

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIA

IUBERI CARSON ZWETSCH

PROCESSAMENTO DO SINAL DE VOZ PARA O DIAGNÓSTICO
DIFERENCIAL DE ALTERAÇÕES LARÍNGEAS

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada a Pontifícia
Universidade Católica de Porto Alegre,
faculdade de Engenharia para obtenção do
título de mestre em Engenharia Biomédica

Área de concentração: Processamento Digital
de Sinais

Orientador: Professor Doutor Rubem
Dutra Ribeiro Fagundes, Ph.D.

Co-orientador: Professora Doutora Thais
Russomano, Ph.D.

PORTO ALEGRE

2006

SUMARIO

Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	9
Resumo.....	10
Abstract.....	11
1 Introdução.....	12
1.1 Apresentação do tema.....	12
1.2 Objetivos.....	14
1.3 Estrutura da Dissertação.....	14
2 Fundamentação teórica.....	16
2.1 Anatomia e fisiologia do aparelho fonador.....	16
2.1.1 Cartilagens e musculatura da laringe.....	16
2.1.2 Fisiologia da laringe.....	21
2.1.3 Anatomia das Pregas Vocais.....	23
2.1.4 Vibração das pregas vocais.....	25
2.2 Alterações das pregas vocais.....	26
2.2.1 Nódulos de prega vocal.....	26
2.2.2 Pólipos de prega vocal.....	27
2.2.3 Cistos de prega vocal.....	28
2.2.4 Edema de reinke.....	29
2.2.5 Sulco de prega vocal.....	30
2.3 Mecanismos de Produção da voz.....	31
2.3.1 Bases da análise acústica da voz.....	34
2.3.2 Classificação das Formas de Excitação dos Sons da Voz.....	35
2.3.3 Sons Vocálicos.....	35
2.3.4 Sons Não Vocálicos.....	36
2.3.5 Sons Plosivos.....	37
2.3.6 Sons de Excitação Mista.....	38
2.4 Modelo de produção do sinal de voz.....	39
2.5 Processamento dos sinais de voz.....	45
2.5.1 Pré-ênfase.....	45

	3
2.5.2 Janelamento.....	46
2.6 Análise Homomórfica	49
2.6.1 Análise Cepstral.....	50
2.6.2 Liftering.....	52
3 Proposta de trabalho.....	54
3.1 Técnica de Processamento de Sinais na identificação de alterações laríngeas.....	54
3.2 Diagrama de blocos de um sistema de reconhecimento de padrões de voz.....	55
3.3 Análise das alterações laríngeas	55
3.4 Características e diferenciação das alterações laríngeas.....	56
3.5 Técnica proposta de identificação das alterações laríngeas.....	56
4 Metodologia.....	57
4.1 Equipamento e técnica utilizados.....	57
4.2 Características da aquisição dos dados.....	59
4.3 Análise dos dados – função Cepstral.....	60
5 Resultados.....	62
5.1 A interpretação dos gráficos obtidos.....	62
5.2 Aplicação da interpretação desenvolvida nos gráficos obtidos.....	67
6 Conclusões e Trabalhos Futuros.....	70
6.1 Diferentes vocalizações.....	70
6.2 Método de identificação.....	73
6.2.1 Protocolo de identificação das alterações laríngeas.....	74
6.2.2 Máscara gráfica.....	75
6.2.3 Protocolo de identificação das alterações laríngeas com a máscara gráfica.....	76
Referências Bibliográficas.....	83
ANEXO A - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.....	85
ANEXO B - Consentimento Pós-informado.....	86
ANEXO C - Declaração de aceitação do artigo.....	88
ANEXO D - Artigo.....	89

Lista de Figuras

Figura 1 - Estruturas anatômicas da laringe.....	17
Figura 2 - Estruturas anatômicas da laringe.....	18
Figura 3 - Estruturas anatômicas da laringe.....	19
Figura 4 - Laringe com pregas vocais em posição aduzidas (A) e com pregas vocais em Posição abduzidas(B).....	23
Figura 5 - Desenho esquemático de um corte frontal, representando as estruturas de uma prega vocal humana adulta.....	24
Figura 6 - Nódulo de prega vocal.....	27
Figura 7 - Pólipo de prega vocal.....	28
Figura 8 - Cisto de prega vocal.....	29
Figura 9 - Edema de Reinke.....	30
Figura 10 - Sulco vocal.....	31
Figura 11 - Estruturas envolvidas na produção da voz humana.....	32
Figura 12 - Diagrama em blocos do mecanismo de produção de voz humana.....	33
Figura 13 - Segmento de vogal /a/.....	36
Figura 14 - Forma de onda do fonema /s/.....	37
Figura 15 - Forma de onda do fonema /p/ na fonação de “pa”.....	38
Figura 16 - Forma de onda do fonema /z/.....	38
Figura 17 - Forma de onda do fonema /b/ na fonação de “ba”.....	39
Figura 18 - Diagrama de blocos de modelo de excitações.....	40
Figura 19 - Modelo de tubos acústicos concatenados.....	41
Figura 20 - Diagrama de blocos do modelo de produção da voz.....	44
Figura 21 - Exemplo de sinal de voz segmentado com diferentes comprimentos de janela....	47
Figura 22 - Função da janela(a) e o espectro de algumas janelas.....	48
Figura 23 - Modelo simplificado da produção da voz no domínio do tempo.....	50
Figura 24 - Diagrama de fluxo da estimação do Cepstro.....	51
Figura 25 - Cepstro de um segmento de fala da vogal /a/.....	52
Figura 26 - Exemplo de uma função de <i>liftering</i>	53
Figura 27 - Esquema do exame de videolaringoscopia.....	58
Figura 28 - Esquema de obtenção do sinal acústico.....	58

Figura 29 - Blocos de análise do sinal.....	59
Figura 30 - Análise cepstral típica das vogais /a/,/e/ e /i/, de uma pessoa normal, onde o gráfico A corresponde ao sexo feminino, e o B, ao sexo masculino.....	63
Figura 31 - Referências utilizadas.....	64
Figura 32 - Exemplo típico de gráfico cepstral de um cisto de prega vocal.....	65
Figura 33 - Exemplo típico de gráfico cepstral de um edema de prega vocal.....	65
Figura 34 - Exemplo típico de gráfico cepstral de um nódulo de prega vocal.....	66
Figura 35 - Exemplo típico de gráfico cepstral de um sulco de prega vocal.....	66
Figura 36 - Exemplo típico de gráfico cepstral de um pólipio de prega vocal.....	67
Figura 37 - Comparação entre as alterações laríngeas e normal com a vogal /a/.....	69
Figura 38 - Gráficos com as vogais /a/,/e/ e /i/, onde A corresponde a análise de um caso normal e B de um pólipio.....	70
Figura 39 - Máscara do cisto.....	75
Figura 40 - Máscara do nódulo	76
Figura 41 - Máscara do pólipio.....	76
Figura 42 - Máscara do edema de Reinke.....	77
Figura 43 - Máscara do sulco vocal.....	77
Figura 44 - Máscara do normal feminino.....	78
Figura 45 - Máscara do normal masculino.....	78
Figura 46 - Aplicação da máscara de um cisto em um caso normal.....	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores extraídos da análise dos gráficos.....	68
Tabela 2 - Alterações laríngicas das pregas vocais, suas características principais e aspectos diagnósticos pelos métodos convencional e o proposto na pesquisa.....	72
Tabela 3 - Valores do menor e maior valor encontrado de cada alteração laríngea	73
Tabela 4 - Resumo das principais características de cada método.....	81

