


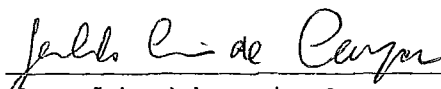
UM SISTEMA DE SINTESE DE VOZ
POR DIFONES DO IDIOMA PORTUGUÊS

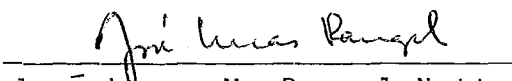
Alexis de Souza Esquivel

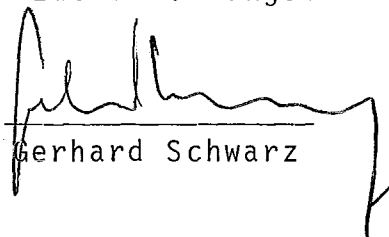
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:


Augusto Cesar Gadelha Vieira
Presidente


Geraldo Lino de Campos


José Lucas M. Rangel Netto


Gerhard Schwarz

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Fevereiro de 1984

ESQUÍVEL, ALEXIS DE SOUZA

Um Sistema de Síntese de Voz por Difone do Idioma Português. (Rio de Janeiro) 1984.

IX, 166P. ILUSTR. 29,7CM (COPPE/UFRJ, MSc., Engenharia de Sistemas e Computação, 1984)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Síntese de Voz. 2. Processamento Digital de Sinais de Voz. 3. Aplicação em Microcomputador. 4. Fonemas do Idioma Português.

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Agradeço

ao professor Gerhard Schwarz pelo incentivo e orientação durante todos estes anos;

ao professor Augusto Cesar Gadelha Vieira pelas esclarecedoras discussões teóricas;

ao professor Geraldo Lino de Campos pela colaboração valiosa nas etapas iniciais, que pela sua experiência facilitou muito este trabalho;

ã grande amiga e constante colaboradora Leda Lucia Spelta, sem a qual este trabalho não se realizaria;

ã eng. Maria Eloisa F. dos Santos pelo apôio e pelo trabalho de digitação e desenhos;

ao amigo Henrique Lins de Barros pelas discussões, idéias e constante incentivo;

aos amigos Eugênio Marins, Rubens Torres Carrilho, Alberto Wester e Iara dos Santos Barroso, e a todos que de uma forma ou de outra me ajudaram neste trabalho;

e finalmente ã Darci, minha esposa, motivadora eterna, a quem devo tudo.

RESUMO DA TESE APRESENTADA A COPPE/UFRJ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc).

UM SISTEMA DE SÍNTESE DE VOZ POR DIFONES DO IDIOMA PORTUGUÊS.

Alexis de Souza Esquível

Fevereiro de 1984

Orientador : Gerhard Schwarz.

Programa : Sistemas

Nesta tese apresentamos o desenvolvimento e a implementação num microcomputador, de um sistema de síntese de voz com facilidades para manipulação dos sons da fala do idioma Português Brasileiro. Utilizamos o circuito integrado para síntese de voz TMS 5220 da "Texas Instruments", que emprega a técnica de predição linear (LPC).

A síntese é feita pela junção de segmentos elementares de voz codificada ("difones") que se encontram armazenados num dicionário, construído a partir de uma tabela dos parâmetros de predição linear codificada dos fonemas.

O texto de entrada para o sistema é escrito segundo as regras normais de ortografia podendo estar entremeado por caracteres especiais. Este texto é convertido para uma sequência apropriada de "difones", que procura representar os sons emitidos por uma "leitura" do texto. Descrevemos a concepção deste sistema a nível de "hardware" e "software". Apresentamos a fundamentação teórica da predição linear e sua aplicação na análise de sinais de voz, bem como alguns aspectos da evolução histórica de síntese de voz.

ABSTRACT OF THESIS PRESENTED TO COPPE/UFRJ AS PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (M.Sc.)

THE VOICES SYNTHESIS SYSTEM BY DIPHONES TO THE BRAZILIAN PORTUGUESE LANGUAGE

Alexis de Souza Esquível

February 1984

Chairman: Gerhard Schwarz

Department : Sistemas

This thesis describes the design and implementation in a microcomputer of a voice synthesis system with facilities to handle sounds from the Brazilian Portuguese language. The system utilizes the TMS 5220 integrated circuit from Texas Instruments for voice synthesis which uses the linear predictive coding (LPC) technique.

The synthesis is done by joining elementary segments of coded voice (diphones) stored in a dictionary, made from the phonemes table parameters of LPC.

The input text to the system is written according to the standard rules of orthography and can also use special characters. This text is converted to a proper sequence of "diphones", that represents the sounds of the "reading" text. We describe the system conception on software and hardware levels. We present the theoretical basis of LPC and its application in the voice analysis as well as some aspects of voice synthesis historical evolution.

ÍNDICE

pag.

I.	Introdução.	1
II.	A Síntese de Voz Através da História.	5
II.1	Introdução.	5
II.2	Mecanismos Falantes.	6
II.3	Síntese de Voz no Século XX.	10
III.	Técnicas Atuais de Síntese de Voz.	13
III.1	Introdução.	13
III.2	Síntese a partir da Análise.	14
III.2.1	Codificação da Forma de Onda.	14
III.2.2	Síntese a partir de Parâmetros.	19
III.3	Síntese por Formantes.	22
III.4	Resumo Comparativo.	23
IV.	Fundamentos Teóricos: Predição Linear da Voz.	26
IV.1	Introdução.	26
IV.2	Modelo do Processo Fonatório.	27
IV.2.1	Aparelho Fonatório Humano	27
IV.2.2	Processo de Comunicação pela Fala.	30
IV.2.3	Os Sons da Voz.	31
IV.2.4	Modelo Matemático do Processo Fonatório.	33
IV.2.4.1	Determinação dos Parâmetros do Modelo.	35
IV.3	Análise da Voz por Predição Linear.	36
IV.3.1	Introdução.	36
IV.3.2	Cálculo dos Coeficientes de Predição.	38
IV.3.3	Cálculo dos Parâmetros para a Estimativa do Espectro usando o Modelo sô de polos.	40
IV.3.4	Método de Cálculo dos Coeficientes de Predição	44
IV.3.5	Cálculo do Ganho.	48
IV.3.6	Estabilidade do Filtro.	48
IV.3.7	Solução por Filtro em Treliça.	49
IV.3.8	Resumo.	54
IV.4	Síntese de Voz através dos Parâmetros de Predição.	54
V.	Concepção do Sistema de Síntese de Voz.	57
V.1	Introdução.	57
V.2	Síntese por Difone da Língua Portuguesa.	58

V.2.1	Conversão do Texto Escrito a uma Sequência de Difones.	63
V.2.2	Organização do Dicionário de Difones.	64
VI.	Implementação do Sistema de Síntese de Voz.	65
VI.1.	Introdução.	65
VI.2.	Descrição do "hardware" do Sistema.	66
VI.2.1.	Diagrama de Blocos do Sistema.	67
VI.2.2.	Descrição do Sistema SCHUMEC-M100.	67
VI.2.3.	Descrição da Placa de Síntese de Voz.	68
VI.3.	O TMS 5220 da "Texas Instruments".	72
VI.4.	O "software" do Sistema.	77
VI.4.1.	Diagrama de Blocos do "software" do Sistema	77
VI.4.2.	Descrição do "software".	77
VI.5.	Modo de Operação do Sistema.	79
VII.	Resultados e Conclusões.	81
VII.1.	Resultados.	81
VII.2.	Conclusões.	81
VII.3.	Tópicos para Pesquisas Futuras.	82
VIII.	Bibliografia.	83

ANEXOS

1.	Nomenclatura.	88
2.	Listagens dos programas.	90
3.	LISTAGEM DO DICIONÁRIO DE DIFONES.	135
4.	ESQUEMA DO "HARDWARE" DO MICRO SCHUMEC -M100.	156
5.	ESQUEMA DO "HARDWARE" DA PLACA DE SÍNTESE DE VOZ.	160
6.	Esquema da TV Philips Utilizada como Monitor de Vídeo E SAÍDA DE VOZ.	166

ÍNDICE DAS FIGURAS.

	pag.
Figura II.1. Gravura de uma estátua grega.	5
Figura II.2. Artefato de fala de Von Kempelen como foi construído por Wheastone.	8
Figura II.3. Circuito de voz de J.Q. Stewart.	10
Figura II.4. Mecanismo de fala de R. R. Riesz.	11
Figura II.5. O Sintetizador "VODER" da Feira Mundial de 1939.	12
Figura III.1 Técnicas de Síntese de Voz.	23
Figura III.2. Esboço comparativo em relação a taxa de armazenamento, flexibilidade e complexidade.	24
Figura III.3. Taxa de armazenamento vs. Qualidade da voz.	25
Figura IV.1. Esquema do trato vocal humano.	28
Figura IV.2. Forma de onda dos pulsos na glote.	29
Figura IV.3. Espectro de frequências dos pulsos na glote.	29
Figura IV.4. Representação do aparelho fonatório mediante tubo acústico não uniforme.	33
Figura IV.5. Modelo numérico do aparelho fonatório.	34
Figura IV.6. Modelo linear de produção da fala.	36
Figura IV.7. Um trecho de sinal de voz e o conjunto correspondente de amostras com $T=1/8000$ s.	37
Figura IV.8. Modelo geral do sistema.	39
Figura IV.9. Modelo discreto do sistema no domínio de frequência.	41
Figura IV.10. Modelo discreto do sistema no domínio de tempo.	41
Figura IV.11. Concatenação de 5 tubos acústicos sem perdas.	49
Figura IV.12. Predição regressiva e progressiva usando preditor de i -ésima ordem.	51
Figura IV.13. Diagrama de blocos da implementação do método de treliça.	52
Figura IV.14. Diagrama de blocos de um sintetizador por predição linear em escada.	55
Figura IV.15. Filtro em treliça para a síntese de voz utilizando os coeficientes de reflexão $k(i)$.	55
Figura VI.1. Blocos que constituem o sistema.	67
Figura VI.2. Esquema do interfaceamento da placa de	

	síntese de voz com o duto S-100.	69
Figura VI.3.	Diagrama de blocos do VSP.	72
Figura VI.4.	Formatação dos quadros de parâmetros aceitos pelo VSP.	74
Figura VI.5.	Relacionamento entre um quadro e o filtro em treliça usado pelo VSP	76
Figura VI.6.	Diagrama de blocos do "software" do sistema.	77

ÍNDICE DAS TABELAS.

Tabela IV.1.	Vogais	32
Tabela IV.2.	Consoantes	32
Tabela V.1.	Formação do conjunto VV	61
Tabela V.2.	Formação do conjunto CC	61
Tabela V.3.	Formação do conjunto CV	62
Tabela V.4.	Formação do conjunto VS	62
Tabela V.5.	Formação do conjunto VE	62

I. Introdução.

Este trabalho tem dois objetivos básicos:

- contribuir para o desenvolvimento da interface homem-máquina;
- construir as bases de um sistema de síntese de voz para desenvolvimento de um terminal portátil que fale português sem restrição de texto.

Motivados pela consciência das dificuldades de trabalho dos profissionais cegos que trabalham com computadores e, impulsionados pelo trabalho pioneiro do Dr. Geraldo Lino de Campos: "Síntese de Voz para o Idioma Português", onde está demonstrado a viabilidade do emprego da técnica de predição linear para a Língua Portuguesa Brasileira, nos propusemos a construir este sistema. Esta tarefa foi facilitada pelo lançamento, em meados de 1981, de um circuito integrado para síntese de voz por predição linear - o TMS 5220 da "Texas Instruments".

Este trabalho se situa numa área de pesquisa relativamente recente e de fronteira tecnológica que é a comunicação pela voz e a respectiva engenharia para a expansão desta capacidade às máquinas. Estas pesquisas e trabalhos vem contribuindo para uma compreensão maior do processo de comunicação humana.

Nosso interesse pela fala está na possibilidade de tornar a máquina mais "amiga" do homem, pois a fala é, em nossa sociedade, o modo mais natural e desenvolvido de comunicação e que contém muitos aspectos humanos: os formais e os expressivos (emocionais). Na medida em que tais facilidades são introduzidas nos computadores, novas aplicações serão possíveis.

Atualmente no Brasil existem, em caráter experimental, dois sistemas de consulta por telefone ao saldo de contas bancárias. Ambos informam verbalmente ao cliente o saldo de sua conta através de sintetizadores de voz.

O primeiro sistema implantado foi o do Banco Itaú, que utiliza a técnica de codificação direta da forma de onda por meio de Modulação Delta Adaptativa, ou seja, é como se fosse um gravador/reprodutor controlado por computador. A ele seguiu-se o sistema do Banco de Crédito Nacional - (BCN) que emprega a técnica de análise e síntese por meio de predição linear. Embora

com técnica diferente da utilizada pelo Itaú, a função por ela desempenhada é a mesma, ou seja, gravar e posteriormente reproduzir palavras ou frases que foram inicialmente ditadas por um ser humano a fim de se construir em MAD (RAM), o dicionário de voz do sistema.

Uma série imensa de novas aplicações estão surgindo empregando sistemas de resposta audível. Desde o seu uso em elevadores, automóveis, Metrô, instrumentos de medida, utensílios domésticos, relógios que falam, passando por sistemas militares e até na melhoria da qualidade do sinal de voz.

O sistema que mais nos impressionou, pelo seu alto grau de sofisticação e pelo emprego de técnicas de reconhecimento de padrões para a leitura de caracteres óticos (OCR), produto do desenvolvimento das pesquisas em Inteligência Artificial, foi o da "Kurzweil Reading Machine", a máquina capaz de ler qualquer tipo de texto datilografado ou impresso: livros, revistas, jornais, etc. A alma deste equipamento está no que o fabricante denomina de "Omni-Font Optical Character Recognition".

Neste trabalho estamos limitando o estudo de tão vasta área à técnica de síntese de voz por predição linear e ao problema da construção de um sistema portátil, empregando microprocessadores, capaz de "ler em voz alta" um texto escrito qualquer. Para alcançar este objetivo utilizamos a seguinte estratégia na sua concepção: usar o circuito integrado TMS 5220 da "Texas Instruments" para realizar a síntese da voz e construir um dicionário de difones e um programa de conversão de texto a difone, o que lhe confere maneabilidade e flexibilidade, características fundamentais para a pesquisa, o desenvolvimento e aperfeiçoamento do produto.

