

## Artigos originais

Protocolos de avaliação do pós-mascaramento em *Frequency-Following Response**Assessment protocols for forward masking in Frequency-Following Response*Denise Costa Menezes<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2008-4091>Silvana Maria Sobral Griz<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6759-5964>Anne Karoline Lima de Araújo<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0341-579X>Leonardo Gleygson Angelo Venâncio<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1971-755X>Karina Paes Advincula<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1314-6100>Pedro de Lemos Menezes<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1999-5055>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas – UNCISAL, Alagoas, Maceió, Brasil.

Trabalho desenvolvido no Programa Pós-Graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil.

Fonte de auxílio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil – CAPES, Código de Financiamento 001.

Conflito de interesses: Inexistente



## RESUMO

**Objetivo:** investigar o pós-mascaramento em marcações com predominância de picos positivos comparado com as marcações com predominância de picos negativos nos registros de Frequency-Following Response (FFR) em indivíduos adultos jovens com audição normal.

**Métodos:** trata-se de um estudo conduzido a partir de um banco de dados, onde foram selecionados 20 registros do FFR (10 homens; 10 mulheres, com idade entre 18 e 25 anos, com a audição normal) e realizada análise qualitativa por duas examinadoras experientes. Os registros foram analisados segundo dois protocolos distintos de marcação dos registros: (i) análise com predominância de picos positivos – marcação das ondas PV, A, PW, PX, PY, PZ e O; e, (ii) análise com predominância de picos negativos – marcação das ondas V, A, C, D, E, F e O. Foram realizados o teste de normalidade Shapiro-Wilk, o teste de Wilcoxon e o teste t de Student. Foi adotado o nível de significância de  $p < 0,05$ .

**Resultados:** a análise comparativa das marcações realizadas não mostrou diferença significativa entre os protocolos estudados. Nos valores de desvio padrão, foram observados valores absolutos mais elevados quando houve a marcação dos picos negativos quando comparado com as respostas obtidas com a marcação dos picos positivos, demonstrando um padrão inverso ao que se espera.

**Conclusão:** o pós-mascaramento foi identificado em ambas marcações propostas, sendo as marcações com predominância dos picos positivos se mostraram menos variáveis.

**Descritores:** Percepção da Fala; Mascaramento Perceptivo; Ruído; Potenciais Evocados Auditivos; Protocolos; Eletrofisiologia

## ABSTRACT

**Purpose:** to investigate forward masking by comparing latencies values of positive and negative peaks in frequency-following responses (FFR) recordings, in normally hearing young adults.

**Methods:** from a database, 20 FFR recordings were selected, 10 being from men, and 10 from women, aged 18 to 25 years, with normal hearing. They were qualitatively analyzed by two experienced researchers and also analyzed, according to two different protocols of recording identification: (i) predominance of positive peaks – PV, A, PW, PX, PY, PZ, and O waves; and (ii) predominance of negative peaks – V, A, C, D, E, F, and O waves. The Shapiro-Wilk normality test, the Wilcoxon test, and the Student's t-test were conducted, by adopting the significance level of  $p < 0.05$ .

**Results:** the comparative analysis of latency peak values did not reveal any significant difference between the studied protocols. However, the standard deviation was higher for absolute latency values as compared to negative peaks, suggesting an inverted pattern of what was expected.

**Conclusion:** forward masking was identified in both proposals and the protocol of predominant positive peaks was less variable.

**Keywords:** Speech Perception; Perceptual Masking; Noise; Auditory-Evoked Potentials; Protocols; Electrophysiology

Recebido em: 15/07/2019

Aceito em: 25/08/2020

**Endereço para correspondência:**

Denise Costa Menezes  
Avenida Professor Artur de Sá, 267 –  
Cidade Universitária  
CEP: 50740-020 - Recife, Pernambuco,  
Brasil  
E-mail: denicmenezes@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Ouvir em situações cotidianas pode ser uma tarefa desafiadora, mesmo para ouvintes com limiares auditivos normais. Na maioria dos ambientes, a fala ocorre concomitantemente com vários tipos de ruído, energia que possui o potencial de degradar a estrutura temporal do som alvo. Quando esse som alvo é a fala, muitas vezes o ruído a torna ininteligível, como consequência a queixa de não compreender a fala em ambientes ruidosos, mesmo em ouvintes com audição normal, apresenta-se relacionada ao processamento auditivo temporal que pode estar comprometido<sup>1</sup>.