Resumo

Este trabalho trata do desenvolvimento de técnica de processamento de sinais que usa como princípio a Análise Cepstral do sinal da voz para o desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de alterações das pregas vocais, visando obter alternativas para as técnicas habitualmente usadas.

O objetivo é obter um sistema de análise de voz eficiente, que proporcione ferramenta auxiliar no processo diagnóstico e terapêutico, intercambiando áreas da saúde como medicina e fonoaudiologia com a engenharia, para aprimorar a aplicabilidade na obtenção e manipulação dos dados deste tema em comum a estas profissões.

Após uma revisão dos tópicos considerados importantes, para o entendimento de análise do sinal da voz, é realizada uma implementação em duas etapas: uma de análise dos sinais com a técnica Cepstral e após, outra etapa onde as características Cepstrais encontradas em cada caso são identificadas para que se obtenha padrões de reconhecimento das alterações laríngeas.

Na primeira fase os sinais acústicos das alterações vocais são separados em grupos, onde previamente se obteve o diagnóstico exame endoscópico de 61 pessoas, todos adultos, sendo diagnosticados como 17 apresentando cisto de prega vocal, 9 com sulco de prega vocal, 8 com pólipos de prega vocal, 5 com edema de Reinke, 9 com nódulos e 13 normais.

As alterações laríngeas em estudo representam a maior parte dos diagnósticos dos pacientes que consultam com queixas de rouquidão nos consultórios dos otorrinolaringologistas.[23] O método de processamento do sinal utilizado foi o de análise Cepstral como parâmetro de comparação entre os achados de cada alteração laríngea e o isolamento das características significativas do sinal para a aplicação nos métodos de identificação.

Na etapa de identificação foram realizadas a separação das características e a classificação das alterações laríngeas de uma maneira que foi possível ser obtido um protocolo de diagnóstico. Com a técnica aplicada neste trabalho e a similaridade dos padrões

obtidos dos sinais das vozes, foi possível obter um reconhecimento automático das alterações laringeas com taxa de identificação elevada (89 %).

O projeto de identificação das alterações das pregas vocais é, portanto, capaz de discriminar, de forma eficiente, as alterações laringeas a partir das suas características acústicas apresentadas, independentemente do sexo do paciente e de pequenas variações na alteração laringea e na obtenção do sinal satisfazendo o que é proposto neste trabalho.

Abstract

This work deals with the development processing technique of signals that uses as principle the Cepstral Analysis of the voice signal for the development of a recognition system to vocal folds diseases, to be getting at to alternative for the habitually used techniques.

The objective is getting a efficient and reliable voice analysis system, that it provides tool auxiliary in the diagnostic and therapeutical process, interchanging areas of the health as medicine and fonoaudiology with engineering, to improve the applicability in the attainment and manipulation of the common data of this subject to these professions.

After a revision of the considered important topics, for the agreement of the signal voice analysis, an implementation in two stages is carried through: signals analysis with the Cepstral technique, and after, another stage where Cepstrais characteristics joined of each disease are identified so that if it gets of diseases recognition standards.

At the first phase, the vocal folds diseases acoustic signals are separate in groups, where previously the diagnosis through endoscopic examination of 61 individuals was gotten, all adults, being diagnosed as 17 presenting vocal fold cyst, 9 with vocal fold ridge, 8 with vocal fold polyp, 5 with Reinke edema, 9 with nodules and 13 normal ones.

These diseases represent most of the patient diagnostics who consult with complaints of hoarseness in the doctor's offices of the otorrinolaringologists. The method of signal processing used was the Cepstral analysis as comparison parameter between the alterations of each disease and the isolation of the signal significant characteristics for the application in the identification methods.

In the stage of identification it was carried through the characteristics separation and the diseases classification in a way that was possible to be gotten a diagnosis protocol. With the technique applied in this work and the similarity of the voices signals gotten standards, it was possible to get an automatic recognition of the disease with high identification tax (89%).

The project of vocal folds disease identification is, therefore, capable to discriminate, of efficient form, the disease from its characteristics presented acoustics, independently of the patient sex and small variations in the disease and the signal acquisition satisfying what it is considered in this work.

1 Introdução

1.1 Apresentação do tema

A voz tem relevante importância no processo na comunicação humana, pois é um componente da linguagem oral e responsável por um dos principais vínculos do relacionamento entre os seres humanos.

Quando a voz apresenta um distúrbio, prontamente o locutor, ou o ouvinte, se preocupam, pois não conseguir falar corretamente pode levar a uma dificuldade de comunicação ou até de expressar sentimentos .

O som conhecido como voz humana é originada na laringe, onde se situam as pregas vocais que, com a passagem do ar vindo dos pulmões, vão vibrar e gerar um som que percorrerá a o tubo fonatório até sua exteriorização ao nível dos lábios.

A voz humana apresenta características próprias que variam de acordo com o sexo, a pessoa e idade, além de expressar o estado emocional, reflete o estado e o comportamento da laringe, caracterizando o que se chama de qualidade vocal. Desta maneira, com a análise da qualidade vocal, pode-se conhecer ou inferir sobre condições anátomo-fisiológicas das estruturas laríngeas. As alterações laríngeas das pregas vocais provocam alterações na estrutura da prega vocal que vão se manifestar na qualidade vocal com alterações que podem ser percebidas pelo ouvinte.

A avaliação perceptiva é a primeira ferramenta do médico para o diagnóstico de alteração da laringe, ou seja é uso de avaliação subjetiva, que é fundamental e insubstituível por ser a mais acessível, treinável pelo médico e por não precisar de aparatos.

Porém não devemos descartar a importância das avaliações objetivas, pois estas se completam com as subjetivas tornando as informações diagnósticas mais consistentes.

