonh, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. *Ear & Hearing*. 2003;24(5):406-423.
- Joint Committee on Infant Hearing. Position Statement: Principles and Guildelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. *Revista Pediatrics, Califórnia*. 2007; 120(6): 897-922.
- Katz, J.: Handbook of clinical audiology. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Willians and Wilkens, 298-322, 2002.
- Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Revista Electroencephalography and Clinical Neurology*. 1995a; 96(5):420-432.
- Lins, O.G., Picton, P.E.; Picton, T.W. Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.*;1995b;97(5):3051-3063.
- Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. *Ear & Hearing*. 1996; 17(2): 81-96.
- Lins, O.G. Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.
- Moller MP. Early intervention and language development in children who are deaf and hard of hearing. *Pediatrics*, 106, E 43, 2000.
- Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiologi*. 2001; 112:1698-1711.
- Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear*. 2007; 28:542-557.

Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Multiple Auditory Steady State Responses (80 – 101 Hz): Effects of Ear, Gender, Handedness, Intensity and Modulation Rate. *Ear & Hearing*. 2009;30(1):100-9.

Regan, M. P; Regan, d. Nonlinear terms produced by passing amplitude-modulated sinusoids through a hair cell transduction function. *Biol Cybern*. 1993;69:439-446.

Sininger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. *In*:

Sininger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.

Stapells DR, Oates P. Estimation of the pure-tone audiogram by the auditory brainstem response: a review. *Audiol neurotol* 1997; 2:257-280.

Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Couter DK, Mehl AL. Language of early and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics*, 1998, 102:1161-1171.

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Comitê de Ética em Pesquisa

Of. N.º 058/2010 - CEP/CCS

Recife, 23 de março de 2010

Registro do SISNEP FR – 245766

CAAE – 0057.0.172.000-09

Registro CEP/CCS/UFPE N.º 059/09

Título: “Estudo do Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável em adultos.”

Pesquisador Responsável: Otávio Gomes Lins

Senhor Pesquisador:

Informamos que o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco (CEP/CCS/UFPE) registrou e analisou, de acordo com a Resolução N.º 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, o protocolo de pesquisa em epígrafe, liberando-o para início da coleta de dados em 23 de março de 2010.

Ressaltamos que a aprovação definitiva do projeto será dada após a entrega do relatório final, conforme as seguintes orientações:

- a) Projetos com, no máximo, 06 (seis) meses para conclusão: o pesquisador deverá enviar apenas um relatório final;
- b) Projetos com períodos maiores de 06 (seis) meses: o pesquisador deverá enviar relatórios semestrais.

Dessa forma, o ofício de aprovação somente será entregue após a análise do relatório final.

Atenciosamente,


Prof. Geraldo Bosco Lindoso Couto
Coordenador do CEP/CCS / UFPE

Ao
Dr. Otávio Gomes Lins
Departamento de Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento – CCS/UFPE

ANEXO B – Termos de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título: Estudo do Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável em Adultos

Pesquisador responsável: Dr. Otávio Lins

Instituição responsável: Universidade Federal de Pernambuco

Este termo de consentimento pode conter alguns tópicos que você não entenda. Caso haja alguma dúvida pergunte à pessoa que está lhe entrevistando, para que você seja bem esclarecido (a) sobre tudo que está respondendo. Você irá receber uma cópia deste termo de consentimento para sua segurança.

O Sr.(a) está sendo convidado(a) para participar de uma pesquisa que propiciará o acompanhamento da sua função auditiva caso deseje entrar no programa. Para isso será realizada a avaliação da sua audição com o uso de fones de ouvido e o senhor (a) deverá responder se escutou os sons apresentados. Depois será avaliada a audição sem que o senhor (a) precise responder aos sons, o próprio equipamento de exame é quem colhe as respostas através dos adesivos colocados na face (exame de Potenciais Evocados Auditivos de Estado Estável). Este último exame permite estimar limiares eletrofisiológicos sendo até então a técnica de caráter objetivo que oferece maior acurácia na identificação de alterações auditivas. Esta técnica, entretanto, necessita que o participante esteja em estado de sono leve, ou deitado de forma relaxada para sua realização, de maneira a evitar que movimentos corporais que venha a realizar possam interferir na realização e captação de respostas. O laboratório onde serão realizados os exames localiza-se no ambulatório de neurologia do Hospital das Clínicas.

Esta pesquisa objetiva estudar o Potencial Evocado Auditivo de Estado Estável como alternativa no diagnóstico de perda auditiva no Hospital das Clínicas da UFPE. Quando for identificada alguma alteração, haverá o encaminhamento do mesmo para os profissionais da área médica de otorrinolaringologia e neurologia.

A pesquisa poderá causar algum tipo de constrangimento aos participantes ao responder alguma pergunta do questionário. Apesar de não serem descritos riscos à saúde física do participante, o mesmo pode sentir desconforto durante a realização do teste de audiometria tonal e do potencial evocado auditivo de estado estável pela inserção da sonda no conduto auditivo. Esta pesquisa servirá para aprofundar o conhecimento sobre a implantação de novas formas de diagnóstico auditivo, especialmente em países em desenvolvimento, para que os programas implementados sejam realmente efetivos em termos de diagnóstico o mais cedo possível e de custo para o sistema de saúde.

As informações obtidas a partir deste estudo serão rigorosamente confidenciais. Os resultados serão divulgados publicamente, entretanto, sua identidade e de quem mais esteja envolvido jamais serão reveladas.

A sua participação neste estudo é totalmente voluntária. Asseguro a você, voluntário, que sua autorização na pesquisa pode ser retirada em qualquer momento da mesma.

Em caso de haver dúvidas adicionais sobre a sua participação retire-as com o pesquisador. Não assine o termo se não concordar em participar, ou se as dúvidas não forem esclarecidas satisfatoriamente.

Li e entendi as informações precedentes, descritas neste estudo e, todas as minhas dúvidas foram respondidas satisfatoriamente. Dou livre o meu esclarecimento em participar deste estudo e não abro mão de nenhum direito legal que eu tenha.

Recife, ____/____/____.

Assinatura do voluntário

Pesquisador Responsável: Dr. Otávio Lins

Testemunha

Testemunha

ANEXO C – Protocolo de Registro

PROTOCOLO REAEE ADULTO

Nome:

Idade:

Data de Nascimento:

Endereço:

Telefone:

Profissão:

Queixas Auditivas:

Exposição a ruído:

Passado Otológico:

RESULTADO DOS EXAMES

AUDIOMETRIA TONAL

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
VA OD								
VO OD								
VA OE								
VO OE								

AUDIOMETRIA VOCAL

SRT – OD:

SRT – OE:

IPRF – OD:

IPRF – OE:

IMITANCIOMETRIA

TIMPANOMETRIA OD:

MAE:_____ **Comp.:**_____ **Pressão:**_____

TIMPANOMETRIA OE:

MAE:_____ **Comp.:**_____ **Pressão:**_____

REFLEXOS ACUSTICOS:

	500	1000	2000	4000
CLD				
CLE				

REAEE

WITE NOISE OD

WITE NOISE OE

	n. SWEEPS	Amplitude
80		
70		
60		
50		
40		
30		
20		
10		

	n. SWEEPS	Amplitude
80		
70		
60		
50		
40		
30		
20		
10		

ANEXO D – Artigo em Inglês para publicação: "Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude.

Auditory Steady State Response to Amplitude Modulated White Noise

Araújo, F.C.M; Griz, S; Lins, O.G.

