

UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO À TERAPIA AUDIOLÓGICA PARA PORTADORES DE DEFICIÊNCIA AUDITIVA

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

Autora: Liliane Alves do Nascimento

Orientador: Prof. Wellington Pinheiro dos Santos

Liliane Alves do Nascimento

**UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO À
TERAPIA AUDIOLÓGICA PARA
PORTADORES DE DEFICIÊNCIA
AUDITIVA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, Junho 2010.

*Os que esperam no Senhor renovam as suas forças, sobem com asas como águias,
correm e não se cansam, caminham e não se fatigam.*

Isaías 40:31

A Iranilde Belizário Alves do Nascimento e José Roberto do Nascimento Neto.

Agradecimentos

Primeiramente, a Deus, por sempre me confortar e estar comigo nos momentos mais difíceis da minha vida. Em Seus braços eu sempre pude descansar.

Aos meus pais, Iranilde e José Roberto, por sua vida de dedicação, renúncia e amor enorme a mim para que eu sempre pudesse conquistar os meus sonhos.

Ao meu irmão, José Roberto Júnior, com quem eu sempre pude contar na minha vida.

Aos meus familiares, em especial aos meus avôs, Maria Severina Nascimento, José Roberto Filho (sempre presente), Maria do Carmo Alves (sempre presente), João Bilizário, que sempre torceram pelo meu sucesso.

Ao meu namorado, Samuel Sales, por dedicar amor, carinho e compreensão nos momentos em que precisei.

A minha amiga e irmã, Havana Diogo Alves, por compartilhar e vivenciar comigo toda essa longa trajetória.

Ao grande professor, orientador e amigo, Wellington Pinheiro dos Santos pela sua grande orientação e por sempre acreditar em mim.

A Paulo Barros por todas as orientações e parcerias no projeto.

A todos os meus amigos que contribuíram para que eu conquistasse esta etapa da minha vida, o meu muito obrigada!

Resumo

A deficiência auditiva é um distúrbio que atinge 1,5% da população e está entre a terceira maior deficiência entre a população brasileira. O comprometimento do sistema auditivo não está ligado à deficiência da produção da linguagem oral, embora o comprometimento do sentido da audição dificulte aquisição e desenvolvimento da fala, principalmente em portadores de deficiência auditiva congênita. Para suprir o déficit que a audição compromete na linguagem oral faz-se necessário que portadores de deficiência auditiva obtenham respostas sobre a qualidade da sua produção vocal utilizando seus demais sentidos, por exemplo, o sentido da visão. Neste trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta computacional com a finalidade de produzir um *feedback* de forma visual para auxiliar a aprendizagem e progresso da linguagem oral em deficientes auditivos. Desta forma, tem-se o intuito de aumentar a população de surdos oralizados bem como melhorar a qualidade vocal em surdos oralizados facilitando sua inclusão em ambientes sociais onde haja a linguagem oral seja predominante. Alguns testes foram realizados com amostras de áudio de portadores de deficiência auditiva a fim de avaliar a ferramenta proposta.

Abstract

Hearing loss is a disorder that affects 1.5% of the population is the third largest deficiency of the Brazilian's population. System auditory problem is not linked to disability of the production of oral language, although the compromise sense of hearing prevents acquisition and development of speech, mainly in patients with congenital hearing deficiency. To supply the hearing deficit undertakes in oral language it's necessary that patient with hearing loss gets answers on the quality of the vocal production using their other senses, for example, the sense of vision. In this work, was developed a computational tool to purpose a feedback producing of visual way to help the learning and the oral language progress in deaf. In this way, it has had the goal of increasing deaf's population who use oral language as well as improving the vocal quality in deaf people who use oral language facilitating their inclusion in social environments where the oral language is predominant. Some tests were performed with deaf who use oral language to evaluate the proposed tool.

Sumário

Resumo	vi
Abstract	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xii
Tabela de Símbolos e Siglas	xiii
Capítulo 1 Introdução	14
1.1. Objetivos gerais e específicos	15
1.2. Organização do Trabalho	15
Capítulo 2 Sistema Auditivo Humano	17
2.1. Introdução	17
2.2. Fisiologia da audição	19
2.3. Deficiência auditiva	20
2.3.1. Tipos de deficiência auditiva	20
2.3.2. Diagnóstico	21
2.3.3. Surdez e inclusão social	23
2.3.4. Distúrbios na fala em deficientes auditivos	25
2.4. <i>Feedback</i> visual para oralização dos surdos	26
Capítulo 3 Transformada de Fourier	27
3.1. Introdução	27
3.2. As séries de Fourier	27
3.3. Transformada de Fourier	29
3.4. Propriedades da Transformada de Fourier	30
3.4.1. Linearidade	30
3.4.2. Atraso no tempo	30
3.4.3. Atraso na frequência	31
	viii

3.4.4. Escalonamento no tempo	31
3.4.5. Derivada	31
3.4.6. Integral	32
3.4.7. Reverso no tempo	32
3.4.8. Simetria ou dualidade	32
3.5. Transformada discreta de Fourier	33
3.6. A transformada rápida de Fourier	33
Capítulo 4 Interação Humano-Computador	36
4.1. Introdução	36
4.2. Interação e Interface	37
4.3. Usabilidade	38
4.4. Comunicabilidade	41
4.5. Estilos de interação	41
4.5.1. Linguagem natural	42
4.5.2. Linguagem de comando	42
4.5.3. Menus	42
4.5.4. Preenchimento de formulários	43
4.5.5. WIMP	43
4.5.6. Manipulação direta	43
4.6. Expectativas de IHC	43
Capítulo 5 Experimentos e Resultados	45
5.1. Desenvolvimento	45
5.2. Requisitos do sistema	46
5.2.1. Requisitos funcionais do sistema	46
5.2.2. Requisitos não funcionais do sistema	48
5.3. Funcionamento do sistema	49

5.3.1. Interface	49
5.3.2. Transformada Rápida de Fourier	53
5.3.3. Manipulação de áudio	55
5.4. Avaliação dos resultados	56
Capítulo 6 Conclusões e Trabalhos Futuros	60
6.1. Trabalhos Futuros	61
Bibliografia	62

Índice de Figuras

Figura 1: Sistema auditivo humano (MATTOS, 2010).....	18
Figura 2: Exame de audiometria tonal (CF, 2010).....	23
Figura 3: Legenda utilizada no exame de audiometria tonal (CFF e CRF, 2009).....	23
Figura 4: Processo de Interação Humano-Computador (MOREIRA, 2010)	38
Figura 5: <i>Speech Supervisor</i> - Tela inicial	50
Figura 6: <i>Speech Supervisor</i> - Gravação iniciada	51
Figura 7: <i>Speech Supervisor</i> - Gravação pausada	52
Figura 8: <i>Speech Supervisor</i> - Reprodução completada	53
Figura 9: Trecho de código responsável pelo cálculo da magnitude do sinal.....	54
Figura 10: Trecho de código responsável por capturar o áudio.....	56
Figura 11: Método “isFalsete” responsável pela classificação da voz	57
Figura 12: <i>Speech Supervisor</i> - Avaliação de resultado com presença de falsete ...	58
Figura 13: <i>Speech Supervisor</i> - Avaliação de resultado sem presença de falsete ...	59

Índice de Tabelas

Tabela 1: Classificação dos níveis de perda auditiva	21
Tabela 2: Tipos de janelas para a análise espectral	55

Tabela de Símbolos e Siglas

dB – decibéis
CO- condução óssea
CA- condução aérea
Cps – ciclos por segundo
Libras – Linguagem Brasileira de Sinais
FT – Transformada de Fourier
TDF- Transformada Discreta de Fourier
DFT – *Discrete Fourier Transform*
TRF – Transformada Rápida de Fourier
FFT – *Fast Fourier Transform*
IHC – Interação Humano-Computador
WIMP - *Windows, Icons, Menus, Pointers*
GUI – *Graphical User Interfaces*
JMF – *Java Media Framework*
API - *Application Programming Interface*

Capítulo 1

Introdução

O sentido da audição é responsável por captar as ondas sonoras e enviá-las ao cérebro para serem interpretados. O sistema auditivo humano tem como órgão principal o ouvido que é responsável por captar os sons para que nosso organismo inicie o processo de percepção e interpretação do som. O ouvido humano pode distinguir cerca de 400.000 sons diferentes numa faixa de frequência que varia de 20 Hertz a 20.000 Hertz (ROSA, 2007).

O som se propaga da fonte sonora até os nossos ouvidos onde o pavilhão auricular recebe as ondas sonoras e as envia ao ouvido interno. O tímpano vibra para que essa onda se propague até ao interior da cóclea atingindo o martelo, estribo e bigorna que atuam amplificando o sinal sonoro. Através dessa amplificação de sinal, as células ciliadas conseguem identificar as frequências que compõem o som e transmitir essa informação por intermédio do nervo auditivo por impulsos elétricos.

A deficiência auditiva é a incapacidade de um indivíduo tem de interpretar os sons, esta deficiência pode ser total ou parcial. A deficiência auditiva pode ser classificada de acordo onde a lesão está situada como condutiva, neurossensorial e mista. A condutiva é causada por um problema no ouvido externo e/ou médio responsável por conduzir o som ao ouvido interno. Este tipo de deficiência geralmente é reversível através de cuidados clínicos. As lesões ocorridas no ouvido interno são chamadas de neurossensorial, onde não existem problemas na condução do som e sim uma lesão irreversível nas células ciliadas da orelha interna que causa impossibilidade na recepção do som. A deficiência mista ocorre quando há ambas as perdas: neurossensorial e mista. Os níveis de perda auditivos podem ser classificados como perda leve, moderada, severa e profunda que representam os níveis de intensidade do som audíveis.

A audição desempenha papel fundamental para aquisição e desenvolvimento da linguagem oral. O comprometimento da audição total ou parcial implica em dificuldades na fala, que é um dos meios de comunicação mais importante do homem e uma importante variável para o aprendizado, expressão de sentimentos e inclusão social.

No Brasil, a inclusão social de surdos na sociedade é um grande desafio visto que o mecanismo da fala depende do sentido da audição. Alguns portadores de deficiência auditiva utilizam uma linguagem visual para comunicação, porém seu aprendizado é restrito a ambientes familiares ou escolas especializadas para portadores de deficiência auditiva.

A grande maioria dos portadores de deficiência auditiva não são submetidos a tratamento terapêutico para suprir a resposta não obtida pelo sistema auditivo e comprometem sua fala por toda vida. Alguns portadores de deficiência auditiva que se submetem a tratamentos terapêuticos para aquisição da voz, chamados de surdos oralizados, apresentam alguns distúrbios da fala como nasalidade, voz aguda, falsete.

Com o avanço da tecnologia a falta de *feedback* auditivo pode ser substituído por um *feedback* visual que analise os níveis de intensidade da voz e auxilie o controle e tratamento dos distúrbios da fala.

A Transformada Rápida de Fourier é capaz de obter o espectro de potência da voz para análise da presença de distúrbios vocais. Esta análise é responsável por fornecer a avaliação da voz para o usuário. O presente trabalho utiliza técnicas de processamento digital de sinal e interação humano-computador para fornecer um sistema realize o *feedback* visual qualitativo da fala.

1.1. Objetivos gerais e específicos

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo dos distúrbios da fala em portadores de deficiência auditiva e o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de auxiliar o portador de deficiência auditiva obter a avaliação da sua produção vocal em relação aos distúrbios do falsete.

Como objetivo específico, neste trabalho procurou-se desenvolver uma ferramenta com interface gráfica amigável de fácil aprendizado voltada para portadores de deficiência auditiva para avaliação da voz baseada nas frequências obtidas pela Transformada de Fourier para *feedback* de portadores de deficiência auditiva.

1.2. Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta os principais aspectos do sistema auditivo humano, como anatomia e o funcionamento do sentido auditivo, além de englobar os tipos de deficiência auditiva.

O Capítulo 3 apresenta o embasamento teórico da Transformada de Fourier, principalmente da Transformada Rápida de Fourier que será utilizada no trabalho proposto.

O Capítulo 4 apresenta embasamento teórico necessário para entendimento da Interação Humano-Computador como usabilidade, comunicabilidade e estilos de interação que será utilizado no presente trabalho.

O Capítulo 5 exibe o desenvolvimento e funcionamento da ferramenta proposta para *feedback* visual do portador de deficiência auditiva. Neste capítulo também está o resultado da avaliação do sistema.

O Capítulo 6 exibe as conclusões do presente trabalho, detalhando suas contribuições e proposta de trabalhos futuros.

O Apêndice A mostra os gráficos de algumas amostras de sinal necessárias para a avaliação do resultado do sistema.

Capítulo 2

Sistema Auditivo Humano

Este capítulo visa fornecer o embasamento teórico sobre o funcionamento do sistema auditivo humano e sua deficiência.

2.1. Introdução

O sistema auditivo humano é responsável por captar os sons existentes no meio e enviá-los ao córtex cerebral. Os sons são originados pelas ondas sonoras liberadas no ar sofrendo compressão e descompressão. O termo ouvido tem sido comumente substituído pelo termo orelha, que é o órgão responsável por captar os sons para que nosso organismo inicie o processo de percepção e interpretação do som. O ouvido humano pode ser dividido em três grandes partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno ou labirinto (PORTO, 2005).

O ouvido externo é composto pelo pavilhão da orelha e o meato acústico externo. O pavilhão da orelha é uma dobra cutânea em forma de concha formado em sua maior parte de cartilagem. O meato acústico externo é um canal sinuoso que faz a condução das ondas sonoras do pavilhão a membrana timpânica. Esta subdivisão do aparelho auditivo é responsável pela captação da energia sonora.