A questão fundamental que se coloca num sistema dessa natureza, em primeiro lugar, diz respeito a qualidade da voz sintética que será produzida, e pode ser traduzida em medidas subjetivas como: fidelidade, inteligibilidade e naturalidade. Em segundo lugar, com relação ao sistema de síntese de voz, a questão apresenta dois quesitos que se contrapõem: a flexibilidade e a complexidade.

Com relação à qualidade da voz, o que buscamos é construir um sistema que permita a maior naturalidade possível. Isto significa reproduzir o ritmo, a cadência e a entoação da fala, e

aumentar a inteligibilidade, mesmo que com isso diminua a fidelidade à voz utilizada inicialmente na obtenção dos parâmetros, ou seja, a reprodução das palavras ou frases ditas pela máquina apenas lembraria a pessoa que ditou-as inicialmente.

Para atender aos quesitos de qualidade da fala, o sistema precisa ter boa flexibilidade, o que implica em maior complexidade do "software" com um "hardware" de síntese de voz suficientemente flexível.

Outra questão também importante é a quantidade de memória requerida ou o poder de compactação necessário para a utilização da síntese de voz por um microcomputador com capacidade de memória limitada. Essa grandeza é normalmente medida pelo número de bits requeridos para se armazenar um segundo de fala.

A todos esses quesitos o LPC satisfaz em maior ou menor grau o que torna viável a sua utilização.

Graças à flexibilidade que o LPC proporciona e a utilização de um dicionário de difones desenvolvemos um sistema que permite manipular os sons da fala. Assim, para cada som elementar que compõe uma sílaba, podemos variar a sua intensidade, altura e duração.

Esta possibilidade nos parece essencial também para a pesquisa, o desenvolvimento e a experimentação das regras de conversão de texto para fonema e que objetivam dar à fala sintética um maior grau de naturalidade.

Na apresentação deste trabalho procuramos fazer um resumo da literatura especializada colocando-o nos primeiros capítulos com a intenção de situar a síntese de voz no processo histórico, desde as primeiras tentativas documentadas do homem, ocorridas na civilização grega, até os dias de hoje. Assim, no capítulo II, apresentamos a evolução das idéias através dos tempos e dos artefatos mecânicos (na sua maioria) e elétricos que foram construídos para sintetizar a voz humana.

No capítulo III, o nosso objetivo é mostrar as técnicas atuais de síntese de voz já implementadas em pastilhas de circuito integrado, bem como uma comparação entre elas em termos de memória requerida, qualidade da voz, flexibilidade e complexidade do sistema.

No capítulo IV, apresentamos os fundamentos teóricos da

predição linear utilizada para a síntese de voz, procurando explicar, de uma forma resumida e objetiva, como funciona esta técnica na análise e síntese dos sinais de voz.

Na segunda parte, constituída pelos capítulos V, VI, VII apresentamos a concepção arquitetônica e a organização do sistema proposto como um todo: a construção e a descrição do "hardware", do "software" e do TMS 5220 da "Texas Instruments" nas suas partes e finalmente os resultados as discussões e as conclusões do trabalho.

II. A Síntese de Voz através da História.

II.1. Introdução

Registros históricos atestam que a síntese da voz humana é um anseio antigo do homem. Um longo caminho vem sendo percorrido através dos tempos culminando com o estado atual da tecnologia de voz, em que predomina o uso de eletrônica digital e de circuitos integrados de alta densidade. Mais do que uma simples curiosidade, os primeiros esforços do homem para criar a



Figura II.1. Gravura de uma estátua Grega.

capacidade "mágica" da fala e que remontam as civilizações grega e romana antigas, eram atividades sagradas desenvolvidas apenas pelos sacerdotes e revestidas de toda uma aura de misticismo. Nestas civilizações os sumos sacerdotes e o povo tinham a crença de que a capacidade do homem de falar era um dom divino, como se pode depreender de PLATÃO (39). Os sacerdotes pagãos, num esforço para convencer os seus seguidores da autenticidade dos seus ídolos e das estátuas de Deus, tentavam fazê-las falar ao

povo. Naquela época, suas tecnologias eram ainda incipientes e a compreensão que tinham do mecanismo da fala era muito rudimentar, por isso eles, sabiamente, faziam uso de tubos para ampliar-lhes a voz e os dissimulavam por túneis que os conduziam até a boca das estátuas, como mostra a figura II.1.

O fascínio pela capacidade do homem de falar tem sido contínuo ao longo do tempo. Atualmente, como é do conhecimento de antropólogos, algumas tribos indígenas brasileiras do alto Araguaia, acreditam que suas crianças só têm alma quando começam a falar! Vários esforços então, muitos apenas ineficientes, ou não efetivos, foram feitos para criar artificialmente esses sons pelas máquinas.

Algumas tentativas documentadas nessa área datam da Renascença. Anteriormente, pesquisas na área de geração artificial de voz se baseavam mais na compreensão qualitativa do mecanismo da fala sem levar em conta seus princípios físicos. O que a Renascença fez pelo homem foi de despertá-lo a uma curiosidade científica pela vida e pelas funções fisiológicas sem lhe colocar barreiras. A medida em que os cientistas foram estudando a fisiologia da fala, modelos práticos de máquinas que falavam começaram a ser propostos, chegando mesmo a serem construídos alguns destes modelos. Considerando o estado da ciência no fim do século XVIII, essas máquinas eram realmente muito criativas.

II.2. Mecanismos Falantes

As primeiras tentativas para desenvolvimento de módulos de fala, feitas por inventores ou cientistas foram totalmente baseados em dispositivos mecânicos, pois ocorreram antes da era da eletricidade. Contava-se na época apenas com a mecânica. Porém, as primeiras máquinas falantes eram muito mais parecidas com instrumentos musicais do que com sistemas mecânicos complexos, apesar de já existir na época uma tecnologia mecânica bem desenvolvida. Um bom exemplo de que esta tecnologia não era trivial, é o "computador" de Charles Babage. A sua famosa máquina analítica era do tamanho de uma sala e totalmente mecânica.

Pesquisas para a construção de sistemas mecânicos de síntese

de voz ainda hoje continuam sendo feitas em paralelo ao desenvolvimento de métodos de síntese eletrônica.

Segundo CATER (4), uma das primeiras tentativas de geração mecânica da fala, historicamente registrada, ocorreu por volta de 1770 na Academia Imperial de São Petersburg (agora Leningrado, USSR). Respondendo ao desafio da Universidade para explicar as diferenças fisiológicas da fala entre cinco vogais, Kratzenstein foi o vencedor do prêmio anual, construindo uma série de ressoadores acústicos tomando como modelo o trato vocal humano. O dispositivo de fala, muito rudimentar para os padrões de hoje, criava os sons das vogais com palhetas que vibravam pela passagem de ar sobre elas. Seleccionava-se as frequências dos formantes pela variação manual dos ressoadores acústicos, gerando-se assim, por meio deste dispositivo mecânico, uma fala bastante limitada.

Desconhecido por Kratzenstein nessa época, Wolfgang Von Kempelen trabalhava na construção de uma máquina de falar mais elaborada, para chegar à geração de fala concatenada. Ele visava certamente um objetivo mais complexo, isto é, de criar sons e frases de múltiplas palavras, pois não estava envolvido pelo desafio de reproduzir apenas os sons de vogais. Tal como o aparelho de Kratzenstein, o seu sistema empregava um fole para fornecer ar as palhetas que vibravam simulando as cordas vocais. Os ressoadores da boca eram simulados por um cilindro flexível de couro que, através da sua manipulação, poderia produzir sons de vogais. O estranho aparelho mecânico, mostrado na figura II.2, também tinha aberturas para simular os ressoadores nasais e duas alavancas que operavam tubos para produzir os sons fricativos "sh" e "s" produzidos pelos dentes e lábios. O dispositivo era muito engenhoso mas requeria do operador uma considerável habilidade e experiência no seu manejo.

Surpreendentemente, a máquina que falava já empregava muitos conceitos ergonômicos na engenharia da sua construção, de modo que um único operador podia realmente produzir uma fala sintética. Sentado ao lado do aparelho, com o braço direito sobre o fole, o operador, com sua mão direita controlava as aberturas do nariz, a trava das palhetas e as alavancas dos silvos "s" e "sh". A mão esquerda estava livre para manipular o cilindro de couro e articular os sons vocalizados produzidos

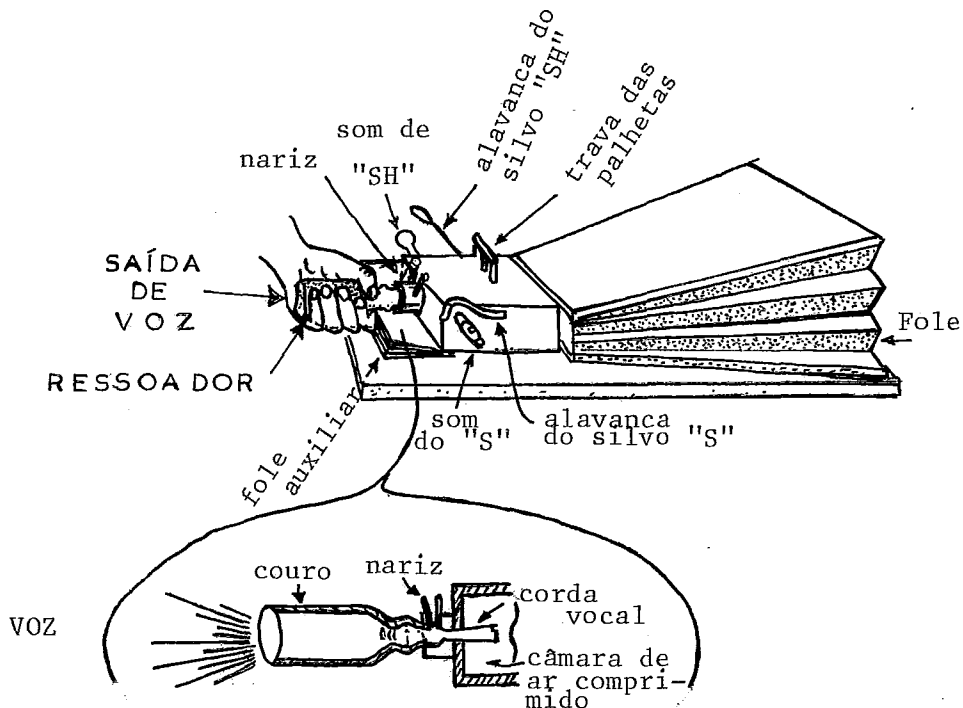


Figura II.2. Artefato de fala de Von Kempelen como foi construído por Wheatstone.

pelas palhetas em vibração. De acordo com Von Kempelen, a sua máquina produzia 19 sons consonantais que podiam ser entendidos. Porém, se esses sons poderiam ser igualmente bem compreendidos por outras pessoas além de Von Kempelen era duvidoso devido ao efeito de "polarização" ou acomodação do operador. Este é um fato bastante comum que ocorre com crianças pequenas começando a falar. Elas são facilmente entendidas pelos pais mas muito pouco por outras pessoas.

Embora a máquina de falar concebida por Von Kempelen tenha sido posteriormente refinada e reconstruída por Sir Charles Wheatstone (o da "ponte de Wheatstone"), muito pouca pesquisa foi feita neste sentido até a virada do século XIX. No final do século XVIII, um jovem cientista, de Edinburgo, Escócia, teve a oportunidade de ver a máquina de Von Kempelen como foi construída por Wheatstone. A impressão que este dispositivo mecânico de fala causou no jovem Alexander Graham Bell não somente influenciou no seu interesse pelo campo científico da fala, como provavelmente teve o seu efeito enriquecedor na ciência moderna. Com efeito, alguns anos após, em fevereiro de

1876, lhe foi outorgada a patente U.S. n. 174.465 que descrevia o funcionamento e a aplicação de um aparelho denominado "telefone". Alexander Graham Bell, após ter visto a máquina de falar de Wheatstone, se dispôs a construir um modelo próprio sob a orientação de seu pai. Contando com o auxílio de seu irmão Melville, A. G. Bell criou um modelo de trabalho do trato vocal humano que empregava madeira, borracha e algodão. Ele construiu assim um modelo do crânio com vários órgãos da fala como: lábios, bochechas e cordas vocais. Estas eram simuladas por uma membrana feita de borracha macia e alcochoada com algodão. As partes móveis da cabeça artificial eram controladas por várias alavancas. As cordas vocais vibravam pela passagem de ar através da membrana de borracha com ranhuras. Embora o modelo parecesse grotesco, assemelhando-se com um monstro de filmes baratos de horror, Bell alegava que o dispositivo podia falar vogais, nasalizar e mesmo formar frases simples à medida que se ganhasse mais prática no seu manejo.

Bell, com sua curiosidade no mecanismo da fala e talvez motivado pela escola de elocução de voz de seu pai, já havia percebido ao seu lado, com um desafiador potencial para falar, o seu cachorro terrier "Skye". Ele já existia com todo o mecanismo da fala intacto, faltando apenas conhecimento e criatividade para falar. O seu cachorro foi então, desde pequeno, ensinado a sentar-se sobre as patas traseiras e rosnar por comida um período de tempo prolongado. À medida que rosnava pela comida (o que o tornou muito gordo), Bell manipulava a sua garganta e boca para criar sons de vogais que um trato vocal limitado podia articular. O resultado desse seu esforço foi de conseguir cinco sons consistindo das vogais "a" e "u" os fonemas "ma" e "ga" e o ditongo "ou". Usando este vocabulário limitado e muitos quilos de comida, Bell disse que conseguiu fazer seu cachorro falar a frase: "How are You, Grandmama?". Dizia-se também, que por vezes o seu cachorro, com vivacidade no olhar, tentava dizer a frase por si só mas não conseguia nada mais do que "grunir". Todavia, suas tentativas e atribulações para ensinar seu cachorro a falar lhe deram a compreensão necessária para a manipulação de sua cabeça de fala mecânica.