ABSTRACT

Introduction: Auditory steady-state Responses (ASSR) to white noise modulated in amplitude has been studied as a method to assess hearing, however, there is no well defined parameters and the literature is scarce. **Objective:** To describe the findings of the responses ASSR white noise modulated in amplitude in adults with normal hearing. **Methods:** We studied 22 subjects with normal hearing between 18 and 24 years. All were assessed by the Auditory Evoked Potential Steady State, with the stimuli of white noise modulated in amplitude at 85 and 95 Hz for the left and right ears respectively, varying the stimulus intensity between 100 and 10 dB SPL. **Results:** We recorded responses evoked auditory steady state in all subjects, and the amplitude of the responses were greater at all intensities in individuals with normal hearing. It was also noted that the responses decreased with the decrease in intensity and the time of registration of the responses were significantly higher in lower intensities and for individuals with hearing loss. **Conclusions:** In this study it was concluded that the responses evoked auditory steady-state white noise modulated in amplitude have characteristics that make them promising for the audiological evaluation, especially in the hearing screening.

Key-words: Evoked Auditory Steady State, Evoked Response Auditory Steady State, Normal Hearing, Hearing Loss, Noise White, electrophysiologic threshold.

INTRODUCTION

The Hearing Assessment has been the subject of several studies, for change of Hearing function can cause significant consequences for the individual, since this human SENSE IS directly related to the communication and oral DEVELOPS A decisive role in the development cognitive, oral language, psycho-social and educational (Sininger, 2003; JCIH2007).

There Several Hearing Assessment Methods, among these stand the tests of Auditory Evoked Potentials (AEP). AEP examinations evaluates the integrity of the auditory system and POSSIBILITA estimate the auditory threshold. In addition, it is characterized as a simple, invasive technique NO, High Sensitivity, Low Variability and High Response reproducibility (Hood, 1998 Araújo et al, 2004 ; Lawrence et al., 2008).

The Purpose of Hearing Assessment and the identification and characterization of hearing loss (diagnosis), the As soon as possible, paragraph enable ONE to intervention before 6 months of age, seeking SO Maximizing the Development of Auditory skills, speech and language (JCIH of 2007; Sininger, 2003). Obviously, the more accurate the information

on the characterization of Hearing Loss in Relation to Frequency and hearing threshold, the greater as appropriate intervention possibilities.

In order to improve the Hearing Assessment with exams Aid electrophysiological Permit threshold Response Obtaining Various Types Stimuli, VEM being studied and described the Auditory Evoked Potential Steady State (ASSR).

The ASSR are potential evaluating the neurophysiology of the auditory system by means of acoustic stimulation with high rates of presentation. The stimulus should be modulated in amplitude and depending on the modulation frequency, can evaluate different structures of the auditory nervous system (Herdman et al., 2002). Thus, the stimulus spectrum is acoustically composed of the frequency of the main stimulus (stimulus carrier) and two frequencies adjacent to the main, due to modulation frequency influence. For example, when using a pure tone of 1000 Hz modulated at 100 Hz, has a frequency spectrum of stimuli consists of 900, 1000 and 1100 Hz (Lins; Picton, 1995a; Lins; Picton, 1995b; Picton, van Roon John, 2007).

The ASSR occur when a repetitive stimulus evokes responses from electrical waves whose frequency component is killed constant in amplitude and phase during the stimulation time, called answers are the auditory responses to steady state (ASSR) (John et al., 1997; Picton et al., 2001).

The ASSR are produced when there is a stimulation at a sufficiently rapid rate that causes the overlap of electrical responses. After some stimuli, registered potential assume a characteristic periodic waves, the modulation frequency (John et al, 1998; Picton et al. 2001).

The main parameters for the analysis of ASSR are the amplitude and phase response, the stimulation frequency, automatically analyzed by the machine software, through well-defined statistical techniques (F distribution and T2 test), which determine clearly and objectively is a response is present or not (Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007).

The ASSR can be obtained at various frequencies in both ears at the same time (Lins et al, 1996; Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007; Picton, van Roon, John, 2009). The method is to modulate amplitude and / or frequency each stimulus with a different frequency and display them simultaneously. The answer to each of them can be independently assessed by analyzing the spectral component corresponding to the frequency at which the carrier of each stimulus was modulated (Lins, 2002).

Two main types of stimuli have been used in the evaluation with the ASSR, pure tone and noise. Among these stimuli, the pure tone has been more studied, and described the evaluation protocols and features of their responses (Lins et al, 1996; John, Picton, 2000b; Sinninger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Depending on the stimulus and the protocol used, the WEEE may be used for the purpose of detection and / or diagnosis of hearing loss. According John Dimitrijevic and Picton (2003), in some cases, the use of stimuli that increase the amplitude response is more significant than the examination with other stimuli enabling greater the frequency specificity, as for example in cases of hearing screening. These authors indicate the examination of WEEE using broadband stimulus, because they have higher amplitudes responses when compared to other stimuli.

In a literature review in the area, were not found clinical studies using the ASSR by white noise for the purpose of hearing diagnosis or hearing screening , not being found criteria nor the parameters for analysis of ASSR white noise that can guide their inclusion in routine clinical audiological evaluation .

Thus, this study aimed to describe the findings of auditory responses steady state white noise amplitude modulated in adults with normal hearing.

METHODS

The study included 22 adults with normal hearing , 11 female and 11 male , aged between 18 and 34 years.

Procedure

The auditory thresholds were obtained using the descending technique , reducing the intensity of 10 dB and increase in 5 dB to determine the thresholds. Considered if the hearing threshold less intensity at which the individual answered 50 % of the stimuli. This procedure estimates the threshold to 5 dB confidence interval .

It used the audiometer test Audio 227, with supra-aural headphones TDH39 and bone vibrator B -71. We evaluated the frequencies of 250, 500 , 1000, 2000, 3000 , 4000, 6000 and 8000 Hz in air, and 500 , 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz, the bone conduction . Were considered normal hearing those with less than or equal intensity to 20 dB HL (Hood , 1998; Hall , 1992).

For ASSR we used the white noise, rectangular filters with high-pass 1 Hz and low-pass 8000 Hz (see Figure 1) , modulated 100 % amplitude for 85 Hz in the left ear , and 95 Hz in the right ear . We opted for the simple amplitude modulation , since the use of simple modulation (Amplitude Modulated - AM) has demonstrated a record of larger amplitudes than when using the combined modulation (FM and AM) (John Dimitrijevic and Picton, 2003) .

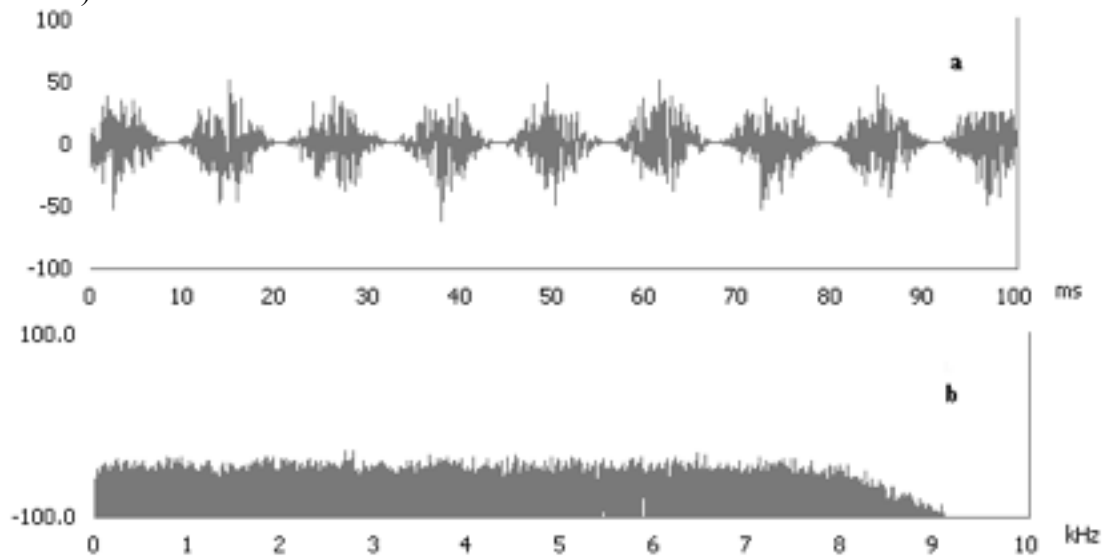


Figure 1 – Setting the white noise stimulus amplitude modulated in the time domain (a) and frequency domain (b).