A comparação de dados se faz necessário para estabelecer em que casos colaboram para um diagnóstico comum ou não. Podemos ter alterações perceptivas que não concordem com a análise acústica e o contrário também.

Novos conceitos e teorias no processamento da voz, estão sendo descobertos. Existem vários pacotes de programas de processamento da voz que já foram bem avaliados tanto comercialmente como academicamente, por exemplo o MAD (MATLAB *Auditory Demonstrations*), *Wrigley, Cooke and Brown*, 1999 e o Colea, *Cool Edit* 2000.[1] [2]

Alguns programas são de acesso livre(?), como por exemplo, o Colea. Entretanto as possíveis ferramentas de análise destes programas são, frequentemente, muito básicas, limitadas e a análise Cepstral, em geral, não está presente nas suas opções.[3]

Estes programas podem não ser satisfatórios para todas as necessidades de pesquisas com análise de voz, e por isto estudos que aprimoram estas ferramentas de análise acústica são necessários para que se consiga um método computacional mais adequado para o conhecimento das características objetivas da voz.

Também para com este propósito existem experimentos com uso de um microfone colocado na ponta de um equipamento endoscópico flexível que permite a aproximação deste da glote, com o propósito de captar somente o som da vibração das pregas vocais. Este dispositivo é chamado de microfone glotal, mas os resultados não demonstraram grandes vantagens quando realizada a análise do som vocalizado ao nível da saída dos lábios e do microfone glotal.[4]

Um modelo de processamento digital de sinais que determine um método de suporte ao diagnóstico de alterações laríngeas, será muito útil como método auxiliar, apesar do diagnóstico ser realizado quase que exclusivamente pelo exame de videolaringoscopia.

Algumas alterações laríngeas às vezes são muito parecidas no aspecto, apesar de apresentarem origens e alterações fisiopatológicas diferentes.

Existem dificuldades comprovadas na prática médica otorrinolaringológica e também na realização de técnicas computacionais de processamento de sinais em diferenciar as alterações da laringe, pois em determinados casos elas não são eficientes o suficiente para diferenciá-las.

A análise Cepstral do sinal de voz permite trabalhar com o sinal da glote separadamente da região de ressonância, facilitando o estudo dos achados das alterações laríngeas. Os resultados serão analisados e classificados de maneira que se consiga um método de reconhecimento de padrões de alterações laríngeas, esperando obter-se um método eficiente que, no futuro, possa treinar um sistema automático de identificação de alterações

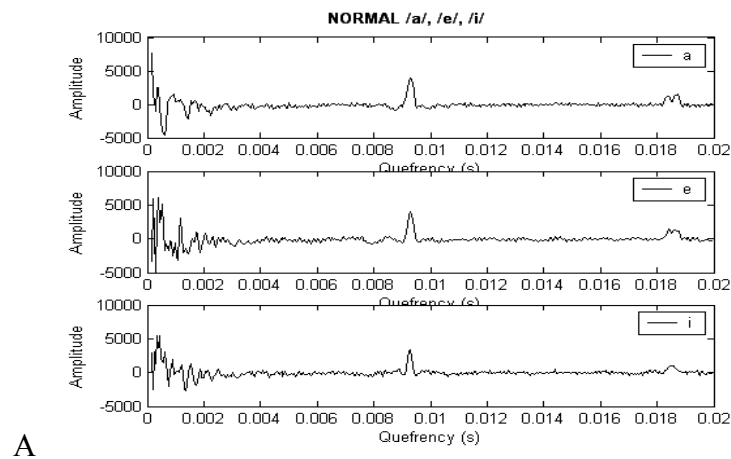
laríngeas, como por exemplo, os modelos de Markov tipo HMM (*Hidden Markov Models*) ou as Redes Neurais Artificiais.

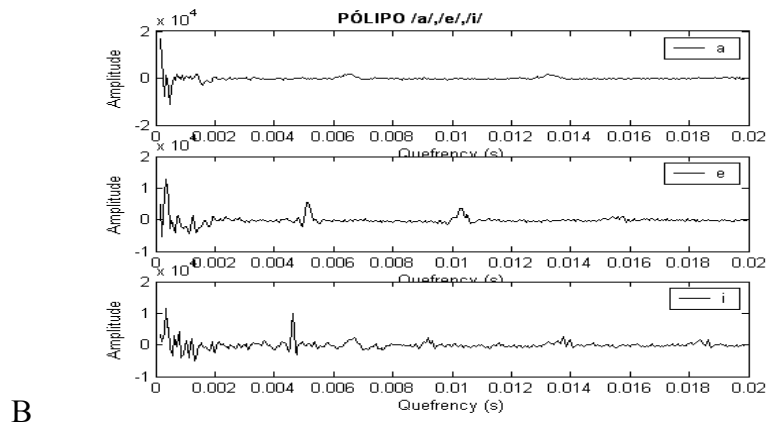
Obtendo-se bons resultados será possível determinar mais rapidamente e mais precisamente o diagnóstico da alteração laríngea, de tal maneira que se possa empregar o tratamento mais adequado, proporcionando uma melhora mais rápida do paciente, já que as alterações laríngeas citadas apresentam tratamentos distintos.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Diferentes vocalizações

Um aspecto relevante concluído dos resultados é demonstrado na Figura 38, onde são mostrados os achados produzidos por três vocalizações separadamente, para uma alteração laríngea (A) e em (B) um caso normal. Observa-se que nos achados do caso normal, as alterações das três vocalizações são muito discretas, mas no caso da alteração laríngea temos achados diferentes em cada vocalização testada, provavelmente porque as alterações vibratórias provocadas pela alteração das pregas vocais se manifestem acusticamente diferente de acordo com a emissão vocal e de acordo com a alteração laríngea.






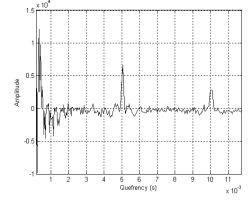

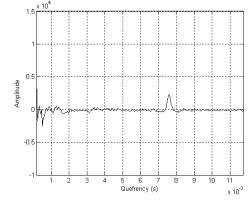

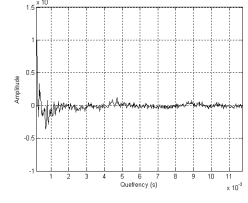

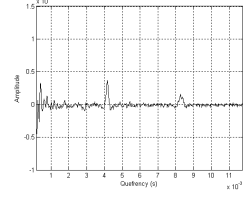
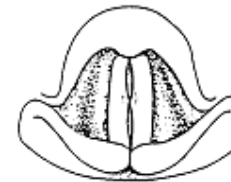
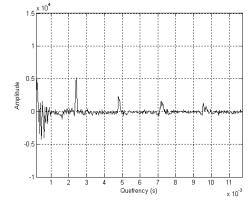

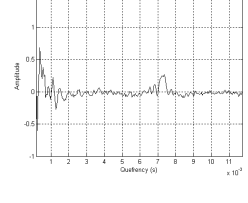
B
 Figura 38 - Gráficos com as vogais /a/, /e/ e /i/, onde A corresponde a análise de um caso normal e B de um pólipio.