II.3. Síntese de Voz no Séclo XX

Com o alvorecer da eletrônica, os pesquisadores e construtores de sintetizadores de voz passaram a utilizar modelos eletricamente análogos ao sistema da fala. Em 1922, J.Q. Stewart relatou na "Nature Magazine" seu modelo elétrico análogo a órgãos vocais. O seu circuito, esquematizado na figura II.3,

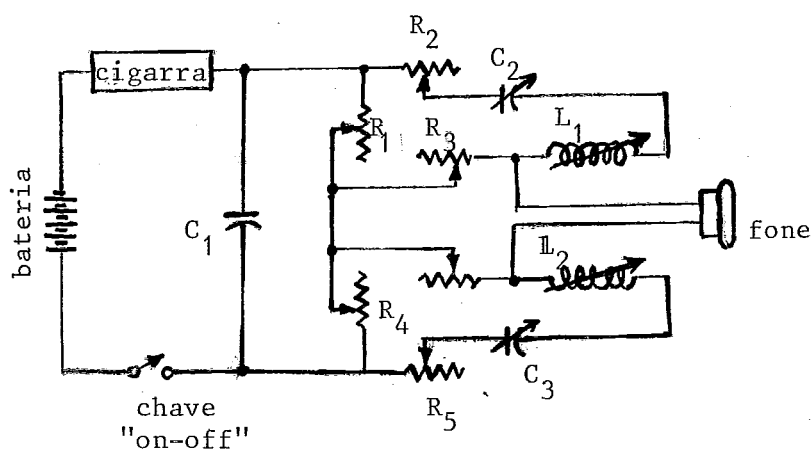


Figura II.3. Circuito de voz de J. Q. Stewart.

consistia de uma cigarra elétrica para simular as cordas vocais e mais um par de filtros indutivos/capacitivos para simular as ressonâncias da garganta e da boca. A fala resultante deste circuito elétrico, com razoável analogia ao trato vocal, podia, no máximo, produzir os sons de vogais com apenas duas frequências formantes. À medida que variava as capacitâncias, resistências e indutâncias do circuito, ele podia mudar o som continuamente de uma vogal para outra e criar portanto alguns ditongos.

A disponibilidade de componentes eletrônicos complexos era ainda bastante limitada nesta época, de modo que continuavam em paralelo a pesquisa em síntese de voz por processos mecânicos. Em 1937, R. R. Riesz demonstrou seu falador mecânico, que tal como os outros dispositivos mecânicos, se assemelhava a instrumentos musicais. O aparelho tinha o formato do trato vocal humano e era constituído de metal e borracha e dotado de teclas semelhantes as de um trompete. Este aparato mecânico de fala que

produzia uma voz razoavelmente boa com um operador bem treinado, está ilustrado na figura II.4. O instrumento tinha dez teclas ou

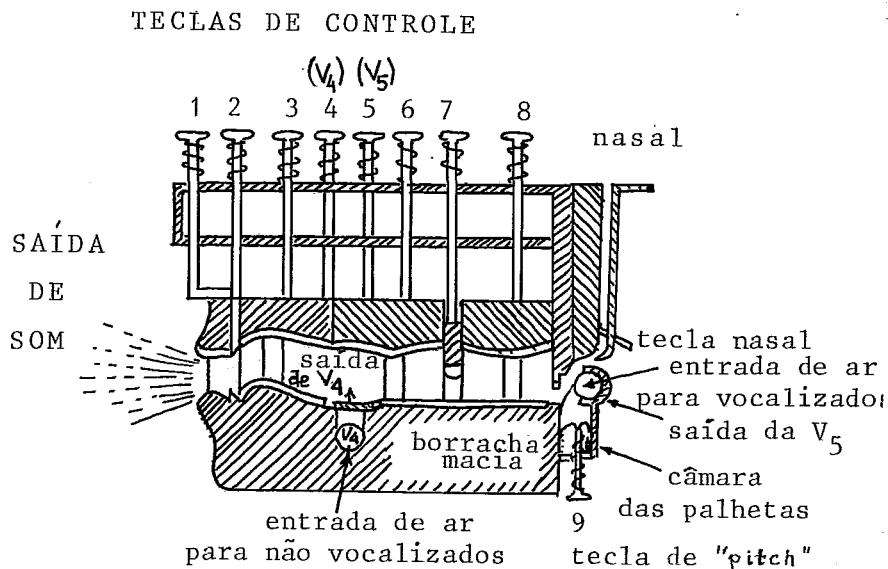


Figura II.4. Mecanismo de fala de R. R. Riesz.

válvulas que poderiam ser operadas simultaneamente com as duas mãos e que produzia uma fala relativamente articulada. Riesz tinha acesso, através destas teclas, as partes móveis do aparelho que simulavam mecanicamente o trato vocal humano. Notícias daquela época relatam que a fala mais articulada que ele produzia era a palavra "CIGARETTE".

Quase simultaneamente com o desenvolvimento do seu falador mecânico ele desenvolvia também, em paralelo, um verdadeiro sintetizador elétrico que produzia fala concatenada. Tal como o seu sistema mecânico, ele criou (com a ajuda de H. W. Dudley e S. A. Watkins) um sistema elétrico operado por teclas e que foi demonstrado na Feira Mundial de Nova York em 1939 e em São Francisco em 1940. Um diagrama esquemático da máquina conhecida como "Voder" está mostrado na figura II.5.

Ele era composto de um oscilador de ruído aleatório e um oscilador de impulsos que forneciam a energia para os sons não vocalizados e vocalizados, respectivamente. Estes sons que eram selecionados por uma barra acionada pelo pulso, passavam pelos dez filtros passa-banda controlados por dez teclas de tipo piano que acionavam por sua vez potenciômetros para variar a banda passante de cada filtro. As variações do tom fundamental ou

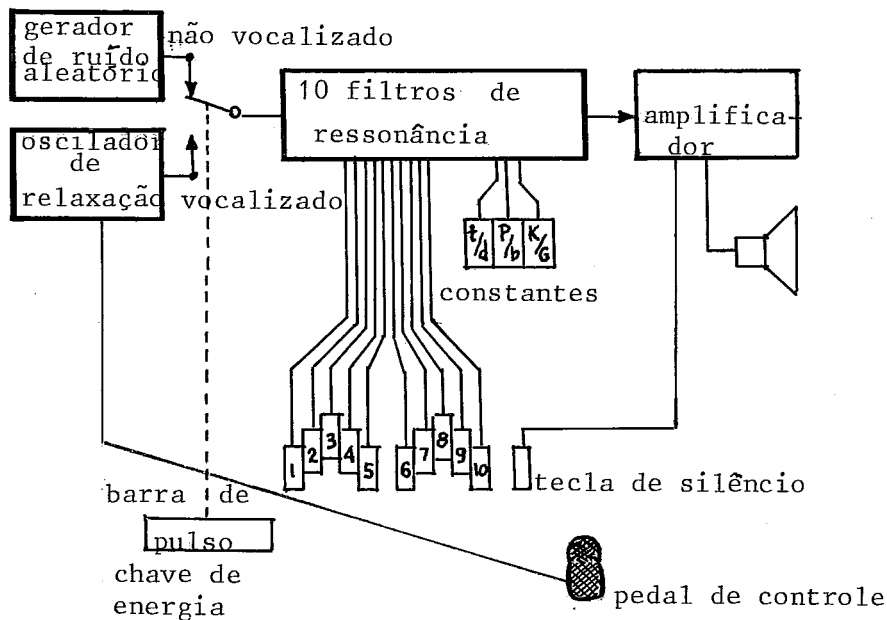


Figura II.5. O sintetizador "VODER" da Feira Mundial de 1939.

("pitch" em inglês, eram controladas por um pedal e as consoantes oclusivas e os "silêncios" por outras tantas teclas.

O operador, com pelo menos um ano de treino na máquina, "tocava" o sistema de fala como um pianista e a fala produzida por este sistema foi considerada de boa qualidade.

Alguns modelos de sistemas atuais de síntese de voz são bastante semelhantes ao "Voder" idealizado e construído por Riesz. O que se fez foi substituir a manipulação mecânica do modelo pela manipulação eletrônica controlada por microcomputador, simplificando enormemente a operação do sistema e automatizando-a. Pesquisas posteriores ao "Voder" para a produção de fala sintética têm se utilizado de modelos matemáticos e de técnicas digitais de processamento do sinal de voz, culminando por voz gerada por computador a partir de regras de conversão de texto para fonema.

Basicamente, as técnicas de síntese de voz podem ser classificadas em três grupos:

- a) síntese por edição de frases ou palavras gravadas em meios analógicos;
- b) síntese a partir da análise;
- c) síntese por formantes.

As duas últimas classes englobam todas as técnicas atuais de síntese de voz e que serão descritas no capítulo III.

III. Técnicas Atuais de Síntese de Voz.

III. 1. Introdução

O interesse crescente, e até explosivo, na pesquisa e na produção de sistema de síntese de voz, que se tem observado nos últimos anos, pode ser medido pelo número de técnicas diferentes, da quantidade de fabricante de CI para síntese de voz e dos sistemas de síntese de voz lançados no mercado.

Uma das molas propulsoras deste interesse é, sem dúvida, a necessidade de aumentar a comunicação direta entre os computadores e as pessoas em geral. Atualmente os meios de comunicação com os computadores estão essencialmente limitados a dispositivos como terminais com teclado e vídeo, terminais gráficos e impressoras.

Estes dispositivos são caros e a capacidade de comunicação que eles tem nas diversas circunstâncias são limitadas. Todavia, quando a comunicação por voz com os computadores se tornar amplamente disponível, o enorme potencial de cálculo e de manipulação de informações que eles possuem, ficarão ao alcance de qualquer um que disponha de um telefone, acessando-o diretamente dos mais variados locais como: de uma casa, escritório, hotel, automóvel ou barco.

Conforme RABINER e SCHAFER (13) relata, existem evidências de que a comunicação por voz pode ser um meio significativamente mais eficiente do que os meios convencionais. Portanto, dotar os computadores com a capacidade de compreensão da voz e de resposta por voz são problemas de fundamental importância cujas soluções terão um impacto considerável na nossa vida diária. A questão da compreensão da voz é ainda de difícil solução, embora já existam algumas soluções de âmbito restrito. Em contraste, já existe um grande número de soluções para o problema de resposta por voz, ou em estágio avançado de pesquisa e desenvolvimento.

Os diferentes métodos ou técnicas de síntese podem ser classificados, de modo geral, em três grupos básicos, conforme INOUE et alii (32).

- 1- Síntese por edição de voz gravada em meios analógicos;
- 2- Síntese a partir da análise;
- 3- Síntese por formantes.

A síntese a partir da análise subdivide-se ainda em outros dois subgrupos:

2a-codificação da forma de onda, onde as técnicas representativas são: LDM, ADM, ADPCM, APC,

2b-síntese a partir de parâmetros, onde se classificam as técnicas LPC, PARCOR, PWC, etc.

As técnicas do primeiro grupo estão caindo em desuso em virtude de empregarem sistemas mecânicos para o armazenamento da voz. Normalmente se usam discos de cabeça fixa para o armazenamento do dicionário de voz a fim de fazer baixar o tempo de acesso médio que neste caso é de 8ms. Estes sistemas estão sendo substituídos pelos de codificação da forma de onda, que por meio de um conversor analógico/digital (A/D), permite o armazenamento da voz diretamente em memória MAD (RAM). Portanto, trataremos aqui apenas das técnicas pertencentes aos grupos 2 e 3. O presente trabalho utiliza a técnica de LPC.

Apresentamos a seguir, uma descrição resumida das técnicas e métodos mais representativos de cada grupo, obtida das referências: RABINER e SCHAFER (3), CATER (4), RABINER e SCHAFER (13), COLE (24), BERNEY e HARSHMAN (25), INOUE et alii (32), FGNS e GARGAGLIANO (36), ALBUQUERQUE e MARCA (40).

III.2. Síntese a partir da Análise.

III.2.1. Codificação da Forma de Onda.

Este é o método mais simples de geração de voz e que se parece com um gravador/reprodutor digital. A idéia de amostragem de um sinal analógico, digitalizando-o através de um conversor A/D e gravando em memória para posterior reprodução via um conversor D/A, não é recente.

O processo, universalmente aceito e largamente empregado, para esta conversão, consiste, inicialmente, em limitar as frequências do espectro do sinal de voz a 4 kHz. Esse valor já permite uma fidelidade aceitável para a reprodução da voz, mantendo ainda boa inteligibilidade. Em seguida, procede-se a amostragem do sinal com uma frequência de no mínimo 8 kHz, de acordo com o Teorema da Amostragem. Cada amostra é então quantizada por uma codificação binária que pode ser de 8 a 11

bits, o que significa que 1 segundo de fala pode gerar de 64 bits a 88 kbits. Este processo é denominado de Modulação por um Código de Pulso (normalmente representado pela sua sigla em inglês: PCM).

A taxa de informação ou transmissão de um sistema digital é importante porque ela determina a quantidade de memória necessária para armazenar o vocabulário de voz. Em PCM, a redução desta taxa só pode ser conseguida reduzindo-se a frequência máxima do espectro do sinal de voz ou diminuindo-se o número de bits por amostra.

A frequência máxima não pode ser reduzida muito abaixo de 3 kHz em virtude da crescente perda de inteligibilidade que isto acarreta. Por outro lado, o processo de quantização produz um ruído cuja potência é proporcional a Δ (delta), onde Δ (delta) é a diferença de amplitude entre dois níveis quânticos consecutivos.

Assim, se B é o número de bits por amostra, o valor pico-a-pico do sinal de voz será de 2^B níveis. Portanto o valor de Δ (delta) é dado pela divisão do valor pico-a-pico pelo número de níveis de quantização. Este ruído de quantização é inaceitável para valores de B menores que 8.

Os dados obtidos por este processo são armazenados diretamente sem sofrer nenhuma manipulação ou alteração, e reconvertidos em sinal de audio por um simples conversor D/A. Isto reproduz o sinal de voz original com fidelidade razoável porém com uma taxa de transmissão (bps) muito alta.