The stimulus was presented through ER3A insert earphones . This type of transducer , because of their electro-acoustic characteristics , acts as a filter , so that there is a gradual attenuation for frequencies above 4500 Hz .

Stimuli were produced digitally and converted to analog form . The digital - analog converter (DA) was directed by the same clock that the analog-to- digital converter (AD) .

The DA conversion rate was 32000 Hz, exactly 32 times the AD conversion frequency. The analog signal was amplified and filtered (high pass in 70 Hz and low pass at 110 Hz) .

The electrodes were assembled as the active electrode is placed on the vertex (Cz) , reference electrode is placed on the mastoid of the right ear (M2) and the ground electrode in the left ear mastoid (M1) . The impedance of the electrodes did not exceed 2 Kohms and between the electrodes of 5 K ohms ; for both , surface cleaning one was carried out with an abrasive paste and alcohol , gauze, and an electrolytic folder where the electrodes were fixed.

Auditory steady-state response was analyzed for amplitude and phase responses. The presence or absence of a response was determined by two statistical techniques, the F distribution and the T2 test. The F distribution evaluates the amplitude response (obtained in the modulation frequency of the stimulus) is significantly higher than the frequency spectrum of the amplitude of the noise (Wei, 1990) (Figure 2).

The T^2 test evaluates the response and replicable. After completion of the FFT of each session of analysis is obtained 16 pairs of orthogonal components X and Y, which are used to calculate the two-dimensional confidence limit 95% of the average. A response is considered present if the origin (zero) is not in the confidence limits.

In addition to the statistical analysis used, it was decided to include the response staying for two consecutive sweeps, and the response presence criterion. The maximum sweeps used during the test were 48, which is the maximum period for the registration of the response.

Therefore, the white noise stimuli were presented modulated in amplitude with intensities between 80 and 10 dB peSPL (the latter , the lowest intensity of the equipment) . Responses were considered present when the analysis of the F distributions and T2 test was significant (at $p < 0.05$) and stability of those answers for two consecutive sweeps.

Statistical significance of differences was assessed by Student's t- test and repeated measures analysis of variance with greehouse - Geiser adjustment for degrees of freedom. The post - hoc comparisons were made using the Tukey HSD test. A difference was considered significant when $p < 0.05$.

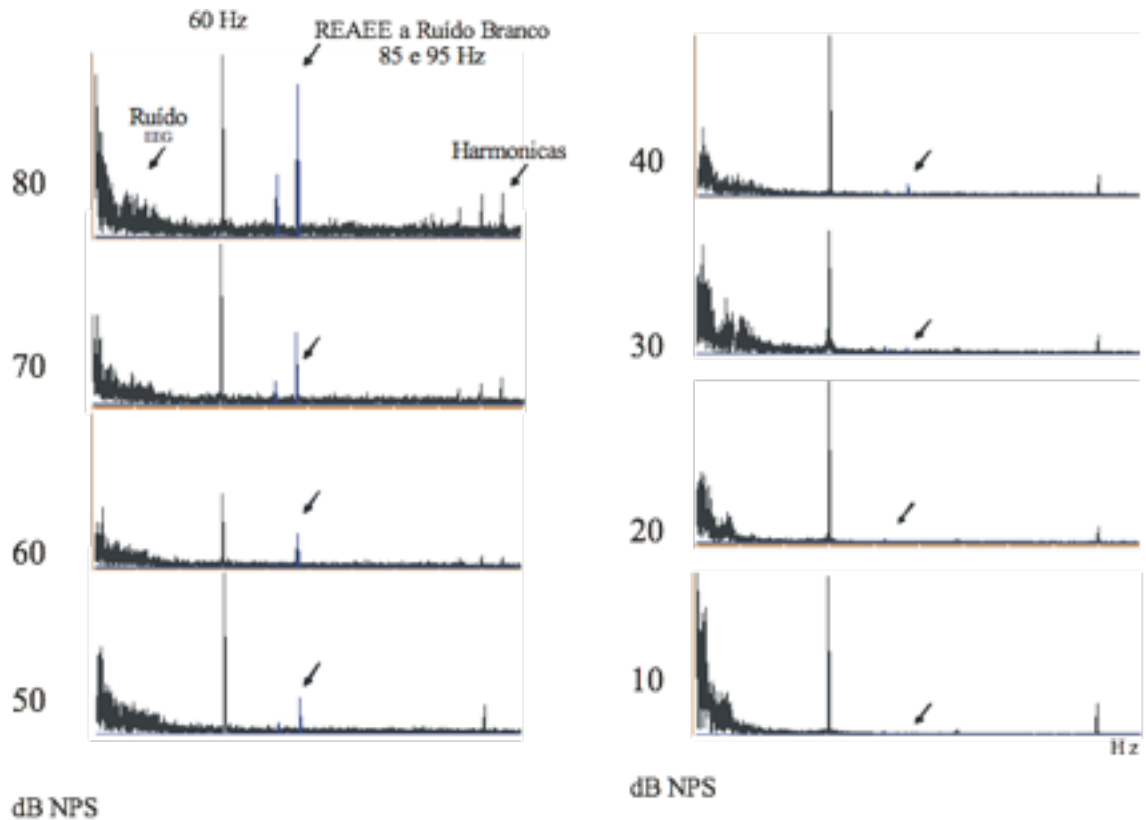


Figure 2 – FFT of steady state noise and response to white noise stimulus amplitude modulated at 85 Hz and 95 for the left and right ears, respectively, at different intensities.

RESULTS

This study evaluated individuals with normal hearing , in order to describe the ASSR white noise amplitude modulated , the intensities between 80 and 10 dB peSPL .

There was no statistical difference when evaluating the variable ear . It was decided, to perform the analysis by ear , being considered in the study , the group with 44 ears (22 subjects) with normal hearing.

The analysis was performed according to the variables : amplitude and phase of the ASSR and noise and time of acquisition of responses , in various intensities evaluated .

ASSR were recorded in all tested intensities. The detection of the reply (from the F distribution), it was observed that the average amplitude of the ASSR decreases the extent that the stimulus intensity decreases. The mean noise amplitudes analysis demonstrated the same behavior.

Table 1 shows the data that confirmed this behavior of the amplitudes of the ASSR and noise in relation to the intensity in individuals with normal hearing. All variations of the average amplitudes for ASSR and noise were statistically significant decrease in the intensity of the function (for a p value <0.05).

By comparing the amplitudes of the ASSR with the noise in each assessed intensity, it was observed that on 20 and 10 dB peSPL was no statistically significant difference between the amplitudes, $P = 0.06$ by 20 dB peSPL $p = 1$ in 10 dB peSPL. Intensities from 30 dB SPL all comparisons between the amplitudes of the ASSR and noise showed a statistically significant difference with $p = 0$.

Table 1 – Characterization of the amplitude of ASSR and noise in function of the stimulus intensity in adults with normal hearing.

<i>Amplitude</i>	<i>80</i>	<i>70</i>	<i>60</i>	<i>50</i>	<i>40</i>	<i>30</i>	<i>20</i>	<i>10</i>
(μV)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
ASSR	4,8 (5,0)	2,9 (3,0)	0,4 (1,7)	1,1 (1,5)	0,8 (1,2)	0,4 (1,2)	0,3 (0,4)	0,1 (0,2)
Noise	0,4 (0,3)	0,3 (0,2)	0,2 (0,1)	0,2 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0)

Figure 3 shows the means and standard deviations of the 44 subjects, normal hearing . It is observed that over 60 dB peSPL the amplitude of ASSR grew faster (176 nV) when compared to lower intensities than 60 dB peSPL (26 nV) .

