

ABORDAGEM DA QUALIDADE VOCAL EM UM FALANTE COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA: ASPECTOS ACÚSTICOS RELEVANTES DO SINAL DE FALA

The voice quality of a hearing impaired speaker: relevant acoustics aspects in the speech signal

Sabrina Cukier ⁽¹⁾, Zuleica Camargo ⁽²⁾

RESUMO

Objetivo: descrever correlatos acústicos da qualidade vocal de uma criança com deficiência auditiva neurossensorial, usuária de amplificação sonora individual, relacionando-os aos dados perceptivo-auditivos e fisiológicos. **Métodos:** análise de amostras de fala e exame otorrinolaringológico de uma criança com deficiência auditiva neurossensorial moderada de sete anos. As amostras de fala referiram-se à vogal [a] sustentada e sete sentenças, as quais foram avaliadas do ponto de vista perceptivo-auditivo por dez fonoaudiólogos. As mesmas amostras foram analisadas acusticamente: inspeção (forma da onda e espectrogramas), extração de medidas de frequência fundamental - f0, frequência e amplitude dos três primeiros formantes - F1, F2 e F3 e de proporção ruído/harmônico - *NHR*, índice de turbulência vocal - *VTI*, grau de desvozeamento - *DUV*, variações de f0 - *vf0* e índice de fonação suave - *SPI*. Os resultados da análise acústica foram comparados àqueles das gravações de criança do mesmo gênero e idade, com audição normal, caracterizando-se como referência. **Resultados:** o falante deficiente auditivo apresentou padrão respiratório inadequado durante a fala, articulação imprecisa, *pitch* agudo, *loudness* forte, ataque vocal brusco e qualidade vocal rouca, soprada e tensa. As medidas de f0 apresentaram-se aumentadas e as da frequência do segundo formante diminuídas. Os achados de redução de harmônicos e alterações nas medidas de *DUV*, *VTI* e *SPI* revelaram aspectos da dinâmica glótica, compatíveis com o achado de nódulos de pregas vocais. **Conclusão:** os resultados indicam características perceptivo-auditivas e acústicas que se complementaram na compreensão dos ajustes de qualidade vocal presentes na fala de indivíduo com deficiência auditiva.

DESCRITORES: Acústica da Fala; Avaliação; Percepção Auditiva; Qualidade da Voz; Perda Auditiva

■ INTRODUÇÃO

A produção da voz e da fala, em seus minuciosos atributos e aspectos, tem sido alvo de pesqui-

sas e estudos há muitos anos. Anteriormente aos avanços tecnológicos, a função laríngea e a produção de fala e voz já eram estudadas acusticamente, destacando-se a descrição do fenômeno de Bernoulli ¹ e a formulação do modelo linear de fonte-filtro para a produção das vogais ². Com o avanço da tecnologia, os procedimentos computacionais em análises de fala e voz foram difundidos e aplicados, complementando os procedimentos de avaliação clínica da voz. A contribuição da análise acústica, quando relacionada às avaliações perceptivo-auditiva e fisiológica, reside no fato de servir como um recurso não invasivo para descrever as alterações na produção dos sons, refletir sobre os ajustes que determinem tais produções e auxiliar, dessa maneira, o desenvolvimento do processo terapêutico.

⁽¹⁾ Fonoaudióloga, Especialista em Voz, Mestranda em Linguística Aplicada a Estudos da Linguagem pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Pesquisadora do Laboratório de Análise Acústica e Cognição da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

⁽²⁾ Fonoaudióloga, Especialista em Voz, Doutora em Linguística Aplicada a Estudos da Linguagem pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Professora Assistente-Doutora do Departamento de Linguística da Faculdade de Comunicação e Filosofia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

A definição das características vocais está relacionada tanto com a frequência fundamental (f_0) e harmônicos, quanto com os fatores dinâmicos da fala, como a transição de gestos que modificam uma posição articulatória em outra³⁻⁷.

Nos sujeitos deficientes auditivos a relação entre a articulação e a qualidade vocal é relatada como essencial para garantir a inteligibilidade de fala^{3-5,7-8}. A qualidade vocal do deficiente auditivo é alvo de discussões por ser também passível de avaliação subjetiva. Para minimizar os efeitos subjetivos em tal procedimento foram estabelecidas escalas numéricas para julgamentos de parâmetros de qualidade vocal e propostas de procedimentos de avaliação para a voz de indivíduos com perda de audição^{3-4, 8-13}.

Os resultados das pesquisas em deficientes auditivos, com protocolos de análise perceptivo-auditiva destacaram características relativas à qualidade de voz, ressonância, articulação e *pitch*. Em relação à qualidade de voz são descritas: a voz sopro, pela dificuldade do controle da musculatura intrínseca da laringe, a voz tensa, devido ao fechamento glótico excessivo^{2,14-15} e a voz áspera, interligada à incidência de tensão laringea e à elevação da postura da laringe¹⁵⁻¹⁶.

