



Brazilian Journal of Otorhinolaryngology

ISSN: 1808-8694

revista@aborlccf.org.br

Associação Brasileira de  
Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-  
Facial  
Brasil

Campos, Ualace de Paula; Mota Mamede Carvalho, Renata  
Correlação entre os limiares das curvas de crescimento das EOAPD e tons puros  
Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, vol. 77, núm. 6, novembro-diciembre, 2011, pp. 754-760  
Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=392437921012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Correlation between DPOAE I/O functions and pure-tone thresholds

*Correlação entre os limiares das curvas de crescimento das EOAPD e tons puros*

Ualace de Paula Campos<sup>1</sup>, Renata Mota Mamede Carvalho<sup>2</sup>

## Keywords:

audiometry,  
hearing,  
otoacoustic emissions,  
spontaneous,  
hearing tests.

## Abstract

Different studies have been carried out in order to correlate audiometric thresholds and distortion product otoacoustic emissions measurements (DPOAE). However, high variability and external interferences make hearing thresholds estimates by means of the DPOAE very little sensitive. The aim of this study was to check the correspondence between the pure tone thresholds and the cochlear response thresholds by DPOAE Input/output functions, considering the influence of the following variables: gender, past of acute otitis media, and ear side. **Method:** Prospective study comprehending 69 normal hearing individuals. Multiple mix regression models were applied to evaluate the correspondence between the two measurements studied. **Results:** Statistically significant positive correlation was observed among all the frequencies compared (2000, 3000, 4000 e 6000 Hz). **Conclusions:** The 1dB HL resolution pure tone thresholds and the above-mentioned variables had a direct impact on the high correlation between the measures studied, and it also reduced response variability. Nevertheless, response variability was still high, limiting the use of DPOAE I/O functions for hearing threshold estimates. We suggest that these variables should be considered for future studies with pure tone thresholds estimations by DPOAE I/O functions.

## Palavras-chave:

audiometria,  
audição,  
emissões otoacústicas  
espontâneas,  
testes auditivos.

## Resumo

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de correlacionar limiares audiométricos e medidas de emissões otoacústicas - produtos de distorção (EOA-PD). Entretanto, a alta variabilidade e as interferências externas tornam a estimação dos limiares auditivos por meio das EOA-PD pouco sensível. O objetivo desse estudo foi verificar a correspondência entre os limiares audiométricos tonais e os limiares de respostas cocleares obtidos por meio das curvas de crescimento das EOA-PD (CCEOA-PD), considerando a influência das variáveis: sexo, antecedentes de otite média aguda e orelha direita e esquerda. **Casística e Método:** Estudo prospectivo envolvendo 69 indivíduos com audição normal. Modelos de regressão múltipla mistos foram utilizados para avaliação da correspondência entre as duas medidas estudadas. **Resultados:** Houve correlação positiva e estatisticamente significativa em todas as frequências comparadas. **Conclusões:** A pesquisa dos limiares audiométricos com resolução de 01 dBNA e a consideração das variáveis citadas contribuíram diretamente para a alta correlação entre as medidas estudadas, além de reduzir a variabilidade das respostas. Por outro lado, a variabilidade das respostas ainda foi alta, limitando a aplicação das CCEOA-PD para esse fim. Sugerimos que essas variáveis devam ser consideradas nos estudos futuros de estimação dos limiares por meio das CCEOA-PD.

<sup>1</sup> Especialista, Doutorando.

<sup>2</sup> Livre Docente, Professora Associada.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo: 2008/05151-9)

Este artigo foi submetido no SGP (Sistema de Gestão de Publicações) da BJORL em 8 de junho de 2010. cod. 7151

Artigo aceito em 12 de outubro de 2010.

## INTRODUÇÃO

A cóclea saudável responde para estimulação sonora de forma não linear e compressiva. A origem da não-linearidade está nos mecanismos da membrana basilar. A compressão implica que o ganho do amplificador coclear em estímulos fracos (<50 dB) seja maior que o ganho em estímulos moderados e fortes (>50 e 80 dB, respectivamente). Esse mecanismo de amplificação coclear tem como subproduto as respostas de emissões otoacústicas. A ausência de compressão e de não linearidade está associada à elevação dos limiares audiométricos, recrutamento, redução de seletividade de frequências e pobre processamento temporal<sup>1</sup>.

As emissões otoacústicas evocadas - produto de distorção (EOA - PD) - são geradas em resposta à apresentação de dois tons puros (estímulo f1 e f2), apresentados simultaneamente. O paradigma de captação de respostas das EOA - PD 2f1-f2 é o mais utilizado por apresentar respostas robustas e confiáveis<sup>2</sup>. As EOA-PD fornecem informações sobre a função, o mecanismo ativo da cóclea e a motilidade das células ciliadas externas (CCE)<sup>3</sup>.