O ouvido médio ou caixa timpânica é uma pequena cavidade cheia de ar e separada do ouvido externo pela membrana do tímpano (DANGELO E FANTTINI, 2002). Os estímulos sonoros que fazem vibrar a membrana do tímpano e dão início aos impulsos nervosos são conduzidos até as áreas auditivas do cérebro. Entre a membrana do tímpano e o nervo, existe a cavidade do tímpano e três ossículos ligados mecanicamente entre si. O martelo, estribo e bigorna são ligados entre si por meio de articulações e das paredes da caixa do tímpano. Eles são responsáveis por intensificar o estímulo sonoro e transformar a energia sonora em mecânica através de vibrações.

O ouvido interno ou labirinto está situado na porção petrosa do osso temporal e possui uma forma complicada, razão pelo qual recebe o nome de labirinto. Ele é

composto por dois labirintos: um **ósseo** que aloja o segundo, o **membranoso** (DANGELO E FANTTINI, 2002).

O labirinto ósseo é formado por três partes: a cóclea, o vestíbulo e os canais semicirculares. A cóclea é composta por três elementos: columela onde a passagem dos filites nervosos no fundo do meato acústico interno; canal espiral da cóclea, tubo ósseo que se enrola em torno da columela e lâmina espiral que se introduz no canal espiral da cóclea. Os canais semicirculares são três (canal semicircular lateral, superior e posterior) e dispõem-se em forma de um tubo recuado em arco círculo. O vestíbulo é uma pequena cavidade situada entre a cóclea e os canais semicirculares.

O labirinto membranoso está situado no interior do labirinto ósseo, existindo entre os dois um líquido denominada perilinfa. No labirinto membranoso encontra-se um líquido denominada endolinfa. Os ossículos vibram até que suas ondas sejam transmitidas à perilinfa que propaga o som até o labirinto membranoso e a endolinfa estimula o órgão espiral (Corti). Os receptores auditivos situados no ducto coclear (cóclea membranosa) levam os impulsos nervosos provocados pelas ondas sonoras até o córtex auditivo do cérebro localizado no lobo temporal. A figura 1 mostra o sistema auditivo e seus principais elementos da anatomia auditiva.



Figura 1: Sistema auditivo humano (MATTOS, 2010)

2.2. Fisiologia da audição

A audição do ser humano pode ser conduzida por dois mecanismos: aérea e óssea. Tanto pela via aérea como a óssea, a onda será transmitida pela cóclea e haverá movimentação das membranas basilar e do órgão de Corti que ocasiona a estimulação das células sensoriais havendo a transdução da energia mecânica em elétrica e posteriormente em impulsos elétricos.

Na condução por via aérea, a orelha externa capta os sons ambientes e os dirige para a membrana timpânica que vibrando junto com a cadeia ossicular transmite e amplifica os sons para a janela oval. A vibração do estribo faz vibrar a perilinfa desencadeando uma onda de vibração na membrana basilar da base para o ápice. Para frequências altas a onda é maior na base da cóclea (cada região ao longo da cóclea corresponde a uma frequência). O órgão de Corti que se encontra apoiado na membrana basilar acompanha seus movimentos e como as suas células ciliadas estão em contato com a membrana tectória os cílios são deslocados. Isso provoca a despolarização das células ciliadas aparecendo o impulso nervoso que é transmitido para o sistema nervoso central. A orelha possui, portanto um segmento que transmite e amplifica o som para a o órgão de Corti (aparelho de transmissão ou condução) e um segmento que transforma a vibração em impulso nervoso e o transmite para Sistema nervoso central (aparelho de recepção ou neurosensorial).

A condução por via óssea não é amplamente conhecida por se tratar de um fenômeno complexo devido à estrutura geométrica do crânio associado ao fato de que a cabeça humana compreende de pele, camada óssea e tecido cerebral Stenfelt, Hakansson, Tjellstrom, (2000) citado por (ALVARENGA E JACOB, 2006). A vibração do crânio, por exemplo, por estimulação direta, tocando-o com um diapasão, faz vibrar a perilinfa desencadeando o impulso nervoso. Por inércia os ossículos da orelha média também vibram existindo um componente condutivo na audição por via óssea, mas para facilitar o raciocínio clínico considera-se que a audição por via óssea estimula diretamente o aparelho de recepção.

A relação das três orelhas revela uma engenhosa solução que serve para superar a impedância física ar-líquido. Lembre-se de que quando o som se propaga do ar para a água uma significativa quantidade de onda é refletida (99%). Se não houvesse um mecanismo de compensação, não teríamos a capacidade da audição, pois as ondas mecânicas que vêm do ar precisam ser transmitidas para dentro da

cóclea cheia de líquido onde estão às células transdutoras. Em indivíduos que não apresentam perdas de audição, a audição por via área é melhor do que por via óssea, isso se explica porque a orelha média possui o mecanismo de amplificação de sinal o que não ocorre pelas vias ósseas.

2.3. Deficiência auditiva

A deficiência auditiva é a incapacidade total ou parcial da audição. Qualquer problema que ocorre no sistema auditivo pode levar a uma perda da audição. Lopes (1997) e Hallowell Davis (1978) procuraram definir os termos relacionados à perda auditiva. Segundo eles, o termo hipoacusia é a deficiência auditiva que se caracteriza pela alteração da sensibilidade dos sons e que não expressa nenhuma alteração na qualidade do som. Disacusia expressa apenas um determinado tipo de deficiência, que subentende uma alteração na discriminação auditiva. Surdez é um termo empregado para designar qualquer tipo de perda de audição, parcial ou total. Anacusia é designado quando a perda é total da audição. O comprometimento do aparelho auditivo é tão grande que não há resíduos auditivos. Em razão de o termo surdez ser depreciativo, surgiu a tendência de substituí-lo por deficiência auditiva (LOPES, 1997).

2.3.1. Tipos de deficiência auditiva

A deficiência auditiva pode ser classificada de acordo com a localização da lesão como condutiva neurossensorial e mista.

A condutiva é qualquer interferência na transmissão do som desde o conduto auditivo externo até a orelha interna (cóclea). A orelha interna não possui lesões, porém não é estimulada pela vibração sonora devido a uma lesão na orelha externa e ou média. Este tipo de deficiência geralmente é reversível através de cuidados clínicos. Em pacientes com perda condutiva, a via óssea será melhor do que a via área devido ao comprometimento do ouvido externo e/ou médio.

As lesões ocorridas no ouvido interno são chamadas de neurossensorial, onde não existem problemas na condução do som e sim uma lesão irreversível nas células ciliadas da orelha interna ou do nervo auditivo que causa impossibilidade na recepção do som. As conduções por via área e por via óssea são aproximadamente iguais. Este tipo de deficiência auditiva é irreversível.

A deficiência mista ocorre quando há ambas as perdas: neurossensorial e mista. Ocorre quando o paciente possui alteração na condução do som até o órgão terminal sensorial somada a uma lesão do órgão sensorial ou do nervo auditivo. Neste tipo de perda o comprometimento da condução aérea é menor do que a condução por via óssea.

Na audiologia clínica, ciência que estuda o processamento auditivo e auxilia pacientes com problemas auditivos, define os níveis de comprometimento de acordo com níveis de perda em decibéis. Considera-se que uma audição normal corresponde à habilidade de detectar sons de 0 a 25 dB (RUSSO E SANTOS, 1989). Davis e Silvermann citado por Russo e Santos (2003) classificam os níveis de perda de acordo com a percepção da intensidade do som.

Tabela 1: Classificação dos níveis de perda auditiva

Nível de perda	Intensidade do som para percepção
Leve	26 a 40 dB
Moderada	41 a 71 dB
Severa	71 a 90 dB
Profunda	maiores que 90 dB

A deficiência auditiva também pode ser classificada de acordo com o momento que ocorreu a lesão. Se a perda auditiva se dá antes ou durante o nascimento é chamada de perda auditiva congênita e se ocorre após o nascimento é chamada perda auditiva adquirida (PAPARELLA E SHUMRICK, 1980).

2.3.2. Diagnóstico

Os exames do aparelho auditivo são constituídos pela exploração funcional da audição (provas com diapasão e audiometria), pelo exame da função vestibular (provas térmicas) e pelo exame radiológico (PORTO, 2005).

O diagnóstico pode ser realizado através de exames subjetivos que necessitam da colaboração do paciente para realizá-lo e exames objetivos que não necessitam da colaboração. Os exames de acumetria (Testes de Rinne e teste de Weber) utilizam a vibração de um diapasão para identificar se há perda condutiva ou neurossensorial. O teste audiométrico mede de forma mais precisa com auxílio de equipamentos eletrônicos que produzem sons em frequências e volumes

específicos, o limiar auditivo é medido através da variação de som até o paciente não conseguir mais ouvir. A seguir serão mostrados alguns testes utilizados para o diagnóstico da perda auditiva.

Teste de Weber

Este teste serve para distinguir se a surdez unilateral é de condução ou neurossensorial. Coloca-se o diapásão de 512 cps (ciclos por segundo) a vibrar e pergunta-se ao doente se ouve com igual intensidade nos dois ouvidos, exceto quando há surdez unilateral. Se a surdez é de condução, o som é mais intenso do lado lesado: “Weber positivo ou lateralizado para o lado lesado”. Se a surdez é neurossensorial (ou de percepção), o som é mais intenso no lado normal, oposto à lesão: “Weber negativo ou lateralizado”.

Teste de Rinne

Aqui se faz a comparação entre a condução óssea (CO) e a aérea (CA), sendo normalmente a última aproximadamente duas vezes mais duradoura do que a primeira (Rinne positivo ou normal). A comparação faz-se colocando o diapásão a vibrar e, logo após o paciente ouvir, a cerca de um cm do meato auditivo externo e perpendicular ao pavilhão auricular medindo os tempos de audição. Numa surdez de condução, existe uma diminuição ou mesmo inversão da relação – Rinne negativo ou invertido (CO>CA). Numa surdez de percepção, ambas as conduções estão diminuídas, mas o Rinne continua normal ou positivo (CA>CO).

Audiometria Tonal

O exame de audiometria é um exame indolor e subjetivo (depende da participação do paciente). No exame de audiometria tonal é possível diagnosticar, localizar e identificar o distúrbio quantificando o grau da perda, este exame também ajuda no planejamento terapêutico. Audiometria tonal tem por finalidade fixar um limiar da audição em cada frequência sonora. O teste é realizado numa cabine acústica com a utilização de tons puros para obter limiares da sensação auditiva. O audiômetro elétrico emite sons puros de frequência conhecida e variável e para cada som, produz intensidades conhecidas e variáveis. A figura 2 mostra um exame de audiometria e a Figura 3 mostra a legenda utilizada no exame de audiometria tonal.

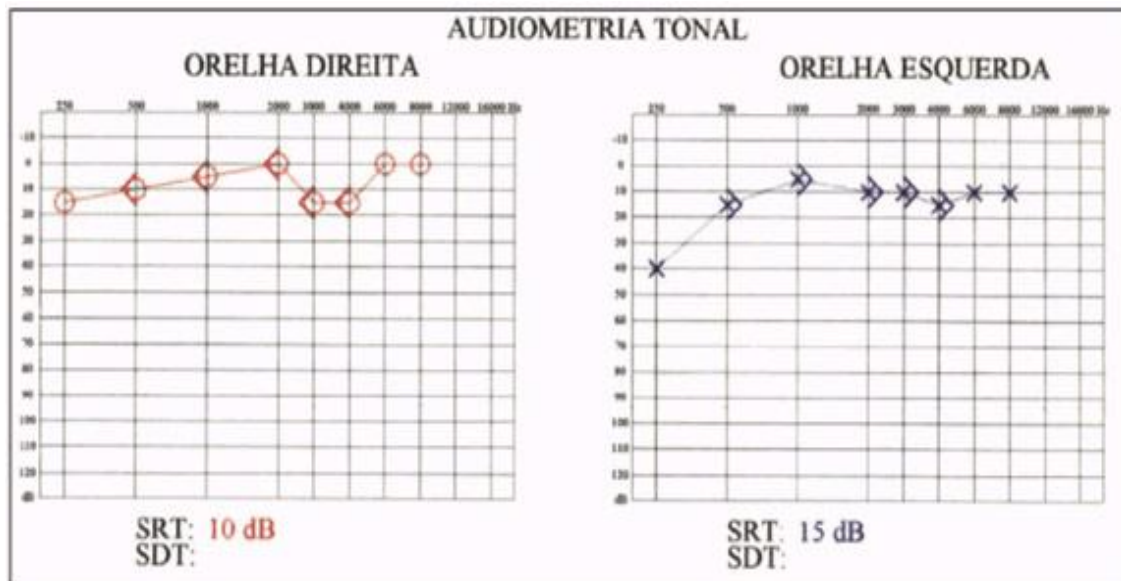


Figura 2: Exame de audiometria tonal (CF, 2010)

	VIA AÉREA	VIA ÓSSEA	AUSÊNCIA DE RESPOSTA DO LIMITE MÁXIMO DO AUDIOMETRO PARA VIA AÉREA	AUSÊNCIA DE RESPOSTA DO LIMITE MÁXIMO DO AUDIOMETRO PARA VIA ÓSSEA
ORELHA DIREITA SEM MASCARAMENTO	O	<	O ↘	↘
ORELHA DIREITA COM MASCARAMENTO	△	[△ ↘	↘
ORELHA ESQUERDA SEM MASCARAMENTO	X	>	X ↘	↘
ORELHA ESQUERDA COM MASCARAMENTO	□]	□ ↘	↘

Figura 3: Legenda utilizada no exame de audiometria tonal (CFF e CRF, 2009)

Eletrococleografia

A eletrococleografia mede a atividade da cóclea e do nervo auditivo. Este teste pode ser utilizados para mensurar a audição em indivíduos que não conseguem ou não querem responder voluntariamente ao som. O teste de audiometria do tronco cerebral é capaz de obter os potenciais elétricos ao nível do tronco cerebral através de eletrodos colocados superficialmente na cabeça.