No PCM cada amostra é codificada independentemente das outras. Para os sinais de voz a variação média da amplitude de uma amostra a outra é pequena em relação à variação pico-a-pico do sinal.

Quando duas amostras sucessivas tiverem praticamente o mesmo valor, torna-se redundante transmiti-la. Explorando este fato, surgiu a técnica DPCM (Diferencial PCM), eliminando a redundância pela codificação da diferença entre as amostras ao invés das suas amplitudes reais. A vantagem desta técnica é que, como estas variações são muito menores do que a variação total da amplitude do sinal, um número menor de bits pode ser usado.

De fato, a DPCM codifica a diferença entre a amplitude da amostra atual e o valor da amplitude predito pela estimativa das

amostras passadas. Estas amostras anteriores são ponderadas afim de minimizar a energia média da diferença. Estes pesos, calculados por um processo estatístico, sobre uma amostra representativa de voz, permanecem fixos para um dado sistema DPCM. Usando apenas uma amostra anterior, o DPCM consegue a redução de 1 bit em relação a um PCM equivalente, enquanto que usando três amostras anteriores se reduz de 1,5 a 2 bits por amostra. Além disso, pouco mais se ganha.

A técnica APC (Adaptative Predictive Coding) é uma tentativa de estender o esquema da DPCM. Sua proposta básica é utilizar pesos variáveis ao invés de fixos, que são atualizados a cada intervalo de 10ms a 30ms. Uma outra abordagem desta técnica, utiliza um preditor que se baseia nas características de redundâncias da fala para a obtenção de representações mais eficientes da forma de onda da voz.

A aplicação mais simples dos conceitos de quantização diferencial é na Modulação Delta (DM). Nesta classe de sistema, a taxa de amostragem é muitas vezes maior que a máxima frequência da banda do sinal de entrada. Com isto se consegue uma alta correlação entre as amostras adjacentes. Este alto grau de correlação aumenta muito a capacidade de predição do sinal de entrada a partir das amostras anteriores resultando na baixa variação do erro de predição. Os sistemas de modulação delta (DM) empregam um quantizador simples de 1 bit (2 níveis), portanto a taxa de transmissão da DM é igual à taxa de amostragem. Ocorre que esta técnica não consegue acompanhar variações bruscas ou inclinações acentuadas no sinal de entrada, pois sempre um incremento Δ (delta) (ou decremento) fixo é adicionado (ou subtraído) ao sinal de saída dependendo se o sinal amostrado é maior ou menor do que o sinal da amostra anterior (não importando quanto). Isto produz uma distorção chamada de ruído de sobrecarga. Pelo exposto acima, estes sistemas de Modulação Delta fixo são também chamados de LDM (Linear Delta Modulation).

A única vantagem da Modulação Delta está na simplicidade do seu circuito e no seu custo reduzido.

A "performance" dos sistemas DM está limitada principalmente pelo seu processo de quantização rígido. É natural supor-se que um sistema adaptativo simples de quantização melhore

sensivelmente a "performance" sem aumentar muito a complexidade do sistema. Por isso, uma grande quantidade de sistemas de Modulação Delta Adaptativa ADM, foram propostos. Muitos destes sistemas são do tipo de realimentação no qual o tamanho do degrau de variação é adaptado em função dos bits do código de saída. Uma das estratégias de adaptação usadas neste sistema está baseada na observação da configuração dos bits de saída de um LDM. Nota-se, por exemplo, que os períodos onde ocorre acentuada variação ficam sinalizados por uma sequência consecutiva só de bits zeros ou só de bits uns, indicando que o codificador não está conseguindo acompanhar o sinal de entrada. Neste caso o tamanho do degrau deve ser aumentado.

Por outro lado, quando há alternância na sequência de bits na saída (01010101...), significa que o sinal está apresentando poucas variações e que o ruído de quantização pode ser reduzido se o tamanho do degrau for diminuído.

A proposta de utilizar controle adaptativo do processo de conversão também é feita para os sistemas DPCM. Neste caso, denomina-se de Modulação por Código de Pulso Diferencial Adaptativo ADPCM, onde o degrau de quantização é proporcional à variação do sinal de entrada. Todavia, como o sinal de diferença é proporcional ao sinal de entrada, o tamanho do degrau pode ser controlado por este sinal ou pelo sinal de entrada. Este método consegue reduções maiores na taxa de armazenamento que o ADM, situando-se entre 16 a 32 kbps enquanto que o ADM está entre 24 a 56 kbps e o PCM de 64 a 88 kbps, sendo que a qualidade subjetiva da voz reproduzida é comparável nas diversas técnicas.

Recentemente, graças às facilidades de construção de circuitos integrados personalizados ("customized") e com Integração em Larga Escala (LSI), foi projetado e construído por INOUE et alii (32), uma pastilha para a síntese de voz contendo os seguintes componentes principais:

- a) um microcomputador dedicado a síntese de voz;
- b) memórias ROM e RAM;
- c) uma memória ROM de 32 kB com dados de voz utilizados para a síntese; e
- d) um conversor D/A.

Conforme relatam INOUE et alii (32), eles conseguiram, com

técnica de síntese baseada em ADPCM, taxas de armazenamento de 3 kbps para uma qualidade de voz aceitável e cerca de 9 Kbps para alta qualidade de voz. Além da ADPCM, uma variedade de métodos adicionais foram utilizados para se conseguir uma alta taxa de compressão dos dados. Neste sistema, os principais passos do processo são: a distinção entre sons surdos e sonoros (não-vocalizados e vocalizados) que são codificados usando-se algoritmos diferentes, ou seja:

1) os sons surdos, extraídos dos dados da voz, são codificados na forma de cruzamento por zero. Isto é feito representando as voltagens positivas por 1 e as voltagens negativas por 0 em cada ponto da amostra. O sinal codificado é então simplesmente um conjunto de 1's e 0's. Para cada consoante surda é fixado um nível de voltagem. Ele é alto para as consoantes fortes e baixo para as fracas.

2) os sons sonoros são comprimidos desprezando-se os períodos do tom fundamental ("pitch") redundantes e os fonemas redundantes. Isto é feito do seguinte modo:

A) as vogais são inicialmente divididas em vários blocos. As que apresentam um casamento nos períodos do tom fundamental são agrupadas num mesmo bloco.

B) para cada bloco, é selecionado um tom fundamental juntamente com a amplitude e forma de onda que irá representar todas as vogais deste bloco.

C) o período do tom fundamental selecionado acima é então codificado pelo método ADPCM de 4 bits. O valor do degrau que melhor representa o tom fundamental é escolhido entre os 16 níveis de quantização disponíveis.

D) finalmente, usando o valor de quantização calculado em C), todos os períodos do tom fundamental são trocados pelo representativo. Ao mesmo tempo, a amplitude é ajustada para se manter o envelope do sinal original. Afim de se poder codificar um grande número de períodos de tom fundamental e manter o envelope do sinal original correto, as mudanças na amplitude são codificadas separadamente. Durante a regeneração do sinal de voz, esta informação é usada para aumentar ou diminuir o tamanho do degrau. Com isto, consegue-se aumentar a compressão dos dados.

É importante também notar que o sinal na junção entre as

consoantes e vogais deve ser considerado cuidadosamente. A forma de onda nesta região de transição contém informações importantes para o reconhecimento dos sons, e se perdidas, podem causar um decréscimo significativo na qualidade da voz. Portanto, a compressão dos dados nesta região é difícil e a pura repetição dos períodos de tom fundamental representativo não são possíveis.

III.2.2. Síntese a partir de Parâmetros

As técnicas apresentadas no item anterior, com quantização adaptativa ou predição adaptativa, têm embutido um modelo digital para a produção de voz. Se tal modelo for usado diretamente, é possível conseguir-se maior redução na taxa de armazenamento.

A excitação do trato vocal pode ser produzida por pulsos periódicos ou por ruído branco. Em ambos os casos este trato vocal produzirá uma resposta a esta excitação. Um filtro digital representa neste sistema a resposta do trato vocal a estas excitações que variam no tempo. Portanto este filtro também deve variar no tempo. Os pulsos quase-periódicos são aqueles emitidos pelas cordas vocais nos sons sonoros, e o ruído branco é aquele produzido pela constrição do fluxo de ar na região da boca nos sons surdos. Considerando as situações estacionárias que ocorrem no processo fonatório, o filtro digital pode ser representado por uma função matemática que modela tal situação. Isto origina um sistema de equações cujos parâmetros correspondem às frequências de ressonância do trato vocal, e às larguras de banda de cada ressonância. Para simular este processo que varia no tempo, os parâmetros são também variados ao longo do tempo.

Para que este modelo possa representar o sinal de voz é necessário dispor-se de um meio para a estimativa dos parâmetros a partir de um sinal de voz natural. Isto significa que é necessário um método para se distinguir os intervalos de sons sonoros dos sons surdos, estimar o período do tom fundamental ("pitch") nos sons sonoros e intensidade do sinal de voz e finalmente determinar os parâmetros do filtro digital. Devido a restrições físicas do processo de produção da voz, esses parâmetros necessitam ser estimados somente cerca de 100 a 200

vezes por segundo.

Como são utilizados cerca de 10 parâmetros e o número médio de bits de cada parâmetro é pequeno, se consegue uma redução significativa na taxa de armazenamento ou transmissão.

Existem várias técnicas de estimativa dos parâmetros do modelo original que, como vimos, são obtidos pela análise do sinal de voz e utilizados posteriormente para reconstruírem esse sinal.

As técnicas representativas dessa classe são as HOMOMÔRFICAS de processamento de sinal e as que usam autorregressão ou autocorrelação como LPC, PWC e PARCOR, (citando apenas as mais conhecidas).

Para a síntese homomôrfica, admite-se que o sinal de voz seja a convolução de dois componentes. Um representa a função de excitação do trato vocal e o outro a correspondente resposta desse trato vocal. Partindo-se do fato que a componente relativa à contribuição do trato vocal varia lentamente com a frequência e que a componente relativa à contribuição da excitação varia rápida e periodicamente com a frequência, estas duas componentes podem ser separadas através de filtros apropriados (passa-baixas para a obtenção da resposta ao impulso do trato vocal e passa-altas para a obtenção da excitação). Esta técnica tem sido usada com sucesso na estimativa dos parâmetros do período do tom fundamental ("pitch") e das frequências dos formantes, conseguindo-se taxas de armazenamento de cerca de 600 bps.

Os métodos de predição linear, (LPC, PWC, PARCOR), têm tido um grande sucesso na representação de sinais de voz com boa qualidade e baixas taxas de armazenamento sendo, por exemplo, da ordem de 1200 a 2600 bps.

A técnica LPC utiliza a soma ponderada de n amostras anteriores na estimativa da amostra presente. Estes pesos são calculados para minimizar a energia média do sinal de erro o qual representa a diferença entre a amplitude do sinal de voz atual e a predita. De modo diverso da DPCM, aonde os pesos são calculados apenas uma vez em toda a fala permanecendo fixo, os pesos na LPC são calculados sobre trechos curtos da voz, entre 10 a 30ms, variando a medida que as estatísticas da voz variam. Esta técnica também difere da APC, já que, nesta última, é o sinal de erro (a diferença entre as amostras da forma de onda do

sinal atual e a predita) que é transmitido. Na LPC somente características selecionadas do sinal de erro são utilizadas.

Estes parâmetros indicam o fator de ganho, o tom fundamental ("pitch") e a informação sobre a decisão de utilizar sons sonoros ou surdos, o que permite melhor aproximação do sinal de erro usado para excitar o filtro representado pelos coeficientes de predição e a partir daí gerar a fala sintética.

A análise por correlação parcial (PARCOR) difere da LPC apenas no modo de se calcular os coeficientes de predição. Enquanto a LPC emprega um método que consiste em calcular uma matriz de correlação e em seguida a solução de um conjunto de equações lineares, a PARCOR utiliza o método de treliça que conduz a um caminho alternativo ao cálculo da matriz, obtendo diretamente os parâmetros do filtro sem ter que calcular os coeficientes de predição. O nome PARCOR, que significa correlação parcial, advém da função matemática de correlação cruzada para a obtenção dos parâmetros do filtro e também chamados de coeficientes de correlação parcial.

Já a técnica de codificação paramétrica da forma de onda (PWC) consegue melhorar a qualidade da voz porque, em suma, mantém as relações de fase do espectro e das frequências componentes, preservando a identidade dos sons.

A qualidade da voz da PWC é comparável a da digitalização da forma de onda que reconstrói a amplitude da forma de onda do sinal de voz ao invés das frequências componentes apenas. Porém, a digitalização da forma de onda sem compressão dos dados tem uma taxa de armazenamento muito alta, chegando a ser proibitiva.

A PWC consegue tal efeito por adotar a estratégia de ser dirigida pelo evento (event driven). A questão chave nesta técnica é a deconvolução (separação) da forma de onda original com a da forma de onda da resposta do filtro, desenvolvendo a análise do filtro sobre uma janela de evento. Isto difere da proposta do LPC que analisa o filtro sobre um intervalo fixo de uma janela de 20 ms (para uma frequência de amostragem de 10 kHz). Porém, como o tempo é um evento aleatório em relação aos eventos de fala, isto resulta que a forma de onda sintetizada na saída tem o mesmo conteúdo de frequências do sinal original, mas sem correlação de fase.

Portanto, a primeira tarefa e a mais importante da PWC é de

isolar no tempo os eventos de impulso na glote e usá-los como ponto de partida para as janelas de análise. Usando esta estratégia todos os quadros estão agora corretos em todo o seu comprimento, ou seja, as transições entre as excitações surdas e sonoras e vice-versa iniciarão automaticamente um novo quadro ou uma nova janela de análise.

Mais importante do que baixas taxas de armazenamento, que são possíveis com as técnicas de análise/síntese, é a possibilidade de manipulação das características da fala. Em virtude da fala ser representada pelos seus parâmetros fundamentais é possível, por exemplo, alterar o tom fundamental ("pitch"), a duração de uma palavra como também fazê-las se ajustarem a um contexto particular.

Muito interessante também é a possibilidade de alterar estes parâmetros para produzir o encadeamento natural entre as palavras numa frase, porém isto implica em descobrir as regras e criar algoritmos a fim de que se possa reproduzir num computador a entoação, o ritmo e a cadência da fala natural.