Pelas EOA, pode-se observar a não-linearidade da cóclea<sup>4</sup>, a compressão coclear e o funcionamento das CCE, que podem ser estudados e quantificados. O mecanismo auditivo é não-linear e a não linearidade desse mecanismo é essencial para uma função auditiva normal<sup>5</sup>. Devido a todas essas características, as EOA são amplamente utilizadas, na clínica e na pesquisa, para a detecção de perdas e alterações auditivas em diversas populações.

Pelas EOA, há a possibilidade de avaliarmos as curvas de crescimento das emissões otoacústicas, e o produto de distorção é a modalidade de registro mais utilizada para esse fim. Este é, atualmente, o teste mais estudado para medida e compreensão da não-linearidade coclear em humanos<sup>6</sup>. De acordo com Ruggero & Rich (1991)<sup>7</sup>, há um crescimento linear das respostas das CCEO-PD para estímulos fracos (<50 dB), um crescimento não-linear para estímulos moderados (50 a 80 dB) e, novamente, um crescimento linear para estímulos intensos (>80 dB).

Entretanto, a alta variabilidade das respostas torna a avaliação por meio de EOA-PD pouco sensível. Mills et al.<sup>8</sup> sugeriram que, para estudos com medidas de EOA-PD, a definição de audição normal deveria ser mais rígida, mais acurada. Após avaliar 20 adultos jovens (18 a 24 anos) com limiares audiométricos menores que 10 dB e curvas timpanométricas com picos de admitância (226 Hz) entre -30 e +30 da PA, os pesquisadores encontraram forte correlação entre limiares audiométricos e EOA-PD, com variação máxima de 13 dB em 95% das correlações realizadas. O estrito critério de inclusão em relação aos limiares audiométricos e timpanométricos pode ter sido o motivo principal da obtenção dessa alta correlação.

Gorga et al.<sup>6</sup> realizaram um controle de interferências externas com objetivo de diminuir a variabilidade

das respostas das EOA-PD. Entre outros controles, os pesquisadores criaram regras para finalizar o exame e para aceitação de respostas apenas com ruído de fundo de no máximo 25 dB NPS.

A variabilidade das EOA-PD também foi estudada por Garner et al.<sup>9</sup>, que afirmaram que as frequências que apresentam maior variação nas EOA-PD são as de 500, 1000, 5656 e 8000 Hz. Essa variabilidade, segundo os pesquisadores, foi causada pelo efeito do ruído de fundo para as frequências baixas e pelas características de transmissão da orelha média para frequências altas. As respostas das CCEO-PD também apresentaram maior variabilidade nas respostas a estímulos fracos (30 dB) que a estímulos acima de 55 dB. Os pesquisadores sugeriram a realização de um controle rígido do ruído de fundo, mantendo constantemente baixo o nível de intensidade.

Job & Nottet<sup>10</sup> e Yilmaz et al.<sup>11</sup> estudaram a influência dos antecedentes de otite média nas amplitudes das EOA-PD e encontraram indivíduos com antecedentes de otite média e redução nas amplitudes das EOA-PD, quando comparados com indivíduos sem os mesmos antecedentes. Ambos concluíram que a pesquisa das EOA-PD foi um instrumento sensível à detecção de disfunções subclínicas, independente da origem.

Diversas pesquisas estudaram a correlação entre CCEO-PD e limiares audiométricos<sup>4,12-16</sup>. Boege & Janssen<sup>12</sup> encontraram correlação significativa entre limiares audiométricos e CCEO-PD. Ainda afirmaram que as EOA-PD refletem o funcionamento do processamento periférico do som e permitem uma estimativa confiável dos limiares audiométricos para perdas auditivas de até 50 dB NA. Schmuziger et al.<sup>14</sup> e Hatzopoulos et al.<sup>16</sup> também encontraram alta correlação entre as duas medidas, mesmo utilizando equipamentos diferentes. Apesar das altas correlações, ambos sugeriram que a utilização das curvas de crescimento é limitada devido à alta variabilidade de respostas. Probst & Schmuziger<sup>17</sup> vão além, afirmando que os benefícios desse método na estimação de limiares audiométricos são provavelmente limitados.