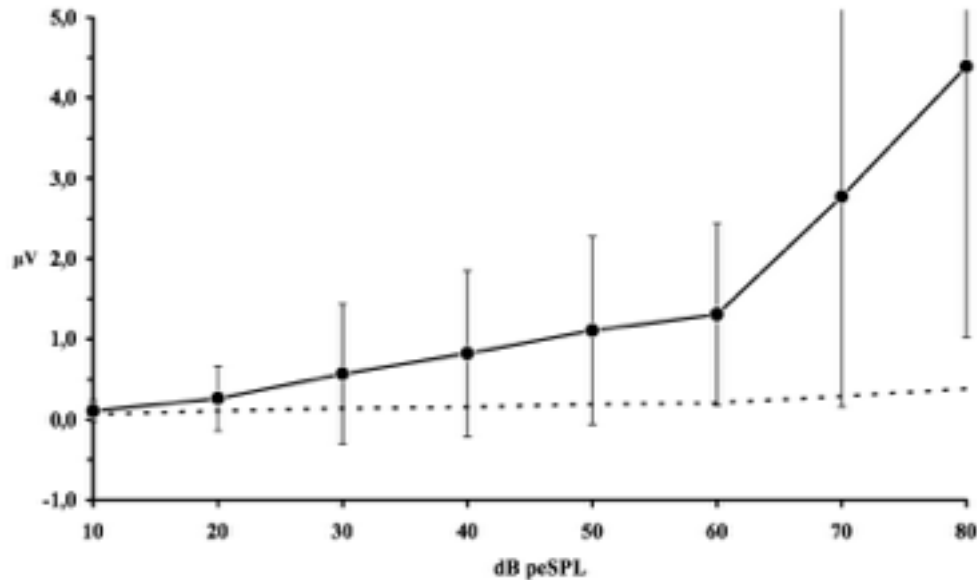


Figure 3 – Average amplitudes (solid line) and standard deviation (vertical lines) of ASSR and average noise amplitude (dotted line) as a function of intensity for subjects with normal hearing.

In the amplitude also analyzed the variable phase ASSR . It was observed that on average the phase varied between 237 and 86 degrees to the right ear and 299 and 137 degrees to the left, to the different intensities (Table 2) . It was observed that the phases decreased with the decrease of the intensity in both ears .

Table 2 – Characterization of the phases of ASSR according to the intensity of stimulation in adults with normal hearing.

Intensity	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
Phase Right ear	237 (48)	222 (53)	220 (70)	175 (82)	166 (67)	149 (67)	123 (71)	86 (71)
Phase Left ear	299 (23)	288 (48)	264 (73)	241 (72)	240 (65)	233 (57)	194 (63)	137 (67)

As for the time necessary to achieve significant ASSR in different intensities , it was found that the time in increased to an extent that the stimulus intensity decreased (Figure 4). For example, we obtained an average of 37 seconds (2.3 sweeps) to the intensity peSPL 80 dB , and an average time of 268 seconds (16,73 sweeps) to 10 dB peSPL in normal hearing individuals (Table 3) .

Table 3 -Time for significant record of ASSR second and sweeps in relation to the stimulus intensity in individuals with normal hearing.

Intensity	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
# Sweep	2,3 (0,8)	2,1 (0,5)	3,9 (6,7)	3,1 (3,1)	3,3 (2,7)	3,9 (2,9)	7,8 (5,0)	16,7 (16,2)
Time(s)	37 (13)	34 (7)	62 (107)	49 (50)	53 (43)	62 (47)	125 (173)	268 (260)

Figure 4 shows the variation in time of onset of the responses in the intensity decreased function in individuals with normal hearing. It is observed that from 30 dB peSPL to an abrupt increase in time to record the ASSR , being observed a time average greater than 1 minute to record the amplitudes in the intensities of 20 and 10 dB peSPL .

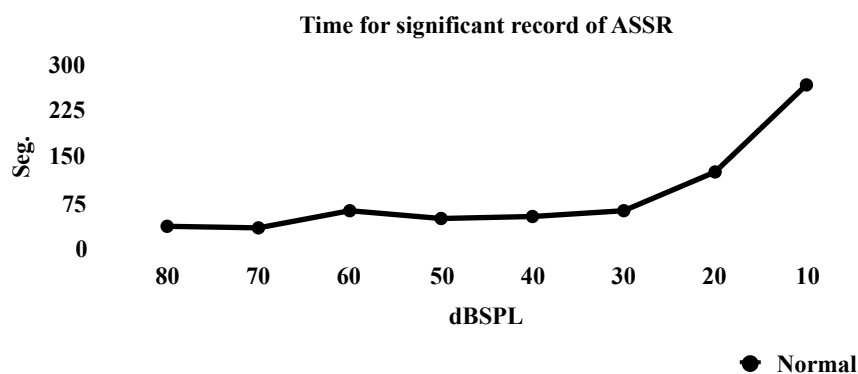


Figure 4 - Average time for registration of ASSR second in relation to the intensity of stimulation in adults with normal hearing and with sensorineural hearing loss.

DISCUSSION

This study demonstrated that it is possible to record consistently the ASSR white noise amplitude modulated (100%) at frequencies of 85 and 95 Hz. The recording of ASSR modulation frequencies between 80 and 110 Hz has been applied in several studies and to different stimuli (Lins, 2002; John, Dimitrijevic, Picton, 2003; Duarte et al, 2008;. Picton, van Roon, John, 2009; 2010 Alaerts et al.).

The ASSR with modulation frequencies between 80 and 110 Hz evoke responses related to the neurons of the eighth cranial nerve, including the cochlear nucleus, the inferior colliculus and auditory cortex (Picton, Dimitrijevic, John., 2001; Herdman et al, 2002). These structures are structures evaluated by ABR, whose clinical application is widely described, for allowing the estimation of hearing thresholds (Hood, 1998; Hall, 1992; Sinninger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Comparing the findings of the amplitudes of the ASSR, individuals with normal hearing, with the literature, we found that these were higher than the responses obtained through pure tones or other noises reported in the literature (Lins, 2002; John, Dimitrijevic and Picton, 2003). This is due to be the white noise a broadband stimulus. Therefore stimulates a larger area of the cochlea, which generates ASSR increased because of the frequency spectrum of the scope of the stimulus.

The ASSR to individuals with sensorineural hearing loss have consistently shown themselves lower than the amplitudes of individuals with normal hearing. This is due to the fact that there

In the cochlea the ASSR are generated from the depolarization and hyperpolarization of the inner hair cells (IHC) (where there is the decoupling frequency of the main stimulus modulation) and the transmission of electrical impulses through the synapses with ganglion cells (which is the rectification of the acoustic stimulus) (Lins, 2002). Therefore, changing the physiology of the outer hair cells (OHC) and IHC the organ of Corti restricts the population of the OHC and IHC causing a decrease in structures that respond to acoustic stimuli presented.

The intensity of stimulation caused changes in the amplitudes of the ASSR and noise. a direct relationship was observed between these variables, namely to decrease the intensity of the stimulus was a decrease of amplitudes of ASSR and noise. This behavior observed responses as a result of the intensity variation is characteristic of independent used stimulus ASSR (Lins, 2002; John, Dimitrijevic, Picton, 2003; Duarte et al, 2008;. Picton, van Roon, John, 2009; Alaerts et al. 2010). This variation is not related to the type of stimulation but the energy of acoustic stimulus presentation, ie, the higher the intensity of the stimulus will be greater the amplitude (power) of the response (Lins, 2002).

Analyzing the behavior of the ASSR in relation to the variation of the intensities of the background noise amplitude modulated (Figure 3), it was observed that from the intensity of 60 dB peSPL there was a growth ratio of greater amplitudes, (176 nV), in relation to lower intensities (26 nV). This behavior was described by Lins, Picton and Picton (1995), for the ASSR pure tone stimuli, and this study found a growing relationship in greater amplitudes from the intensity of 70 dB SPL. There was also growth ratio difference being the study of Lins, Picton and Picton (1995) smaller than the present study, this fact is due to the difference in the type of stimulus used.