III.3. Síntese por Formantes

A síntese por formantes é também um método paramétrico para modelagem das ressonâncias do trato vocal. Nesta proposta, os parâmetros do espectro de voz variantes no tempo, como a frequência e a energia do sinal, são reconstruídos ou sintetizados. Vários métodos são usados para extrair e codificar os parâmetros do espectro. A banda de frequência, que estes parâmetros definem, são chamados de formantes e representam as principais frequências de ressonância do trato vocal em cada som. Na síntese de voz, estes formantes são produzidas, por filtros analógicos ou digitais. A excitação do filtro, como na técnica LPC, é por impulsos periódicos ou ruído branco.

A síntese por formantes apresenta uma baixa taxa de armazenamento (cerca de 600 bps) e oferece uma boa reprodução das características da fala. A taxa mais baixa (da ordem de 100 bps) se consegue com técnica de junção de fonemas obtidos da síntese por formantes, no qual os parâmetros do espectro são derivados do som básico das palavras. Um elemento chave na síntese por fonema é a tradução do código do fonema para

parâmetros do filtro, o que torna desnecessário a análise do sinal, ou seja, em vez do dicionário de palavras ou frases, teremos um dicionário de fonemas com o qual se poderá sintetizar qualquer texto, sem restrição, bastando para isso regras apropriadas de conversão de texto para fonema.

III.4. Resumo Comparativo

Apresentamos na figura III.1 um quadro de classificação das técnicas de síntese de voz.

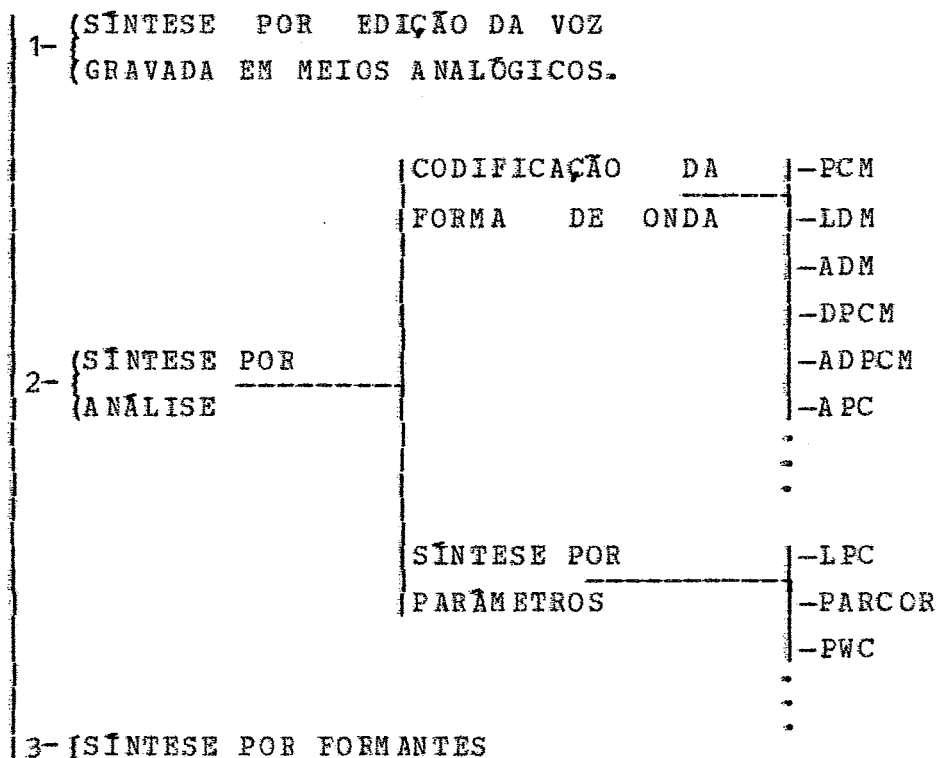


Figura III.1. Técnicas de Síntese de Voz

Na figura III.2 temos um quadro comparativo mostrando as técnicas de síntese de voz em relação a três fatores fundamentais:

- 1) taxa de armazenamento em bps para uma qualidade de voz aceitável;
- 2) complexidade dos métodos de codificação e decodificação;

3) flexibilidade do sistema, ou seja, a capacidade de manipulação dos Elementos da fala.

SÍNTESE POR ANÁLISE

CODIFICAÇÃO DA FORMA DE ONDA

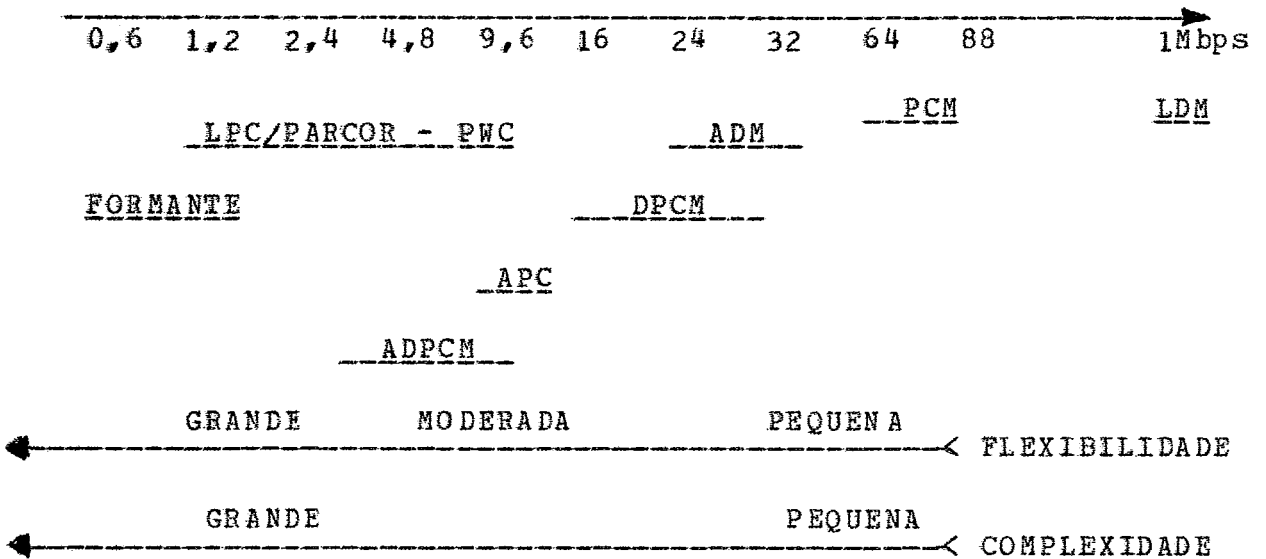


Figura III.2. Esboço comparativo em relação à Taxa de armazenamento, flexibilidade e complexidade

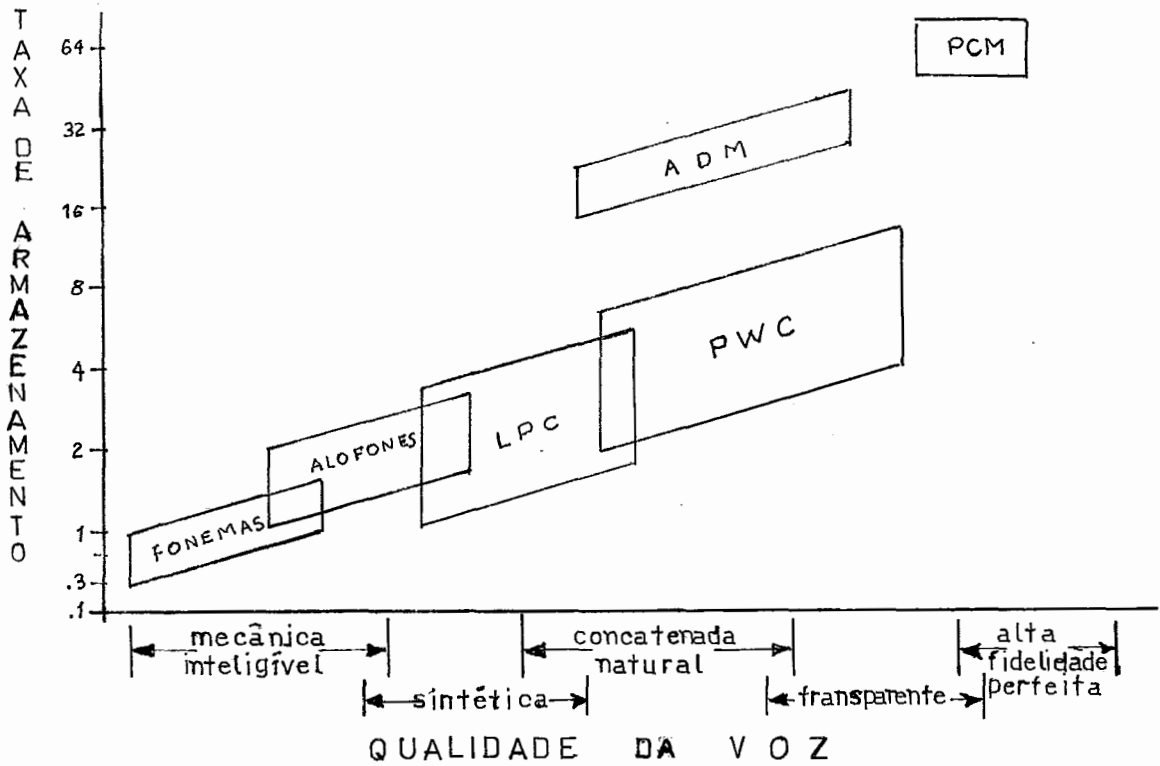


Figura III.3. Taxa de Armazenamento vs. Qualidade da Voz.

Finalmente, na figura III.3, apresentamos as várias técnicas relacionadas pela taxa de armazenamento em função da qualidade da voz, na qual pretendemos comparar o custo de armazenamento em bits por segundo de fala, característico de cada técnica, com a qualidade subjetiva da voz por ela produzida.

IV. Fundamentos Teóricos: Predição Linear da Voz.

IV. 1. Introdução.

Este capítulo introduz o modelo de produção da fala e mostra o emprego da predição linear da voz para a obtenção dos parâmetros do modelo. Com esta apresentação pretendemos ilustrar a formulação matemática em que se baseia esta técnica e que fornece o suporte teórico para a aplicação prática que dela fazemos, qual seja, a de sintetizar espectros de voz. Não é portanto nosso objetivo aprofundar a teoria matemática sobre predição linear mas apenas apresentá-la de modo didático, numa abordagem intuitiva, com maior ênfase na clareza das idéias do que no rigor matemático. Vamos resumir o que a literatura especializada apresenta sobre este assunto, baseando-se principalmente em MARKEL e GRAY (2), RABINER e SCHAFER (3) e MAKHOUL (11) que discutem em profundidade este tema. CAMPOS (1) a utiliza para o desenvolvimento e a realização prática de um sistema de análise e síntese de voz para o Idioma Português.

A predição linear tem aplicação nas mais variadas áreas tecnológicas tais como:

- A) geofísica, na prospecção de petróleo e análises sísmicas;
- B) neurofísica, na análise de eletroencefalogramas e eletrocardiogramas;
- C) teoria da informação, na análise de sinais de radar e na análise e síntese de voz.

Embora o modelo do processo de produção da fala, empregado na predição linear, não leve em conta todas as características observadas da fala humana, e nem se deseja tal modelo devido a sua inevitável complexidade, ele é capaz de representar com fidelidade satisfatória este processo. Convém notar que um critério básico utilizado em modelagem é o de se encontrar relações matemáticas que possam ser usadas para representar uma situação física limitada com um mínimo de complexidade e um máximo de exatidão.

O modelo mais utilizado na representação da manifestação acústica do processo de produção da voz, conforme MARKEL e GRAY (2) e RABINER e SCHAFER (3), é o desenvolvido por G. C. M. FANT em fins de 1950.

Como ponto de partida para o desenvolvimento do modelo, usaremos a fisiologia da fala apenas nos seus aspectos físicos principais, ou seja, as propriedades acústicas da fala.

IV.2. Modelo do Processo Fonatório Humano

O circuito integrado de síntese de voz utiliza um modelo matemático que nos dá uma esquematização do aparelho fonatório humano e do modo como os sons da voz são produzidos. Neste item será apresentado uma descrição simplificada do aparelho fonador humano, das articulações dos sons vocálicos e as suas classificações. Algumas hipóteses simplificadoras são usadas, que consistem em representar o aparelho humano segundo um modelo matemático simples, do qual descreveremos o funcionamento.

IV.2.1. Aparelho Fonatório Humano

A voz é produzida por movimentos voluntários dos órgãos que realizam também as funções de respiração e mastigação. Estes movimentos são organizados e coordenados pelo sistema nervoso central, que os controla através de uma realimentação acústica obtida pelo sistema auditivo, CAMPOS (1), MARKEL e GRAY (2), RABINER e SCHAFER (3), CATER (4) e KUECKEN (5). Após o cérebro ter detectado o sinal de geração da fala, tê-lo analisado e formulado os comandos para a execução pelo sistema vocal, pode ter início a audição da voz e este elo de realimentação é sem dúvida a ligação mais importante de toda a cadeia de produção da fala.

Mas nota-se que é possível também a fala cognitiva sem que se emita qualquer som, como pode estar ocorrendo, por exemplo, com a leitura silenciosa desta página, ou seja, "mentalmente falando e ouvindo" sem que os órgãos vocais disto participem. Assim procedendo, estamos colocando em funcionamento os mecanismos de produção da fala mas desligando dos órgãos os sinais de saída. Ao nos decidirmos a falar uma palavra, comandamos um grande número de órgãos do nosso corpo a iniciarem ações simultaneamente, no que empregamos muito pouco esforço consciente. A complexidade envolvida nestas tarefas subconscientes e a necessidade da sua completa compreensão são as principais barreiras que estão sendo transpostas pelo esforço

sistemático dos pesquisadores para se conseguir uma fala realmente sintética gerada por computadores.