2.3.3. Surdez e inclusão social

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a deficiência auditiva afeta cerca de 10% da população mundial. No Brasil, a deficiência auditiva é o problema

sensorial de maior incidência na população, na ordem de dois a sete casos por mil nascidos vivos (GANATU, 2010). Por muito tempo, acreditou-se que os portadores de deficiência eram aberrações da natureza sem capacidade de aprendizado, rotulados de 'excepcionais' e excluído do convívio social. A inclusão social de portadores de deficiência no Brasil é um grande desafio, principalmente para os portadores de deficiência auditiva.

De acordo com Sasaki (1997), a inclusão social passa a ser vista como um processo de adaptação da sociedade, que inclui as pessoas com necessidades especiais em todos os ambientes sociais.

Para Sá (1999), a dificuldade maior dos surdos está exatamente na aquisição de uma linguagem que subsidie seu desenvolvimento cognitivo, os estudos que envolvem a condição de pessoa surda são revestidos de fundamental importância e seriedade, visto que a surdez, analisada exclusivamente do ponto de vista do desenvolvimento físico, não é uma deficiência grave, mas a ausência da linguagem, além de criar dificuldades no relacionamento pessoal, acaba por impedir todo o desenvolvimento psicossocial do indivíduo. O comprometimento da audição total ou parcial implica em dificuldades na fala, pois a audição desempenha papel preponderante e decisivo na aquisição e desenvolvimento da linguagem oral que é um dos meios de comunicação mais importante do homem e uma importante variável para o aprendizado, expressão de sentimentos e inclusão social. As implicações da surdez na vida de uma pessoa passam do estado físico para o psicológico, forma-se então uma grande lacuna nessa comunicação entre o sujeito ouvinte e o sujeito surdo, envolvido em especial na comunicação, nas trocas de informações, através do processo fonoarticulatório, e vice-versa, o sujeito surdo perde, neste ambiente por não ter uma "interação" de troca. (QUADROS, 2002).

Atualmente escolas e locais de trabalho admitem portadores de deficiência auditiva. Muitos dos surdos utilizam uma linguagem visual chamada Libras (Linguagem Brasileira de Sinais) para se comunicar, expressando sentimentos, desejos, ações e intenções. É notório, que embora seja bastante usado, seu aprendizado restringe-se muitas vezes aos ambientes escolares e familiares. Para os portadores de deficiência auditiva que desejam se comunicar com pessoas fora do ambiente familiar e escolar necessitam utilizar a voz como meio de comunicação para que todos possam compreender.

Devido ao preconceito social e a dificuldade de inclusão de portadores de deficiência auditiva no mercado profissional é crescente a preocupação com a oralização dos surdos. A oralização visa à integração dos surdos, na comunidade de ouvintes, condicionando-os ao aprendizado e desenvolvimento da linguagem oral, proporcionando assim menor desigualdade entre os ouvintes e não ouvintes. Neste contexto, esta a grande importância de técnicas que auxiliem os exercícios fonoaudiológicos na obtenção de respostas aos exercícios executados.

2.3.4. Distúrbios na fala em deficientes auditivos

A grande maioria dos portadores de deficiência auditiva apresenta problemas relacionados com a voz ou a nunca prática da fala. Os problemas vocais afetam a vida pessoal, social e, sobretudo a profissional. (BEHLAU e PONTES, 1995). Considerando o indivíduo surdo, pode-se dizer que a perda auditiva é um impedimento para o desenvolvimento da fala, pois restringe o indivíduo na recepção desta e reduz a habilidade do falante de monitorar sua própria fala.

Os distúrbios vocais apresentados pelos deficientes auditivos variam de acordo com o tipo e o grau da perda auditiva, sendo que as perdas auditivas do tipo neurossensorial causam distúrbios vocais variados, tanto mais graves quanto maior a perda. Os problemas mais comuns da fala de indivíduos deficientes auditivos são: a omissão e ensurdecimento de consoantes, substituição de nasal por sua oralcognata, trocas de vogais, hipernasalidade, tendência para prolongar excessivamente as vogais, estridência, elevados valores de frequência fundamental, falsete e irregularidades no ritmo da fala, sendo agravados com o aumento do grau da perda auditiva (CALVERT e SILVERMAN, 1978). O falsete do italiano *falsette*, tom falso, são os sons mais agudos do que a frequência natural do indivíduo. Esta vibração sonora depende da contração de uma estrutura laríngea denominada *falcus*. O paciente com falsete de conversão apresenta sua emissão habitual em registro de falsete, em tons agudos e de fraca intensidade, por vezes com a presença de turbulência indicando tonicidade excessiva.

Os registros vocais podem ser divididos em fry, modal (peito, médio e cabeça) e falsete (HIRANO, 1988). O presente trabalho visa focar os distúrbios do falsete por ter maior incidência em portadores de deficiência auditiva.

2.4. *Feedback* visual para oralização dos surdos

Sabe-se que, no surdo, o *feedback* auditivo encontra-se alterado, não permitindo a correção espontânea de sua fala. Sendo assim, o *feedback* visual auxilia na produção correta dos fonemas da língua, pois o sujeito pode observar sua fala através da tela de um computador e assim corrigi-la.

Segundo Moura et al (1997) e Ramos (2000), os indivíduos surdos buscam terapia fonoaudiológica com o objetivo de aprimorar a comunicação oral, principalmente na idade adulta quando precisam se comunicar de maneira eficiente por meio da fala, especialmente quando inseridos no mercado de trabalho. O relato de trabalhos que utilizam recursos visuais como auxiliares no atendimento terapêutico ao indivíduo surdo datam de 1920, sendo que é verificado um grande avanço da tecnologia com relação aos dispositivos visuais para treinamento da fala (PRINTZ, 1989)

Este trabalho visa propor uma ferramenta que auxilie na terapia audiológica para tratamento de distúrbios da voz e aumento da população de surdos oralizados (surdos que falam). O sinal de voz será analisado e será feito uma varredura por frequências na faixa do falsete. O sistema dará um *feedback* visual ao deficiente auditivo informando sobre a qualidade a sua pronuncia. Nos próximos capítulos será fornecido embasamento teórico para entendimento do sistema e suas funcionalidades.

Capítulo 3

Transformada de Fourier

Este capítulo visa apresentar a base matemática para converter qualquer função periódica nas suas principais componentes de frequência, a transformada de Fourier.

3.1. Introdução

Grande parte dos fenômenos naturais tem sua origem em ondas sejam elas sonoras, elétricas, hidráulicas e mecânicas e tem representação bem definida. O matemático francês Joseph Fourier (1768-1830) apresentou um estudo sobre condução de calor pelos corpos e provou matematicamente que a formulação de um fenômeno de natureza periódica pode ser decomposto em um soma de ondas senoidais com amplitudes diferentes, frequência múltiplas das frequências fundamentais com fases coincidentes ou inversas. O sistema auditivo humano responde à intensidade das frequências individuais presentes no som, por isso é importante trabalhar com informações sobre este sinal de som no domínio na frequência.

3.2. As séries de Fourier

Uma função periódica pode ser representada por meio de função periódica simples, nomeadamente de seno e cosseno, sob a forma de uma serie chamada série de Fourier.

Suponha que f é uma função que pode ser representada por uma série trigonométrica da forma

$$A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + B_n \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \right] \quad (3.1)$$

A série (3.1) tem período T . Assim sempre que a série (3.1) representa uma função, representa uma função periódica com período T , isto é, uma função deve satisfazer

$$f(x+T) = f(x) \quad (3.2)$$

A função periódica pode ser definida como: seja T uma constante positiva tal que

$$f(x+T) = f(x), \forall x \in \mathbb{R} \quad (3.3)$$

Então f diz-se periódica com período T .

Note-se que f é periódica com período T , então é também periódica com período $2T$, $3T$, $4T$, ... nT . Por exemplo,

$$f(x+2T) = f((x+T)+T) = f(x+T) = f(x), \forall x \in \mathbb{R} \quad (3.4)$$

O menor real positivo que torna verdadeira a igualdade anterior é chamado de período fundamental.

Suponha que a série (3.1) representa uma dada função $f(x), x \in \mathbb{R}$, periódica, de período T . Temos então que:

$$f(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) + B_n \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \right] \quad (3.5)$$

Seja x_0 uma constante, integram-se ambos os termos (3.5) entre x_0 e x_0+T .

Admite-se que $\sum_{n=1}^{\infty}$ comuta-se com $\int_{x_0}^{x_0+T}$ obtém-se:

$$\int_{x_0}^{x_0+T} f(x) dx = \int_{x_0}^{x_0+T} (A_0 dx + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \int_{x_0}^{x_0+T} \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) dx + B_n \int_{x_0}^{x_0+T} \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) dx), \quad \text{uma}$$

$$\text{vez que } \int_{x_0}^{x_0+T} \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) dx = \int_{x_0}^{x_0+T} \operatorname{sen}\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) dx = 0$$

$$\text{temos: } \int_{x_0}^{x_0+T} f(x) dx = A_0 T \quad (3.6)$$

$$\text{De (3.6) vem: } A_0 = \frac{1}{T} \int_{x_0}^{x_0+T} f(x) dx \quad (3.7)$$

Seja m um inteiro positivo. Multiplicando ambos os membros de (3.5) por $\cos(\frac{2m\pi x}{T})$, integrando em seguida entre x_0 e $x_0 + T$ e supondo uma vez mais que

$\sum_{n=1}^{\infty}$ comuta com $\int_{x_0}^{x_0+T}$, vem

$$\int_{x_0}^{x_0+T} f(x) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx = A_0 \int_{x_0}^{x_0+T} \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx + \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n \int_{x_0}^{x_0+T} \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx + B_n \int_{x_0}^{x_0+T} \sin\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx \right) \quad (3.8)$$

Atentando a que

$$\int_{x_0}^{x_0+T} \sin\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx = 0, n = 1, 2, 3, \dots$$

e

$$\int_{x_0}^{x_0+T} \cos\left(\frac{2n\pi x}{T}\right) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx = \begin{cases} 0, & \text{se } n \neq m \\ T/2, & \text{se } n = m \end{cases}$$

A igualdade (3.8) reduz se a $\int_{x_0}^{x_0+T} f(x) \cos\left(\frac{m\pi x}{T}\right) dx = A_m (T/2)$ (3.9)

De (3.9) obtém-se $A_m = \frac{2}{T} \int_{x_0}^{x_0+T} f(x) \cos\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx, m=1, 2, 3, \dots$ (3.10)

Multiplicando ambos os membros da equação (3.5) por $\sin(\frac{2m\pi x}{T})$ e integrando em seguida, temos

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{x_0}^{x_0+T} f(x) \sin\left(\frac{2m\pi x}{T}\right) dx, m=1, 2, 3, \dots \quad (3.11)$$

A equação (3.1) é chamada de série de Fourier de f e os coeficientes A_0 , A_n , B_n e $n \in \mathbb{N}$ dados por (3.7), (3.10) e (3.11) são chamados de coeficientes de Fourier de f

3.3. Transformada de Fourier

A transformada de Fourier é usada para sinais aperiódicos quando se necessita de uma generalização de uma série complexa de Fourier quando seu período é infinito.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (3.12)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (3.13)$$

A função $F(\omega)$ em (3.12) é chamada de Transformada de Fourier de $f(x)$, uma vez que converte o sinal de domínio de tempo em sua representação de domínio da frequência. A função $f(x)$ em (3.12) é a transformada inversa de $F(\omega)$, uma vez que converte a representação no domínio de frequência $F(\omega)$ de volta ao domínio do tempo (HAYKIN, 2003). A transformada de Fourier também se costuma ser representada por $F(\omega) = \mathfrak{F}\{f(t)\}$ e sua inversa por

$$\text{por } f(x) \equiv \mathfrak{F}^{-1}\{F(\omega)\}.$$

3.4. Propriedades da Transformada de Fourier

A seguir serão mostradas as principais propriedades da Transformada de Fourier.

3.4.1. Linearidade

Suponha que $x_1(t)$ e $x_2(t)$ são dois sinais contínuos e que

$$y(t) = \alpha x_1(t) + \beta x_2(t)$$

Então, mostra-se que a transformada de Fourier de $y(t)$ é:

$$Y(j\omega) = \alpha X_1(j\omega) + \beta X_2(j\omega)$$

Ou seja,

$$\mathfrak{F}\{\alpha x_1(t) + \beta x_2(t)\} = \alpha \cdot \mathfrak{F}\{x_1(t)\} + \beta \cdot \mathfrak{F}\{x_2(t)\} \quad (3.14)$$

3.4.2. Atraso no tempo

Suponha que $x(t)$ é um sinal contínuo e que:

$$y(t) = x(t - t_0)$$

$x(t)$ é o sinal $y(t)$ com um atraso no tempo de t_0 .

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = e^{-j\omega t_0} \cdot X(j\omega)$$

Ou seja,

$$\mathfrak{F}\{x(t-t_0)\} = e^{-j\omega t_0} \cdot X(j\omega) \quad (3.15)$$

3.4.3. Atraso na frequência

Esta propriedade é dual da propriedade de atraso no tempo, pois o deslocamento é aplicado à variável ω e não no tempo t .