Na tabela 2, são apresentados, de maneira condensada, os dados do método diagnóstico convencional (imagens da videolaringoscopia) e os resultados do método proposto, comparando as cinco alterações laríngicas e um caso normal com determinados fragmentos da vocalização.

É possível observar-se que existem diferenças das alterações laríngicas no perfil cepstrográfico, quando comparadas com o grupo definido como normal e entre si. Estas diferenças se repetem na maioria dos casos analisados preliminarmente neste estudo.

Tabela 2 – Alterações laríngeas pregas vocais, suas características principais e aspectos diagnósticos pelos métodos convencional e o proposto na pesquisa.

6.2 Método de identificação

Definição	Características Acústicas	Diagnóstico com videolaringoscopia (convencional)	Sistema cepstral de análise da vocalização (proposto)
Normal Pregas vocais sem lesões	Som perceptivelmente adequado		
Cisto Lesão: lesão cística, com fluido em geral unilateral	Efeito: aumento da massa vibratória, em geral mais rigidez que nódulos/ pólipos, assimetria vibratória Sensação acústica: pitch agravado, diplofonia, aspereza e rouquidão moderada		
Edema Lesão: edema da mucosa das pregas	Efeito: aumento da massa e profundidade vibratória da onda, aperiódica, rigidez diminuída Sensação acústica: pitch muito agravado e rouquidão intensa		
Sulco Lesão: falha em forma de sulco, uni ou bilateral	Efeito: diminuição da massa vibratória, onda "trava" no sulco e a rigidez é intensa Sensação acústica: pitch agudizado, sopro, pode apresentar rouquidão		
Nódulo Lesão: quase sempre bilateral e simétrica	Efeito: interferem na vibração dependendo de sua firmeza, aumento de massa Sensação acústica: rouquidão e pitch variáveis, sopro, aspereza, pode ter diplofonia		
Pólipo Lesão: em geral unilateral	Efeito: aumento da massa vibratória, aumento da rigidez em geral, vibração assimétrica e aperiódica Sensação acústica: pitch agravado e rouquidão dependendo do tamanho		

O método de diagnóstico das alterações laríngeas através da vocalização permitiu observar os diferentes achados dos casos em estudo, facilitando desenvolver um conjunto de parâmetros compactados e agrupados em tipos de alterações laríngeas e suas características.

Para a análise destes parâmetros foram criadas tabelas com valores variando do menor e o maior de encontrado em cada alteração laríngea, que além de simplificar a análise, permitiu se atingir o objetivo de diferenciar os casos em estudo. Para demonstrar este objetivo a tabela 3 demonstra os valores, com os quais pode-se diagnosticar de forma coerente as alterações laríngeas, tomando como base os achados cepstrais de diferentes vocalizações.

Para testar e validar este procedimento de lingüística, casos escolhidos aleatoriamente, e que não participaram do estudo, foram aplicados e diagnosticados, somente com as informações da tabela. O resultado obtido, foi de 89% de acerto, quando os resultados dos gráficos são submetidos aos valores da tabela, validando significativamente o método proposto e contribuindo de forma efetiva para a elaboração de um protocolo de diagnóstico não-invasivo de alterações da laringe, baseado na técnica de análise cepstral.

Tabela 3 - Valores do menor e maior valor encontrado de cada alteração laríngea.

	Ressonância-amplitude- 10 ³			Pitch-amplitude -10 ³			Pitch- em ms			n° Pitch			Forma do Pitch		
	vogais			vogais			vogais			vogais			vogais		
	a	e	I	a	e	i	A	e	i	a	e	i	a	e	i
Normal Fem	↓5 a 15	5 a 15	↓5 a 10	5 a 15	5 a 15	↓5 a 5	2 a 5	2 a 5	3 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 3	Muito estreito estreito	Muito estreito estreito	Estreito a largo
Normal Masc	↓5 a 15	5 a 15	↓5 a 15	↓5 a 10	↓5 a 10	↓5	7 a 10	7 a 10	6 a 10	1	1	1	Estreito a largo	Estreito	Estreito a largo
Cisto	↓5 a 15	↓5 a 15	↓5 a ↑15	↓5 a 15	↓5 a 15	↓5 a 15	4 a 11	3 a 8	2 a 8	1 a 2	1 a 3	1 a 4	Estreito a muito largo	Estreito a muito largo	Estreito a muito largo
Edema	5 a 15	5 a 10	5 a 15	↓5 a 5	↓5 a 5	↓5	6 a 11	6 a 9	4 a 9	1	1	1 a 2	Largo a muito largo e irregular	muito largo	Muito largo
Nódulo	↓5 a 10	↓5 a ↑15	↓5 a ↑15	↓5 a 5	↓5 a ↑15	↓5 a ↑15	2 a 7	2 a 7	4 a 7	1 a 5	1 a 5	1 a 3	Estreito a largo	Muito estreito Estreito	Muito estreito a largo
Sulco	↓5 a 10	↓5 a 15	↓5 a 15	↓5 a 10	↓5 a 15	↓5 a 15	2 a 10	2 a 10	4 a ↑11	1 a 3	1 a 3	1 a 2	Muito estreito a Largo	Muito estreito a Muito largo	Estreito a muito largo
Pólipo	5 a 15	↓5 a 15	5 a 15	↓5 a 5	↓5 a 10	↓5 a 15	6 a 10	3 a 10	4 a 9	1	1 a 2	1 a 2	Estreito a muito largo	Estreito a largo e irregular	Estreito a largo e irregular

Observando os resultados obtidos nas tabelas 2 e 3, percebe-se que existem diferenças entre as alterações laríngeas analisadas com o cepstro das diferentes vocalizações coletadas, sendo que algumas alterações laríngeas geram alterações significativas. Por exemplo, os gráficos do sulco vocal e do edema de Reinke são os que mais se diferenciam de todas outras alterações laríngeas. O edema de Reinke deixa a sensação de voz muito grave e rouca e por

isto produz uma grande alteração no *pitch*. Já alguns dos gráficos de cisto de prega e do sulco vocal podem ser muito semelhantes aos normais.

Os gráficos muito semelhantes quando analisados meticulosamente, na maioria das vezes, demonstram diferenças principalmente quando considerados as 3 vocalizações em conjunto.