Até então, grande parte das tentativas de correlacionar as emissões otoacústicas foi realizada com a utilização do valor da amplitude das EOA e o limiar audiométrico com resolução de 5 dB NA. Com a utilização do limiar das curvas de crescimento das EOA-PD e limiares audiométricos com resolução de 1 dB NA, espera-se encontrar uma correlação positiva e com baixa variabilidade entre as duas medidas, com dependência de três variáveis: antecedentes de otite média aguda, sexo e orelha direita/esquerda, ou seja, espera-se que os três fatores citados devam ser considerados antes que as medidas das CCEO-PD e os limiares audiométricos sejam comparados.

O objetivo desse estudo foi verificar a correspondência entre os limiares audiométricos tonais e os limiares de respostas cocleares obtidos por meio das curvas de cres-

cimento das emissões otoacústicas - produto de distorção, considerando a influência das variáveis: sexo, antecedentes de otite média aguda e orelha direita e esquerda.

## MATERIAL E MÉTODO

Trata-se de um estudo prospectivo, transversal analítico, avaliado e aprovado pela Comissão de Análise de Projetos de Pesquisa do local do estudo com o número de protocolo: 0086/08.

## CASUÍSTICA

Um total de 69 indivíduos (138 orelhas), sendo 21 homens e 48 mulheres com idades entre 18 e 32 anos, foi avaliado. Todos os participantes possuíam limiares audiométricos menores ou iguais a 25 dBNA nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000 Hz, além de timpanometria com curva tipo A e reflexos acústicos presentes em 100 dBNA na frequência de 1000 Hz. Foram critérios de exclusão: consumo excessivo de álcool (uma ou mais doses diárias) e drogas (uma ou mais utilizações/semana). Sete orelhas foram excluídas do estudo por apresentarem alterações nos limiares audiométricos ou na timpanometria.

## Procedimentos

A avaliação durou cerca de 50 minutos por participante e todas as avaliações foram realizadas pelo mesmo examinador. Após a explicação dos procedimentos e assinatura do termo de consentimento, os testes foram iniciados na seguinte ordem: anamnese, na qual os participantes foram questionados sobre ocorrência de otite média aguda nos últimos 10 anos, sobre os critérios de exclusão e condições gerais de saúde; meatoscopia, imitanciometria [GSI33 middle ear analyzer (v2; Grason-Stadler)], com frequência de sonda de 226 Hz; audiometria tonal limiar [GSI 61 audiometer (Grason-Stadler, Madison, WI, USA)] em cabine acústica nas frequências de 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000, 500 e 250 Hz, para determinação dos limiares audiométricos com resolução de 1 dBNA após a obtenção do limiar com resolução de 5 dBNA e, finalmente, pesquisa das curvas de crescimento das EOA-PD (ILO292 USB version 6) em cabine acústica nas frequências de 2000, 3000, 4000 e 6000 Hz. Foi utilizada a razão  $f_1/f_2=1,22$  e a relação "DPOAE= $2f_2-f_1$ ", para frequências e houve controle para a manutenção do ruído de fundo até o máximo de -10  $\mu$ Pa. Foi utilizado o paradigma proposto por Kummer et al.<sup>18</sup> que sugere a fórmula " $L_1 = (0,4 \times L_2) + 39$  dB NPS" para fixar o nível de intensidade do estímulo. Nesta fórmula,  $L_1$  é referente à intensidade do estímulo na frequência  $f_1$  e  $L_2$  é referente à intensidade do estímulo da frequência  $f_2$ , de tal forma que os dois estímulos sejam apresentados com intensidades desiguais. A pesquisa das curvas de respostas

de EOA-PD foi realizada com apresentação de estímulos em intensidade decrescente, com início em 75 dB NPS de  $L_2$  e passos de 5 em 5 dB NPS até a intensidade atingir a intensidade mínima de 30 dB NPS. A unidade de medida do equipamento ILO292 version 6 para o valor de amplitude da resposta das CCEOA - PD é o micropascal ( $\mu$ Pa). Os limiares das CCEOA-PD foram determinados na menor intensidade de estímulo que gerou resposta de relação S/R  $\geq 3$  ( $\mu$ Pa) acima do ruído de fundo e, paralelamente, que o mesmo critério de presença ocorresse para as respostas aos estímulos nas intensidades imediatamente superiores.

## Análise Estatística

Foram aplicados métodos comparativos e descritivos. Valores de  $p$  ( $p$ -valor) menores que 0,05 foram considerados estatisticamente significantes.