Os registros de *Frequency Following Response* (FFR) podem ser eliciadas por estímulos complexos, como os sons de fala. O estímulo de fala mais comumente utilizado na captação de FFR é a sílaba /da/, composta por uma consoante e uma vogal, que permite a codificação dos sons verbais em todo o sistema auditivo<sup>2</sup>.

A análise dos registros de FFR geralmente é realizada a partir da visualização de uma sequência temporal de ondas, cujo picos são marcados pelo examinador, geralmente identificando-se os picos positivos e/ou os picos negativos. Duas formas de marcação foram anteriormente descritas: (i) análise com marcação com predominância de picos positivos, segundo Hodge et al. (2018)<sup>3</sup>, na qual são identificadas as ondas PV, A, PW, PX, PY, PZ e O; e (ii) análise com marcação com predominância de picos negativos segundo Skoe e Kraus (2010)<sup>2</sup>, na qual são identificadas as ondas V, A, C, D, E, F e O. Em ambas, as marcações são idênticas para as ondas V (PV), A e O, quando a sílaba /da/ é utilizada.

Em potenciais evocados auditivos, os valores das latências são as características do traçado mais relevantes no domínio temporal a serem analisadas. Atrasos na latência das ondas ou o seu não aparecimento pode indicar a presença de alguma alteração ou comprometimento no processamento dos estímulos sonoros complexos na via neural auditiva<sup>3</sup>.

Hodge et al.<sup>3</sup> observaram que as marcações com predominância de picos positivos foram mais estáveis que as marcações com predominância de picos negativos. Ao contrário da marcação das respostas com predominância de picos negativos, esse estudo sugeriu a utilização da marcação com predominância de picos positivos para medições de latências, especialmente para as investigações do pós-mascaramento. Esse fato justifica a investigação das diferentes marcações do FFR no presente estudo: (i) análise com

marcação dos picos positivos PV, A, PW, PX, PY, PZ e O; e (ii) análise com marcação dos picos negativos PV, A, C, D, E, F e O.

O interesse em investigar a codificação de sons complexos verbais, como a fala, tem como foco compreender melhor como o sistema auditivo reage diante de situações não-ideais de escuta, como na presença de ruído mascarador. Padrões de respostas alteradas podem ser observadas em pessoas com alteração de linguagem<sup>4</sup>, possibilitando um diagnóstico diferencial e monitoramento terapêutico. Por exemplo, alterações nas respostas do FFR em indivíduos com perda auditiva<sup>5</sup> e em crianças com dificuldade de aprendizagem e alterações de processamento auditivo podem ser encontradas no domínio do tempo, pela análise das latências<sup>6,7</sup>.

Isso faz com que o FFR seja considerado um método objetivo de avaliar os mecanismos de processamento auditivo, utilizado como marcador biológico da codificação deficiente do som de fala<sup>3</sup>.

Uma das aplicações do FFR é o estudo do mascaramento temporal; fenômeno relacionado ao processamento auditivo temporal, e conseqüentemente, à compreensão da fala em ambientes ruidosos<sup>3,8</sup>. O mascaramento temporal é caracterizado pelo aumento do limiar de um som devido à presença de outro som com maior intensidade. Isto ocorre quando um estímulo (ruído mascarante) é apresentado com duração e intensidade suficientes para reduzir a sensibilidade de outro estímulo (som alvo) apresentado durante, antes ou depois do estímulo inicial. Então, o mascaramento auditivo refere-se à degradação na audibilidade de um som alvo, pela presença de outro som mascarante que pode ocorrer de forma simultânea ou não simultânea, classificada como pré-mascaramento ou pós-mascaramento<sup>9</sup>.

No pós-mascaramento, o ruído é apresentado antes do som alvo (nesse caso, o estímulo de fala), causando um efeito mascarante que se prolonga durante alguns milissegundos após o término de sua apresentação acústica<sup>10,11</sup>. O efeito de permanência desse ruído causa uma perturbação no processamento do sinal de fala<sup>11</sup>. O estudo do pós-mascaramento merece destaque por estar relacionado à percepção de fala em ambientes ruidosos. Entretanto, o melhor método de análise ainda não está claro.