The different growth ratio for intense stimuli (60 or 70 dB SPL) is probably due to the modification of the filter function bandpass cochlea. For sounds near the auditory threshold, the bandwidth is narrow, however, at high intensities the cochlea begins to behave as a filter high-pass, there is stimulation of frequencies above the frequency spectrum of the main stimulus (Lins, Picton, Picton, 1995; Lins, 2002).

The transformation of the time domain ASSR to the frequency domain by the FFT generates a two-dimensional vector response to be analyzed for the presence of the response detection. One of these two-dimensional features of the ASSR is the phase. It is through their analysis that checks the replicability of the answers.

The phases show a similar behavior to the amplitudes when comparing the intensities of the stimuli. There is a decrease in stages with decreasing stimulus (Lins, Picton, Picton, 1995; Lins, 2002, Picton, Dimitrijevic, John, 2001; Alaerts et al., 2010).

One of the discussion points on the use of ASSR in the auditory evaluation of clinical practice is the ability to reduce the test time for obtaining hearing thresholds. It is believed to be the ASSR a test that uses a multiple stimulation (various stimuli is used in both the ears simultaneously) the responses of recording time is reduced . On average the ASSR white noise amplitude modulated had faster records in the strongest intensity . This fact is probably the increase in amplitude of the ASSR supra- liminal intensities , which facilitates the detection of responses.

Using the ASSR white noise amplitude modulated in the auditory evaluation of clinical practice provides important data on the physiology of the auditory system . therefore the use of white noise as stimulus in ASSR provides the registration information of a wider area of the cochlea, not providing frequency information specific , but being consistent in the detection of auditory changes , and then the use of the most appropriate white noise hearing screening .

As the test of time, comparing the ASSR and Auditory Evoked Potential of brainstem response (ABR) , electrophysiological examination currently used to hearing evaluation to estimate thresholds and frequency responses (Katz , 2002; Sininger , 2003 Araújo , 2004; Marttila , Karikoski , 2006) , it is observed that due to the multiple stimulation ASSR are more readily detected in both ears.

CONCLUSION

Through this study it was concluded that the auditory evoked responses steady-state white noise amplitude modulated have characteristics that make them promising for the audiological evaluation, especially in hearing screening .

REFERÊNCIAS

1. Alaerts J; Luts H; Van Dun B; Desloovere C; Wouters J. Latencies of auditory steady-state responses recorded in early infancy. *Audiol Neurotol*; 2010;15(2): 116-27.
2. Araújo, F.C.M. Interpretação Clínica do Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico na Frequência Específica de 1000 Hz em recém nascidos [dissertação]. São Paulo (SP): Pontificia Universidade Católica de São Paulo; 2004.

3. Duarte, J. L.; Alvarenga, K. F.; Garcia, T. M.; Costa Filho, O. A.; Lins, O. G. A resposta auditiva de estado estável na avaliação auditiva: aplicação clínica. *Pró-Fono R. Atual. Cient.* 2008;20(2):105-110.
4. Hall JW III. *Handbook of auditory evoked response*. Massachusetts: Allyn and Bacon, 1992.
5. Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapells, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: *Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses*. *Brain Topography*. 2002; 15(2):69-86.
6. Hood LJ. *Clinical applications of the auditory brainstem responses*. San Diego – London: Singular publishing group INC, 1998.
7. Joint Committee on Infant Hearing. *Position Statement: Principles and Guidelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs*. *Revista Pediatrics, Califórnia*. 2007; 120(6):897-922.
8. John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. *Audiology*. 1998; 37:59-82.
9. John, M.S.; Picton, T.W. MASTER: a windows program for recording multiple auditory steady-state responses. *Comput Methods Programs Biomed*. 2000a;61:125-150.
10. John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res*. 2000b;141:57-79.
11. John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. *Ear & Hearing*. 2003;24(5):406-423.
12. Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Revista Electroencephalography and Clinical Neurology*. 1995a; 96(5):420-432.
13. Lins, O.G., Picton, P.E.; Picton, T.W. Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. *J. Acoust. Soc. Am.*; 1995b;97(5):3051-3063.
14. Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. *Ear & Hearing*. 1996; 17(2): 81-96.
15. Lins, O.G. *Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]*. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.
16. Lourenço, E. A.; Oliveira, M. H.; Umemura, A.; Vargas, A. L.; Lopes, K. C.; Pontes Júnior, A. V. Audiometria de resposta evocada de acordo com sexo e idade: achados e aplicabilidade. *Rev. bras. otorrinolaringol*. 2008;74(4):545-551.
17. Marttila T. I., Karikoski J. O. Comparison between audiometric and ABR thresholds in children. *Contradictory findings*. *Eur Arch Otorhinolaryngol*; 2006;263:399-403.
18. Picton, T.W.; John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Purcell, D. Human auditory steady-state responses. *International Journal of Audiology*. 2003; 42:177-219.
19. Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiology*. 2001; 112:1698-1711.
20. Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear*. 2007; 28:542-557.
21. Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Multiple Auditory Steady State Responses (80 – 101 Hz): Effects of Ear, Gender, Handedness, Intensity and Modulation Rate. *Ear & Hearing*. 2009;30(1):100-9.

22. Sinninger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. *In*: Katz, J.: Handbook of clinical audiology. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins, 298-322, 2002.
23. Sinniger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.
24. Wei, W.W.S. Estimation of the spectrum. *In*: Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods. Redwood City: Addison-Wesley; 1990; p. 256-287.

ANEXO E – Registro de envio do artigo Original: Auditory Steady State Response to Amplitude Modulated White Noise (Respostas Auditivas de Estado Estável a Ruído Branco Modulado em Amplitude)

06/03/2016

ScholarOne Manuscripts



International Journal of Audiology

Submission Confirmation

 Print

Thank you for your submission

Submitted to

International Journal of Audiology

Manuscript ID

TIJA-2016-03-0063

Title

Auditory Steady State Response to Amplitude Modulated White Noise

Authors

Araújo, Fabiana
Griz, S
Lins, Otávio

Date Submitted

05-Mar-2016

Author Dashboard

© Thomson Reuters | © ScholarOne, Inc., 2015. All Rights Reserved.
ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.
ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.
 @ScholarOneNews |  System Requirements |  Privacy Statement |  Terms of Use

<https://mc.manuscriptcentral.com/tija>

1/2

ANEXO F – Artigo em Inglês para publicação: "Limiares de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude"

Threshold of Auditory Steady State Response evoked to amplitude
modulated white noise

Araújo, F.C.M.; Griz, S.M.S; Lins, O.G.

ABSTRACT

Introduction: Auditory steady-state Responses to white noise modulated in amplitude has been studied as a method to assess hearing, however, there is no well defined parameters and the literature is scarce. **Objective:** To describe the findings of electrophysiological thresholds obtained with the stimulus amplitude modulated white noise, and compare them to the auditory thresholds in adults with normal hearing. **Methods:** We studied 22 subjects with normal hearing between 18 and 24 years. All were assessed by the Auditory Evoked Potential Steady State, with the stimuli of white noise modulated in amplitude at 85 and 95 Hz for the left and right ears respectively, varying the stimulus intensity between 100 and 10 dB SPL. **Results:** The electrophysiological thresholds using auditory evoked potentials of Steady State with white noise recorded in subjects with normal hearing was 40 dB HL in 41% (9) individuals and 30 dB HL in 59% (13) of individuals. **Conclusions:** In this study it was concluded that the electrophysiological thresholds obtained by the Auditory Evoked Potential Steady State by white noise modulated in amplitude is a method to assess hearing ability, with a threshold of up to 40dB HL suggestive normal hearing.

Key-words: Evoked Potential Auditory Steady State, Evoked Response Auditory Steady State, White Noise, electrophysiological thresholds

INTRODUCTION

Hearing is one of the human senses, which allows the analysis and interpretation of sounds through the auditory system. It is directly related to oral communication and develops an important role in cognitive development, oral language, psycho-social and educational (Sininger, 2003; JCIH2007). This made the assessment of hearing has been subject to several studies, because alteration of auditory function may cause significant consequences for the individual.