Em relação à ressonância é descrita na literatura como hiponasal, hipernasal, "cul-de-sac" ou faríngea^{14,17}, porém há o destaque para a percepção de nasalidade^{4-5,11,18}, que está relacionada à alteração do ritmo da fala⁴, à inteligibilidade de fala e à percepção auditiva prejudicadas¹⁹. Algumas pesquisas comprovaram que não há relação estatisticamente significativa entre a hipernasalidade e o grau da perda de audição²⁰ e com a presença de abertura do esfíncter velofaríngeo durante a fala¹⁹.

Quanto à articulação, é descrita tanto por movimentos da mímica facial exagerados^{16,18} como por movimentos de língua, da mandíbula e dos lábios minimizados¹⁶.

Relacionado ao parâmetro de *pitch*, foi descrito como agudo em adolescentes e adultos e como grave associado à língua posteriorizada^{4,14}. A variação do *pitch* durante a fala encadeada é considerada pequena¹⁶.

Quanto à análise fisiológica, são descritos achados laringoscópicos como edema e hiperemia das pregas vocais e fechamento glótico incompleto de diferentes tipos e graus em uma população com perda de audição profunda¹⁸.

Em relação à análise acústica, alguns estudos direcionados à prosódia da fala de deficientes auditivos destacaram parâmetros acústicos que indicam alteração no ritmo e na entoação^{10,13,21}. Em relação ao ritmo, observou-se o alongamento da vogal nas palavras iniciais das sentenças, maior duração das palavras e sentenças e a introdução de intervalos de silêncio entre as sílabas^{10,21-22}.

Em relação à entoação, referiu-se a pequena variação da frequência fundamental (f_0)²²⁻²³, fala monótona, pouca variação melódica e o declínio contínuo, aspectos que prejudicaram a inteligibilidade e a apreensão do sentido das sentenças^{5, 9-10,12,21-24}.

As medidas acústicas também foram apresentadas em diversos estudos, sendo uma das justificativas o fato de permitirem a diferenciação entre articulação e produção de determinados sons entre grupos de falantes¹³. Na população com deficiência de audição severa e profunda, há o aumento da f_0 média em decorrência da ausência de *feedback* acústico e da hiperfunção laringea^{10,21-22,24-25}. Além do aumento é descrita a grande variabilidade, pela dificuldade de controle da frequência fundamental²⁵. O valor diminuído de f_0 foi observado após a terapia fonoaudiológica¹¹.

Em relação às frequências e amplitudes dos formantes, alguns autores destacaram que as frequências do primeiro formante (F1) apresentaram-se adequadas^{3,5,10}, porém o valor do segundo formante (F2) foi contraditório^{3,5,10}. São descritos alguns sujeitos deficientes auditivos com a queda da frequência do segundo formante, devido à posteriorização da língua e à constrição faríngea^{3,10}, mas há outros indivíduos que apresentam um aumento da frequência do segundo formante, justificado pela língua abaixada e anteriorizada⁵.

Os parâmetros de f_0 e formantes foram explorados para a emissão oral de adolescentes ouvintes e deficientes auditivos¹². Os resultados indicaram diferença de frequência e amplitude da f_0 , do F1, do F2 e do F3 (terceiro formante) entre os dois grupos, contaminação das áreas das vogais pelos deficientes auditivos, indicando a possibilidade de assumirem uma má postura dos articuladores. Como estratégia para diferenciar os sons de vogais, o autor defende que os deficientes auditivos variaram a frequência e a amplitude da f_0 em relação à frequência e à amplitude dos formantes^{12,25}.

Além da produção, os aspectos de percepção do sinal de fala também podem ser abordados do ponto de vista acústico. Nesse universo, estudos conduzidos com falantes do Português Brasileiro abordaram os aspectos de percepção e de produção dos contrastes sonoros das consoantes plosivas²⁶ e da produção de vogais em deficiência auditiva²⁷.

Dessa maneira, o objetivo desse estudo é descrever os parâmetros acústicos referentes à qualidade vocal de uma criança com deficiência auditiva neurossensorial moderada e usuária de amplificação sonora individual, relacionando-os aos dados perceptivo-auditivos e fisiológicos (laringológicos), segundo os princípios da teoria acústica da produção da fala².