6.2.1 Protocolo de identificação das alterações laríngeas da laringe

Seguindo a tabela 3 pode-se medir e corretamente identificar as alterações laríngeas da laringe estudadas no presente trabalho, de acordo com o seguinte procedimento:

- 1 - Obter e identificar os gráficos cepstrais das vocalizações das vogais /a/, /e/ e /i/, como visto na Figura 38 A e B.
- 2 - seguir, conforme a tabela 3 a visualização e seleção das amplitudes da ressonância do trato vocal em cada vogal, identificando os que mais se aproximam do caso em análise.
- 3 - seguir, conforme a tabela 3 a visualização e seleção das amplitudes do *pitch* em cada vogal, identificando os que mais se aproximam do caso em análise.
- 4 – seguir, conforme a tabela 3 a visualização e seleção da quefrência do *pitch* em cada vogal, identificando os que mais se aproximam do caso em análise.
- 5 - seguir, conforme a tabela 3 a visualização e seleção da quantidade de *pitches* em cada vogal, identificando os que mais se aproximam do caso em análise.
- 6 – e por último, seguindo a tabela 3 identificar as alterações da forma do *pitch*, identificando os que mais se aproximam do caso em análise.

6.2.2 Máscara gráfica

Outra interessante descoberta foi o desenvolvimento de um método que simplificou a identificação das alterações da laringe com o desenvolvimento de uma máscara gráfica de cada alteração laríngea e uma do normal masculino e uma do normal feminino. A máscara foi criada baseada nos resultados da tabela onde em uma lâmina transparente foram colocados limites dos valores. As linhas mais escuras correspondem aos limites, os traços o cepstro de cada caso e os números a quantidade de *pitches* de cada caso. Estas características são

demarcadas em cada vogal. Por ser constituída de uma lâmina transparente, a máscara pode ser manipulada facilmente sobre o gráfico. Assim quando a máscara é sobreposta ao gráfico cepstográfico permite a identificação das alterações laríngeas com 89% de acerto, índice igual quando se usa a tabela, porém com muito mais rapidez. Da Figura 39 a 45 temos as máscaras desenvolvidas de cada alteração laríngea e dos normais.

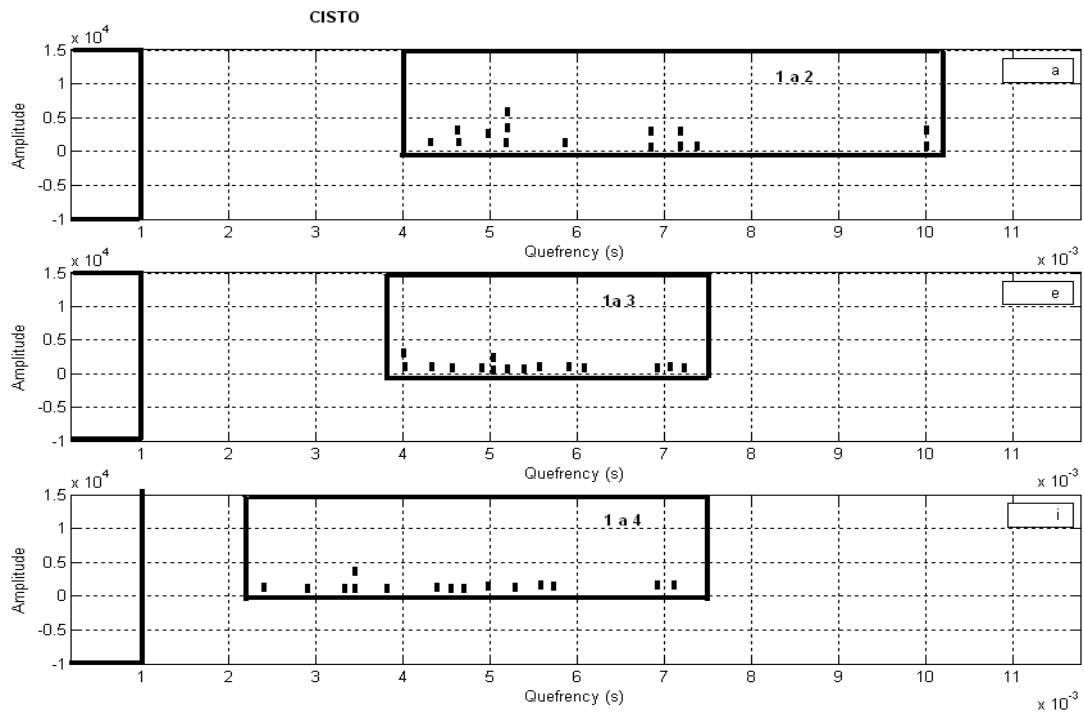


Figura 39 - Máscara do cisto.

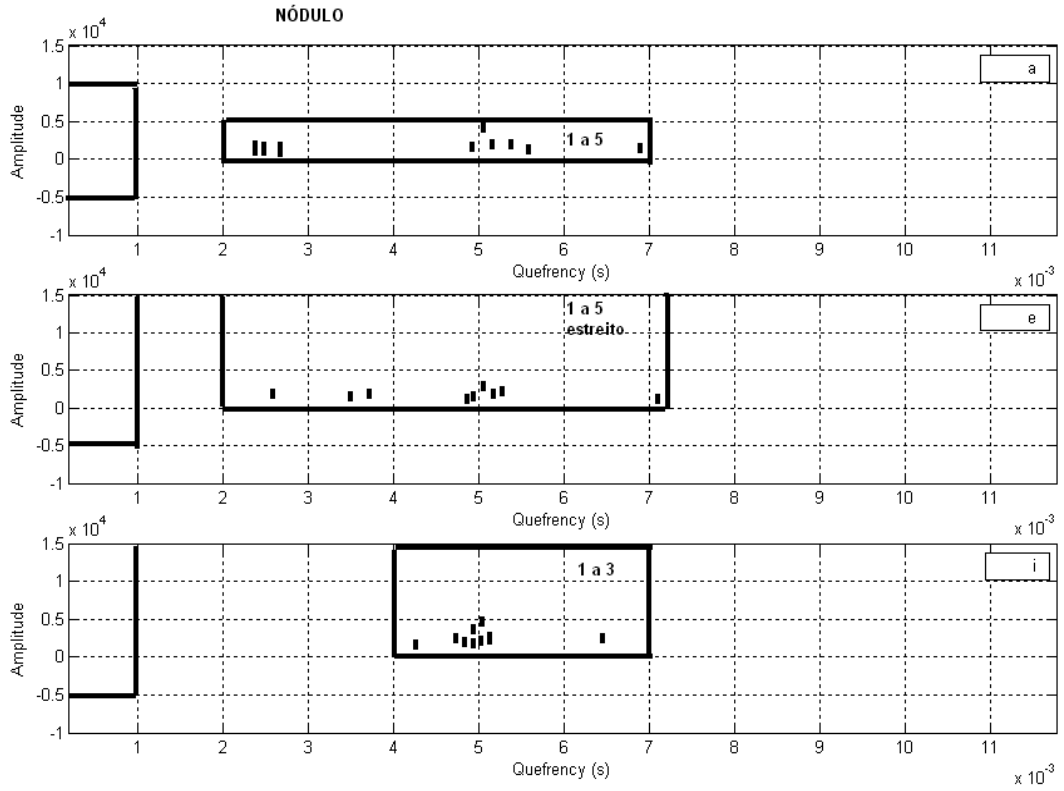


Figura 40 - Máscara do nódulo.