Among the procedures that help the hearing evaluation, we highlight the tests of Auditory Evoked Potentials (AEP). EAP tests are invaluable tools for audiology, as it evaluates the integrity of the auditory system and allows to estimate the auditory threshold. Furthermore, characterized by being a simple technique, noninvasive, high sensitivity, low variability and high reproducibility response (Hood, 1998 Araujo, 2004; Lawrence et al 2008.).

The hearing assessment objective is the identification and characterization of hearing loss (diagnosis), as soon as possible, to enable intervention before 6 months of age, thus

seeking to maximize the development of hearing, speech and language (JCIH, 2007; Sininger, 2003). Thus, the more accurate is the information on the characterization of hearing loss in relation to the frequency and hearing threshold, the greater the opportunities for appropriate intervention.

In order to improve the hearing evaluation, with the aid of electrophysiological tests that allow getting to various stimuli thresholds types of responses, it has been studied and described the Auditory Evoked Potential Steady State (ASSR).

The ASSR are potential evaluating the neurophysiology of the auditory system by means of acoustic stimulation with high rates of presentation. The stimulus should be modulated in amplitude and depending on the modulation frequency, can evaluate different structures of the auditory nervous system (Herdman et al., 2002). Thus, the stimulus spectrum is acoustically composed of the frequency of the main stimulus (stimulus carrier) and two frequencies adjacent to the main, due to modulation frequency influence. For example, when using a pure tone of 1000 Hz modulated at 100 Hz, it has a frequency spectrum of stimuli consists of 900, 1000 and 1100 Hz (Lins; Picton, 1995; Picton, van Roon, John, 2007).

The ASSR occur when a repetitive stimulus evoked responses electric waves whose frequency component to kill constant amplitude and phase during the stimulation time, called ASSR (John et al., 1997; Picton et al. 2001).

The ASSR are produced when there is a stimulation at a sufficiently rapid rate that causes the overlap of electrical responses. After some stimuli, registered potential assume a characteristic periodic waves, the modulation frequency (John et al, 1998; Picton et al. 2001).

The main parameters for the analysis of ASSR are the amplitude and phase response, the stimulation frequency, automatically analyzed by the machine software, through well-defined statistical techniques (F distribution and T^2 test), which determine clearly and objectively is a response is present or not (Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007).

The examination of ASSR can be performed at various frequencies in both ears at the same time (Lins et al, 1996; Lins, 2002; Picton, van Roon, John, 2007; Picton, van Roon, John, 2009). The method is to modulate the amplitude of each stimulus with a different frequency and display them simultaneously. The answer to each of them can be independently assessed by analyzing the spectral component corresponding to the frequency at which the carrier of each stimulus was modulated (Lins, 2002).

Two main types of stimuli have been used in the evaluation with the ASSR examination, pure tone and noise. Among these stimuli, the pure tone has been more studied, and described the evaluation protocols and features of their responses (Lins et al, 1996; John, Picton, 2000; Sininger, Cone-Wesson, 2002; Lins, 2002).

Depending on the stimulus and the protocol used, the examination of the ASSR can be used for the purpose of detection and/or diagnosis of hearing loss. According John Dimitrijevic and Picton (2003), in some cases, the use of stimuli that increase the amplitude response is more significant than the examination with other stimuli enabling greater the frequency specificity, as for example in cases of hearing screening. These authors indicate the examination of ASSR using broadband stimulus, because they have higher amplitudes responses when compared to other stimuli.

In a literature review in the area, were not found clinical studies using the ASSR by white noise for the purpose of hearing diagnosis or hearing screening, not being found criteria nor the parameters for analysis of ASSR the white noise that can guide their inclusion in routine clinical audiological evaluation.

Thus, this study aimed to describe the findings of electrophysiological thresholds obtained with the white noise stimulus amplitude modulated , and compare them to the auditory thresholds in adults with normal hearing.

METHODS

The study included 22 adults with normal hearing , 11 female and 11 male , aged between 18 and 34 years.

Procedure

The auditory thresholds were obtained using the descending technique, reducing the intensity of 10 dB and increase in 5 dB to determine the thresholds. Considered if the hearing threshold less intensity at which the individual answered 50 % of the stimuli. This procedure estimates the threshold to 5 dB confidence interval . It used the audiometer test Audio 227, with supra-aural headphones TDH39 and bone vibrator B -71 . We evaluated the frequencies of 250, 500 , 1000, 2000, 3000 , 6000 and 8000 Hz in air conduction, and 500 , 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz, the bone conduction . Were considered normal hearing those with less than or equal intensity to 20 dB HL (Hood , 1998; Hall , 1992).

It used white noise , rectangular, with high-pass filters of 1 Hz and low-pass 8000 Hz, modulated 100 % amplitude at 85 Hz in the left ear , and 95 Hz in the right ear . We opted for the simple amplitude modulation , since the use of simple modulation (Amplitude Modulated - AM) has demonstrated a record of larger amplitudes than when using the combined modulation (FM and AM) (John Dimitrijevic and Picton, 2003) .

The stimulus was presented through ER3A insert earphones. This type of transducer, because of their electro-acoustic characteristics, acts as a filter, so that there is 3 dB attenuation for frequencies above 4500 Hz .

Stimuli were produced digitally and converted to analog form . The digital - analog converter (DA) was directed by the same clock that the analog-to- digital converter (AD). The DA conversion rate was 32000 Hz, exactly 32 times the AD conversion frequency. The analog signal was amplified and filtered (high pass in 70 Hz and low pass at 110 Hz).

The electrodes were assembled as the active electrode is placed on the vertex (Cz), reference electrode is placed on the mastoid of the right ear (M2) and the ground electrode in the left ear mastoid (M1). Impedance was maintained below 5 Kohm .

Auditory steady-state response was analyzed for amplitude and phase responses. The presence or absence of a response was determined by two statistical techniques , the F distribution and the T² test. The F distribution evaluates the amplitude response (obtained in the modulation frequency of the stimulus) is significantly higher than the frequency of the noise amplitude spectrum (Figure 1) .

The T² test evaluates the response and replicable . After completion of the FFT of each session of analysis is obtained 16 pairs of orthogonal components X and Y , which are used to calculate the two-dimensional confidence limit 95% of the average. A response is considered present if the origin (zero) is not in the confidence limits .

Therefore, the white noise stimuli were presented modulated in amplitude with intensities between 80 and 10 dB SPL (the latter , the lowest intensity of the equipment) .

Responses were considered present when the analysis of the F distributions and T² test was significant (for $p > 0.05$) and stability of those answers for two consecutive sweeps .

Electrophysiological thresholds were obtained in dB SPL , being transformed to dB HL using a correction factor the addition of 18 dB.

Statistical significance of differences was assessed by Student's t- test and repeated measures analysis of variance with greehouse - Geiser adjustment for degrees of freedom. The post - hoc comparisons were made using the Tukey HSD test. A difference was considered significant when $p < 0.05$.

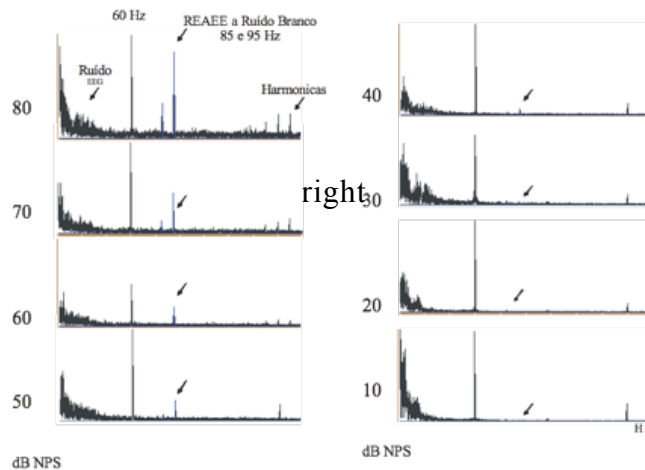


Figure 1 - the FFT stable state responses and noise to white noise stimulus amplitude modulated at 85 Hz and 95 for the left and ears , respectively , 80 dB SPL (a- this response) and 20 dB SPL (b- missing response)

RESULTS

This study evaluated individuals with normal hearing , in order to describe the findings of electrophysiological thresholds of ASSR white noise amplitude modulated , the intensities between 80 and 10 dB SPL .