■ MÉTODOS

A casuística refere-se a duas crianças de sete anos, do gênero feminino, uma com audição normal (referência) e outra portadora de deficiência auditiva neurossensorial moderada bilateral (usuária de aparelho de amplificação sonora individual). Ambas as crianças cursavam a primeira série do Ensino Fundamental em escolas para ouvintes no momento da coleta de dados. As amostras utilizadas no presente estudo constam do banco de dados do Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição (LIAAC) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

Ouvido	250	500	750	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Direito	30	55	65	70	75	80	95	105	-
Esquerdo	20	40	45	55	70	70	85	90	85

Figura 1 – Limiares de audição por via aérea, expressos em decibéis para as frequências de 250 a 8000 Hz, de ambos os ouvidos, da criança com deficiência auditiva

A sessão de gravação foi realizada após a memorização das frases relacionadas a cada figura, evitando-se o modelo do entrevistador, sendo que o entrevistado visualizou as figuras desenhadas em folha A4, a uma distância aproximada de 40 cm de seus olhos. A gravação foi realizada por meio de gravador digital DAT *Sony*, modelo DTC 690, com microfone de cabeça unidirecional e dinâmico, marca *Audiotechnica ATM 75*, situado a 10 cm dos lábios dos falantes e aproximadamente a 45° lateralmente da linha média da boca. A marca da fita empregada foi a *Maxell HS-4/90s* e o local escolhido foi um ambiente com tratamento acústico.

As amostras de fala foram digitalizadas no *software Computer Speech Lab (Kay Elemetrics Corp)* na frequência de amostragem 22050 Hz, 16 bits do Laboratório de Fala e Voz do Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica.

A análise do material de fala foi realizada em duas etapas: análise perceptivo-auditiva e análise acústica dos aspectos vocais. A análise perceptivo-auditiva do material de fala foi realizada por dez alunas do quarto ano de Graduação em Fonoaudiologia, todas cursando disciplina de avaliação de qualidade vocal e desenvolvendo projetos de pesquisa sobre voz. A amostra de fala foi apresentada três vezes. Cada avaliadora respondeu individualmente a um roteiro com oito parâmetros: coordenação do padrão respiratório durante a fala, sonorização de fonemas plosivos e fricativos, articulação, *pitch*,

Os limiares auditivos da criança com deficiência de audição são apresentados na Figura 1.

As amostras de fala constaram da emissão da vogal [a] sustentada e da produção oral de 7 sentenças: “O papagaio fala”, “O abacaxi é gostoso”, “A caneta é azul”, “O brinquedo é de plástico”, “O palhaço está no circo”, “A roupa é nova” e “O vaso está em cima da mesa”. Esse material foi desenvolvido no Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição (LIAAC) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo para atividades de descrição da produção dos sons do Português Brasileiro (PB) por crianças.

loudness, ataque vocal, foco de ressonância e qualidade vocal.

A coordenação do padrão respiratório durante a fala foi analisada segundo os critérios: adequada, expiração excessiva, uso do ar reserva e inspiração durante a fala. A sonorização dos fonemas consonantais plosivos e fricativos foi descrita como presente ou ausente. A articulação foi definida segundo os critérios: precisa, imprecisa, travada e língua posteriorizada. O *pitch* podia ser classificado como agudo, grave, adequado ou flutuante e; a *loudness* segundo os critérios: forte, fraco, adequado e flutuante. O parâmetro ataque vocal foi julgado segundo as opções suave, brusco ou aspirado. O foco de ressonância poderia ser classificado como equilibrado; laringo-faríngeo com foco nasal discreto, acentuado ou compensatório; hiponasal e hipernasal. A qualidade vocal foi caracterizada segundo os critérios de atividade glótica: normal, tensa, soprosa, rouca, fraca e diplofônica.

O procedimento de avaliação acústica envolveu a inspeção dos traçados da forma da onda, dos espectrogramas de banda estreita e a extração de medidas acústicas automáticas e não automáticas.

A extração de medidas automáticas foi realizada pelo *software Multispeech*, (*Kay Elemetrics Corp*) no módulo *Multidimensional Voice Program (MDVP)*. Foram analisadas as medidas: proporção ruído-harmônico (*NHR*), índice de turbulência vocal (*VTI*), índice de fonação suave (*SPI*), grau de desvozea-

mento (*DUV*) e variação da frequência fundamental (*vf0*).

A extração de medidas não automáticas de *f0*, da frequência e da amplitude dos três primeiros formantes foi realizada com auxílio do *software Canadian Speech Research Environment (CSRE 45)* da *Avaaz Corporation*.

Os dados de exame otorrinolaringológico da criança deficiente auditiva constantes em prontuário revelaram a realização de laringoscopia com o Endoscópio flexível *Richards*, com diâmetro de 4 mm e fonte de luz *EndoView TM*. A gravação foi realizada por meio de uma micro-câmera, marca Sony, com o vídeo cassete marca Sony, modelo SLV – 40 Br e

com o monitor Sony, modelo KV 1450 b. A marca da fita empregada foi BASF T – 120. A descrição do exame foi utilizada como base nos dados fisiológicos referentes à descrição de qualidade vocal.