Suponha que $x(t)$ é um sinal e que:

$$y(t) = e^{j\omega_0 t} \cdot x(t)$$

Observa-se que $y(t)$ é o sinal $x(t)$ multiplicado por $e^{j\omega_0 t}$

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = X(j(\omega - \omega_0))$$

Ou seja,

$$\mathfrak{F}\{e^{j\omega_0 t} \cdot x(t)\} = X(j(\omega - \omega_0)) \quad (3.16)$$

A transformada de Fourier de $y(t)$ é a transformada $X(j\omega) = \mathfrak{F}\{x(t)\}$ com um atraso de na frequência ω de ω_0 .

3.4.4. Escalonamento no tempo

Suponha que $x(t)$ é um sinal e que:

$$y(t) = x(\alpha t)$$

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = \frac{1}{|\alpha|} \cdot X\left(\frac{j\omega}{\alpha}\right)$$

Ou seja:

$$\mathfrak{F}\{x(\alpha t)\} = \frac{1}{|\alpha|} \cdot X\left(\frac{j\omega}{\alpha}\right) \quad (3.17)$$

3.4.5. Derivada

Suponha que $x(t)$ é um sinal e que:

$$y(t) = \frac{dx}{dt}(t)$$

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = j\omega X(j\omega)$$

Ou seja,

$$\mathfrak{T}\left\{\frac{dx}{dt}(t)\right\} = j\omega \cdot \mathfrak{T}\{x(t)\} \quad (3.18)$$

3.4.6. Integral

Suponha que $x(t)$ é um sinal e que:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)dt$$

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = \frac{1}{j\omega} \cdot X(j\omega) + \pi X(0)u_0(\omega)$$

Ou seja:

$$\mathfrak{T}\left\{\int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)d\tau\right\} = \frac{1}{j\omega} \cdot \mathfrak{T}\{x(t)\} + \pi X(0)u_0(\omega) \quad (3.19)$$

3.4.7. Reverso no tempo

Suponha que $x(t)$ é um sinal e que:

$$y(t) = x(-t)$$

Então, mostra-se que:

$$Y(j\omega) = X(-j\omega)$$

Ou seja:

$$\mathfrak{T}\{x(-t)\} = X(-j\omega) \quad (3.20)$$

3.4.8. Simetria ou dualidade

Suponha que $x_1(t)$ e $x_2(t)$ são sinais contínuos e que:

$$\mathfrak{T}\{x_1(t)\} = X_1(j\omega)$$

$$\mathfrak{T}\{x_2(t)\} = X_2(j\omega)$$

Então, mostra-se que:

$$X_2(t) = X_1(j\omega) \Big|_{\omega=t}$$

Então,

$$X_2(j\omega) = 2\pi \cdot x_1(t) \Big|_{t=\omega} \quad (3.21)$$

3.5. Transformada discreta de Fourier

A Transformada Discreta de Fourier (TDF) ou *Discrete Fourier Transform* (DFT) é uma sequência finita de amostras, igualmente espaçadas na frequência da Transformada de Fourier de um sinal contínuo. A DFT tem papel importante na implementação de diversos algoritmos para processamento de sinais digitais.

Seja $x[n]$ uma seqüência de tamanho finito de comprimento N , isto é, $x[n]=0$ fora do intervalo $0 \leq n \leq N-1$

A DFT de $x[n]$, representada por $X[k]$, é definida por:

$$X[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn} \quad (3.22)$$

Onde $k = 0, 1, \dots, N-1$

e $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ (fator *twiddle*)

A DFT inversa é dada por:

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X[k] W_N^{-kn} \quad (3.23)$$

Onde $n = 0, 1, \dots, N-1$

3.6. A transformada rápida de Fourier

A implementação da Transformada Discreta de Fourier veio a ser prática em 1965 quando Cooley e Turkey descreveram um algoritmo para computar a DFT de forma bem eficiente. Seu algoritmo (e outros como ele) tornou-se conhecido como a Transformada Rápida de Fourier ou FFT (*Fast Fourier Transform*). Usando o algoritmo da FFT, analisadores digitais de sinais podem computar a DFT em milissegundos ao invés de horas como era feita em décadas passadas.

O número de operações realizadas no cálculo da DFT através da definição é proporcional à *onde* $W_N = \exp[-j \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{N}]$ N^2 , ou seja, para cada dos N valores de u , a

expansão de $F(u)$ requer N multiplicações complexas de $x(n)$ por W^{ux} além de $(N-1)$ adições dos resultados

Alguns dos termos podem ser computados uma vez e armazenados para serem usados em operações futuras. Logo tais multiplicações de $x(n)$ não são consideradas na implementação.

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot W_N^{ux} \quad (3.24)$$

Algumas decomposições apropriadas em (3.24) podem tornar o número de multiplicações e adições proporcionais a $N \cdot \log_2 N$. A partir deste procedimento obtemos a Transformada Rápida de Fourier

A equação (3.24) pode ser rescrita sob a seguinte forma:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot W_N^{ux} \quad \text{onde } W_N = \exp[-j \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{N}] \quad (3.25)$$

Assumindo que N é da forma: $N = 2^n$ em que n é inteiro positivo, então N pode ser expresso como: $N = 2 \cdot M$; em que M é um inteiro positivo.

Substituindo esta relação em (3.24) tem-se:

$$F(u) = \frac{1}{2 \cdot M} \sum_{x=0}^{2M-1} f(x) W_{2M}^{ux} \quad (3.26)$$

Dividindo-se o somatório em duas partes, relativas aos índices pares e ímpares:

$$F(u) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_{2M}^{u(2x)} + \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{u(2x+1)} \right] \quad (3.27)$$

Como $W_{2m}^{2ux} = W_M^{ux}$ é possível reescrever (3.27) na forma:

$$F(u) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_M^{ux} + \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{u(2x)} W_{2M}^u \right] \quad (3.28)$$

Agora considerando as seguintes DFTs:

$$F_{par}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x)W_M^{ux} \quad (3.29)$$

$$F_{impar}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1)W_M^{ux} \quad \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, m-1 \quad (3.30)$$

Chega-se a uma relação que decompõe a DFT $F(u)$ de comprimento $2M$ em duas DFTs F_{par} e F_{impar} , ambas de comprimento M :

$$F(u) = \frac{1}{2} [F_{par}(u) + F_{impar}(u)W_{2M}^u] \quad (3.31)$$

Observa-se também: $W_M^{u+M} = W_M^u$ e $W_{2M}^{u+M} = W_{2M}^u$, de modo que se segue a partir de (3.20),

$$F(u+M) = \frac{1}{2} [F_{par}(u) - F_{impar}(u)W_{2M}^u] \quad (3.32)$$

Então, uma transformada de comprimento N pode ser computada dividindo a expressão original em duas partes.

Por indução, o número de multiplicações complexas e adições requeridas na implementação do algoritmo FFT é, respectivamente:

$$m(n) = \frac{1}{2} N \log_2 N \quad \text{e} \quad a(n) = N \log_2 N.$$

Capítulo 4

Interação Humano-Computador

Este capítulo visa fornecer embasamento teórico na área de Interação Humano-Computador para melhor conhecimento das necessidades do usuário portador de deficiência auditiva.

4.1. Introdução

Dentre as áreas envolvidas na construção de *software*, pode-se citar a Engenharia de *Software* e a Interação Humano-Computador (IHC). A primeira se concentra em analisar e projetar, com qualidade, as funcionalidades do sistema. A segunda na sua qualidade de uso.

No início da década de 80, surgiu a preocupação com a interface das aplicações computacionais devido ao grande avanço das tecnologias e a popularização dos computadores. A área de IHC se concentra em apoiar o projeto de interfaces com alta qualidade de uso (usabilidade (NIELSEN, 1993)) e comunicabilidade, considerando as características, necessidades e preferências do usuário. A interface de uma aplicação computacional envolve todos os aspectos de um sistema com o qual mantemos contato (MORAN, 1981).

Através da interface o usuário tem acesso às funções da aplicação e consegue interagir com ela. A performance humana diante dos sistemas computacionais tem sido levada em consideração e surge a necessidade de sistemas que sejam adaptáveis ao perfil do usuário e que não exijam conhecimento técnico para utilizá-lo.

Devido a essa preocupação constante com a visão do usuário diante das aplicações computacionais surge a área de Interação Humano-Computador (IHC). De acordo com Baecker e Buxton citados por Thakkar (1990), Interação Humano-Computador é o conjunto de processos, diálogos e ações por meio dos quais o usuário humano interage com um computador. A IHC preocupa-se com a visão que o usuário obtém do sistema computacional de acordo com as suas características de

design, usabilidade e comunicabilidade. A Interação Humano-Computador tem como objetivo fornecer aos pesquisadores e desenvolvedores de sistemas explicações e previsões para fenômenos de interação usuário-sistema e resultados práticos para o *design* da interface de usuário (ACM SIGCHI, 1992). Com isso é possível prever se o sistema atende as necessidades de usabilidade, aplicabilidade e comunicabilidade com os usuários.

IHC é uma área multidisciplinar, que envolve disciplinas como (PREECE et al 1994): Ciência da Computação; Psicologia Cognitiva; Psicologia Social e Organizacional; Ergonomia ou Fatores Humanos; Lingüística; Inteligência Artificial; Filosofia, Sociologia e Antropologia; Engenharia e *Design*. No contexto de IHC devemos considerar quatro elementos básicos: o sistema, os usuários, os desenvolvedores e o ambiente de uso (domínio de aplicação). Estes elementos estão envolvidos em dois processos importantes: a interação usuário-sistema e o desenvolvimento do sistema

4.2. Interação e Interface

O termo interface tem se confundido com o termo interação, porém ambos são diferentes. O campo de estudo da **Interação** Humano-Computador é tudo que acontece no ambiente do usuário e do computador, já o termo **interface** é o componente (*software*) que mapeia as ações do usuário quando este realiza uma solicitação ao sistema. No processo de interação usuário-sistema a interface é o combinado de *software* e *hardware* necessário para viabilizar e facilitar os processos de comunicação entre o usuário e a aplicação. De acordo com Moran (1981), a interface de usuário deve ser entendida como sendo a parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato físico, perceptivo e conceitualmente.

No processo de interação usuário-sistema, a interface é o combinado de *software* e *hardware* necessário para viabilizar e facilitar os processos de comunicação entre o usuário e a aplicação. A interface é tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para este processo comunicativo. Desta forma a interface é um sistema de comunicação.

Outra característica importante das interfaces é a revelação das *affordance* do sistema. *Affordance* é um termo que se refere às propriedades percebidas e reais de

um artefato, em particular as propriedades fundamentais que determinam como este artefato pode ser utilizado (NORMAN, 1988). Segundo Norman, as *affordances* fornecem fortes pistas ou indicações quanto à operação de artefatos; e quando se tira proveito delas, o usuário sabe exatamente o que fazer só olhando para o artefato.

Assim, podemos dizer que a interação abrange não somente a interface, mas todo ambiente que influencia o usuário no uso de um sistema.

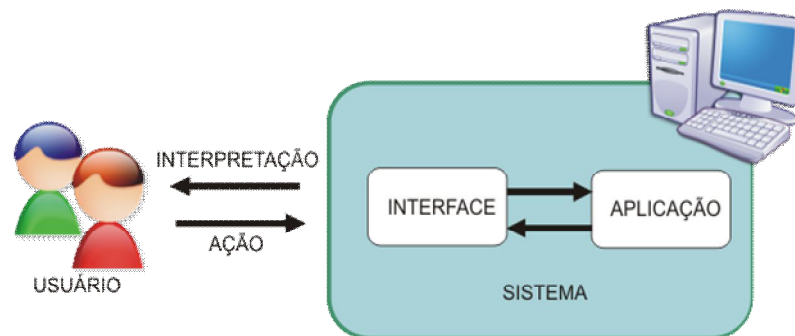


Figura 4: Processo de Interação Humano-Computador (MOREIRA, 2010)

4.3. Usabilidade

Usabilidade é a capacidade que um sistema interativo oferece ao seu usuário, para a realização de tarefas de maneira eficaz, eficiente e agradável (ISO 9241). Em ciência da computação, usabilidade é o termo técnico usado para descrever qualidade de uso de uma interface (BEVAN, 1995). A usabilidade do sistema é fator determinante para que o usuário utilize a funcionalidade do sistema e permita um grau de aceite do sistema. À medida que o sistema for mais usual, mais ele será aceito pelo usuário.

Usabilidade é definida em função de múltiplos componentes e é tradicionalmente associada com cinco atributos de usabilidade (NIELSEN, 1993):

Facilidade de aprendizagem (*learnability*)

Um dos atributos mais importantes de usabilidade é que o sistema seja de fácil aprendizado e que o usuário possa rapidamente começar a interagir com o sistema. O aprendizado do sistema acontece com o uso do sistema, por isso este fator é

avaliado em função do tempo que o usuário demora a atingir o aprendizado do sistema.

Eficiência ou produtividade

O sistema precisa ser eficiente no uso, para que uma vez aprendido o usuário possa elevar seu nível de produtividade.

Facilidade de lembrar (*memorability*)

O sistema necessita ser fácil de lembrar para caso o usuário demore certo tempo para utilizá-lo não gaste muito tempo em tentar aprendê-lo novamente.

Erros

No contexto de usabilidade, um erro é definido como uma ação que não leva ao resultado esperado no sistema. O sistema deve tratar os erros que o usuário possa cometer para que ele não possa perder seu trabalho ou não perceber que errou.

Satisfação subjetiva

O sistema deve ser aceito pelos usuários de forma que o sistema seja agradável e que os usuários fiquem satisfeitos em usá-lo.

Nielsen (1993) explicita alguns princípios de usabilidade que ele define como *slogans* de usabilidade. A seguir são mostrados alguns do *slogan* citados por NIELSEN (1993).