There was no statistical difference when evaluating the variable ear . It was decided, then , to perform the analysis by ear , being considered in the study, 44 ears (22 subjects) with normal hearing.

The analysis was performed according to the variables pure tone thresholds and electrophysiological thresholds of ASSR white noise amplitude modulated in individuals with normal hearing.

Subjects were considered normal hearing by obtaining pure tone thresholds at octave frequencies and interoitavas between 250 and 8000 Hz, with minor hearing tonal thresholds or equal to 20 dB HL. But for the analysis were used only frequencies of 250, 500, 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz, since the type of transducer used filtered frequencies above 4500 Hz. The average of the tonal thresholds for the frequencies considered for analysis of this study can be seen in Table 1.

The data tone thresholds showed lower thresholds at high frequencies than at frequencies below 1000 Hz. The average tritone (ATR) of the frequencies of 500, 1000 and 2000 Hz was on average slightly higher than the overall average (OA) of frequencies (500, 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz).

The electrophysiological threshold obtained by the ASSR white noise amplitude modulated averaged $30 (\pm 4)$ dBHL, demonstrating a greater than pure tone thresholds, with a 95% confidence threshold between 22-38 dB HL.

Table 1 -Limiares tone by frequency and electrophysiological white noise amplitude modulated in adults with normal hearing.

Frequencies (HZ)	White Noise	250	500	1000	2000	3000	4000	A_{Tr}	OA
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
Theshholds (dBHL)	30 (4)	13 (4)	14 (4)	11 (5)	8 (6)	7 (7)	7 (7)	11 (4)	10 (4)
CL95%	22-38	5-21	6-22	1-21	-4-20	-7-21	-7-21	3-19	2-18

CL95% - Confidence limit a 95%

A_{Tr} – average pure tone thresholds of 500, 1000 and 2000 Hz.

OA – average pure tone thresholds of 250, 500 , 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz

When compared the electrophysiological threshold and the pure tone thresholds obtained a higher average difference in high frequencies (2 , 3 and 4 kHz) than the frequencies below 1000 Hz (Table 2).

As the stimulus white noise a broadband stimulus chose to compare it with the ATR , which is the data used for the classification of hearing loss in the degree , and MT, coalescing tested frequencies in order to obtain a threshold probably composed of a larger frequency spectrum.

In comparison with the threshold electrophysiological and ATR, OA, it was noted that the difference with the OA is slightly larger than the ATR , 20 and 19dB respectively (Table 2)

Table 2 - Differences thresholds (dB HL) tone and electrophysiological by frequency in adults with normal hearing.

Frequencies (HZ)	250	500	1000	2000	3000	4000	A_{Tr}	OA
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
Difference	17 (5)	16 (5)	19 (5)	23 (6)	23 (8)	23 (7)	19 (5)	20 (5)
CL95%	7-27	6-26	9-29	11-35	7-39	9-37	9-29	10-30

CL95% - Confidence limit a 95%

A_{Tr} – average pure tone thresholds of 500, 1000 and 2000 Hz.

OA – average pure tone thresholds of 250, 500 , 1000, 2000, 3000 and 4000 Hz

As for the time necessary to register in ASSR electrophysiological threshold, it was observed that the time increased in the measure that the approached the electrophysiological threshold (Figure 4). For example , we obtained an average of 37 seconds (2.3 sweeps) to the intensity of 80 dB SPL, and an averaging time of 268 seconds (16.7 sweeps) to 10 dB SPL in normal hearing individuals (table 3) . It was then observed that on average a time of 267.64 seconds was required (16.73 sweeps) to achieve ASSR record the electrophysiological threshold adults with normal hearing (Table 3).

Table 3 Time for significant record of ASSR second and number of sweeps in relation to the stimulus intensity in individuals with normal hearing.

Intensity	80	70	60	50	40	30	20	10
	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)	(dB peSPL)
	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)	Average (SD)
# Sweep	2,3 (0,8)	2,1 (0,5)	3,9 (6,7)	3,1 (3,1)	3,3 (2,7)	3,9 (2,9)	7,8 (5,0)	16,7 (16,2)
time	37 (13)	34 (7)	62 (107)	49 (50)	53 (43)	62 (47)	125 (173)	268 (260)

Figure 2- shows the variation in time of onset of the responses in the intensity decreased function in individuals with normal hearing.

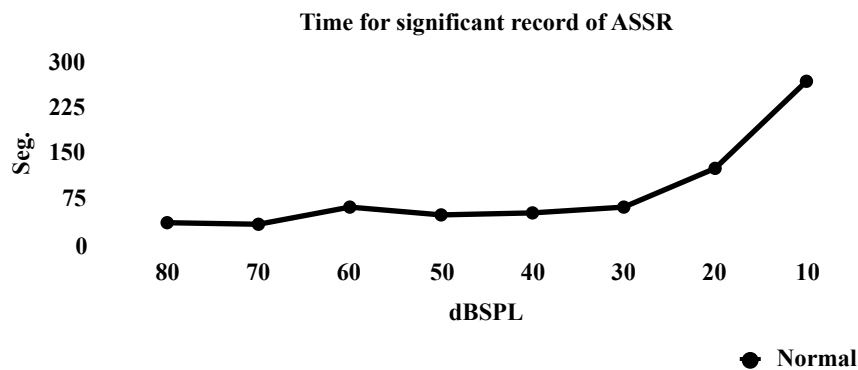


Figure 2 - Average time for registration of ASSR second in relation to the intensity of stimulation in adults with normal hearing and with sensorineural hearing loss.

DISCUSSION

This study demonstrated that it is possible to find the electrophysiological threshold of ASSR by white noise amplitude modulated. In adults with normal hearing was observed in approximately 41% (9) individuals record the electrophysiological threshold to 20 dB SPL, most being 59% (13) of individuals with electrophysiological thresholds at 10 dB SPL.

The conversion of thresholds for hearing level, we can say that were obtained electrophysiological thresholds between 30 and 40 dB HL in adults with normal hearing. These findings are consistent with the literature describing the major physiological thresholds than the pure tone thresholds (Ozdek et al, 2009; Hatzopoulos et al, 2009; Rodrigues, Lewis, 2010; Qian et al, 2010;. Hatzopoulos et al, 2010). Currently it uses the ABR as a method of obtaining thresholds being considered in this current method the threshold of 30 dB HL correlated with normal hearing. It is observed then that the ASSR by white noise found similar thresholds to the gold standard in hearing thresholds electrophysiological research (Araújo, 2004; Qian et al., 2010).

White noise is a broad frequency spectrum of stimulus, and the stimulus suitable for conducting hearing screenings because probably provides more general information on the functioning of the cochlea.

When comparing the electrophysiological threshold with pure tone thresholds of specific frequencies, it was observed that the pure tone thresholds of the low frequencies were found closer to the electrophysiological thresholds. This fact is likely to be because there is a greater hearing sensitivity for sharper sounds, which causes better tonal thresholds for these frequencies (Ozdek et al, 2009;. Hatzopoulos et al, 2009;. Rodrigues, Lewis, 2010; Qian et al. 2010; Hatzopoulos et al, 2010).