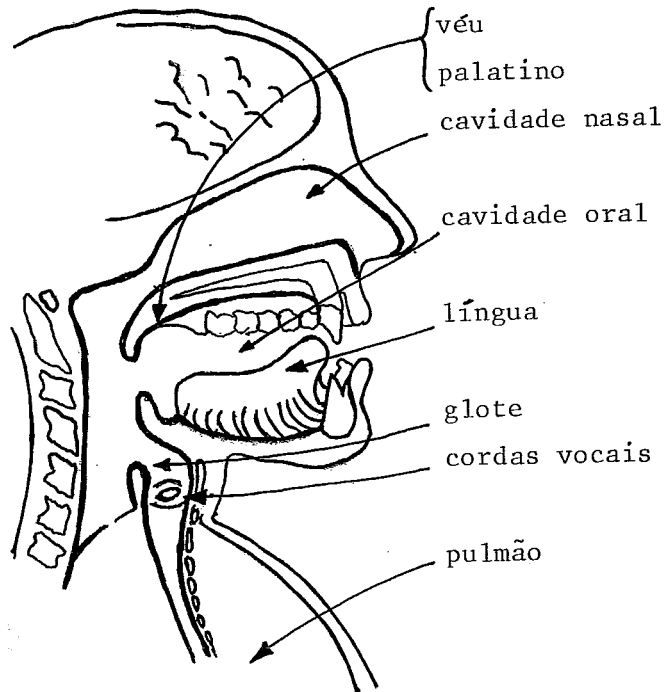


Figura IV.1. Esquema do trato vocal humano.

Na figura IV.1 está representado esquematicamente uma secção sagital do trato vocal aonde se evidenciam os órgãos envolvidos na produção da voz. O sistema é constituído por: (1) pulmões; (2) cordas vocais; (3) glote; (4) cavidade oral; (5) língua; (6) boca; (7) cavidade nasal e (8) véu palatino.

O modelo matemático, mencionado anteriormente, considera praticamente a região vocal, como sendo constituída por um tubo de diâmetro variável e comprimento médio de 17 cm e cavidade ressonante de dimensões variáveis. Para a produção da voz, este tubo acústico é excitado pela passagem do ar fornecido pelos pulmões. A excitação que produz os sons vocalizados ou sonoros é produzida pela vibração das cordas vocais, que modulam o fluxo de ar que, entrando no trato vocal, gera uma sucessão pseudo-periódica de impulsos de forma triangular e de largo espectro de frequências, como ilustrado nas figuras IV.2 e IV.3.

A frequência de vibração das cordas vocais ("pitch") ou tom fundamental varia continuamente ao longo da palavra e esta

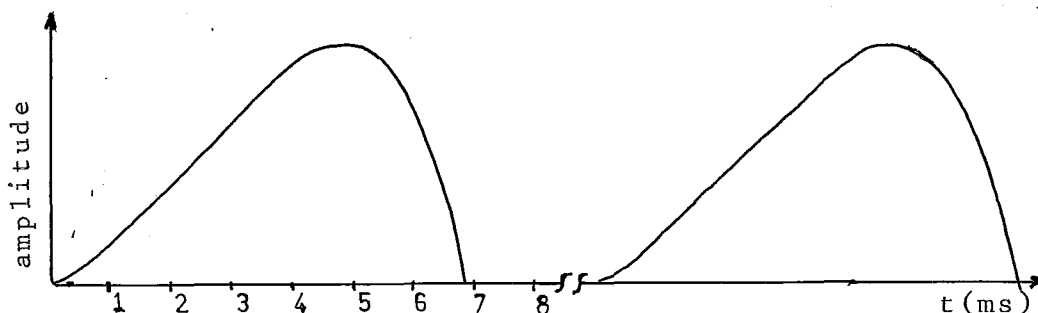


Figura IV.2. Forma de onda dos pulsos na glote.

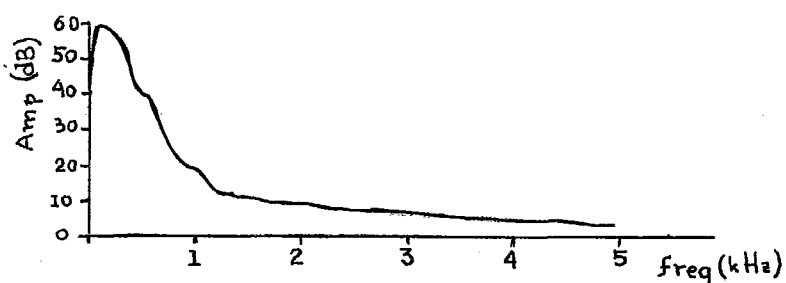


Figura IV.3. Espectro de frequências dos pulsos na glote.

variação é um dos componentes fundamentais da natureza da elocução normal.

Um segundo tipo de excitação do trato vocal é devido à turbulência do fluxo de ar gerado pela constrição ou estreitamento do tubo vocal, geralmente nos lábios ou entre a língua e os dentes. Neste caso esta excitação se assemelha a um "ruído branco" e os sons assim produzidos são chamados de constritivos.

Enfim, se considera também a excitação produzida por uma súbita variação da pressão que se forma em correspondência a um ponto de oclusão do trato vocal. A oclusão pode ocorrer em diversas posições segundo seja provocada pelos lábios, pela língua sobre os dentes ou sob o palato. Uma rápida abertura desta oclusão provoca uma excitação de tipo transitório e tais sons são ditos oclusivos.

Se deve observar que concomitantemente com a excitação constritiva ou oclusiva pode existir a vocalização, que é a vibração das cordas vocais, e que dá origem aos sons

respectivamente constritivos sonoros e oclusivos sonoros. A cada umas das categorias de sons caracterizados pela excitação, ainda pertencem mais sons elementares, que dependem da configuração que assume o trato vocal ao pronunciá-los.

A medida que cada um destes sons se propaga pela região vocal o seu espectro de frequências é alterado pelas ressonâncias que aí ocorrem em função de reflexões de parcelas da energia sonora em propagação. Esta energia refletida entra em fase com algumas das frequências deste espectro ampliando-as e atenuando outras que estiverem em oposição de fase. Estas frequências assim amplificadas são denominadas de formantes. Assim cada som pode ser caracterizado pelas suas formantes, que são em número variado conforme o som, sendo que as três primeiras, normalmente denominadas de f_1 , f_2 e f_3 , são suficientes para caracterizar razoavelmente estes sons, conforme CAMPOS (1).

Estas formantes, portanto, variam em função da forma da região vocal que produz o som. O espectrograma é o modo mais difundido de se estudar estes sons e é empregado normalmente em laboratório de fonética. O espectrograma apresenta graficamente as variações das formantes da elocução de uma frase ao longo do tempo, as suas intensidades e como estão relacionadas.

No trabalho de tese de Geraldo Lino de Campos, CAMPOS (1), são apresentados os espectrogramas de todos os fonemas da Língua Portuguesa Brasileira, como também o da elocução de algumas palavras ou sentenças.

IV.2.2. Processo de Comunicação pela Fala

Na comunicação pela fala, os sinais de voz são compostos de sequências de sons e das transições entre eles, e isto é utilizado como representação simbólica das informações que se quer transmitir. O arranjo destes sons (símbolos) é governado por regras de linguagem. O estudo destas regras e suas implicações na comunicação humana é de competência da Linguística, e o estudo e a classificação dos sons da fala é chamado de Fonética. Estes estudos são de grande importância para o reconhecimento e a síntese de voz. É conveniente entretanto, apresentar as principais classes dos sons da voz antes de discutir em detalhes o modelo matemático dos sinais de voz.

IV.2.3. Os Sons da Voz

A linguagem pensada como sendo constituída de unidades linguísticas básicas que gozam da propriedade de que, se uma unidade é substituída por uma outra numa palavra, o significado da palavra muda. As manifestações acústicas de cada unidade podem porém variar amplamente de pessoa a pessoa e mesmo na própria pessoa em função de diversos fatores como o contexto, o estado emocional do locutor, etc. Os elementos linguísticos básicos são chamados de fonemas e as suas múltiplas variações acústicas de alofones. Os fonemas podem ser pensados como códigos univocamente correspondentes às posições articulatórias de uma certa língua. Os alofones de um dado fonema representam o grau de liberdade acústica permitida na codificação do próprio fonema. A classificação dos sons da voz são feitas em função do modo com que elas são produzidas e da configuração que assume o conduto vocal.

As tabelas IV.I e IV.II ilustram a classificação dos sons com base no tipo de excitação e da zona de articulação, segundo a Nomenclatura Gramatical Brasileira, recomendada pela portaria N.36 de 28 de janeiro de 1959 do MEC.

Nota-se entretanto, que a fala não é constituída de uma sucessão de sons correspondendo cada um a uma configuração bem precisa dos órgãos vocais. Ao contrário, os órgãos vocais estão em contínuo movimento, seja para se posicionarem de uma configuração de um fonema a de outro, seja porque alguns fonemas, como aqueles oclusivos ou os ditongos, não correspondem a nenhuma configuração estacionária, mas sim, são caracterizados pela evolução contínua da sua configuração.

		zona de articulação ou posição da língua		
timbre ou construção	tipo	anterior	média ou central	posterior
aberto (baixa)	oral	/ê/ eco	/a/ aba	/õ/ ova
	nasal		/a/ pão	
fechado (alta)	oral	/i/ ivo		/u/ uva
	nasal	/i/ indo		/u/ bumbo
reduzido (média)	oral	/e/ eu		/o/ doce
	nasal	/e/ ente		/o/ tom

Tabela IV.1. V o g a i s .

		ponto de articulação					
modo de articulação		bila- biais	labio- dentaís	linguo- dentaís	alveo- lares	palataís	vela- res
oclusiva	sonora	/b/bar		/d/dado			/g/gãs
	surda	/p/pai		/t/tapa			/k/cal
C O N S T R I T I V A S	frica		/v/vaso	/z/zero		/j/jato	
	tivas		/f/fado	/s/sapo		/x/ chã	
	late-	sonora			/l/lua	/lh/alho	
	rais	surda					
	vibr-	sonora			/r/ira		/rr/ri
antes	surda						
nasais	sonora	/m/mar		/n/nada		/nh/unha	
	surda						

Tabela IV.2. C o n s o a n t e s .

IV.2.4. Modelo Matemático do Processo Fonatório.

O aparelho fonatório pode ser visualizado como sendo constituído por uma fonte de excitação e um sistema de filtros representado por um tubo de secções variáveis, com paredes rígidas, que modela espectralmente a excitação segundo a ressonância do conduto vocal. Vide figura IV.4.

A fonte de excitação pode ser formada por um gerador de

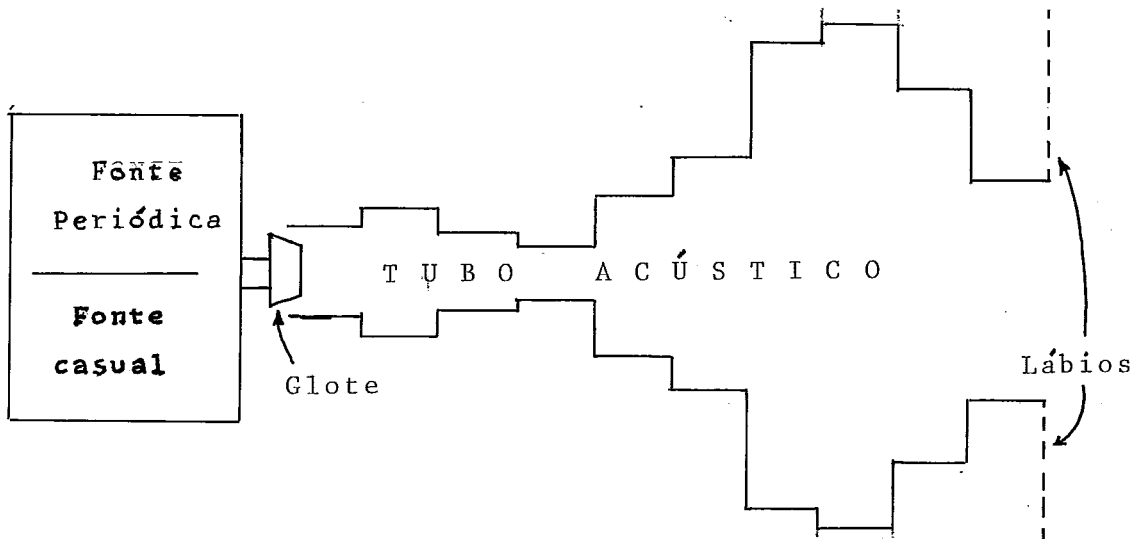


Figura IV.4. Representação do aparelho fonatório mediante tubo acústico não uniforme.

pulsos periódicos, para o caso de sons vocalizados ou sonoros, ou um gerador de ruído branco, no caso de se produzir sons não vocalizados ou surdos.

Esta é uma esquematização inevitável enquanto não se tiver à disposição algoritmos válidos capazes de calcularem a relação entre as componentes periódicas e aleatórias. Deve-se também observar que as duas componentes devem excitar funções de transferências diferentes. Pode-se assumir, além disso, que o espectro do sinal de excitação seja branco e englobe na função de transferência do tubo, que trata do conduto vocal, também as contribuições espectrais da forma de onda da glote e do fenômeno de irradiação da boca.

Para representar a evolução temporal do conduto vocal, o tubo acústico deve variar a própria função de transferência

continuamente. Todavia pode se fazer a hipótese de que a configuração do tubo possa variar a intervalos de tempo discretos, levando em conta o fato que o aparelho fonatório humano tem uma certa inércia, podendo o seu movimento ser então imaginado como uma sequência de tratos estacionários breves, com variações suaves entre duas sequências consecutivas.

Os intervalos de tempo no qual o tubo vocal pode ser considerado estacionário variam entre 5ms a 20ms conforme CAMPOS (1) e SCAGLIOLA e VIVALDA (7).

O modelo de tubo acústico representa um filtro cuja função de transferência tem apenas polos e, mais precisamente, tantos quantos forem as secções do tubo. O modelo matemático do processo de fonação assume assim a forma de um filtro com parâmetros variáveis no tempo, a intervalos discretos, excitado de dois modos diferentes: impulsos periódicos ou impulsos aleatórios, (vide figura IV.5).