O presente estudo investigou como o pós-mascaramento ocorre em marcações com predominância de picos positivos comparadas com as marcações com

predominância de picos negativos, nos registros do FFR em indivíduos adultos jovens com audição normal.

## MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Audiologia do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil, aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos sob o protocolo 1.727.677. Trata-se de um estudo com caráter exploratório e descritivo.

A partir de um banco de dados oriundo do referido Laboratório, foram selecionados 20 registros do FFR (10 adultos jovens do sexo masculino e 10 adultos jovens do sexo feminino, com idade entre 18 e 25 anos, com limiares audiométricos melhores ou iguais a 25 dB NA nas frequências entre 500 e 8.000 Hz, sem história e/ou queixas audiológicas de dificuldades no processamento periférico ou central, neurológicas e sem presença de alterações otológicas, previamente diagnosticadas ou autorrelatadas). As alterações do processamento auditivo foram excluídas com base na ausência de diagnóstico ou relatos de alterações audiológicas.

A seleção dos registros desse estudo ocorreu a partir da análise qualitativa dos registros contidos no banco de dados, por duas examinadoras experientes no procedimento de análise da avaliação do FFR, realizados no equipamento *Intelligent Hearing Systems*. No momento em que o experimento foi realizado, cada participante foi posicionado em uma cabina acusticamente tratada, sentados em uma poltrona reclinável. A limpeza da pele foi realizada com pasta abrasiva e colocação de eletrodos nas seguintes posições, de acordo com o Sistema Internacional 10-20 para registrar os sinais do Eletroencefalograma gravado no couro cabeludo: eletrodo positivo em Fz (parte superior da frente); eletrodos negativos em M1 (mastoide esquerda) e M2 (mastoide direita) e eletrodo terra em Fpz (parte inferior da frente). Os estímulos foram apresentados monoauralmente via fone de inserção E39, na orelha direita. As avaliações foram realizadas em duas condições: (1) sem o uso de mascaramento - apresentação da sílaba /da/ de 40 ms, confeccionada no laboratório da *Northwestern University*, com polaridade alternada, apresentado a 3,77/seg, na intensidade de 75 dB NPS; (2) com o uso de mascaramento - apresentação da sílaba /da/ de 40 ms, confeccionada no laboratório da *Northwestern University*, com polaridade alternada, apresentado a 3,77/seg, na intensidade de 75 dB NPS, 4 ms após a

apresentação de um ruído mascarante (com 100 ms – 10 ms de rise/fall time), na intensidade de 80 dB NPS [espectro de frequências de fala (*shaped-speech noise* – SSM), confeccionado no laboratório de Ciências da Audição da Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill]<sup>3</sup>. A janela de gravação foi de 70 ms. Os filtros de passa baixo e de passa alto foram, respectivamente, 3000 Hz e 50 Hz.

Foram realizadas 3 ou mais varreduras com 2000 sweeps cada e a análise foi realizada na onda resultante (6000 estímulos), composta pela soma dos três melhores traçados.

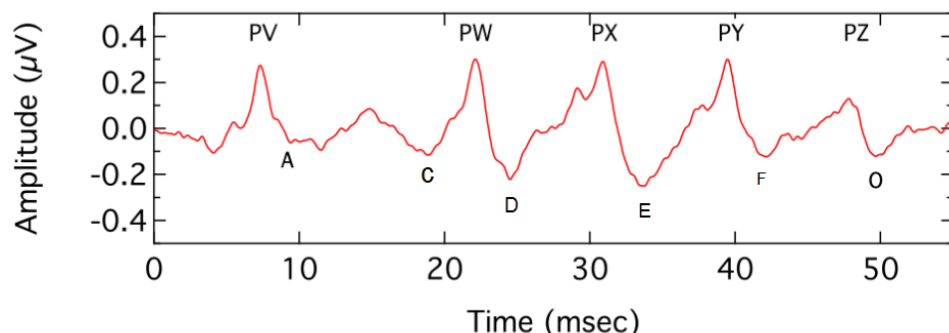
A análise dos traçados foi realizada seguindo os protocolos de (i) Hodge et al (2018) com marcação das ondas PV, A, PW, PX, PY, PZ e O; (ii) Skoe e Kraus (2010) com marcação das ondas V, A, C, D, E, F e O. As análises dos valores de latência das ondas PV (V), A e O foram idênticas em ambos os protocolos de marcação e, portanto, a análise dessas ondas não sofreu alteração entre as marcações.