Sua melhor tentativa não é boa o suficiente

Devido às limitações humanas, é impossível fazer um *design* de uma interface baseada nas melhores idéias, pois a visão do usuário diante do uso do sistema é diferente do projetista. Para isso, o projetista deve entender quais as reais necessidades do usuário de suas tarefas.

Usuário está sempre certo

Quando apresentamos uma nova interface ao usuário e notamos sua dificuldade de uso e aprendizado diante do sistema, é dever do projetista modificar o seu projeto para resolver os problemas do usuário a fim de facilitar o trabalho do usuário.

Usuário não está sempre certo

Este ponto tenta contrabalancear o *slogan* acima abordando o ponto que não se deve construir uma interface baseada somente o que os usuários gostariam, pois muito deles não sabem o que é bom para eles e grande maioria dos usuários têm uma tendência de rejeitar novas tecnologias.

Usuários não são *designers*

A construção de interfaces flexíveis para cada usuário nem sempre é uma boa opção, pois grandes partes dos usuários novatos não customizam suas interfaces, mesmo quando essas facilidades estão disponíveis (JORGESSEN, 1990). Outro ponto também é que à medida que a customização da interface aumenta, têm-se usuários usando sistemas cada vez mais diferentes o que dificulta a passagem de conhecimento entre os usuários.

***Designers* não são usuários**

A experiência que um *designer* possui no uso de computadores geralmente é muito maior do que os usuários do sistema, por isso o que muita vezes somos tão claro e adequado para o *designer* pode não ser para o usuário.

Menos é mais

Alguns sistemas possuem tendências de adicionar várias funcionalidades e opções pra que todos os usuários fiquem satisfeitos, porém cada adição no sistema acarreta uma sobrecarga no sistema onde poucas pessoas utilizam as funcionalidades por completo. Ter opções suficientes as tarefas executadas garante melhor usabilidade, pois o usuário se concentra em entender suas poucas opções.

Help não ajuda

Alguns sistemas possuem função de ajuda, chamada de *help* (do inglês, ajuda) que na maioria das vezes são difíceis de entender e não possuem efetividade. A funcionalidade de ajuda no sistema não deve servir como justificativa para um *design* de difícil entendimento do usuário.

O que se pode perceber dos princípios de usabilidade é que eles tratam basicamente de dois aspectos: a atividade a ser realizada e as características dos usuários do sistema. Portanto, mais uma vez, conhecer o usuário final é fundamental para se fazer o *design* de um sistema usável. Entender os principais modos de classificar usuários ajuda a fazer um bom *design* que atenda a maior diversidade desses.

4.4. Comunicabilidade

A comunicabilidade de um sistema é a sua propriedade de transmitir eficaz e eficiente as intenções e princípios de interação que nortearam a criação do sistema. Tem por objetivo tornar o usuário capaz de entender o senso lógico do projetista de sistemas durante o processo de criação, por meio da interação com a aplicação. A comunicabilidade busca tornar o *software* cada vez mais aplicável, pois quanto maior o conhecimento do usuário da lógica do *designer* embutida na aplicação, maiores suas chances de conseguir fazer um uso criativo, eficiente e produtivo da aplicação. Junto com a usabilidade, a comunicabilidade pretende aumentar a aplicabilidade de *software*.

4.5. Estilos de interação

Estilo de interação é um termo genérico que inclui todas as formas como os usuários se comunicam ou interagem com sistemas computacionais (PREECE et al. 1994; SHNEIDERMAN, 1998). Estilos de interação é uma coleção de objetos da interface e técnicas de interação associadas que podem ser escolhidas pelo projetista quando está desenvolvendo o componente de interação da interface. Alguns estilos de interação merecem destaque como: linguagem natural, linguagem de comando,

menus, preenchimento de formulários, WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointers*) e manipulação direta.

4.5.1. Linguagem natural

A linguagem natural é direcionada para usuário com pouco ou nenhum conhecimento de computação, pois o usuário pode se expressar na sua linguagem natural, a linguagem em que os seres humanos se comunicam, como por exemplo, a língua portuguesa. Sistemas de consultas a informações e sistemas em conhecimento são exemplos onde a utilização de interfaces em linguagem natural é bastante interessante. Para que o usuário interaja com aplicações em linguagem natural pode se fornecer uma interface textual onde ele deve digitar as frases que expressam seus comandos ou questionamentos. Sistemas que permitem o uso da linguagem natural necessitam realizar tratamento caso o usuário construa sentenças ambíguas ou gramaticalmente incorretas.

4.5.2. Linguagem de comando

As interfaces baseadas em linguagens de comandos proporcionam ao usuário a possibilidade de enviar instruções diretamente ao sistema através de comandos específicos (PREECE et al., 1994). Elas oferecem o acesso direto à funcionalidade do sistema e permitem ao usuário maior flexibilidade na construção de comandos através de variação de parâmetros e sentenças. À medida que o usuário adquire autonomia no sistema é exigido maior domínio da linguagem utilizada.

4.5.3. Menus

Um menu é um conjunto de opções apresentadas na tela, no qual a seleção de uma ou mais opções resulta em uma mudança no estado da interface (PAAP E ROSKE-HOFSTRAND, 1988). Este estilo de interação não necessita que o usuário saiba exatamente onde está cada item que deseja, basta apenas reconhecê-lo no sistema. Para que este tipo de interação seja eficiente para o usuário é necessário que a navegabilidade dos menus seja auto-explicativa.

4.5.4. Preenchimento de formulários

Este estilo de interação é útil principalmente quando diferentes categorias de informação devem ser fornecidas ao sistema, principalmente quando os mesmos tipos de dados devem ser digitados repetidamente (PREECE et al., 1994). Essas interfaces são encontradas em sistemas de informação baseados em cadastros, controle de venda e estoque. Geralmente elas são fáceis de manipular, porém é preciso deixar claro qual tipo de dado os campos deverão receber.

4.5.5. WIMP

A sigla WIMP, acrônimo em inglês para janelas, ícones, menus e apontadores é uma interação através de componentes virtuais denominados *widgets*. Este estilo é implementado com o auxílio das tecnologias de interfaces gráficas que proporcionam desenhos de janelas e o controle de entrada através do teclado e do mouse em cada uma dessas janelas. Nas interfaces WIMP é possível encontrar os estilos de menus, manipulação direta, preenchimento de formulário e linguagem de comandos. WIMP pode ser considerado um estilo ou um framework de interface apoiado pela tecnologia de interfaces gráficas (GUI – *Graphical User Interfaces*).

4.5.6. Manipulação direta

Interfaces neste estilo são aquelas que permitem ao usuário agir diretamente sobre os objetos da aplicação sem a necessidade de comandos de uma linguagem específica. O usuário interage com ícones utilizando o mouse ou outro dispositivo equivalente através de ações do tipo clicar e arrastar.

4.6. Expectativas de IHC

A interface usada para portadores de deficiência auditiva deve prover facilidade de uso e aprendizado. O usuário não deve apreender a falar a linguagem do computador para utilizá-lo como uma linguagem de comando ou linguagem natural, o computador deve ser ferramenta usada para obter um benefício de aprendizado e neste caso terapêutico. Outro ponto em questão a ser abordado é o nível de experiência com o computador de cada usuário, sabemos que a inclusão digital de portadores com deficiência auditiva exige que os instrutores sejam capacitados para atender a necessidade do deficiente auditivo. A interface do *software* precisa

fornecer todas as informações necessárias para o usuário em tela de maneira que com conhecimentos mínimos de computador o *software* possa ser utilizado.

É importante também traçar um perfil de aprendizado que seja mais adequado ao usuário portador de deficiência auditiva para que seja fácil de usar e memorizar.

Capítulo 5

Experimentos e Resultados

Este capítulo visa apresentar a ferramenta desenvolvida para auxílio à terapia audiológica de portadores de deficiência auditiva que visa avaliar a fala do portador de deficiência auditiva e acelerar sua oralização. Também são apresentados testes realizados em amostras gravadas.

5.1. Desenvolvimento

Como mostrado no capítulo 2, o portador de deficiência auditiva não possui o *feedback* de sua voz para efetuar a correção e avaliação da sua pronúncia. Para solucionar este problema faz-se necessário um *feedback* visual que avalie a fala de um surdo e informe-o sobre a qualidade da sua voz.

A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento da ferramenta foi JAVA. JAVA é uma linguagem orientada a objeto desenvolvida pela *Sun Microsystems*. A escolha da linguagem foi devido a sua facilidade de programação e por ser uma linguagem de código aberto. (HORSTMANN E CORNELL, 2001).

A ferramenta proposta utiliza uma API (*Application Programming Interface* - Interface de Programação de Aplicativos) de Java para aplicações multimídia, o *JMF* (*Java Media Framework*). JMF é bastante utilizado para capturar, reproduzir, armazenar mídias digitais como áudio, imagem e vídeo (JMF, 2010).

A interface gráfica desenvolvida neste sistema foi implementada usando a *Java Foundation Classes* (*JFC*). O primeiro passo das bibliotecas gráficas em Java foi com *AWT* (*Abstract Window Toolkit* – kit de ferramentas de janelas abstratas). O *AWT* está presente em todas as versões do Java. As bibliotecas *Swing* são mais recentes e utilizadas e apresentam compatibilidade com API *AWT*. Neste sistema foi utilizada tanto a biblioteca *AWT* como a biblioteca *Swing*.

5.2. Requisitos do sistema

Os requisitos do sistema definem as funcionalidades que o sistema deve está de acordo. Os requisitos geralmente são divididos em requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Nos tópicos abaixo são mostrados os requisitos do sistema. Os requisitos serão identificados inicialmente com a sigla [RF001] para Requisitos Funcionais e [NF001] para Requisitos Não-Funcionais, a enumeração prossegue sendo incrementada à medida que forem surgindo novos requisitos.

5.2.1. Requisitos funcionais do sistema

Requisitos funcionais são requisitos que especificam as ações que o sistema deve ser capaz de executar.

[RF001] Iniciar Gravação

Descrição: Este requisito permite que o usuário possa iniciar sua gravação de voz para posterior análise do resultado.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: É necessário que o microfone esteja devidamente configurado.

Saídas e pós-condição: Gravação do áudio no buffer do sistema.

[RF002] Pausar Gravação

Descrição: Este requisito permite que o usuário possa pausar a sua gravação sem perder os dados gravados.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Ter iniciado a gravação no sistema.

Saídas e pós-condição: Gravação de áudio permanece no buffer do sistema.

[RF003] Reprodução

Descrição: Este requisito permite que o usuário possa ouvir sua gravação até o exato momento da pausa da gravação.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Ter pausado a gravação do sistema

Saídas e pós-condição: Gravação de áudio permanece no buffer do sistema.

[RF004] Avaliar Resultado

Descrição: Este requisito permite ao usuário obter o *feedback* visual da sua qualidade de voz.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Ter pausado a gravação do sistema ou ter efetuado a reprodução da gravação.

Saídas e pós-condição: Gravação de áudio permanece no buffer do sistema e a tela de avaliação de resultados sendo exibida.

[RF005] Salvar

Descrição: Este requisito permite ao usuário salvar seu arquivo de voz em um diretório de sua escolha no computador.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Ter pausado a gravação do sistema ou ter efetuado a reprodução da gravação.

Saídas e pós-condição: O áudio é armazenada em um diretório do sistema na extensão. *wav*.

[RF006] Limpar

Descrição: Este requisito permite ao usuário limpe os dados do sistema e inicie uma nova gravação no sistema.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Ter efetuado a reprodução da gravação.

Saídas e pós-condição: O sistema retorna para a condição inicial.

[RF007] Fechar

Descrição: Este requisito permite ao usuário sair do sistema.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

Entradas e pré-condições: Aplicação inicializada

Saídas e pós-condição: Mensagem de confirmação de saída do sistema.

5.2.2. Requisitos não funcionais do sistema

Requisitos não funcionais são as qualidades do sistema ou os atributos do sistema. A seguir são mostrados os principais requisitos não funcionais do sistema.

[NF001] Usabilidade

A interface com o usuário é de vital importância para o sucesso do sistema. Principalmente por ser um sistema que será utilizado como ferramenta de terapia onde o usuário não possui tempo disponível para aprender como utilizar o sistema. O sistema terá uma interface amigável ao usuário primário sem se tornar cansativa aos usuários mais experientes.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

[NF002] Desempenho

Embora não seja um requisito essencial ao sistema, deve ser considerada por corresponder a um fator de qualidade de *software*.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

[NF003] Hardware e Software

Este requisito define que o sistema operacional deve estar configurado para capturar o som através da aplicação.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

5.3. Funcionamento do sistema

O sistema *Speech Supervisor* é dividido em três grandes partes: Interface, responsável pela interação com o usuário; Transformada de Fourier responsável pelo cálculo do espectro da potência do sinal de áudio; Áudio responsável por manter os *streams* de áudio.

5.3.1. Interface

Para garantir a comunicabilidade do sistema e sua correta navegabilidade, o sistema realiza as ações de habilitar e desabilitar os botões de acordo com os passos a serem realizados pelo usuário. Esta característica garante com que o sistema se torne mais intuitivo e amigável visto que o público alvo do sistema não necessita ter conhecimento prévio no uso de computadores. Outra característica do sistema que auxilia a melhora da usabilidade do sistema é a inserção de dicas (também conhecida como *hint* ou *tooltip* no sistema). Ao posicionar o *mouse* sobre o botão, tela, painel, campo, o sistema exibe um texto referente à ação daquele componente.

A seguir é mostrado a sequência de telas correspondente para cada ação do usuário.