O estudo da associação entre limiares audiométricos e CCEOA-PD foi ajustado por modelos de regressão múltipla mistos, devido à possível existência de correlação nas medidas feitas nas duas orelhas de um mesmo indivíduo. Foi considerada como variável resposta o limiar da audiometria tonal e como variáveis preditoras a amplitude das EOA-PD, suas interações com sexo, antecedentes e orelha, e variáveis indicadoras: sexo, antecedentes e orelha e suas interações. Foi adotado o procedimento *backward* de seleção de variáveis. A inclusão no modelo de variáveis representando as interações entre a amplitude e sexo, antecedentes e orelha permite avaliar se a associação entre o limiar audiométrico e a amplitude das CCEOA-PD depende desses fatores.

## RESULTADOS

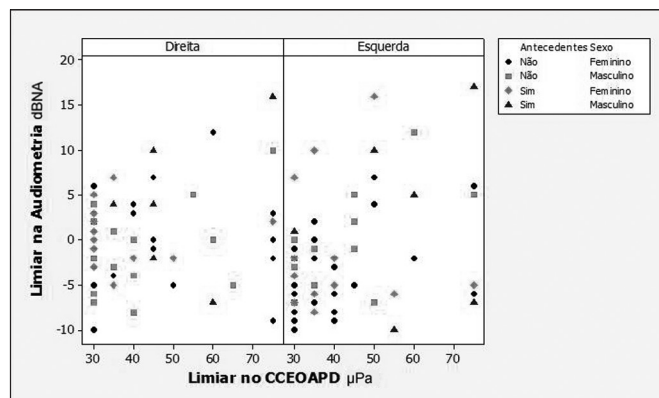
Dentre as orelhas testadas, 37 eram de pessoas com antecedentes de otite média aguda nos últimos 10 anos. Todas as comparações foram realizadas com testes que avaliavam as interações entre as variáveis orelha, sexo e antecedentes. Na Tabela 1, é possível visualizar o número de orelhas de cada "subgrupo".

**Tabela 1.** Subgrupos estabelecidos de acordo com antecedentes, sexo e orelha.

Antecedentes	Sexo	Orelha	N
Não	F	R	33
	F	L	31
	M	R	15
	M	L	15
Sim	F	R	13
	F	L	12
	M	R	6
	M	L	6

A média dos limiares audiométricos variou entre -1,18 dBNA em 250 Hz e 3,23 dBNA em 8000Hz. Os limiares audiométricos não sofreram alterações dependentes de qualquer variável. A análise de regressão foi realizada para estudar a correlação entre as respostas nas frequências de 2000, 3000, 4000 e 6000 Hz. A frequência de 2000 Hz, apresentou limiares médios de 1,18 dBNA com desvio padrão (dp) de 5,66 dB NA. Em 3000 Hz, a média foi de -0,38 com dp de 6,5. Em 4000 e 6000 Hz, as médias audiométricas foram de 0,95 (dp=7,48) e 3,23 (dp=7), respectivamente.

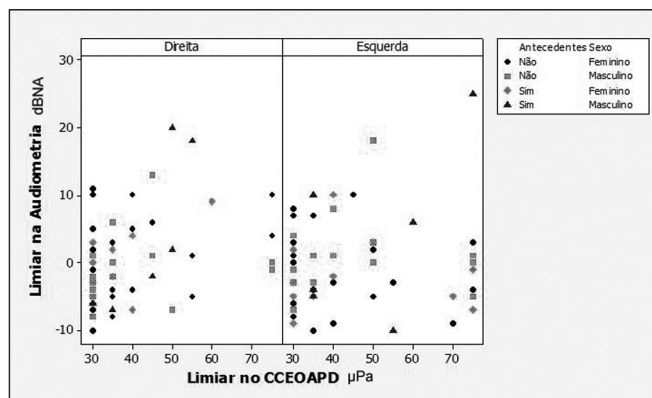
Em relação à associação entre limiares audiométricos e limiares das CCEOA-PD, os ajustes de modelos de regressão demonstraram que houve correlação positiva e estatisticamente significativa em todas as frequências comparadas (2000, 3000, 4000 e 6000 Hz). Devido à interferência do ruído de fundo em 500, 1000 e 1500 Hz não foi possível correlacionar as frequências mais baixas, uma vez que houve grande número de respostas ausentes nessas frequências. Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 são apresentados diagramas de dispersão, nos quais se pode observar a dispersão dos valores onde os ajustes de modelos de regressão demonstraram correlação positiva em todas as frequências testadas.