Esse modelo, portanto, resulta completamente definido quando

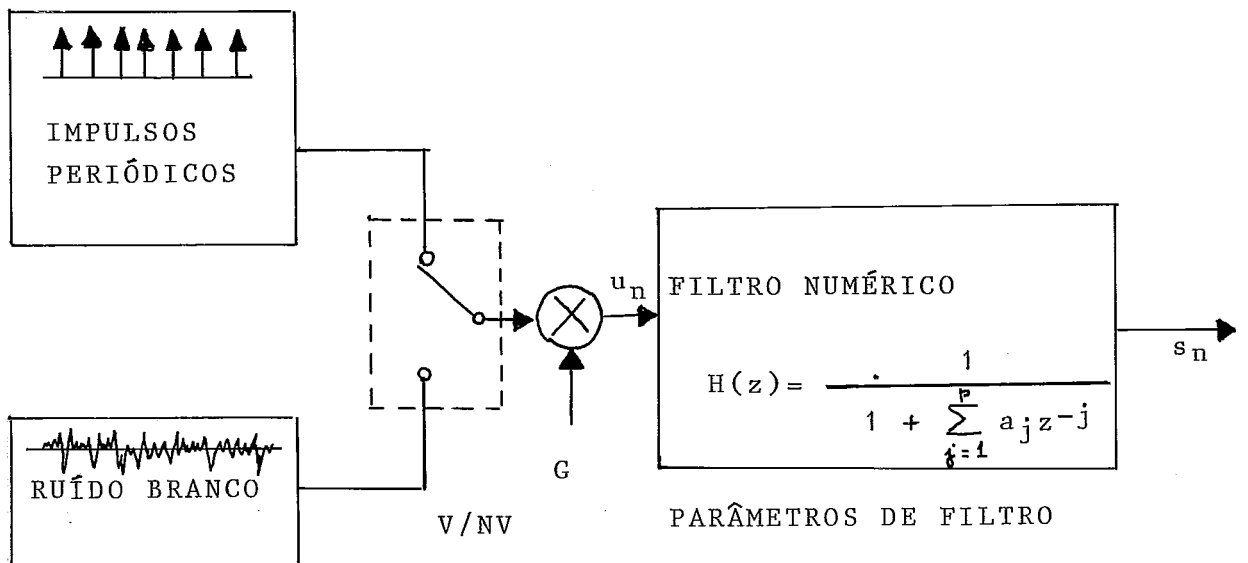


Figura IV.5. Modelo numérico do aparelho fonatório.

se conhecem todos os seus parâmetros, e, em particular, os parâmetros descritivos do filtro: o fator de ganho G que regula a intensidade sonora de saída, o valor binário de decisão V/NV na escolha da fonte de excitação (se será som vocalizado ou não)

e, no caso de sons vocalizados, qual a frequência de repetição dos impulsos de excitação que simulam as vibrações da glote e, finalmente, os p coeficientes de predição.

IV.2.4.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo

Para se produzir uma fala utilizando o modelo acima descrito é necessário alimentar este sistema com os vários parâmetros que o farão reproduzir o som da voz humana. Como vimos, estes sons variam continuamente no tempo mas podem ser aproximados por uma sequência discreta de segmentos estacionários desde que garantam pequenas variações entre segmentos sucessivos. Para cada segmento destes deve ser fornecido um conjunto completo de parâmetros. O resultado final do sistema pode ser comparado analogamente a um filme de cinema. O movimento contínuo percebido na tela é uma sucessão de segmentos estacionários ou quadros que são projetados durante um curto intervalo de tempo. Os quadros sucessivos apresentam pequenas variações em relação ao anterior. Assim, uma cena que se desenvolve na tela pode ser produzida por dois modos: no primeiro, ela seria o resultado da filmagem da cena real, ou seja, a amostragem da imagem contínua obtida por uma sequência de fotografias; no segundo, a cena poderia ser construída por desenhos sucessivos, como no caso de desenhos animados. Da mesma maneira pode se pensar no sistema de síntese de voz aonde no primeiro caso os parâmetros são obtidos a partir da análise prévia da voz, e, no segundo, esses parâmetros seriam "construídos" a partir de algoritmos ou regras de conversão texto/fone, valendo-se de elementos fonéticos, cujos parâmetros foram obtidos, naturalmente, analisando-se previamente a fala de uma pessoa real.

Os parâmetros do modelo do sistema de síntese considerado são determinados, a partir da análise do sinal de voz real, no intervalo de tempo em que se considera a configuração do trato vocal estacionária. Basicamente o sistema de análise emprega um filtro inverso ao adotado no sistema de síntese e que funciona ao contrário, isto é, fornecendo os parâmetros no intervalo analisado.

IV.3. Análise da Voz por Predição Linear.

IV.3.1. Introdução.

O modelo linear de produção da voz, como foi desenvolvido por FANT, conforme citado por MARKEL e GRAY (2), está mostrado na figura IV.6.

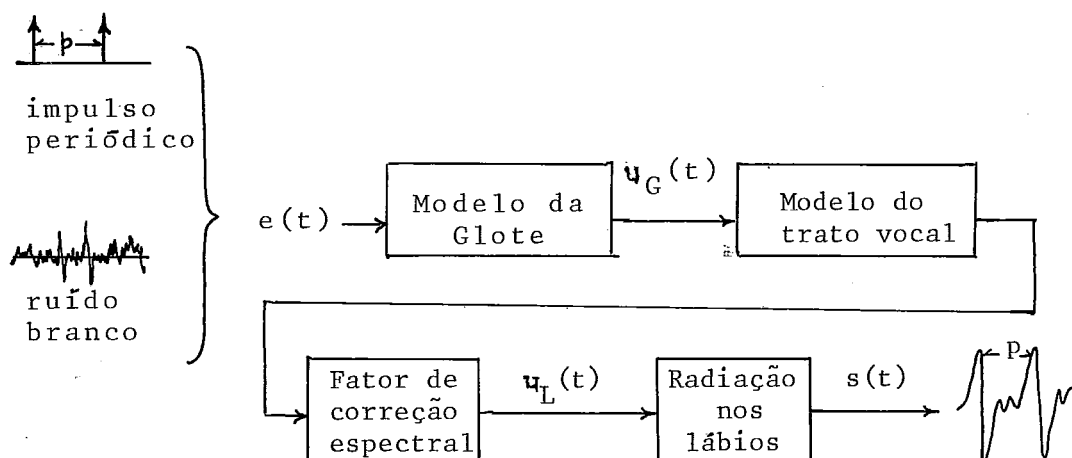


Figura IV.6. Modelo linear de produção da fala.

Neste modelo, a forma de onda do sinal da glote $u_G(t)$ é obtida como saída de um filtro passa-baixa de dois polos com frequência de corte estimada em 100 Hz. A função $e(t)$ introduzida no filtro pode ser um trem de pulsos com período p para sons sonoros (vocalizados) ou ruído branco para sons surdos (não vocalizados). Nota-se aqui que este modelo representa um caso particular, pois não há a possibilidade de mixagem dos sons sonoros com os fricativos, ou em outras palavras, impulsos periódicos com ruído branco, ou ainda o acoplamento de um outro filtro para a modelagem dos sons nasais.

Para se aplicar a predição linear (que é também um método de processamento de sinais digitais) na análise do espectro de um sinal analógico de voz $s(t)$ que varia continuamente no tempo, é necessário representar este sinal por uma sequência de números. Isto é feito normalmente amostrando-se o sinal $s(t)$ com uma frequência de amostragem pelo menos duas vezes maior que F_N , onde F_N (conhecida como frequência de Nyquist) é a maior frequência da banda espectral de $s(t)$ que pode ocorrer. A

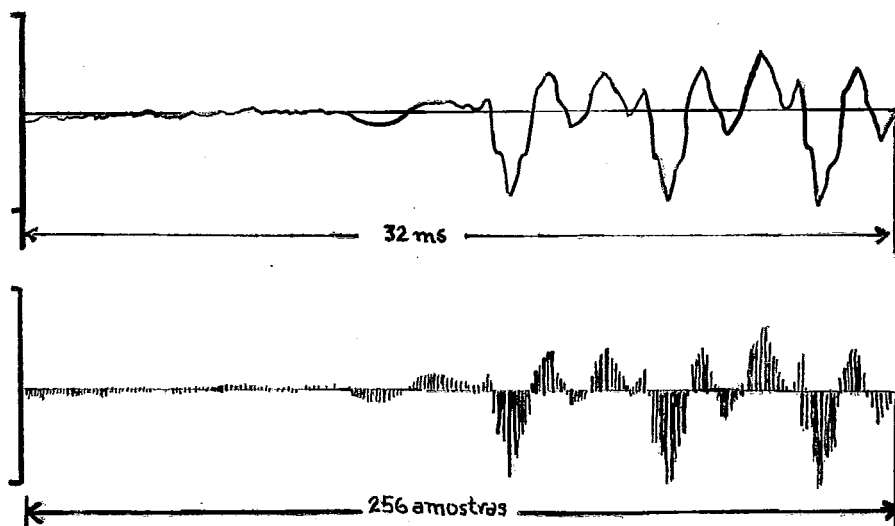


Figura IV.7. Um trecho de sinal de voz e o conjunto correspondente de amostras com $T = 1/8000$ s.

figura IV.7 mostra um trecho da forma de onda de voz e o conjunto correspondente de amostras com período $T = 1/8000$ s. Ocorre que se o espectro de $s(t)$ contiver frequências maiores do que F aparecerá o que se denomina de "aliasing". Isto significa que as frequências altas assumem a identidade das baixas frequências, ou seja, há um rebatimento das frequências maiores que F fazendo aparecer imagens destas junto às baixas frequências da banda. Exemplificando, pode-se observar um efeito semelhante que ocorre no cinema com as rodas das carruagens, que ao ultrapassarem uma certa velocidade, parecem começar a girar para trás após terem parado momentaneamente, embora a carruagem se encontre em desabalada carreira. Este fenômeno se dá em virtude da frequência de rotação dos raios da roda igualar e depois superar a frequência da amostragem fotográfica.

Em notação matemática, a condição sob a qual uma sequência de amostras é uma representação única do sinal analógico original, é dada pelo teorema da amostragem, resumido a seguir:

"Se um sinal $s(t)$ tem uma transformada de Fourier de banda limitada $S(j\Omega)$, tal que $S(j\Omega) = 0$ para $\Omega \geq 2\pi F$, então $s(t)$ pode ser univocamente reconstruído a partir das amostras

igualmente espaçadas $s(nT)$, $-\infty < n < \infty$, se $1/T > 2F_N$."

Série temporal e também a denominação atribuída à função $s(nT)$, onde n é uma variável inteira e T é o período de amostragem. A frequência de amostragem é então $f(s) = 1/T$.

Tratando-se agora da modelagem de sistemas, vemos que um modelo paramétrico bem sucedido do comportamento de um sinal pode ser utilizado para diferentes aplicações como: realizar previsões, controlar o sistema ou compactar dados.

O sucesso do emprego da predição linear após sua introdução em 1967 e da larga utilização que dela se faz, conforme apontado por SCHROEDER (18), está sustentado por dois fatos, o primeiro fundamentado na linguística e o segundo na tecnologia:

- 1) a maioria dos sons da voz podem ser modelados adequadamente como sendo emanados de um filtro contendo apenas polos (trato vocal excitado por um lado com pulsos periódicos);
- 2) avanços na eletrônica de estado sólido têm permitido que operações complexas sejam realizadas em tempo real a custos bastante razoáveis.

IV.3.2. Cálculo dos Coeficientes de Predição.

No modelo considerado para a predição do espectro da voz, $s(n)$ é o sinal de saída do sistema obtido em função de um sinal de entrada $u(n)$ desconhecido, tal que a seguinte relação se verifica:

$$s(n) = - \sum_{k=1}^p a(k) s(n-k) + G \sum_{l=0}^q b(l) u(n-l), \quad b(0) = 1 \quad (\text{IV.1})$$

onde os $a(k)$, $1 \leq k \leq p$, $b(l)$, $1 \leq l \leq q$ e G são os parâmetros do sistema pressuposto. A equação (IV.1) estabelece que a saída $s(n)$ é uma função linear das saídas anteriores (passadas) e das entradas presentes e passadas. Isto significa que o sinal $s(n)$ é predizível pela combinação linear das amostras anteriores desde que o sistema varie lentamente, daí o nome de "predição linear".

A equação (IV.1) também pode ser especificada no domínio da frequência utilizando-se a transformada z em ambos os lados da

equação.

Tal como a transformada de Laplace, que é uma representação exata de uma função contínua no tempo, a transformada z é uma

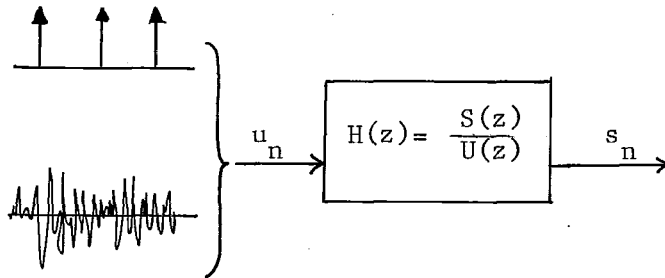


Figura IV.8. Modelo geral do sistema.

representação exata de uma sequência de números.

Se $H(z)$ é a função de transferência do sistema representado na figura IV.8, então a equação (IV.1) se transforma em:

$$H(z) = S(z) / U(z) = G \frac{1 + \sum_{l=1}^{q} b(l)z^{-l}}{1 + \sum_{k=1}^{p} a(k)z^{-k}} \quad (\text{IV.2})$$

onde

$$S(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s(n) z^{-ln} \quad (\text{IV.3})$$

é a transformada z de $s(n)$, e $U(z)$ é a transformada z de $u(n)$. $H(z)$ em (IV.2) é a função de transferência do modelo geral contendo zeros e polos. Os zeros são as raízes do polinômio do numerador e os polos são as raízes do polinômio denominador.

Do modelo geral podemos obter dois casos especiais, quando a excitação é por ruído branco:

- 1) modelo "sô de zeros" onde $a(k) = 0$, $1 \leq k \leq p$;
- 2) modelo "sô de polos" onde $b(l) = 0$, $1 \leq l \leq q$.