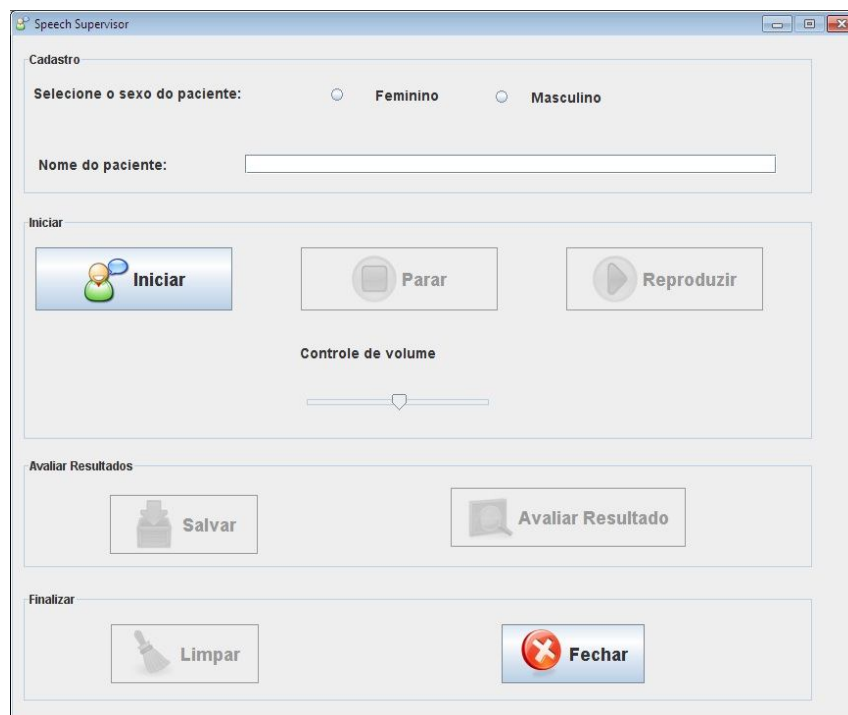


Figura 5: *Speech Supervisor* - Tela inicial

A figura 5 mostra a tela inicial do sistema onde o usuário possui somente duas opções: Iniciar a gravação clicando no botão “Iniciar” ou sair do sistema clicando no botão “Fechar”.

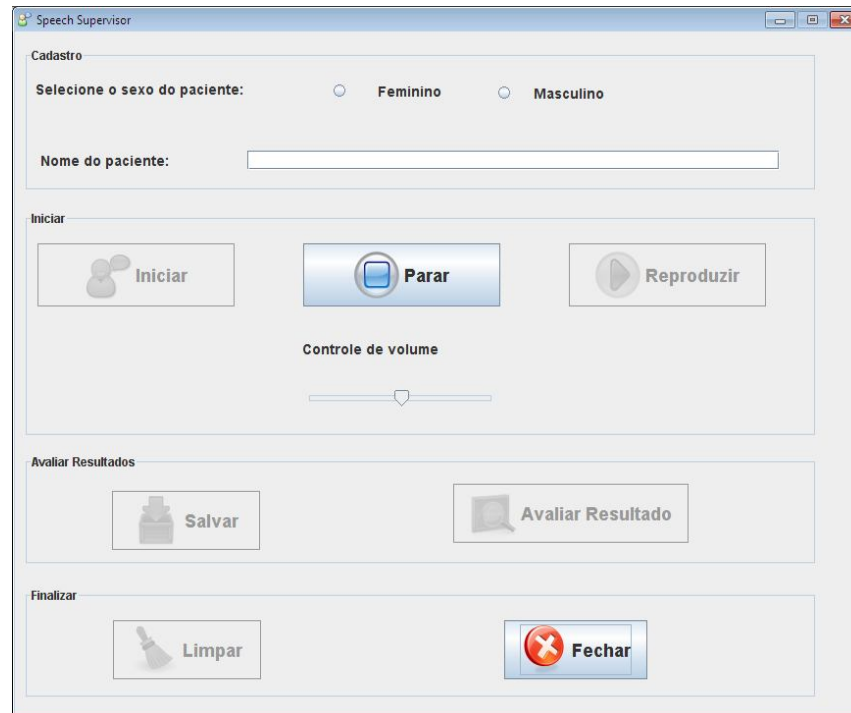


Figura 6: *Speech Supervisor* - Gravação iniciada

A figura 6 mostra a tela após o usuário iniciar a gravação onde é possível pausar a gravação clicando no botão “Pausar” ou sair da aplicação clicando no botão “Fechar”.

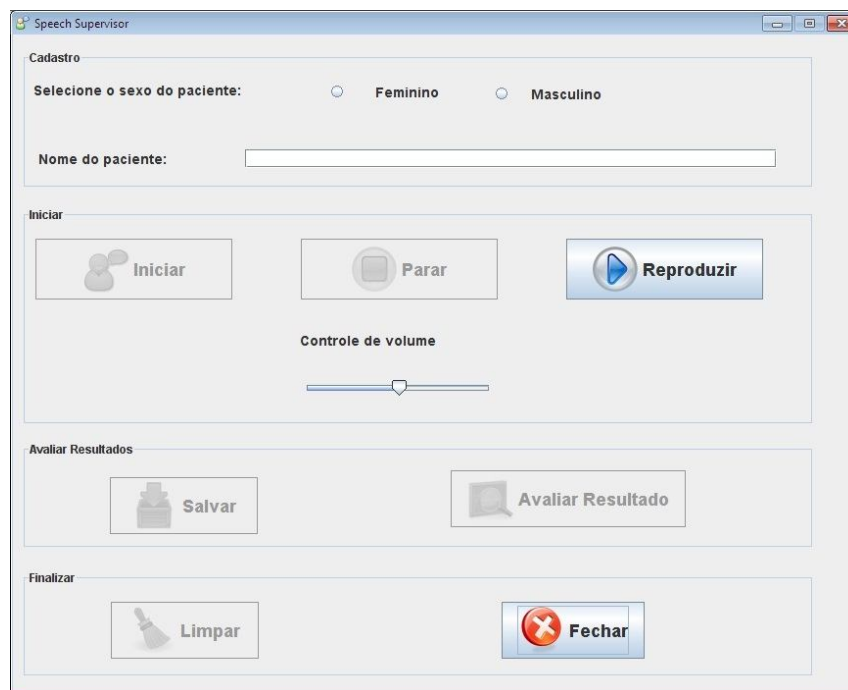


Figura 7: *Speech Supervisor* - Gravação pausada

A figura 7 mostra a tela após o usuário pausar a sua gravação onde é possível iniciar a reprodução de sua gravação clicando no botão “Reproduzir” ou sair do sistema clicando no botão “Fechar”.

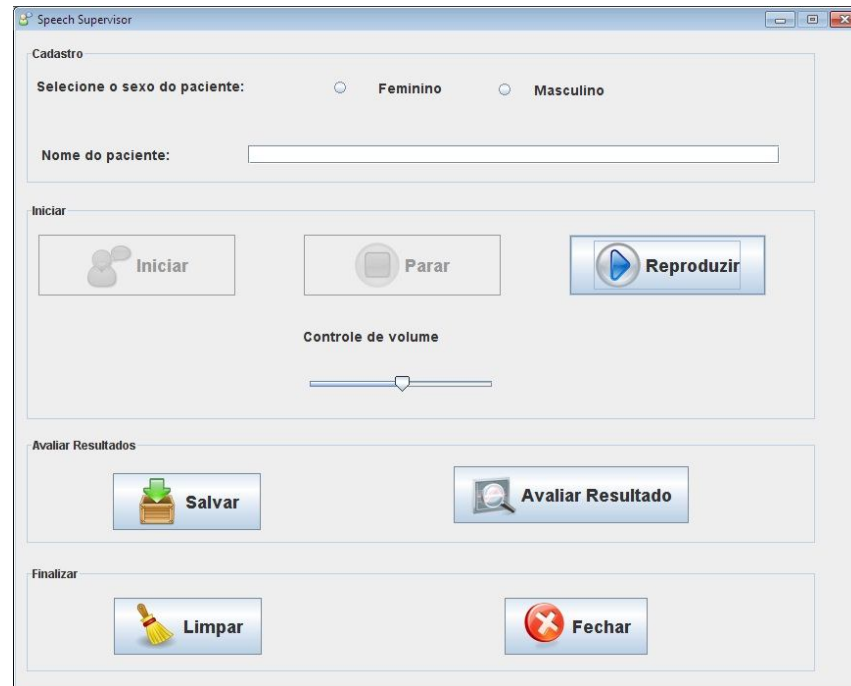


Figura 8: *Speech Supervisor* - Reprodução completada

A figura 8 mostra a tela do sistema após o usuário reproduzir a gravação onde é possível salvar seu arquivo de áudio clicando no botão “Salvar”, avaliar qualitativamente sua gravação clicando no botão “Avaliar Resultado”, limpar seus dados e retorna para o início do sistema clicando no botão “Limpar” ou finalizar a aplicação clicando no botão “Fechar”.

5.3.2. Transformada Rápida de Fourier

Conforme no capítulo 3, a transformada de Fourier é responsável por converter um sinal de onda em um espectro com as suas principais componente de frequência. A Transformada de Fourier utilizada para obter o espectro do sinal de áudio foi o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (TRF ou FFT). A seguir é mostrado um trecho do código da FFT calculada.

```

1 public final float[] fftMag(float[] x) {
2     k = 0 ;
3     n = x.length;    // n é o número de amostras
4
5     nu = (int) (Math.log(n)/Math.log(2));
6     //numero de multiplicações adicionais
7     ...
8     //enquanto houver multiplicações a serem realizadas
9     for (int l = 1; l <= nu; l++) {
10        //enquanto não chegar o fim do sinal
11        while (k < n) {
12            //metade das amostras do sinal
13            for (int i = 1; i <= n/2; i++) {
14                ...
15                // cálculo da FFT para cada elemento
16            }
17            ...
18        }
19        ...
20    }
21    ...
22    // a magnitude do sinal sendo calculada
23    mag[0] = (float) (Math.sqrt(xre[0]*xre[0] + xim[0]*xim[0]))/n;
24    for (int i = 1; i < n/2; i++)
25    // a magnitude do sinal é multiplicada por 2 para não perder a energia
26    mag[i] = 2 * (float) (Math.sqrt(xre[i]*xre[i] + xim[i]*xim[i]))/n;
27    return mag;
28 }
29 }

```

Figura 9: Trecho de código responsável pelo cálculo da magnitude do sinal

O método 'fftMag' calcula a magnitude de um sinal realizando um varredura em metade das suas amostras, pois a FFT é simétrica. O algoritmo calcula a FFT para cada elemento do *array* de pontos flutuantes e armazena em um vetor que contém a magnitude de todos os elementos que foram calculados a FFT. A magnitude é multiplicada por dois, visto que dividimos a nossa quantidade de amostras por dois, mas não podemos perder a energia contida em todo o sinal. O retorno do método 'fftMag' é um *array* de pontos flutuantes da magnitude do sinal.

Este método será bastante utilizado no cálculo de todo o sinal analisado para avaliação dos resultados.

Para melhorar a análise do sinal obtido pelo cálculo da transformada de Fourier, pode ser utilizada a técnica de janelamento que visa aumentar as características do espectro do sinal.

Os tipos de janelas disponíveis no sistema proposto correspondem aos seguintes tipos: Retangular, Welch, Bartlett, Hanning e Hamming. A Tabela 2 mostra o cálculo realizado por cada janela.

Tabela 2: Tipos de janelas para a análise espectral

Tipo de janela	$W[n]$
Retangular	$W[n] = 1$
Welch	$W[n] = 1 - \left[\frac{n - N/2}{N/2} \right]^2$
Bartlett	$W[n] = 1 - 2\pi n / N $
Hanning	$W[n] = 0,5 - 0,5 \cos(2\pi n / N)$
Hamming	$W[n] = 0,54 - 0,46 \cos(2\pi n / N)$

5.3.3. Manipulação de áudio

A captura, reprodução e gravação do áudio são realizadas utilizando a API JMF através de streaming de áudio. A função 'captureAudio' verifica qual o tipo de formato será gravado e insere estes dados na informação do arquivo a ser gravado. A interface *TargetDataLine* é responsável por capturar o áudio para ser armazenado em um *stream* de saída para os dados. Após efetuar esse processo, o arquivo de áudio é capturado corretamente.

```
1 public void captureAudio(){
2     try{
3         Mixer.Info[] mixerInfo = AudioSystem.getMixerInfo();
4         for(int cnt = 0; cnt < mixerInfo.length;cnt++){
5             System.out.println(mixerInfo[cnt].getName());
6         }
7
8
9         audioFormat = getAudioFormat();
10        DataLine.Info dataLineInfo =new DataLine.Info(TargetDataLine.class,audioFormat);
11
12
13        Mixer mixer = AudioSystem.getMixer(mixerInfo[3]);
14
15
16        targetDataLine = (TargetDataLine) mixer.getLine(dataLineInfo);
17
18
19        targetDataLine.open(audioFormat);
20        targetDataLine.start();
21
22        Thread captureThread = new CaptureThread();
23        captureThread.start();
24    } catch (Exception e) {
25        System.out.println(e);
26        System.exit(0);
27    }
28 }
29 }
```

Figura 10: Trecho de código responsável por capturar o áudio.

5.4. Avaliação dos resultados

Após ser obtida a transformada de Fourier do sinal em estudo, o sistema efetua uma varredura por amostras que esteja dentro da faixa de falsete. A faixa de falsete varia de acordo com o sexo do paciente, visto que as mulheres possuem voz mais aguda, logo alcançam frequências mais altas que os homens.