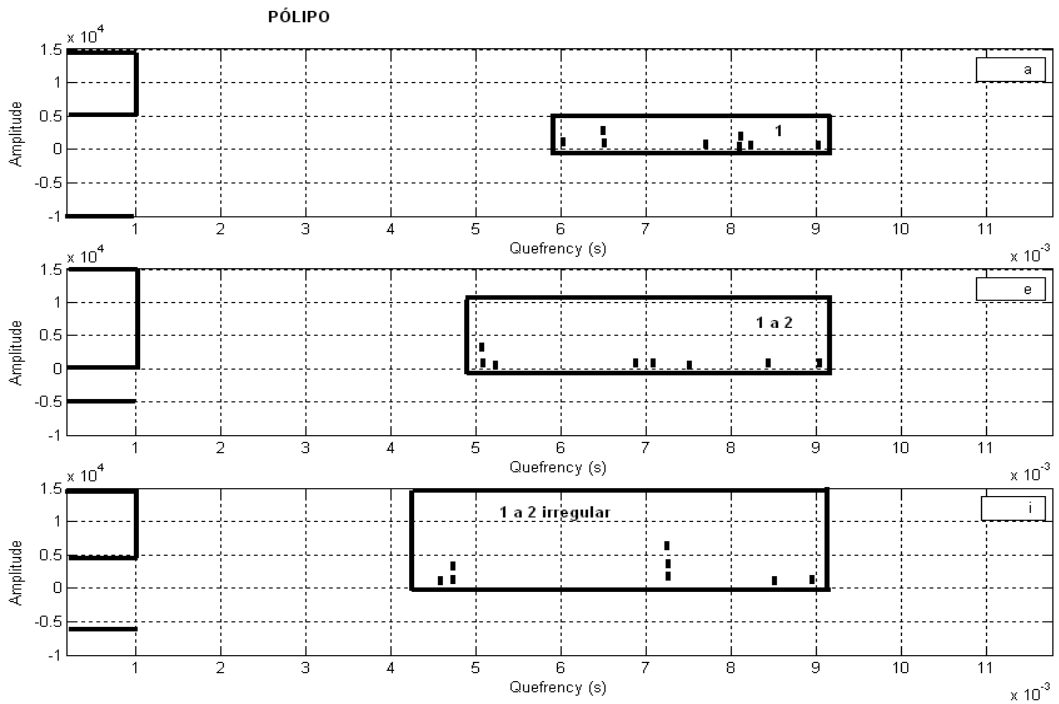


Figura 41 - Máscara do pólipio.

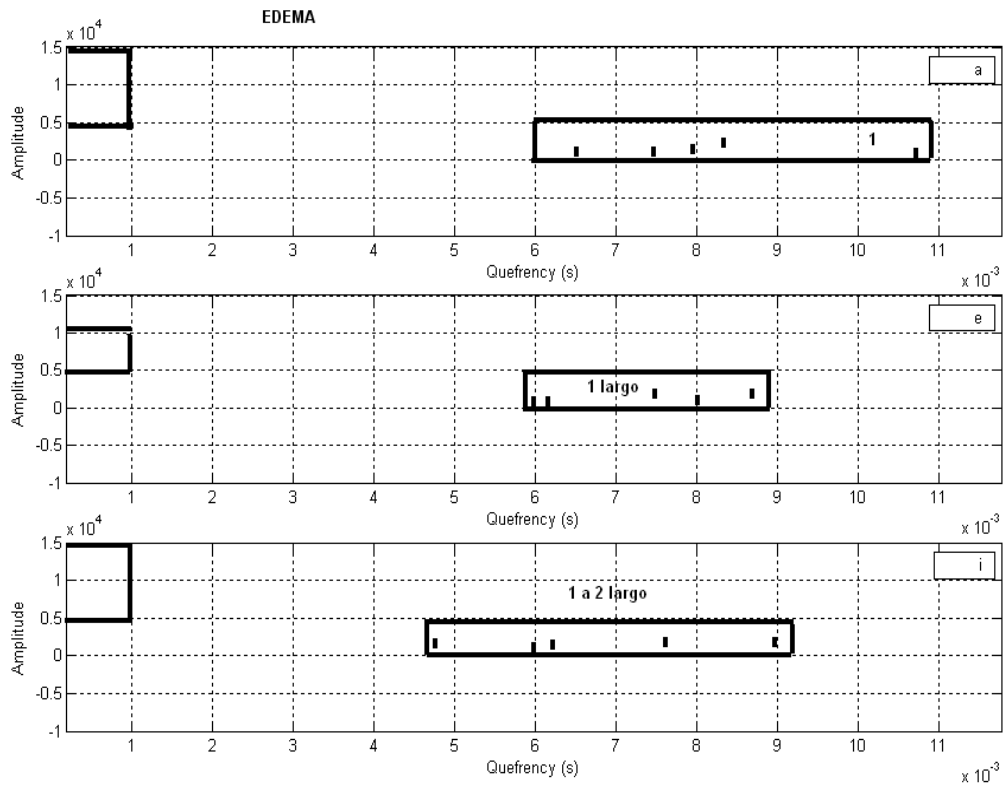


Figura 42 - Máscara do edema de Reinke.