Todas as amostras descritas integram o banco de dados do Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição da Pontifícia Universidade Católica de São Paul, sendo o seu uso consentido para o presente estudo. A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética do Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica, sob nº 004/05.

Os resultados foram analisados de forma descritiva com o intuito de correlacionar os dados acústicos aos perceptivo-auditivos e laringológicos.

Parâmetros e sujeitos	Respostas das avaliadoras para cada item analisado					
Respiração durante a fala	Adequada	Expiração excessiva	Uso do ar reserva	Inspiração durante a fala		
DA	0	5	2	6		
Ref	8	0	2	0		
Sonorização de fones	Ausente	Presente				
DA	4	6				
Ref	0	10				
Pitch	Agudo	Adequado	Grave	Flutuante		
DA	6	4	0	0		
Ref	6	4	0	0		
Loudness	Forte	Adequado	Fraco	Flutuante		
DA	7	1	1	1		
Ref	0	8	2	0		
Ataque vocal	Brusco	Suave	Aspirado			
DA	9	1	0			
Ref	5	4	1			
Articulação	Precisa	Imprecisa	Travada	Língua posterior		
DA	0	7	0	3		
Ref	8	3	0	0		
Ressonância	Equilibrada	Discreto ^A	Acentuado ^B	Compensatório ^C	Hipo ^D	Hiper ^E
DA	0	1	3	1	4	1
Ref	1	4	0	3	2	0
Qualidade vocal	Normal	Diplofônica	Soprosa	Rouca	Fraca	Tensa
DA	0	1	6	2	0	3
Ref	7	0	2	0	0	0

DA – Deficiente Auditiva; Ref – Referência; ^A Laringo faríngea com foco nasal discreto; ^B Laringo faríngea com foco nasal acentuado; ^C Laringo faríngea com foco nasal compensatório; ^D Hiponasal; ^E Hipernasal

Figura 2 – Apresentação da avaliação perceptivo-auditiva da voz (em número de ocorrências) quanto aos itens respiração durante a fala, sonorização de fones, *pitch*, *loudness*, ataque vocal, articulação, ressonância e indicadores de qualidade vocal da emissão de frases da criança deficiente auditiva e referência

■ RESULTADOS

Os resultados são apresentados segundo dados de avaliação perceptivo-auditiva e acústica.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados da avaliação perceptivo-auditiva da voz.

Na Figura 3 estão apresentadas as medidas acústicas não automáticas relacionadas à atividade vibratória das pregas vocais, indicada pela freqüên-

cia fundamental (f_0), e à dinâmica do trato vocal supraglótico, indicada pelas freqüências (Hz) e amplitudes (Rms) dos três primeiros formantes (F1, F2 e F3).

Na Figura 4 estão indicadas as medidas acústicas automáticas de proporção ruído-harmônico (NHR), índice de turbulência vocal (VTI), índice de fonação suave (SPI), grau de desvozeamento (DUV) e variação da freqüência fundamental (vf_0).

sujeitos	[a]	pa ¹	pa ²	pa ³	ca ⁴	ba ⁵	ca ⁶	plás ⁷	pa ⁸	va ⁹	média	DP
DA f0	292	390	366	366	341	390	366	341	390	341	368,1	29,3
Ref f0	317	268	292	292	268	292	268	244	268	292	275,2	16,1
DA F1	1196	683	1074	976	1123	1147	1123	1318	1171	1416	1076,3	229,8
Ref F1	1245	1098	1196	1196	1147	1123	1123	1123	1025	1123	1139,9	61,
DA F2	1782	1147	1464	1416	2148	1977	1513	3417	1904	2001	1818,3	662,3
Ref F2	1977	1831	1953	2148	2099	2001	2221	2075	2075	1879	2030,8	119,4
DA F3	2099	1586	2172	2148	3759	2539	2246	3226	3125	3173	2663,7	693,4
Ref F3	3979	3979	3881	3906	4101	4077	3784	3906	3906	4052	3952,2	99,2
DA A1	-59,3	-56	-50,6	-57,1	-45,6	-46,2	-51,7	-49,4	-48,4	-46,5	-51,16	5,02
Ref A1	-38,7	-39,7	-39,3	-38	-49,5	-37,9	-40	-47,8	-44,3	-41,6	-42,36	4,15
DA A2	-45,7	-36,5	-40,6	-37,5	-54,2	-46,6	-42,5	-69,8	-46,9	-49,9	-46,53	9,87
Ref A2	-48,8	-48,9	-47,5	-42,1	-54,8	-47,2	-47,4	-51,3	-47,7	-52,1	-48,96	3,47
DA A3	-59,3	-56	-50,6	-57,1	-45,6	-46,2	-51,7	-49,4	-48,4	-46,5	-51,16	5,02
Ref A3	-56,8	-50,9	-51,6	-47	-56,2	-49,5	-52,1	-54,3	-53,6	-52,2	-52,06	2,57