O estudo sobre o falsete foi realizado com 20 pessoas sendo 10 mulheres e 10 homens que se propuseram a gravar sons nas classificações falsete e modal. A classificação entre falsete e modal foi realizada juntamente com fonoaudiólogo que identificava os tipos de vozes extraídas.

Após o colhimento das amostras, o sinal de voz foi analisado e retirado uma média das faixas de variação do sinal nos homens e nas mulheres. Utilizando

medidas estatísticas como média e desvio padrão para cada sexo foram constatados que: o falsete feminino varia na faixa de 210Hz a 1729Hz e que o falsete masculino varia na faixa de 156Hz a 795Hz. As medidas obtidas através desta amostra são de essencial importância para o método que classifica a presença de falsete ou não no *software*. A seguir é mostrado o trecho do código responsável pela classificação da qualidade da voz em: “Presença de falsete” e “Não há presença de falsete”.

```

1 public boolean isFalsetto ( int s){
2     //sexo masculino = 0;
3     //sexo feminino = 1;
4     spectrum = new float [nSamples / 2];
5     FastFourierTransform fft = new FastFourierTransform();
6     spectrum = fft.fftMag(signal);
7     float maxValue = 0.0f;
8
9     for (int i = 0; i < nSamples/2; i++)
10    maxValue = Math.max(maxValue, Math.abs(spectrum[i]));
11    if (s == 0) { //homem
12        float minHomem = 0.0f;
13        minHomem = 0.156f;
14        float maxHomem = 0.0f;
15        maxHomem = 0.795f;
16        if ( maxValue >= minHomem || maxValue <= maxHomem) {
17            return true; //falsetto masculino
18        }
19        else
20            return false; //nao presenca de falsetto masculino
21    }
22    else //mulher
23    {
24
25        float minFem = 0.0f;
26        minFem = 0.210f;
27        float maxFem = 0.0f;
28        maxFem = 1.729f;
29        if (maxValue >= minFem || maxValue <= maxFem)
30            return true; //falseto feminino
31        else
32            return false; // nao há falseto feminino
33    }
34 }

```

Figura 11: Método “isFalsete” responsável pela classificação da voz

De acordo com o retorno do método “*isFalsete*” retornamos o *feedback* visual para o usuário. Para os portadores de deficiência auditiva o *feedback* visual o auxilia na sua própria correção que também pode ser auxiliada com um profissional de fonoaudiologia. A seguir são mostradas as avaliações do sistema sobre a qualidade da voz. A figura 12 mostra um paciente do sexo feminino com presença de falsete.

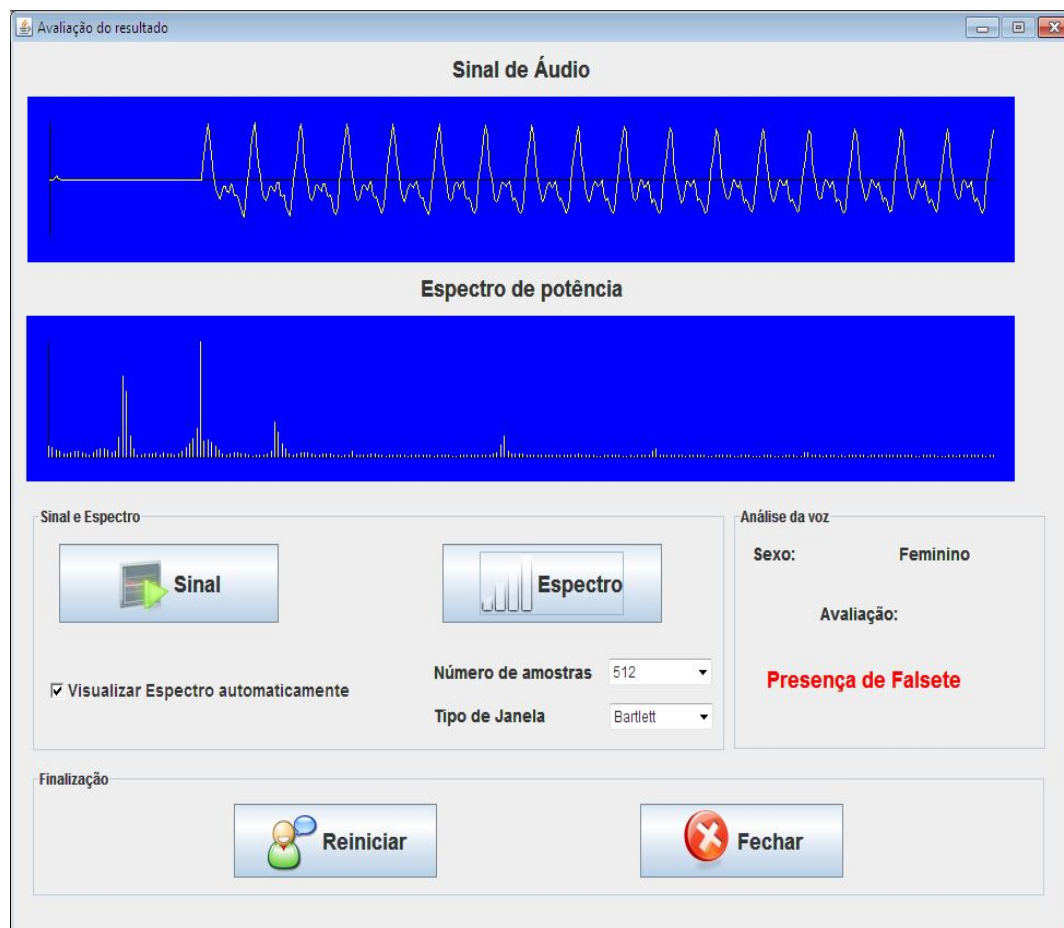


Figura 12: *Speech Supervisor* - Avaliação de resultado com presença de falsete

A Figura 13 mostra a avaliação de resultado de um paciente do sexo masculino sem a presença do falsete.

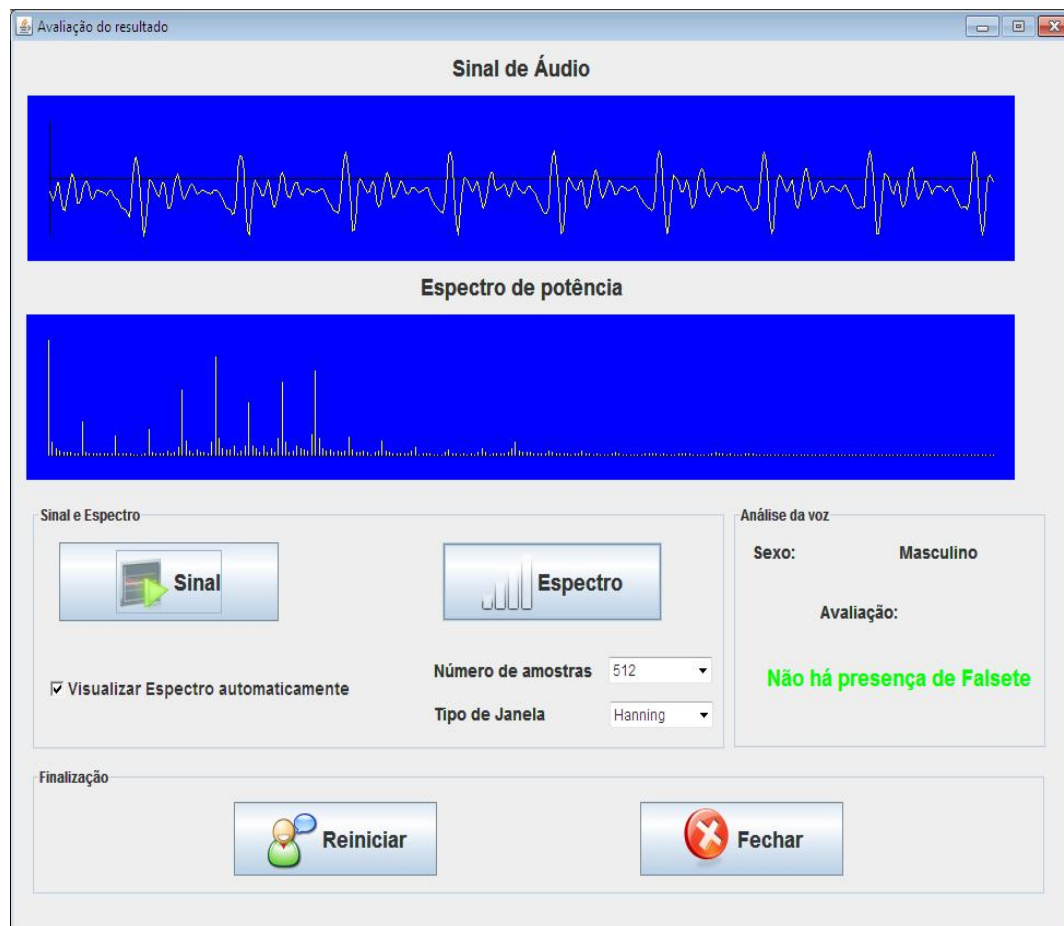


Figura 13: *Speech Supervisor* - Avaliação de resultado sem presença de falso

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Apesar dos avanços da tecnologia e sua disseminação entre a população não é fácil encontrar uma ferramenta que auxilie a terapia fonoaudiológica para deficientes auditivos com distúrbios da fala. Neste sentido, o presente trabalho propôs uma ferramenta que visa suprir a necessidade de pacientes portadores de deficiência auditiva com objetivo de melhorar sua acessibilidade entre pessoas ouvintes no âmbito social, familiar e de trabalho. Outro possível fator é o aumento da população de surdos oralizados e aprimoramento da qualidade vocal de surdos já oralizados.

A ferramenta desenvolvida baseou-se nas técnicas de Interação Humano-Computador para garantir uma ferramenta de fácil acesso e de fácil aprendizado, para que o usuário não necessite de experiência com computadores para utilizar visto que a inclusão digital em portadores de deficiência auditiva é falha. A técnica de processamento digital de sinal utilizada foi a Transformada Rápida de Fourier que analisa as frequências do sinal de voz, esta análise é utilizada para verificar a presença de falsete.

Visto que a ferramenta foi desenvolvida em uma linguagem de código aberto e multiplataforma, a presente ferramenta pode ser embarcada em aparelhos celulares compatível com a linguagem Java

As amostras obtidas de 20 portadores de deficiência auditiva do sexo feminino e masculino e o auxílio de um profissional de fonoaudiologia foram de essencial importância, pois através do estudo destas amostras pode reconhecer os limiares de frequência que indicam a presença do falsete para cada sexo.

Os resultados do *feedback* visual foram realizadas com uma parte da amostra obtida para avaliar a corretude do algoritmo e do padrão obtido por uma parte das amostras. Os resultados mostraram que o algoritmo é eficiente, embora tenha se utilizado um pequeno número de amostras.

6.1. Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro, se pretende embarcar a solução proposta pela ferramenta. Neste caso, o *feedback* visual poderá ser substituído pelo *feedback* tátil. À medida que o paciente falasse o dispositivo celular vibraria caso sua fala apresentasse as frequências do falsete.

O *software* mostrado também pode obter padrões de limiares específicos para cada paciente, visto que neste trabalho os dados foram coletados de uma pequena amostra de 20 pacientes e de uma devida localidade no Brasil. O ajuste fino para cada paciente pode ser obtido em parceria com um profissional fonoaudiólogo e com o auxílio de técnicas computacionais inteligentes para reconhecimento de padrão como, por exemplo, Redes Neurais Artificiais (RNA).

Como melhoria do sistema, demais distúrbios da fala podem ser avaliados como nasalidade e irregularidades no ritmo da fala.

Bibliografia

ACM SIGCHI (1992). *Curricula for human-computer interaction*. Technical report, ACM, NY, 1992. Disponível em: <<http://old.sigchi.org/cdg/>>. Acesso em: 01 maio de 2010.

ALVARENGA K.F., JACOB L.C.B. *O mascaramento na avaliação audiológica: um guia prático*. São José dos Campos: Pulso Editorial; 2006.

BEHLAU, M. PONTES, P. *Avaliação e tratamento das disfonias*. São Paulo: Lovise, 1995. 312 p.

BEVAN, N. (1995) *Usability is quality of use*. In: Azai & Ogawa (eds) *Proceedings of the 6th International Conference on Human Computer Interaction*, July, Elsevier. Disponível em: <<http://www.nigelbevan.com/papers/usabis95.pdf>>. Acesso em 05 maio de 2010.

Caderno da TV Escola: Deficiência auditiva. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=14042>. Acesso em: 01 de março de 2010.

CALVERT D.R., SILVERMAN S.R. *Speech and deafness*. Washington: Alexander Graham Bell Association for the Deaf; 1978. 243 p

CF. Centro de Fonoaudiologia. *Audiometria Tonal Limiar*. Disponível em: <<http://www.centrodefonoaudiologia.com/audiometria-tonal-limiar/>>. Acesso em 01 de março de 2010.

CFF e CRF. Conselho Federal de Fonoaudiologia e Conselho Regional de Fonoaudiologia. *Audiometria tonal, logaudiometria e medidas de imitância acústica*. Disponível em: <http://www.crfa6r.org.br/.../GUIA_CFFa_AUDIOLOGIA_FINAL.pdf>. Acesso em 6 de abril de 2010.

DANGELO, J. G.; FANTTINI, C. A. *Anatomia humana básica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2002, 184p.

FORNER L.L, HIXON T.J. Respiratory kinematics In profoundly hearing-impaired speakers. *J Speech Hear Res*. 1977; 20(2): 373-408.