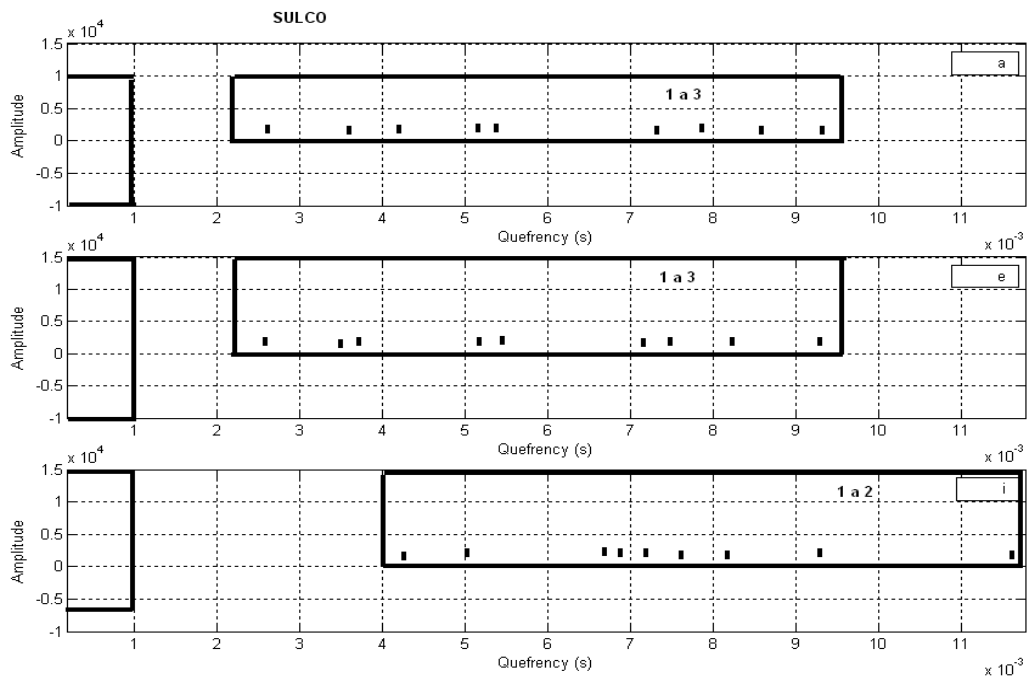


Figura 43 - Máscara do sulco vocal.

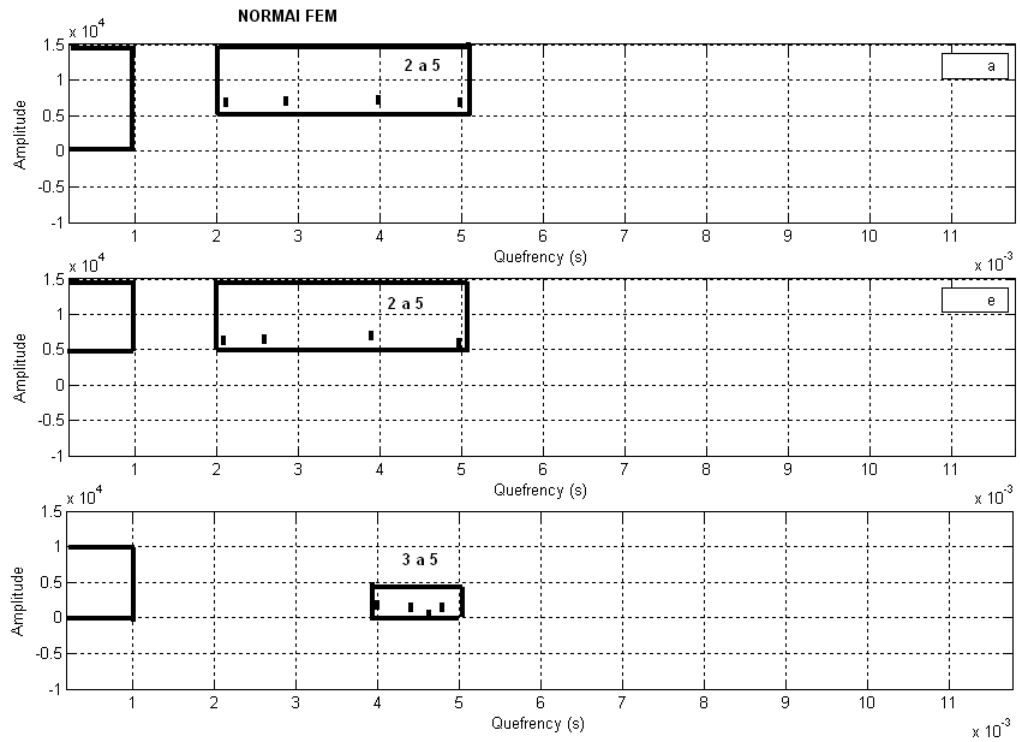


Figura 44 - Máscara do normal feminino.

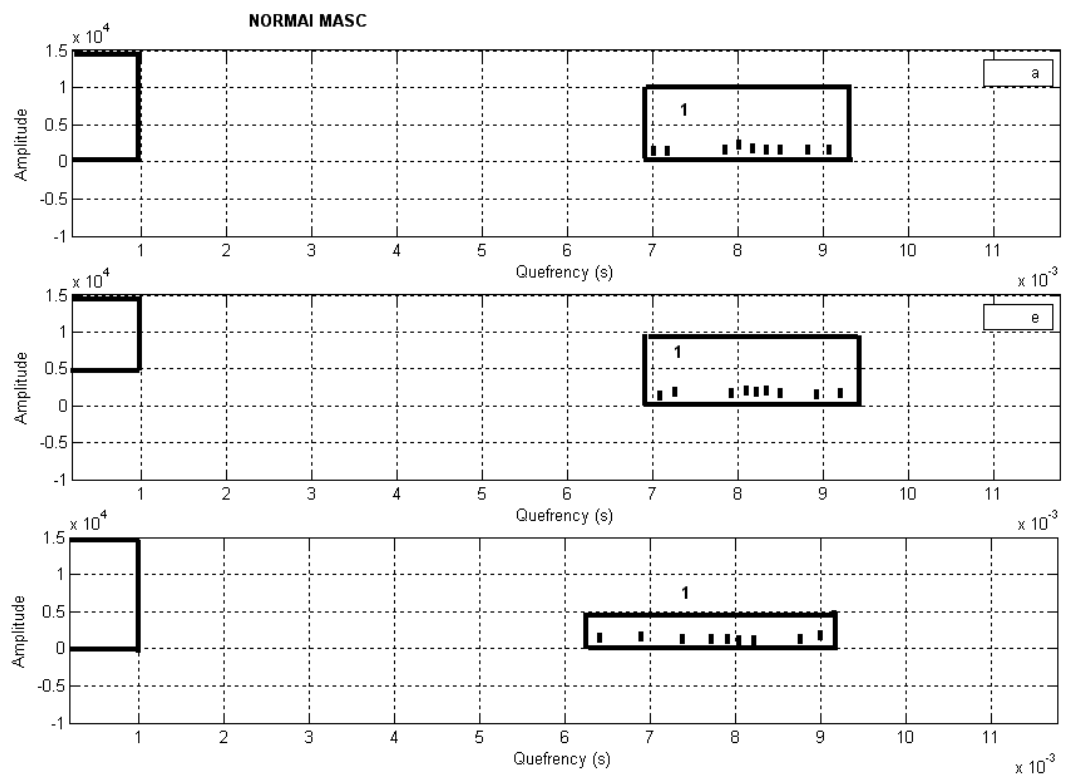


Figura 45 - Máscara do normal masculino.