DA – Deficiente Auditiva; Ref – Referência; f0 – freqüência fundamental; F1 – primeiro formante; F2 – segundo formante; F3 – terceiro formante; A1 – amplitude do primeiro formante; A2 - amplitude do segundo formante; A3 - amplitude do terceiro formante; ¹ primeira sílaba do vocábulo papagaio; ² segunda sílaba do vocábulo papagaio; ³ primeira sílaba do vocábulo palhaço; ⁴ primeira sílaba do vocábulo caneta; ⁵ segunda sílaba do vocábulo abacaxi; ⁶ terceira sílaba do vocábulo abacaxi; ⁷ primeira sílaba do vocábulo plástico; ⁸ segunda sílaba do vocábulo roupa; ⁹ primeira sílaba do vocábulo vaso; DP – desvio padrão

Figura 3 – Apresentação dos valores da freqüência fundamental em Hz, dos três primeiros formantes em Hertz e das amplitudes das freqüências dos três primeiros formantes em Rms da vogal [a] em emissão sustentada, da vogal [a] em contexto de vocábulos e da média e do desvio padrão dos valores da vogal [a] em contexto de vocábulos da criança deficiente auditiva e referência

medidas	DA	REFER	DP
NHR	0,124	0,112	0,09
VTI	0,09	0,046	0,012
SPI	1,579	7,539	4,133
DUV	1,724	0,2	0,1
vf0	1,487	1,149	1,005

DA – Deficiente Auditiva; REFER – Referência; DP – Desvio Padrão; NHR - proporção ruído-harmônico; VTI - índice de turbulência vocal; SPI - índice de fonação suave; DUV - grau de desvozeamento; vf0 - variação da frequência fundamental

Figura 4 – Apresentação dos valores das medidas acústicas automáticas de proporção ruído-harmônico, índice de turbulência vocal, índice de fonação suave, grau de desvozeamento e variação da frequência fundamental da emissão sustentada da vogal [a] da criança deficiente auditiva com os valores de referência e desvio padrão do software utilizado

Quanto à avaliação otorrinolaringológica do falante deficiente auditivo, o exame nasofibrolaringoscópico indicou mucosa nasal normal, com desvio de septo para a esquerda, mucosa oral normal, hipertrofia amigdaliana, maior à esquerda. A função velofaríngea foi avaliada como normal, apesar do registro assistemático de fechamento incompleto em grau discreto. A nasofibrolaringoscopia revelou edema das aritenóides, estrutura de pregas vestibulares normais, pregas vocais com nódulos bilaterais na transição do terço anterior com o terço médio, fechamento glótico incompleto (fenda triangular em toda a extensão) e componente de constrição supraglótica.

■ DISCUSSÃO

Os resultados são discutidos com base na articulação dos correlatos acústicos, perceptivo-auditivos e fisiológicos da qualidade vocal de uma criança com deficiência auditiva de grau moderado (Figura 1).

Na análise dos parâmetros perceptivo-auditivos (Figura 2), a criança deficiente auditiva apresentou desvio de algumas características em relação à referência para tais parâmetros na avaliação vocal clínica (padrão respiratório, sonorização dos fones, *pitch*, *loudness*, ressonância e qualidade vocal).

Em relação ao padrão respiratório durante a fala foram observadas as ocorrências de expiração excessiva, uso do ar reserva e inspiração durante a fala. Os fones sonoros foram assistematicamente sonorizados e a articulação apresentou-se imprecisa. O *pitch* foi caracterizado como agudo, a *loudness* foi classificada como forte e o ataque vocal foi predominantemente brusco. Quanto à ressonância

houve referência para a ressonância laringo-faríngea com foco nasal discreto, acentuado e compensatório e, por outro lado, algumas juizas consideraram a ressonância como hiponasal. As qualidades vocais descritas foram rouca, soprosa e tensa. Esses dados da avaliação estão de acordo com a literatura que refere pausas respiratórias inadequadas durante a fala^{10,21-22}, articulação com movimentos minimizados¹⁶ sugerindo uma imprecisão articulatória e possível ininteligibilidade de fala^{3-5,7-8}, ressonância com foco nasal^{4-5,11,17-18} e hiponasal^{14,17}, *pitch* agudo^{4,14}, voz soprosa, tensa^{4,14-15} e irregularidade vibratória¹⁵⁻¹⁶, estas três últimas estariam correlacionadas ao julgamento de rouquidão.

Na análise dos parâmetros acústicos (Figura 3), o valor da média da frequência fundamental (f0) da vogal [a] na fala encadeada no sujeito deficiente auditivo foi alto (368 Hz) e pode ser atribuído ao aumento de tensão de pregas vocais e do trato vocal, resultando em fechamento glótico excessivo^{10,21-22,24-25}. Outro destaque foi a excessiva variação da frequência fundamental durante a fala encadeada, detectável pelo desvio padrão alto (Figura 3), fato que pode prejudicar a inteligibilidade^{9,12,24}.