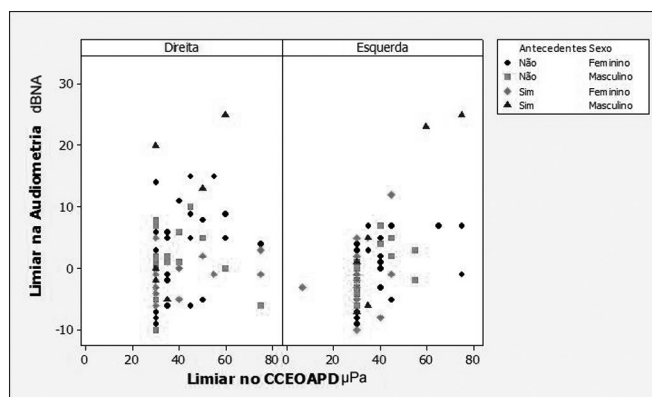
**Figura 1.** Diagrama de dispersão dos limiares audiométricos e dos limiares das curvas de crescimento das EOA-PD, considerando as variáveis: orelha, antecedentes de otite média e sexo - 2000 Hz.

No ajuste do modelo de regressão para 2000 Hz (Figura 1), constatou-se que houve correlação positiva entre limiares audiométricos e limiares de CCEOA-PD ( $p=0,006$ ) e a correlação não dependeu de sexo ( $p=0,984$ ), antecedentes ( $p=0,517$ ) e orelhas ( $p=0,580$ ). O coeficiente linear não dependeu de sexo ( $p=0,143$ ) ou orelha ( $p=0,113$ ) mas era maior em indivíduos com antecedentes ( $p=0,034$ ).

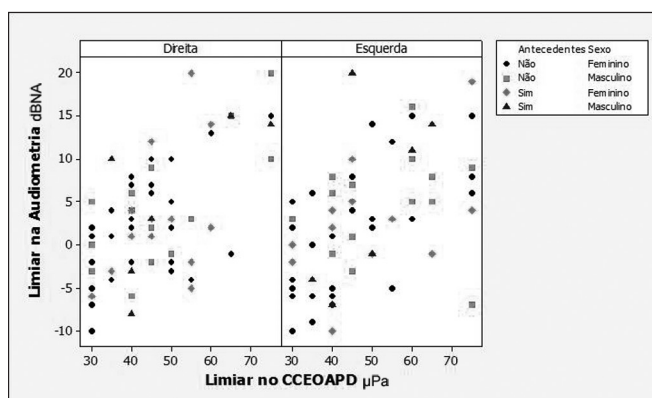
Como o ajuste de regressão apresentou correlação positiva entre as duas medidas estudadas, foi possível calcular os coeficientes linear e angular, que auxiliam na estimação de uma medida pela outra. As estimativas dos coeficientes, linear e angular, foram:



**Figura 2.** Diagrama de dispersão dos limiares audiométricos e dos limiares das curvas de crescimento das EOA-PD, considerando as variáveis: orelha, antecedentes de otite média e sexo - 3000 Hz.



**Figura 3.** Diagrama de dispersão dos limiares audiométricos e dos limiares das curvas de crescimento das EOA-PD, considerando as variáveis: orelha, antecedentes de otite média e sexo - 4000 Hz.



**Figura 4.** Diagrama de dispersão dos limiares audiométricos e dos limiares das curvas de crescimento das EOA-PD, considerando as variáveis: orelha, antecedentes de otite média e sexo - 6000 Hz.

- Limiar auditivo (sem antecedentes) =  $-6,0 + 0,1 \times \text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;
- Limiar auditivo (com antecedentes) =  $-3,3 + 0,1 \times \text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;



Onde os valores -6,0 e -3,3 correspondem aos coeficientes lineares e o valor 0,1 corresponde ao coeficiente angular.

Foram geradas duas fórmulas de estimação, pois o coeficiente linear dependeu dos antecedentes de otite média aguda.

A variação máxima intersujeitos dos limiares audiométricos foi de 25 dB NA, porém, quando considerados o histórico de antecedentes de alterações de orelha média, a variação máxima foi de 20 dBNA entre os indivíduos sem antecedentes que apresentaram limiares das CCEOA-PD em 75  $\mu$ Pa e 16 dBNA nos indivíduos com antecedentes que apresentaram limiar das CCEOA-PD em 30  $\mu$ Pa.