Foram determinadas as médias de valores de latência e desvio padrão das ondas do *Frequency Following Response* obtidos nas marcações com predominância dos picos positivos e dos picos negativos. O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi realizado, mostrando dados de distribuição normal e não normal. Para comparação entre picos positivos e negativos com distribuição não normal, foi realizado o teste de Wilcoxon, e com distribuição normal, o teste t de Student. Para avaliar a correlação entre valores de variações foi realizado o Teste de Correlação de Spearman para as ondas com distribuição não normal e o Teste de Correlação de Pearson para as ondas com distribuição normal. Em todos os testes foi adotado o nível de significância de  $p < 0,05$  para todos os testes realizados.

## RESULTADOS

A fim de se investigar o pós-mascaramento nos protocolos de marcação utilizados, foram analisados os valores de latências obtidas com marcações com predominância dos picos positivos PW, PX, PY e PZ, e os valores de latências obtidas com marcações com predominância dos picos negativos C, D, E e F, nas duas condições de teste: sem mascaramento e com apresentação do estímulo verbal 4 milissegundos após a apresentação do ruído mascarante.

A Figura 1 ilustra as formas de marcação de FFR utilizadas, onde podem ser observadas as marcações das latências com predominância dos picos positivos as marcações com predominância dos picos negativos.



**Figura 1.** Diferentes formas de marcação do *Frequency Following Response* com predominância dos picos positivos e negativos

Na Tabela 1, observa-se os valores de latência e desvio padrão das ondas obtidas nas marcações com predominância dos picos positivos e dos picos negativos, e valores da diferença de latência obtidas nas duas condições de apresentação da sílaba /da/ (com e sem mascaramento). Para a análise dos picos positivos, que tiveram distribuição não normal, foi

realizado o teste Wilcoxon, comparando por pares. Na análise dos picos negativos, cuja distribuição foi normal, realizou-se o teste teste t de Student emparelhado. Considera-se a magnitude do pós-mascaramento, em cada marcação, como a diferença entre o valor das médias das latências de cada onda nas duas condições.

**Tabela 1.** Média de valores de latência e desvio padrão das ondas do *Frequency Following Response* obtidos nas marcações com predominância dos picos positivos e dos picos negativos, e valores da diferença entre as médias latência obtidas nas duas condições de apresentação da sílaba /da/ (com e sem mascaramento)

Condição	Onda	Média (ms)	DP	Onda	Média (ms)	DP
SM	PW	22.22	0.47	C	18.06	1.10
	PX	30.71	0.71	D	24.37	0.89
	PY	39.34	0.54	E	33.38	1.20
	PZ	47.91	0.63	F	41.77	1.24
CM	PW	22.79	0.52	C	18.70	1.52
	PX	31.54	0.40	D	24.72	1.36
	PY	40.15	0.75	E	33.89	1.38
	PZ	48.58	0.69	F	42.49	1.61
Dif	dif PW*	0.57	0.30	dif C**	0.64	1.71
	dif PX*	0.83	0.60	dif D**	0.35	0.83
	dif PY*	0.81	0.99	dif E**	0.52	0.80
	dif PZ*	0.67	0.52	dif F**	0.72	1.29

\*Wilcoxon (nível de significância  $p < 0,05$ )

\*\* Teste t de Student emparelhado (nível de significância  $p < 0,05$ )

Legenda:

SM: apresentação da sílaba /da/ sem mascaramento

CM: apresentação da sílaba /da/ 4 milissegundos após a apresentação do ruído mascarante

DP: desvio padrão

Dif\*: magnitude do pós-mascaramento (diferença entre ambas as condições de apresentação do estímulo)

O teste de normalidade Shapiro-Wilk demonstrou que o resultado da marcação com predominância dos picos positivos das ondas PX, PY e PZ não apresentou distribuição normal. Então, não puderam ser utilizados

testes paramétricos para comparar os resultados obtidos com a marcação com predominância dos picos negativos subsequentes (ondas D, E e F), que apresentaram distribuição normal. Dessa forma, foi

utilizado o teste de Wilcoxon. Foi adotado o nível de significância de  $p < 0,05$ .