Quanto à análise dos formantes, a frequência do primeiro formante (F1) está relacionada à abertura de boca e à altura de língua. Nos sujeitos estudados, a média dos valores da frequência de F1 (Figura 3) é semelhante e está de acordo com as referências da literatura^{3,5,10}. Vale porém destacar que há grande instabilidade nos valores do primeiro formante no sujeito deficiente auditivo, sugerindo a dificuldade de manutenção do trato vocal numa mesma postura articulatória, devido ao estado dos lábios, língua e mandíbula^{2,12}, o que interfere no efeito de ressonância e, conseqüentemente nas medidas de frequência dos formantes^{2-4,6}.

O parâmetro da frequência do segundo formante (F2) está relacionado ao deslocamento ântero-posterior de língua¹. Dessa maneira, o valor de F2 maior indica anteriorização da língua, enquanto o valor menor de F2 indica a posteriorização da língua.

Na bibliografia, devido aos diferentes ajustes que o indivíduo deficiente auditivo realiza, são referidos os valores de frequência do segundo formante tanto graves como agudos^{3,5,10}.

No presente estudo, o sujeito deficiente auditivo apresentou a média dos valores de frequência do segundo formante da vogal [a] da fala encadeada menores do que o sujeito controle (Figura 3), além de instabilidade dos valores em relação às várias emissões analisadas. A criança deficiente auditiva apresenta constrição faríngea e o dorso da língua posteriorizado, com a orofaringe diminuída, o que contribui para uma cavidade anterior maior e diminuição da frequência do segundo formante. Além disso, a instabilidade dos valores sugere novamen-

te a dificuldade em manter o posicionamento dos articuladores, provavelmente devido ao *feedback* auditivo prejudicado.

Quanto ao valor do terceiro formante há uma diferença entre os dois sujeitos (Figura 3). O valor da média da frequência do terceiro formante da vogal [a] na fala encadeada do sujeito controle é bem maior do que a respectiva medida no sujeito deficiente auditivo. Esses dados estão de acordo com a literatura^{12-13,25} e sugerem que para diferenciar as vogais, o sujeito deficiente auditivo varia a f_0 e a amplitude da voz em relação à frequência e amplitude dos formantes. Tais aspectos revelam a complexa integração entre ajustes glóticos e supraglóticos do aparelho fonador, no que se refere a parâmetros de qualidade vocal e de articulação dos fones. Dessa forma, há ajustes envolvendo aspectos de curto e de longo termo da emissão.

Quanto à amplitude dos formantes, o resultado da amplitude do primeiro formante (A1) do sujeito deficiente auditivo foi menor quando comparado ao sujeito controle. O valor da amplitude do segundo e terceiro formantes (A2 e A3) foram semelhantes entre os sujeitos, porém a criança deficiente auditiva apresentou grande variação entre as amostras. Com esta configuração de A1 menor do que A2 e A3, pode-se afirmar que há uma alteração do declínio espectral esperado como resposta de filtro do trato vocal e, novamente, importantes aspectos de mudanças de atividade do trato vocal nas esferas glótica e supraglótica.

Prosseguindo a exploração dos índices acústicos, foi possível observar o desvio de algumas medidas acústicas da emissão do falante com deficiência auditiva (Figura 4) tais como: a diminuição da ação do vozeamento pela medida *DUV*, indícios de atividade vibratória regular pela medida *SPI* e o aumento de indícios de irregularidade glótica por meio da medida *VTI*. Tais achados podem ser correlacionados aos achados perceptivo-auditivos e clínicos de sonoridade assistemática dos fones, ataque vocal brusco e fechamento incompleto das pregas vocais^{8,18} (presença de ruído entre 2800 e 5800 Hz).

Os valores da proporção harmônico ruído (*NHR*) e da variação da frequência fundamental (*vf0*) estavam dentro dos limites propostos para o uso do *software Multispeech*. Entretanto, a inspeção do espectrograma de banda estreita revelou escassez de harmônicos até o limite de frequência de 5000 Hz, devido à redução da amplitude dos ciclos vibratórios³, à instabilidade da f_0 e ruído. Tais aspectos reforçam que medidas isoladas não refletem a complexidade da dinâmica do trato vocal e não seriam compatíveis com os achados fisiológicos de alteração de fechamento glótico e da mobilidade da mucosa das pregas vocais, com conseqüente desenvolvimento de nódulos de pregas vocais. Tal corres-

pondência foi possível com a ampliação dos procedimentos de análise acústica.