Na frequência de 3000 Hz (Figura 2), o ajuste do modelo de regressão obteve correlação positiva ( $p=0,036$ ) e a correlação não dependeu de nenhuma variante (sexo  $p=0,065$ ; antecedentes  $p=0,194$ ; orelha  $p=0,301$ ). O modelo ajustado forneceu a seguinte equação para estimação do limiar nesta frequência:

• Limiar auditivo =  $-3,9+0,09*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

Nesta frequência, a variação máxima de respostas intersujeitos foi de 28 dB NA, porém, quando considerados o histórico de antecedentes de alterações de orelha média e sexo, a variação máxima foi de 21 dBNA entre os indivíduos sem antecedentes que apresentaram limiares das CCEOA-PD em 30  $\mu$ Pa e 18 dBNA nos indivíduos com antecedentes que apresentaram limiar das CCEOA-PD em 50  $\mu$ Pa. Como em 2000 Hz, a consideração da presença ou ausência de antecedentes reduziu a variabilidade nas estimações.

Os resultados no modelo de regressão para a frequência de 4000 Hz (Figura 3) também apontou que há uma correlação positiva entre as duas medidas de limiares, com  $p$ -valor=0,002. A correlação não dependeu de antecedentes ( $p=0,314$ ), porém dependeu do sexo ( $p=0,009$ ) e da orelha ( $p=0,033$ ). O coeficiente linear dependeu apenas do efeito de orelha ( $p=0,028$ ). A estimativa realizada considerou as variantes sexo e orelha:

• Limiar auditivo (OD/ Fem) =  $-4,1+0,11*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

• Limiar auditivo (OD/ Masc) =  $-4,1+0,20*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

• Limiar auditivo (OE/ Fem) =  $-11,3+0,29*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

• Limiar auditivo (OE/ Masc) =  $-11,3+0,37*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

Na frequência de 4000 Hz, a variação máxima de respostas intersujeitos foi de 30 dB NA. Quando considerados o histórico de antecedentes de alterações de orelha média, a variação máxima foi de 25 dBNA para os indivíduos sem e com antecedentes. Se considerados os efeitos orelha e sexo, a variação máxima foi reduzida para 20 dB NA.

A frequência de 6000 Hz (Figura 4) apresentou correlação positiva no modelo de regressão, não depen-

dente de sexo ( $p=0,984$ ), antecedentes ( $p=0,326$ ) e orelha ( $p=0,369$ ). O coeficiente linear não foi dependente de sexo ( $p=0,757$ ), orelha ( $p=0,406$ ) e antecedentes ( $p=0,733$ ). O modelo ajustado foi:

• Limiar auditivo =  $-9,0+0,26*\text{Limiar das CCEOA-PD}$ ;

A Variação máxima intersujeitos na frequência de 6000 Hz foi de 25 dBNA entre os indivíduos com antecedentes com limiares das curvas de crescimento das CCEOA-PD de 55  $\mu$ Pa. Os indivíduos com antecedentes apresentaram variação de 17 dB NA.

## DISCUSSÃO

O objetivo desse estudo foi verificar se, em indivíduos com audição normal, os limiares de tons puros estariam correlacionados aos limiares das emissões otoacústicas - produto de distorção, considerando os efeitos da interferência de orelha direita e esquerda, sexo e antecedentes de otite média aguda nos últimos 10 anos. A grande diferença desse estudo em relação aos anteriores<sup>10,11</sup> foi a forma de determinação do limiar eletroacústico: pelo limiar das curvas de crescimento das EOA - PD (ver procedimentos) e não pela amplitude do *DP - Gram* em uma intensidade específica. Os resultados sugerem alta correlação entre as duas medidas. Em relação aos fatores que poderiam influenciar os testes, apenas nas frequências de 2000 e 4000 Hz ocorreram interferências, de forma significativa, das variáveis antecedentes de otite média aguda (em 2000 Hz) e sexo e orelha (em 4000 Hz), sendo necessário criar fórmulas separadas de estimação de limiares auditivos nessas frequências de acordo com a variável que as afetou.

A variabilidade dos limiares audiométricos para um mesmo limiar das curvas de crescimento das EOA-PD, como visto nas Figuras 1 a 4, foi de até 30dBNA (em 4000Hz), quando não consideradas as variáveis sexo, orelha e antecedentes de otite média nos últimos 10 anos. Essa alta variabilidade compromete o uso do procedimento para estimação dos limiares audiométricos. Schmuziger et al.<sup>14</sup> afirmaram que a estimação dos limiares audiométricos pelas EOA-PD apresenta uma variação intersujeitos de até 40 dB. Afirmaram também que essa variação provavelmente limita os benefícios clínicos para esse método. No presente estudo, porém, quando consideradas as variáveis sexo, orelha e, principalmente, antecedentes, foi observada redução da variabilidade dos limiares audiométricos de 5 a 14 dB NA, alcançando os valores de 16 dBNA em 2000Hz e de 25dBNA em 6000Hz. A realização da pesquisa dos limiares audiométricos (audiometria tonal) com resolução de 1 dBNA também contribuiu para a redução dessa variabilidade.