Seeking a comparison of thresholds that could have similar spectrum of frequencies, they compared the physiological thresholds with ATR and OA. It was observed in this analysis that there was a slightly higher correlation thresholds when compared with the overall averages. This fact shows that in obtaining the electrophysiological threshold there is the contribution of all frequencies that constitute the stimulus for the formation of ASSR, unlike what happens with the click stimulus, widely used for research thresholds with the examination of the ABR, the which, despite being a broadband stimulus has its greatest energy concentrated at frequencies between 2000 and 4000 Hz, not providing a reliable information of low frequencies.

The time required to obtain the significant responses in the auditory threshold increased the lower was the electrophysiological threshold . For electrophysiological threshold to 40 dB HL was obtained an average time of 2 minutes (7.84 sweeps) in adults with normal hearing , getting a confidence level of approximately -2 - 18 sweeps . Thus one can get answers suggestive of normal hearing at 40 dB HL within about 5 minutes of stimulation .

Whereas than 5 minutes would be a maximum stimulation time for obtaining ASSR white noise and the technique assesses both ears simultaneously , this maximum time threshold record can be considered fast in comparison to tests of hearing powers aimed at evaluating thresholds (D' haenens et al . , 2010) .

The hearing assessment by means of ASSR by white noise modulated in amplitude provides information on the operation of the cochlea so serious as high frequencies , being influenced by all frequencies that make up the stimulus. In this way it does not provide specific frequency information , but it suggests about the average working all stimulated frequencies.

The electrophysiological threshold of 40 dB HL may be suggestive of normal hearing may be considered as the intensity of a criterion -pass failed a hearing screening .

The time required for registration of ASSR in the electrophysiological threshold is approximately 8 sweeps , with a trust boundary between -2-18 , so can also use the time as another criterion in building a hearing screening protocol with ASSR by white noise amplitude modulated .

CONCLUSION

Through this study it was observed that it is possible to obtain electrophysiological auditory threshold by examining the Evoked Auditory Steady State by white noise modulated in amplitude , and these thresholds correlated with pure tone thresholds . electrophysiological thresholds of 40 dB HL obtained by ASSR can suggestive of normal hearing. The time required for the mean log of the thresholds by the ASSR were on average 2 minutes, and these data suggested protocol as pass and fail in the data analysis in hearing screening .

REFERENCES

1. Araújo, F.C.M. Interpretação Clínica do Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico na Frequência Específica de 1000 Hz em recém nascidos [dissertação]. São Paulo (SP): Pontificia Universidade Católica de São Paulo; 2004.
2. D'haenens W, Vinck BM, Maes L, Bockstael A, Keppler H, Philips B, Swinnen F, Dhooge I. Determination and evaluation of clinically efficient stopping criteria for the multiple auditory steady-state response technique. Clin Neurophysiol. 2010; Apr 22. [Epub ahead of print].
3. Hall JW III . Handbook of auditory evoked response. Massachusetts: Allyn and Bacon, 1992.
4. Hatzopoulos S, Ciorba A, Petruccielli J, Grasso D, Sliwa L, Kochanek K, Skarzynski H, Martini A. Estimation of pure-tone thresholds in adults using extrapolated distortion product otoacoustic emission input/output-functions and auditory steady state responses. Int J Audiol. 2009;48(9):625-31.
5. Hatzopoulos S, Prosser S, Ciorba A, Giarbini N, Kochanek K, Sliwa L, Skarzynski H, Martini A. Threshold estimation in adult normal- and impaired-hearing subjects using auditory steady-state responses. Med Sci Monit. 2010;16(1):CR21-7.
6. Herdman, A. T.; Lins, O.; Roon, P. V.; Stapells, D. R.; Scherg, M.; Picton, T. W.: Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses. Brain Topography. 2002; 15(2):69-86.
7. Hood LJ. Clinical applications of the auditory brainstem responses. San Diego – London: Singular publishing group INC, 1998.
8. Joint Committee on Infant Hearing. Position Statement: Principles and Guidelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. Revista Pediatrics, Califórnia. 2007; 120(6):897-922.
9. John, M.S.; Lins, O.G.; Boucher, B.L.; Picton, T.W. Multiple Auditory Steady-state responses (MASTER): Stimulus and Recording Parameters. Audiology. 1998; 37:59-82.
10. John, M.S.; Picton, T.W. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. Hear Res. 2000;141:57-79.
11. John, M.S.; Dimitrijevic, A.; Picton, T.W. Efficient Stimuli for Evoking auditory Steady-State Responses. Ear & Hearing. 2003;24(5):406-423.
12. Lins, O. G.; Picton, T. W. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. Revista Electroencephalography and Clinical Neurology. 1995; 96(5):420-432.
13. Lins, O.G., Picton, P.E.; Picton, T.W. Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. J. Acoust. Soc. Am.;1995b;97(5):3051-3063.
14. Lins, O.G.; Picton, W. T.; Boucher, B.L.; Durieux-Smith, A.; Champagne, S.C.; Moran, L.M. et al. Frequency-specific Audiometry Using Steady-State responses. Ear & Hearing. 1996; 17(2): 81-96.
15. Lins, O.G. Audiometria Fisiológica Tonal utilizando Respostas de Estado Estável Auditivas do Tronco Cerebral [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2002.
16. Lourenço, E. A.; Oliveira, M. H.; Umemura, A.; Vargas, A. L.; Lopes, K. C.; Pontes Júnior, A. V. Audiometria de resposta evocada de acordo com sexo e idade: achados e aplicabilidade. Rev. bras. otorrinolaringol. 2008;74(4):545-551.

17. Ozdek A, Karacay M, Saylam G, Tatar E, Aygener N, Korkmaz MH. Comparison of pure tone audiometry and auditory steady-state responses in subjects with normal hearing and hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Jun 18. [Epub ahead of print]
18. Picton, T.W.; Dimitrijevic, A.; John, M.S.; Roon, P.V. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. *Clinical Neurophysiologi*. 2001; 112:1698-1711.
19. Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Human auditory steady-state responses during sweeps of intensity. *Ear Hear*. 2007; 28:542-557.
20. Picton, T.W.; van Roon, P.; John, M.S. Multiple Auditory Steady State Responses (80 – 101 Hz): Effects of Ear, Gender, Handedness, Intensity and Modulation Rate. *Ear & Hearing*. 2009;30(1):100-9.
21. Qian L, Yi W, Xingqi L, Yinsheng C, Wenying N, Lili X, Yinghui L. Development of tone-pip auditory brainstem responses and auditory steady-state responses in infants aged 0-6 months. *Acta Otolaryngol*. 2010 Jan 21. [Epub ahead of print].
22. Rodrigues GR, Lewis DR. Threshold prediction in children with sensorineural hearing loss using the auditory steady-state responses and tone-evoked auditory brain stem response. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2010;74(5):540-6.
23. Sinninger, Y. S.; Cone-Wesson, B.: Threshold Prediction Using Auditory Brainstem Response and Steady-State Evoked Potentials With Infants and Young Children. *In*: Katz, J.: *Handbook of clinical audiology*. 5a. ed. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins, 298-322, 2002.
24. Sininger YS. Audiologic assessment in infants. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2003, 11:378-382.

ANEXO E – Registro de envio do artigo Original: "Threshold of Auditory Steady State Response evoked to amplitude modulated white noise" (Limites de Respostas Evocadas Auditivas de Estado Estável por ruído branco modulado em amplitude).

06/03/2016

ScholarOne Manuscripts



International Journal of Audiology

Submission Confirmation

Print

Thank you for your submission

Submitted to

International Journal of Audiology

Manuscript ID

TIJA-2016-03-0064

Title

Threshold of Auditory Steady State Response evoked to amplitude modulated white noise

Authors

Araújo, Fabiana

Griz, S

Lins, Otávio

Date Submitted

06-Mar-2016

[Author Dashboard](#)

© Thomson Reuters | © ScholarOne, Inc., 2015. All Rights Reserved.

ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.

ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

[@ScholarOneNews](#) | [System Requirements](#) | [Privacy Statement](#) | [Terms of Use](#)