Em relação à análise do exame laringoscópio, tanto a presença dos nódulos de pregas vocais quanto do fechamento glótico incompleto afetam diretamente os mecanismos de fonte, de acordo com o modelo fonte filtro². O referido desequilíbrio muscular acarreta uma série de ajustes, podendo refletir-se na ação de filtro, com variações de ressonância, especialmente em decorrência da dificuldade de manutenção da postura dos articuladores na seqüência da fala. Tais aspectos refletem a diferença de frequência e amplitude da f_0 e dos três primeiros formantes entre sujeito ouvinte e deficiente auditivo, em concordância com estudo anterior¹².

Os parâmetros perceptivo-auditivos de *loudness* aumentado, ataque vocal brusco e alteração na percepção da qualidade vocal encontram correspondência nas esferas acústica e fisiológica em função da excessiva variação de atividade laríngea e refletem os ajustes compensatórios para a produção articulatória¹².

A análise acústica, particularmente, possibilitou a discussão da posição dos articuladores durante a fonação. A diminuição da frequência do segundo formante indica uma cavidade anterior maior, ou seja, a aproximação da língua com o palato duro é realizada em ponto mais posterior, havendo a constrição com a parede faríngea. O controle velar inadequado e assistemático, revelado no exame laringológico, contribui para caracterizar a ressonância como laringofaríngea com foco nasal acentuado¹⁹. Vale destacar que a esfera do julgamento da nasalidade impôs alguns conflitos entre os juízes, acentuando a necessidade de detalhamento acústico do sinal e de suas correspondências ao plano da percepção.

As correlações entre os parâmetros acústicos de frequência dos formantes e perceptivo-auditivo de foco de ressonância sugeridas em várias pesquisas acentuam a estreita relação entre percepção e produção de fala²⁶⁻²⁷.

Desta maneira, a análise acústica colaborou para a compreensão dos ajustes desenvolvidos pelo sujeito deficiente auditivo durante a fonação, revelando alteração nos mecanismos de fonte e filtro. A partir dos fundamentos da teoria acústica da produção da fala², que subsidiaram os procedimentos de inspeção e de interpretação das medidas acústicas, foi possível detalhar os ajustes de qualidade vocal implementados pelo falante deficiente auditivo, de forma a permitir maior compreensão das particularidades do processo de geração do sinal de fala e, conseqüentemente, a fornecer subsídios para a clínica fonoaudiológica. Tal abordagem permitiu esboçar a correspondência entre aspectos do campo da prosódia (suprasegmental), especificamente nesse

estudo a qualidade vocal, com aspectos da dinâmica vocal (*pitch* e *loudness*) e do campo segmental (vogais e consoantes), os quais, em conjunto, se refletem na inteligibilidade do sinal de fala.

■ CONCLUSÃO

Os resultados indicam características perceptivo-auditivas e acústicas que se complementaram na compreensão dos ajustes de qualidade vocal presentes na geração do sinal de fala de um falante

com deficiência auditiva: valores aumentados de f_0 , instabilidade e diminuição da frequência do segundo formante, redução de harmônicos e índices aumentados de irregularidade de atividade vibratória de pregas vocais, os quais revelaram importantes aspectos da dinâmica vocal, que comprovam a excessiva variação laríngea em relação à variação articulatória. Os achados colaboraram para a compreensão do comprometimento de mecanismos glóticos, o qual culminou no desenvolvimento de nódulos de pregas vocais.

ABSTRACT

Purpose: to describe acoustics parameters of voice quality of a child with mild hearing impairment that uses hearing aids and relate these parameters to auditory and physiological data. **Methods:** speech sample analysis and otorhinolaryngological exam of a seven years old child with mild hearing impairment. The speech samples were the vowel [a] and seven sentences which were evaluated by auditory analysis for vocal quality by ten speech therapists judges. These same speech samples were analyzed acoustically: inspection (wave shape and spectrograms), extractions of measures of fundamental frequency, first three formants frequency and amplitude and automatic measures (noise/harmonic ratio - NHR, vocal turbulence index - VTI, degree of voiceless - DUV, variations of f_0 - vf_0 , soft phonation index - SPI). The results of acoustics analysis were compared to those obtained from the recording analysis of a child of the same age and gender, with normal hearing, that was characterized as reference. **Results:** the hearing impairment subject presented inadequate speech breathing pattern, imprecise articulation, high pitch, strong loudness, vocal attack and breathy, rough and tense vocal quality. The f_0 measures were higher and the second formant frequencies were lower. The data of few harmonics and alteration of certain measures (DUV, VTI, SPI) revealed important aspects of vocal dynamics, according to vocal nodules. **Conclusion:** the results indicate auditory and acoustic characteristics that complement each other in the comprehension of vocal quality settings that occur in hearing impaired speech.