Gorga et al.<sup>6</sup> estudaram a não-linearidade da cóclea humana em 500 e 4000Hz e sugeriram que há uma faixa dinâmica mais ampla e maior ganho do amplificador coclear em 4000Hz quando comparado com 500Hz. No presente estudo, a variação dos limiares das curvas de

crescimento das emissões otoacústicas foram maiores nas frequências de 4000 e 6000 Hz, quando comparada com a frequência de 2000 Hz. A maior variação em frequências altas pode ser interpretada de duas formas: Primeiro, o melhor funcionamento em altas frequências sugerido por Gorga et al.<sup>6</sup> pode ter sido influenciado pelas sequelas dos antecedentes de otite média aguda. Considerando-se que a sequela de otite média aguda pode gerar aumento da mobilidade da orelha média, a mobilidade aumentada afetará, principalmente, as frequências altas<sup>19</sup>. A ação do amplificador coclear, portanto, pode também ser afetada de forma indireta e ser um dos fatores que geram maior variabilidade nas frequências altas. A segunda interpretação é pertinente apenas para a variabilidade em 6000 Hz. A não linearidade da resposta de frequência da sonda do equipamento utilizado neste estudo, acima de 5000 Hz, pode ser o gerador principal de variabilidade na captação das respostas em 6000 Hz.

Gorga et al.<sup>6</sup> também utilizaram regras para o encerramento do exame baseadas na estabilização do ruído de fundo para aumentar a confiabilidade dos resultados. No presente estudo, a manutenção da estabilidade do ruído de fundo em -10  $\mu$ Pa (incluída como critério de encerramento do exame) e a determinação dos limiares das CCEOA-PD como o menor valor de  $L_2$  com relação  $S/R \geq 3$   $\mu$ Pa com os dois níveis de  $L_2$  subsequentes mantendo, no mínimo a mesma relação  $S/R$  (conforme descrito nos métodos), contribuíram para a alta correlação entre as duas medidas. A correlação entre esse limiar e os limiares audiométricos foi significativa em todas as frequências comparadas. Infelizmente, devido à interferência do ruído de fundo em 500 e 1000 Hz, não foi possível correlacionar as frequências baixas, porém, isso é recorrente em trabalhos que utilizam medidas de emissões otoacústicas.

A alta variabilidade de respostas pode causar um considerável risco de respostas falso-positivas, diminuindo a confiabilidade das CCEOA-PD. Boege e Janssen<sup>12</sup> argumentaram que o fato das curvas de crescimento não apresentarem alta correspondência com os limiares audiométricos pode ser devido a modificações ou alterações que não têm relações com os limiares audiométricos ou que não são detectáveis por eles; e afirmaram, ainda, que esses fatores deveriam ser investigados. Gorga et al.<sup>4</sup> também discutiram sobre a alta variabilidade das curvas de crescimento das EOA-PD, assumindo que alguns critérios devem ser incluídos nos estudos como ausência de alterações de orelha média e presença de resposta nas EOA-PD com  $L_2=65$  dB NPS. A inclusão das variáveis sexo, orelha e antecedentes de otite média aumentou a homogeneidade da amostra por subgrupo e, conseqüentemente, reduziu a variabilidade na estimação dos limiares tonais, permitindo a identificação de discretas diferenças entre os comportamentos de cada subgrupo.

O presente estudo não resolveu a questão da variabilidade na detecção das curvas de crescimento das EOA-PD, porém, apresentou uma forma de redução das mesmas. Ainda assim, a variabilidade foi muito alta, chegando a 25 dB NA, porém foi menor que em estudos que utilizaram apenas o menor valor positivo das curvas de crescimento<sup>14,16</sup> ou os valores coletados no Dp-Gram<sup>10,11</sup>.