O resultado da marcação da onda PW apresentou distribuição normal, podendo então ser comparado ao resultado da marcação do pico negativo subsequente C, por meio do teste t de Student.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados entre a comparação das ondas desta análise e demonstram que não houve diferença significativa do pós-mascaramento entre as marcações com predominância dos picos positivos com as marcações com predominância dos picos negativos.

A Tabela 2 mostra ainda o valor do desvio padrão (variações) das médias do pós-mascaramento com marcações com predominância dos picos positivos e dos picos negativos. Observa-se uma maior variação para as marcações com predominância dos picos negativos, especialmente para a onda C (DP= 1,44) e F (DP= 1,29).

Para avaliar a correlação entre esses valores de variações foi realizado o Teste de Correlação de Spearman para as ondas PX/D, PY/E e PZ/F e o Teste de Correlação Pearson para as ondas PW/C.

**Tabela 2.** Comparação das diferenças entre as latências nas condições de apresentação da sílaba /da/ (com e sem mascaramento) entre as marcações com predominância dos picos positivos e com predominância dos picos negativos

Comparação	n	Média (ms)	DP	Erro Padrão	Significância
PW	14	0.57	0.30	0.08	0.90 <sup>b</sup>
C	14	0.64	1.71	0.47	
PX	20	0.83	0.60	0.13	0.14 <sup>a</sup>
D	20	0.35	0.83	0.18	
PY	20	0.81	0.99	0.22	0.05 <sup>a</sup>
E	20	0.52	0.80	0.17	
PZ	20	0.67	0.52	0.11	0.60 <sup>a</sup>
F	20	0.72	1.29	0.28	

a. Teste de Correlação de Spearman

b. Teste de Correlação de Pearson

Para todas as ondas analisadas não ocorreram correlações significantes.

## DISCUSSÃO

Os resultados sugerem que para a investigação do pós-mascaramento não existe diferença entre as marcações com predominância de picos positivos comparados as marcações com predominância dos picos negativos. Ou seja, para o estudo do pós-mascaramento, não há diferença se as ondas forem marcadas de acordo com a proposta por Hodge et al.<sup>3</sup> - ondas PV, A, PW, PX, PY, PZ e O ou de acordo com a marcação proposta por Skoe e Kraus<sup>2</sup> - ondas V, A, C, D, E, F e O. Isso porque a comparação entre as médias do pós-mascaramento registrada nos dois protocolos de análise de latência não apresentou diferença significativa.

Na análise dos valores individuais de latências das ondas, nas diferentes condições de teste (com e sem mascaramento), alguns indivíduos apresentaram latências maiores para a condição sem mascaramento

na marcação das ondas com predominância de picos negativos (C, D, E e F), ocorrendo um padrão invertido. Considerando que o conceito de pós-mascaramento se caracteriza pelo atraso de latência, provocado pela presença do ruído, atenção especial foi dada e este fato. Entretanto, na análise dos registros com predominância de picos positivos, o pós-mascaramento ocorreu em todas as situações.

Esse padrão de resposta invertido (latências maiores na condição sem mascaramento quando os picos negativos foram marcados) talvez ocasionou maior dispersão dos resultados, vista no aumento do desvio padrão quando realizada a marcação com predominância dos picos negativos. Talvez o modelo de marcação com predominância de picos negativos apresente menor evidência do pós-mascaramento, com valores menos uniformes em relação a média das latências das ondas.

Esses resultados são consistentes com os achados de Hodge et al.<sup>3</sup>, cujo objetivo principal foi desenvolver um protocolo de análise do pós-mascaramento,



com vistas a caracterizar déficits no processamento temporal relacionado a fala. Nesse estudo, foram realizadas captações simultâneas de FFR em três equipamentos diferentes (IHS, Biologic e Neuroscan). Apesar da semelhança entre as respostas dos três sistemas, a marcação com predominância de picos dos positivos foram mais consistentes do que a marcação com predominância de picos negativos, considerando condições de teste idênticas.

Dessa forma, os resultados sugerem que a análise da marcação do FFR por meio da análise com a marcação com predominância de picos dos positivos, com o objetivo da análise do pós-mascaramento, parece resultar em valores de latências mais visíveis, para as condições com e sem mascaramento. Porém, não descarta a possibilidade de marcação dos picos negativos.