KEYWORDS: Speech Acoustics; Evaluation; Auditory Perception; Voice Quality; Hearing Loss

■ REFERÊNCIAS

1. Camargo Z. Da fonação à articulação: princípios fisiológicos e acústicos. *Fonoaudiologia Brasil*. 1999; 2(2):14-9.
2. Fant G. *Acoustic theory of speech production*. Paris: Mouton; 1970.
3. Monsen, RB. Voice quality and speech intelligibility among deaf children. *American Annals of The Deaf*. 1983; 128(1):12-9.
4. Pinho SR. Proposta de avaliação da voz no deficiente auditivo. *Pró-Fono*. 1990; 2 (1):17-9.
5. Nickerson RS. Characteristics of the speech of deaf persons. *The Volta Review* 1975; 77:342-62.
6. Laver J. *The phonetic description of voice quality*. New York: Cambridge University Press; 1980.
7. Abberton E. Voice quality of deaf speakers. In: Kent RD, Ball MJ. *Voice quality measurement*. San Diego: Singular Thomson Learning; 2000. p. 449-58.
8. Borges RHM. Avaliação de voz em deficientes auditivos: uma análise crítica. [Dissertação]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 1994.
9. Colton RH, Cooker HS. Perceived nasality in the speech of the deaf. *J Speech Hear Res* 1968;11(3):553-9.
10. Monsen RB. Acoustic qualities of phonation in young hearing-impaired children. *J Speech Hear Res* 1979; 22(2):270-88.
11. Bommarito S. O efeito de um método de terapia de voz na qualidade vocal e na inteligibilidade da fala de indivíduos surdos. [Tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 2000.
12. Angelocci AA, Kopp GA, Holbrook A. The vowel formants of deaf and normal hearing eleven to fourteen year old boys. In: Baken RJ, Daniloff RG. *Readings in clinical spectrography of speech*. San Diego: Singular Publishing Group; 1991. p. 510-24.
13. Uchanski RM, Geers AE. Acoustic characteristics of the speech of young cochlear implant users: a comparison with normal-hearing age-mates. *Ear Hear*. 2003; 24(1 Suppl):90S-105S.
14. Rodrigues MV. Aspectos vocais no deficiente auditivo. [Trabalho de conclusão de curso]. São Paulo: Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica; 1997.
15. Wirz SL, Subtelny JD, Whitehead RL. Perceptual and spectrographic study of tense voice in normal hearing and deaf subjects. *Folia Phoniatr (Basel)*. 1981; 33(1):23-36.
16. Wirz S. The voice of the deaf. In: Fawcus M. *Voice disorders and their management*. San Diego: Singular Publish; 1992. p. 283-303.
17. Martins RMD. Características da ressonância no deficiente auditivo. [Trabalho de conclusão de curso]. São Paulo: Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica; 1998.
18. Tabith Júnior A. Alguns aspectos da voz e da morfofisiologia laríngea em deficientes auditivos severos e profundos. *Rev Bras de Otorrinolaringol* 1997; 63(4):319-26.
19. Ysunza A, Vazquez MC. Velopharyngeal sphincter physiology in deaf individuals. *Cleft Palate Craniofac J* 1993; 30(2):141-3.
20. Seaver III EJ, Andrews JR, Granata JJ. A radiographic investigation of velar positioning in hearing-impaired young adults. *J Commun Disorder* 1980; 13(3):239-47.
21. Ramos SM. Análise prosódica da fala do deficiente auditivo: parâmetros de duração e frequência fundamental. [Dissertação]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2000.
22. Stathopoulos ET, Duchan JF, Sonnenmeier RM, Bruce NV. Intonation and pausing in deaf speech. *Folia Phoniatr (Basel)*. 1986; 38(1):1-12.
23. Pruszewicz A, Demenko G, Wika T. Variability analysis of f0 parameter in the voice of individuals with hearing disturbances. *Acta Otolaryngol* 1993; (113):450-4.
24. Lejska M. Voice field measurements: a new method of examination: the influence of hearing on the human voice. *J Voice* 2004; 18(2): 209-15.
25. Lane H, Webster JW. Speech deterioration in postlingually deafened adults. *J Acoust Soc Am* 1991; 89(2):859-66.
26. Madureira S, Mendes BCA, Barzaghi L. Voicing contrasts and the deaf: production and perception issues. VIII meeting of the International Clinical Phonetics Linguistics Association (ICPLA). Abstracts. 2000 Aug; Edinburgh, Scotland.
27. Mendes BCA. Estudo fonético-acústico das vogais do português brasileiro: dados da produção e percepção da fala de um sujeito deficiente auditivo. [Tese]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2003.

RECEBIDO EM: 10/12/04

ACEITO EM: 20/02/03

Endereço para correspondência:
Rua Itapeva, 500, cj 4C
São Paulo – SP
CEP: 01332-000
e-mail: sabrina@cukier.com.br