## CONCLUSÕES

Houve correlação alta e significativa entre os limiares audiométricos e a menor intensidade das EOA-PD onde a relação sinal ruído foi de, no mínimo, 3 $\mu$ Pa com as duas intensidades acima apresentando a mesma relação. A pesquisa dos limiares audiométricos com resolução de 1 dBNA e a separação em subgrupos dos participantes considerando as variáveis sexo, antecedentes de otite média aguda e orelha direita/esquerda, contribuíram diretamente para a alta correlação entre os limiares audiométricos e das curvas de crescimento das EOA-PD e a redução na variabilidade das respostas. Sugerimos que essas variáveis devam ser consideradas nos estudos futuros de estimação dos limiares por meio das CCEOA-PD. Apesar dessas conclusões, as curvas de crescimento das EOA-PD não substituem o exame audiométrico, tanto pela variabilidade quanto pelas estruturas que são avaliadas. As CCEOA-PD podem contribuir no aumento da precisão diagnóstica e prognóstica nas decisões clínicas relacionadas ao sistema auditivo, mas não pode estimar com precisão os limiares audiométricos.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão de bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oxenham AJ, Bacon SP. Cochlear compression: perceptual measures and implications for normal and impaired hearing. *Ear Hear.* 2003;24(5):352-66.
2. Kemp DT. Stimulated otoacoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am.* 1978;64(5):1386-91.
3. Dallos P. The active cochlea. *J Neurosci.* 1992;12(12):4575-85.
4. Gorga MP, Neely ST, Dorn PA, Hoover BM. Further efforts to predict pure-tone thresholds from distortion product otoacoustic emission input/output functions. *J Acoust Soc Am.* 2003;113(6):3275-84.
5. Neely ST, Johnson TA, Kopun J, Dierking DM, Gorga MP. Distortion-product otoacoustic emissions input/output in normal hearing and hearing-impaired human ears. *J Acoust Soc Am.* 2009;126(2):728-38.
6. Gorga MP, Neely ST, Dierking DM, Kopun J, Jolkowski K, et al. Low frequency and high-frequency cochlear nonlinearity in humans. *J Acoust Soc Am.* 2007;122(3):1671.
7. Ruggero MA, Rich NC. Application of a commercially manufactured Doppler-shift laser velocimeter to the measurement of the basilar-membrane vibration. *Hear Res.* 1991;51(2):215-30.
8. Mills DM, Feeney MP, Gates GA. Evaluation of cochlear hearing disorders: normative distortion product otoacoustic emission measurements. *Ear Hear.* 2007;28(6):778-92.

9. Garner CA, Neely ST, Gorga MP. Sources of variability in distortion product of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am*. 2008;124(2):3431-44.
10. Job A, Nottet JB. DPOAEs in young normal-hearing subjects with histories of otitis media: evidence of sub-clinical impairments. *Hear Res*. 2002;167(1-2):28-32.
11. Yilmaz S, Karalihoglu AR, Tas A, Yagiz R, Tas M. Otoacoustic emissions in Young adults with a history of otitis media. *J Laryngol Otol*. 2006;120(2):103-7.
12. Boerge P, Janssen T. Pure-tone threshold estimation from extrapolated distortion product otoacoustic emission I/O-functions in normal and cochlear hearing loss ears. *J Acoust Soc Am*. 2002;111(4):1810-8.
13. Janssen T. Diagnostics of the cochlear amplifier by means of DPOAE growth functions. *HNO*. 2005;53(2):121-33.
14. Schmuziger N, Patscheke J, Probst R. Automated pure-tone threshold estimations from extrapolated distortion product otoacoustic emission (DPOAE) input/output functions (I). *J Acoust Soc Am*. 2006;119(4):1937-9.
15. Johnson TA, Neely ST, Kopun JG, Dierking DM, Tan H, Converse C, et al. Distortion product otoacoustic emissions: Cochlear-source contributions and clinical test performance. *J Acoust Soc Am*. 2007;122(6):3539-53.
16. Hatzopoulos S, Ciorba A, Petrucci J, Grasso D, Sliwa L, Kochanek K, et al. Estimation of pure-tone thresholds in adults using extrapolated distortion product otoacoustic emission input/output and auditory steady state responses. *Int J Audiol*. 2009;48(9):625-31.
17. Schmuziger N, Probst R. Prediction of hearing thresholds using the Cochlea-Scan. Comment to: A pilot study on assessing hearing threshold using the Cochlea-Scan. Stavros Hatzopoulos, Krzysztof Kochanek, Lech Sliwa, Henryk Skarzynski. *Med Sci Monit*. 2008;14(4):MT7-11. *Med Sci Monit*. 2009 Jul;15(7):LE7-8.
18. Kummer P, Janssen T, Arnold W. The level and growth behavior of the 2f1-f2 distortion product otoacoustic emission and its relationship to auditory sensitivity in normal hearing and cochlear hearing loss. *J Acoust Soc Am*. 1998;103(6):3431-44.
19. Margolis RH, Hunter LL. Tympanometry: Basic Principles and Clinical Applications. IN: Musiek FE, Rintelmann WF. (Eds.) *Contemporary Perspectives in Hearing Assessment*, Allyn & Bacon (Boston); 1999. p.89-130.