No presente estudo, valores das latências diferiram do que previamente descrito<sup>4-7</sup>, possivelmente pelo fato das diferenças nos protocolos de aquisição dos registros, tais como filtros, da taxa de apresentação dos estímulos, intensidade e etc. Entretanto, os protocolos utilizados têm sido descritos como ideais para obtenção de respostas mais claras, que resultam em melhora na morfologia dos traçados, tais como menores taxas de apresentação (3,77/seg) e maiores intensidades (75 dB NPS) do estímulo e menores espectros de frequência dos filtros (100-1500 Hz)<sup>11</sup>.

Como a marcação dos picos do FFR tem sido realizada a partir da observação do examinador, não se descarta, então, a possibilidade de viés de marcação, mesmo considerando-se a experiência dos pesquisadores.

Analisar outras possibilidades e diferentes formas de marcação de FFR deve continuar sendo estudadas, uma vez que diferenças entre os modelos propostos (marcação com predominância de picos positivos e marcação com predominância de picos negativos) ainda não são claras<sup>12-14</sup>.

## CONCLUSÃO

O pós-mascaramento pode ser identificado em ambas as marcações com predominância de picos positivos e as marcações com predominância dos picos negativos. Contudo, a investigação do pós-mascaramento com predominância de picos positivos na avaliação do FFR em indivíduos adultos jovens com audição normal sugere menor variabilidade comparada à marcação dos picos com predominância de negativos.

## REFERÊNCIAS

1. Pienkowski M. On the etiology of listening difficulties in noise despite clinically normal audiograms. *Ear Hear.* 2017;38(2):135-48.
2. Skoe E, Kraus N. Auditory brainstem response to complex sounds: a tutorial. *Ear Hear.* 2010;31(3):302-24.
3. Hodge SA, Menezes DC, Brown KD, Grose JH. Forward masking of the speech-evoked auditory brainstem response. *Otol Neurotol.* 2018;39(2):150-7.
4. Meyer SO, Krizman J, White-Schwoch T, Kraus N. Children with autism spectrum disorder have unstable neural responses to sound. *Exp Brain Res.* 2018;236(3):733-43.
5. Anderson S, Kraus N. The potential role of the cABR in assessment and management of hearing impairment. *Int J Otolaryngol.* 2013;2013(604729):1-10.
6. Ferreira L, Gubiani MB, Keske-Soares M, Skarzynski PH, Sanfins MD, Biaggio EPV. Analysis of the components of frequency-following response in phonological disorders. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2019;122(2019):47-51.
7. Ananthakrishnan S, Luo X, Krishnan A. Human frequency following responses to vocoded speech. *Ear Hear.* 2017;38(5):e256-e267.
8. Mehraei G, Gallardo AP, Shinn-Cunningham BG, Dau T. Auditory brainstem response latency in forward masking, a marker of sensory deficits in listeners with normal hearing thresholds. *Hearing research.* 2017;2017(346):34-44.
9. Peixe BP, Silva DD, Biaggio EPV, Bruno RS, Sanguebuche TR, Garcia MV. Applicability of evoked auditory brainstem responses with complex stimuli in adults with hearing loss. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2018;22(3):239-44.
10. Advíncula KP, Menezes DC, Pacífico FA, Costa MLG, Griz SMS. Age effects in temporal auditory processing: modulation masking release and forward masking effect. *Audiol., Commun. Res.* 2018;23(e1861):1-6.
11. Grose JH, Menezes DC, Porter HL, Griz S. Masking period patterns & forward masking for speech-shaped noise: age-related effects. *Ear Hear.* 2016;37(1):48-54.
12. Vanheusden FJ, Chesnay MA, Seven DMS. Envelope frequency following responses are stronger for high-pass than low-pass filtered vowels. *Int J Audiol.* 2019;58(6):355-62.

13. Necciarì T, Laback B, Savel S, Ystad S, Balazs P, Meunier S et al. Auditory time-frequency masking for spectrally and temporally maximally-compact stimuli. *PloS one*. 2016;11(11):e0166937.
14. Gunaway TS, Ambikairajah E, Epps J. Perceptual speech enhancement exploiting temporal masking properties of human auditory system. *Speech Communication*. 2010;52(5):381-93.