GATANU. *Grupo de Apoio a Triagem Auditiva Neonatal Universal*. Disponível em: <<http://www.gatanu.org/gatanu/quemsomos.php>>. Acesso em: 14 de março de 2010.

HAYKEN, S; VAN VEEM, B. *Sinais e Sistemas*. Tradução por: José Carlos Barbosa dos Santos. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 668p.

HIRANO M. *Vocal mechanisms in singing. Laryngological and phoniatic aspects J.Voice*. 1988; 2(1): 51-69

HORSTMANN, C.S.; CORNELL G. *Core JAVA 2. Volume 1*. Tradução por: José Eduardo Nóbrega Tortello. 1. ed. São Paulo: MAKRON Books, 2001, 639p.

JMF. *Java Media Framework in action*. Disponível em: <<http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jmf/>>. Acesso em 25 de maio de 2010.

JORGESEN, A. H. *The personal touch: A study of users customization practice. Proc. IFIP INTERACT'90 Third Intl. Conf. Human Computer Interaction (Cambridge, U.K., 27-31 August)*, 549-554, 1990.

LATHI, B.P. *Sistemas de comunicação*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1975, 856p.

LOPES FLHO, O. C. *Tratado de fonoaudiologia*. São Paulo: Roca, 1997.

MATTOS; A.C.M. *A Medicina do Som*. Disponível em: <http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS_MUSICAIS/Textos/Medic_Som/Medicina_Som.htm>. Acesso em 15 de janeiro de 2010.

MORAN, T. (1981) *The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems*. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 3-50

MOREIRA, A. A. *Modelo de Avaliação de Interfaces*. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/space.asp?id=223364>>. Acesso em: 06 de maio de 2010.

MOURA M.C, LODI A.C.B., HARRISON K.M.P. História e educação: o surdo, a oralidade e o uso de sinais. In: Lopes O. *Tratado de Fonoaudiologia*. São Paulo: Roca; 1997. p.327-57

NAKATA, N. *Estudo genético-clínico de 144 pacientes portadores de deficiência auditiva não sindrômica*. 2000.237f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

NIELSEN, J. *Usability Engineering*. Academic Press, Cambridge, MA, 1993.

- Norman, D. (1988) *Psychology of Everyday Things*. BasicBooks. HarperCollins Publishers
- OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER R.W. *Digital Signal Processing*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, EUA: Prentice Hall, 1975, 585p.
- PAAP, K.R. e ROSKE-HOFSTRAND, R.J (1988). *Design of Menus In Helander* (ed.) Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: North-Holland.
- PAPARELLA M.M.; SHUMRICK D.A. *Otolaryngology*. 3rd ed. London: W. B. Saunders Company Philadelphia, 1991, 3696p.
- PINHO S. *Proposta de avaliação de voz no deficiente auditivo*. Pró-Fono. 1990; 2:17-9.
- PORTO, C.C. *Semiologia Médica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005, 1356p.
- PREECE, J; ROGERS, Y; SHARP, E; BENYON, D.; Holland, S.; CAREY, T. *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley. 1994.
- PRINTZ P.M. Desenvolvimento da comunicação e linguagem, avaliação e conduta em indivíduos com deficiência auditiva. In Katz J. *Tratado de Audiologia Clínica*. 3. ed. São Paulo: Manole; 1989.p.798-825
- QUADROS, R. M.. *Situando as Diferenças implicadas na Educação de Surdos: Inclusão/Exclusão*. In Revista Ponto de Vista, UFSC. N.º 4. 2002-2003.
- RAMOS S. *Análise prosódica da fala do deficiente auditivo: parâmetros de duração e frequência fundamental* [dissertação]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2000.
- ROCHA, H. V., BARANAUSKAS, M. C. C. *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. Campinas: Unicamp – NIED, 2003.
- ROSA, R.S. Onda Sonora e seus elementos In *Ruído Urbano: Caso de estudo da cidade de Sapucaia do Sul – RS*. 1. Ed. Ijuí: 2007.
- RUSSO I.C.P., SANTOS T.M.M. *A prática da audiologia clínica*. 4. ed. São Paulo: Cortez; 1993.
- RUSSO I.C.P., SANTOS T.M.M. *Audiologia infantil*. 3. ed. São Paulo: Cortez; 1989.
- SÁ, N. R. L. *Educação de Surdos: a caminho do bilingüismo*. Niterói: EduFF, 1999.

SASSAKI, R. K. *Inclusão: construindo uma sociedade para todos*. Rio de Janeiro, WVA, 1997.

SHNEIDERMAN, B. *Designing the User Interface*. 3rd Edition. Reading, MA: Addison Wesley; 1998.

THAKKAR, U. *User Interface Design*. ACM Press Frontier Series. Wokingham, England, Addison-Wesley Publishing Company.1990.

Apêndice A

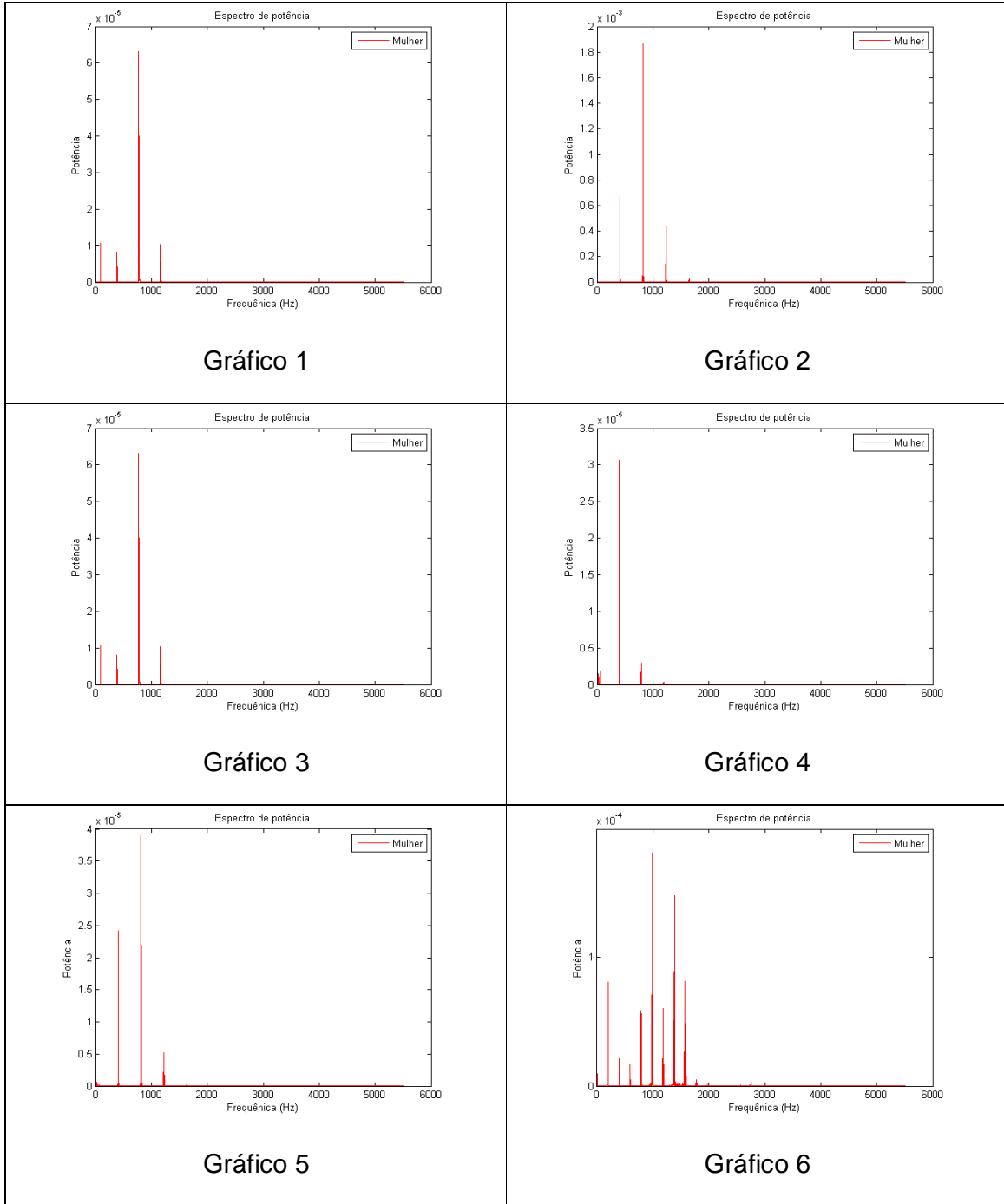
Amostras dos sinais dos experimentos realizados em campo

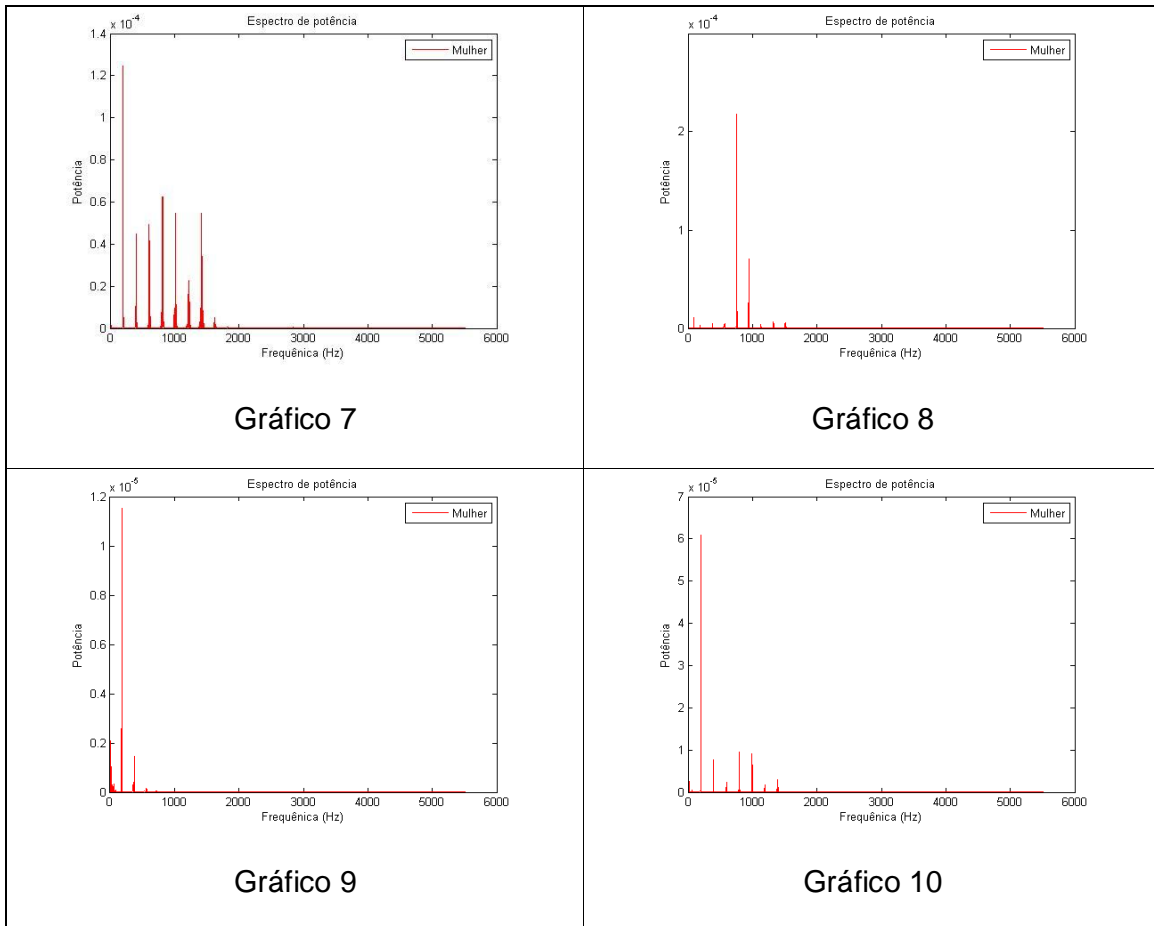
A seguir estão amostras dos sinais dos experimentos realizados em campo para obter a classificação entre a presença de falsete ou não. A ferramenta MatLab foi utilizada para a construção da função que calcula a Transformada Rápida de Fourier. Abaixo está o código fonte em MatLab.

```
1 % funcao para calcular a transformada rapida de fourrier
2 %@autor Liliane Alves
3 function [f, mx, fs] = fftsom (nomesom)
4
5 %x é o sinal puro
6 %fs é a frequencia da amostragem
7 % n é o numero de bits de resolucao de cada amostra
8 % namostras é o numero de amostras
9 [x, fs, n] =wavread(nomesom);
10 nfft = 2 ^ (nextpow2 (length (x)));
11 fftx = fft (x, nfft);
12
13 NumUnicoPts = ceil((nfft+1)/2);
14 fftx = fftx(1:NumUnicoPts);
15 mx= abs(fftx);
16 mx = mx/length(x);
17 mx= mx.^2;
18
19 if rem(nfft, 2)
20     mx(2:end) = mx(2:end)*2;
21 else
22     mx(2:end -1) = mx(2:end -1)*2;
23 end
24
25 f = (0:NumUnicoPts-1)*fs/nfft;
```

Figura 1: Código fonte em Matlab para cálculo da FFT

Os gráficos de um a cinco são onde houve a presença de falsete e os gráficos de 6 a 10 foi onde não houve a presença de falsete em pacientes do sexo feminino.





Os gráficos de 11 a 20 representam as amostras do sexo masculino. Os gráficos de onze a quinze foram onde houve a presença de falsete e os gráficos de dezesseis a vinte onde não houve presença de falsete.