6.2.3 Protocolo de identificação das alterações laríngeas da laringe com a máscara gráfica

O protocolo de identificação com ou uso da máscara laríngea pode ser descrito da seguinte maneira:

- 1 - Obter e identificar os gráficos cepstrais das vocalizações das vogais /a/, /e/ e /i/, como visto na Figura 38 A e B.
- 2 – Colocar as máscaras gráficas sobre o gráfico em análise de tal modo que as bordas se encaixem e na seqüência identificar as características que coincidem.
- 3 - Conferir se a amplitude da ressonância se enquadra nos limites demarcados pela linha grossa identificada na máscara.
- 4 - Conferir se a amplitude do *pitch* se enquadra nos limites demarcados pela linha grossa identificada na máscara.
- 5 - Conferir se o valor de quefrência do *pitch* se enquadra nos limites demarcados pela linha grossa identificada na máscara.
- 6 - Conferir se a quantidade de *itches* se enquadra nos limites demarcados pelos números arábicos dentro do quadro na máscara.

Na Figura 46 temos a aplicação da máscara de um cisto no caso em um caso normal para exemplificar a aplicação da do protocolo com o uso de máscaras.

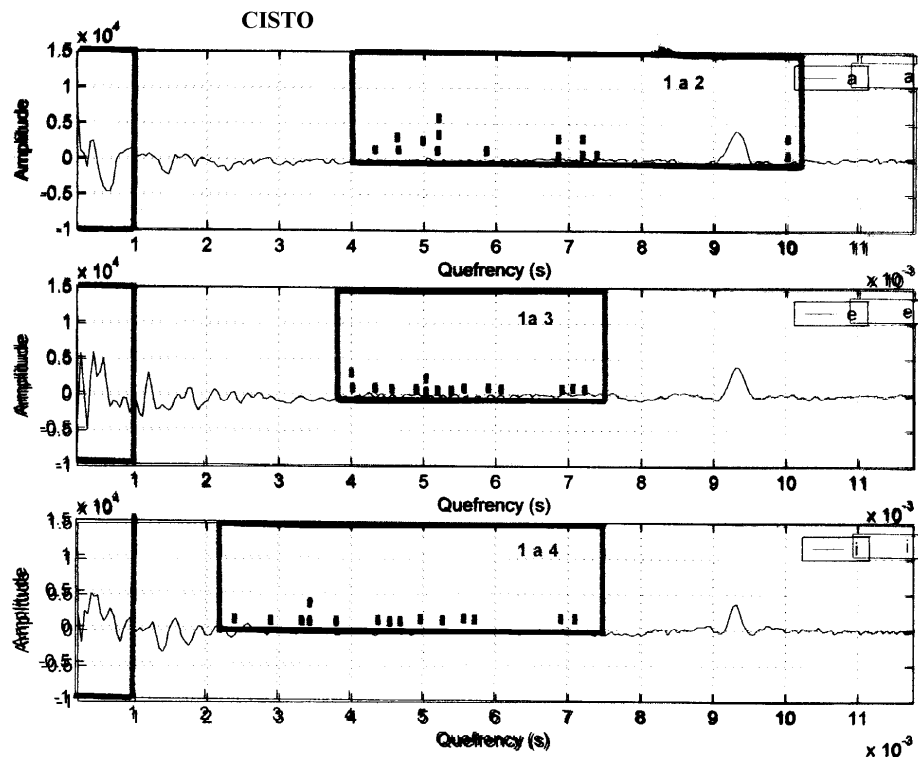


Figura 46 - aplicação da máscara de um cisto em um caso normal.

Também se destaca que algumas alterações laríngicas apresentam achados característicos e constantes que servem como método diagnóstico destas. Algumas alterações nem sempre são constantes, ou às vezes estão presentes em mais de uma alteração laríngica, e isto deve ser mais aprofundado em trabalhos futuros. Acredita-se que este método inédito, por ser não invasivo, de custo mais baixo e fácil execução e com resultados promissores, como demonstrados nestes dados prévios será uma ferramenta de diagnóstico muito útil. Por fim, a análise Cepstral forneceu informações sobre as alterações laríngicas da laringe que não são demonstrados com outros métodos, principalmente no que se refere à visualização de regiões alteradas específicas e a possibilidade de relacioná-las com as alterações anatomofisiológicas já conhecidas das alterações laríngicas.

A tabela 4 demonstra uma tabela com o agrupamento dos achados e as características principais obtidas no estudo.

Tabela 4 - **Resumo das principais características de cada método.**

	Diagnóstico com videolaringoscopia (convencional)	Método cepstral de análise da vocalização (sistema proposto)
Invasivo	Sim, pouco invasivo	Não
Execução	somente profissional medico	pode ser executado facilmente
Custos	iguais de um procedimento em consultório	mais baixos que o convencional

Com os resultados da proposta de análise cepstral do sinal da voz nas alterações laríngeas, iniciados neste trabalho, permite-se prever que este método será uma ferramenta diagnóstica muito útil e promissora para este propósito, pois é um método não invasivo, de custo baixo e fácil execução. Para uma maior qualificação deste método deve-se realizar trabalhos futuros com a inclusão de mais amostras, com a inclusão das outras alterações laríngeas mais raras e realização de estudo científico estatisticamente adequado para a validação, como um estudo prospectivo duplo cego. Também é necessário obter modelos de alterações laríngeas com o diagnóstico mais preciso possível para o treinamento do sistema, através de diagnóstico de certeza das alterações da laringe.

O diagnóstico de certeza é obtido somente com uma biópsia da alteração laríngea, mas pode-se obter um diagnóstico confiável com o uso de equipamentos mais sofisticados de laringoscopia como a vídeoestroboscopia, por exemplo, ou com acompanhamento da alteração laríngea e sua evolução com o tratamento, obtendo o diagnóstico evolutivo, sem ser invasivo. Outro aspecto relevante é determinar as possibilidades de que o sexo da pessoa testada possa influenciar o resultado, já que as alterações laríngeas tendem a alterar o pitch da voz, como observado na pesquisa.

E, ao ser obtido uma modelagem ideal das alterações laríngeas com este método inovador, ele poderá ser usado para treinamento mais preciso de um sistema de reconhecimento automático como, por exemplo, as redes neurais artificiais ou modelos de Markov [18], tornando-se um equipamento de diagnóstico.