O modelo "sô de zeros" é conhecido na estatística como modelo de média móvel (MA) e o modelo "sô de polos" por modelo

autorregressivo (AR) .

O modelo de polos e zeros é denominado então de autorregressivo de média móvel (ARMA) .

Antes de passarmos aos métodos de obtenção dos parâmetros do modelo "sô de polos", queremos apresentar as razões determinantes para sua adoção na análise dos sinais de voz.

A inconveniência do modelo geral está basicamente na sua complexidade, já que podem ocorrer tanto polos como zeros na função de transferência, o que significa que, para a determinação dos $a(k)$ e $b(l)$, teremos então que resolver um sistema de $p + q$ equações não lineares, implicando também em maior complexidade computacional e na ausência de métodos heurísticos.

Por outro lado, sabe-se que nos sons sonoros ou vocalizados sem componentes nasais, a função de transferência do filtro digital não apresenta zeros o que por si só já é uma boa razão para a adoção do modelo "sô de polos". Além disso, nos outros sons com componentes nasais e aqueles gerados pela excitação com ruído branco, podem ocorrer zeros na função de transferência. Todos estes zeros situam-se dentro do círculo unitário no plano z e podem ser aproximados, portanto, por um certo número de polos no denominador da função de transferência. Portanto cada zero da forma $(1 - az^{-1})$ pode ser aproximado por $1 / (1 + az^{-1} + az^{-2} + \dots)$ desde que $|a| < 1$. Outra razão é que os zeros tem menor importância na percepção do som que os polos. Os zeros alteram apenas a forma do espectro enquanto que os polos são responsáveis pela determinação das frequências de ressonância, que caracterizam então as frequências formantes, ou simplesmente, formantes dos sons da voz.

IV.3.3. Cálculo dos Parâmetros para a Estimativa do Espectro usando o Modelo sô de Polos.

No modelo "sô de polos", o sinal $s(n)$ é obtido pela combinação linear dos valores anteriores mais o sinal de entrada $u(n)$, conforme estabelece a relação:

$$s(n) = - \sum_{k=1}^p a(k) s(n-k) + Gu(n) \quad (\text{IV.4})$$

onde G é o fator de ganho. A fig. IV.9 mostra esse modelo "só de polos" no domínio do tempo e a figura IV.10 esse mesmo modelo no domínio da frequência. A função de transferência em (IV.2) se

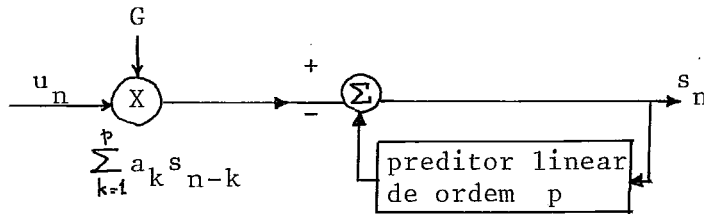


Figura IV.9. Modelo discreto do sistema no domínio do tempo.

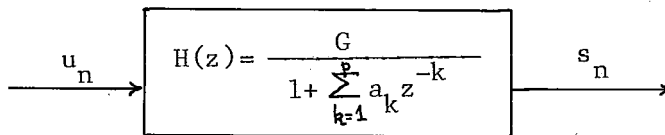


Figura IV.10. Modelo discreto do sistema no domínio da frequência

reduz agora neste modelo a:

$$H(z) = G / \left(1 + \sum_{k=1}^p a(k) z^{-k} \right) \quad (IV.5)$$

O problema que se apresenta então é o de determinar de algum modo o ganho e os coeficientes de predição $a(k)$ de um determinado sinal $s(n)$. Colocando de outra forma fica a questão: Dado p valores anteriores de um processo estacionário $s(n-k)$, $k=1, \dots, p$, qual é, no domínio do tempo, a melhor estimativa - no sentido de minimização do erro quadrático médio - da amostra $s(n)$ atual? Ou, de outro modo, escrevendo

$$s(n) = -\{a(1)s(n-1) + a(2)s(n-2) + \dots + a(p)s(n-p)\} + e(n) \quad (IV.6)$$

então, que conjunto de $a(k)$ irá minimizar o erro quadrático médio $\overline{e^2(n)}$? (Aqui a barra representa a média em n).

Antes de prosseguirmos na descrição dos vários métodos de solução, vamos procurar situar objetivamente o problema, na tentativa de visualizar o alvo pretendido. Queremos ressaltar que a predição linear se aplica a uma infinidade de processos e que não pretendemos discutí-la amplamente e nem mostrar todos os métodos de solução dos coeficientes $a(k)$. Ademais, como a voz não é um processo estacionário e nem determinístico mas pode ser considerado como localmente estacionário, isto nos conduz a uma unificação dos vários métodos de solução que interessam ao processamento de voz. Esta unificação conduz a duas formulações fundamentais para estimativa dos parâmetros $a(k)$:

o método de autocorrelação;

o método de covariância.

Pelas hipóteses simplificadoras expostas acima e notando-se ainda que no caso de sinal estacionário $R(t, t') = R(t-t')$, onde R é uma sequência de autocorrelação de um processo estacionário, os métodos se resumem ao de autocorrelação.

Designando-se então por E o erro quadrático total podemos escrevê-lo a partir da equação (IV.6), como:

$$E = \sum_n e^2(n) = \sum_n [s(n) + \sum_{k=1}^p a(k)s(n-k)]^2. \quad (\text{IV.7})$$

Vamos, primeiramente, minimizar E sem especificar o intervalo de soma n . Assim, este erro E é minimizado fazendo-se:

$$\partial E / \partial a(i) = 0, \quad 1 \leq i \leq p. \quad (\text{IV.8})$$

Das equações (IV.7) e (IV.8) se obtém:

$$\sum_{k=1}^p a(k) \sum_n s(n-k)s(n-i) = - \sum_n s(n)s(n-i), \quad 1 \leq i \leq p \quad (\text{IV.9})$$

o conjunto de equações em (IV.9) é conhecido na terminologia de mínimos quadrados como equações normais e que para qualquer

definição do sinal $s(n)$ é um conjunto de p equações a p incógnitas que podem ser resolvidas pelos coeficientes de predição $\{a(k), 1 \leq k \leq p\}$ que minimizem E na equação (IV.7).

O erro quadrático total mínimo, designado por $E(p)$, é obtido expandindo-se a equação (IV.7) e substituindo-a em (IV.9) resulta em:

$$E(p) = \sum_n s^2(n) + \sum_{k=1}^p a(k) \sum_n s(n)s(n-k). \quad (\text{IV.10})$$

Especificando-se agora o intervalo de soma n , que neste caso onde empregamos o método de autocorrelação, é $-\infty < n < \infty$, o que faz com que possamos escrever as equações (IV.9) e (IV.10) do seguinte modo:

$$\sum_{k=1}^p a(k) R(i-k) = -R(i), \quad 1 \leq i \leq p \quad (\text{IV.11})$$

$$E(p) = R(0) + \sum_{k=1}^p a(k) R(k) \quad (\text{IV.12})$$

aonde

$$R(i) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s(n)s(n+i). \quad (\text{IV.13})$$

Este $R(i)$ é a função de autocorrelação no domínio do tempo do sinal $s(n)$. Notamos também que $R(i)$ é uma função par, ou seja

$$R(i) = R(-i). \quad (\text{IV.14})$$

Os coeficientes $R(i-k)$ formam uma matriz de autocorrelação. Esta é uma matriz de Toeplitz simétrica. (Uma matriz de Toeplitz é aquela em que todos os elementos ao longo de uma dada diagonal, são iguais).

Ocorre, entretanto, na prática, que o sinal $s(n)$ é conhecido somente num intervalo finito, ou por outra, que estamos apenas interessados no sinal num intervalo finito.

Uma forma de obtermos tal aproximação, reduzindo-se o efeito

de "derretimento", que ocorre no espectro ao zerarmos o sinal fora da janela, é de multiplicar o sinal $s(n)$ por uma função de enquadramento $w(n)$ obtendo-se $s'(n)$, que é zero fora do intervalo $0 \leq n \leq N-1$. (O termo "derretimento" -"splattering"- advém da sensação visual, onde, no gráfico, os picos agudos do espectro se tornam arredondados e os menores desaparecem, como se o desenho estivesse derretendo. Isto ocorre devido ao fato de se desprezar a contribuição espectral das componentes do sinal fora do segmento da janela). Ou seja:

$$s'(n) = \begin{cases} s(n)w(n), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (\text{IV.15})$$

A função de autocorrelação é dada então por:

$$R(i) = \sum_{n=0}^{N-1-i} s'(n) s'(n+i), \quad i \geq 0. \quad (\text{IV.16})$$

A função de enquadramento $w(n)$ mais apropriada para sinais de voz, devido a estas apresentarem sons transientes com intervalos estacionários de curta duração, com somente um ou dois períodos do tom fundamental ou "pitch", é a função de Hamming, que é dada pela relação:

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos(2\pi n / (N-1)), \quad 0 \leq n \leq N-1. \quad (\text{IV.17})$$

IV.3.4. Métodos de Cálculo dos Coeficientes de Predição

Existem dois modos de conduzir o problema do cálculo dos coeficientes de predição $a(k)$, $1 \leq k \leq p$. O primeiro é por métodos diretos e o segundo por métodos iterativos. Neste segundo caso, começa-se o processo com uma estimativa inicial (um "chute") da solução. Em geral, os métodos iterativos requerem maior computação para se atingir o grau de convergência, do que os métodos diretos. Todavia, se se lograr um bom "chute" inicial, se poderá atingir a solução em poucas iterações. Estes procedimentos adaptativos se aplicam ao processamento de registros de dados muito longos onde a solução deve convergir muito antes da análise de todos os dados. Aqui a

utilização dos conceitos de filtros de Kalman são muito úteis na obtenção de soluções adaptativas.

No caso de sinais de voz, utilizaremos os métodos diretos. Por esta abordagem teremos de resolver um sistema de p equações a p incógnitas, como mencionado anteriormente.

Existem vários métodos diretos para se realizar os cálculos necessários, tais como o método de redução de Gauss ou de eliminação, o método de redução de Crout, etc. Estes métodos gerais requerem " $p^3/3 + O(p^2)$ " operações (multiplicações ou divisões) e p^2 posições de memória.

Um método que consegue diminuições significativas no tempo de processamento e no espaço de memória requeridos é o de se resolver as equações normais de autocorrelação da equação (IV.11) expandindo-as na forma de matriz. Estas reduções são conseguidas graças as propriedades de simetria e de formarem uma matriz de Toeplitz. Escrevendo-a a seguir, temos:

$$\begin{array}{cccccccc|ccc}
 R(0) & R(1) & R(2) & \cdot & \cdot & \cdot & R(p-1) & | & a(1) & | & R(1) \\
 R(1) & R(0) & R(1) & \cdot & \cdot & \cdot & R(p-2) & | & a(2) & | & R(2) \\
 R(2) & R(1) & R(0) & \cdot & \cdot & \cdot & R(p-3) & | & a(3) & | & R(3) \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & | & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & | & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & | & \cdot \\
 R(p-1) & R(p-2) & R(p-3) & \cdot & \cdot & \cdot & R(0) & | & a(p) & | & R(p)
 \end{array} \quad (IV.18)$$

Levinson desenvolveu um método recursivo elegante para a solução deste tipo de equação. O método de Levinson assume que o vetor coluna do lado direito da matriz (IV.18) é um vetor-coluna geral.

Utilizando o fato de que o vetor-coluna corresponde aos mesmos elementos encontrados na matriz de autocorrelação, surgiu outro método atribuído a Durbin que é duas vezes mais rápido do que o de Levinson. Este método requer somente $2p$ posições de memória e $p^2 + O(p)$ operações o que representa uma considerável economia em relação aos métodos gerais.

O algoritmo recursivo especificado a seguir é conhecido como de Durbin-Levinson:

$$E(0) = R(0)$$

(IV.19a)

$$k(i) = -(R(i) + \sum_{j=1}^{i-1} a^{(i-1)}(j) R(i-j)) / E(i-1) \quad (\text{IV.19b})$$

$$a^{(i)}(i) = k(i) \quad (\text{IV.19c})$$

$$a^{(i)}(j) = a^{(i-1)}(j) + k(i)a^{(i-1)}(i-j), \quad 1 \leq j \leq i-1 \quad (\text{IV.19d})$$

$$E(i) = (1 - k^2(i)) E(i-1) \quad (\text{IV.19e})$$

As equações (IV.19b) a (IV.19d) são resolvidas recursivamente para $i=1, 2, \dots, p$ e a solução final é dada por:

$$a(j) = a^{(p)}(j), \quad 1 \leq j \leq p. \quad (\text{IV.19f})$$

Os parâmetros intermediários $k(i)$, $1 \leq i \leq p$, são conhecidos na área de literatura estatística como coeficientes de correlação parcial, e podem ser interpretados como a correlação parcial (negativa) entre $s(n)$ e $s(n+i)$ mantendo-se $s(n+1), \dots, s(n+i-1)$ fixos. A denominação de coeficientes de reflexão com a qual também são conhecidos os $k(i)$ provém da teoria de linhas de transmissão onde estes $k(i)$ podem ser considerados como os coeficientes de reflexão das fronteiras entre duas secções do meio de transmissão com impedâncias $Z(i)$ e $Z(i+1)$ de onde se pode obter a relação:

$$k(i) = [Z(i+1) - Z(i)] / [Z(i+1) + Z(i)]. \quad (\text{IV.20})$$

A função de transferência $H(z)$ pode então ser considerada como uma sequência de secções com relação de impedância obtida de (IV.20) e dada por:

$$Z(i+1)/Z(i) = [1 + k(i)]/[1 - k(i)], \quad 1 \leq i \leq p. \quad (\text{IV.21})$$

Isto também vale no caso de um tubo acústico sem perdas com p secções, onde a relação entre as impedâncias é dada pelo inverso

da razão entre as áreas das secções retas consecutivas. Isto tem tido uma larga aplicação na modelagem do processo de produção da fala, dado que o trato vocal pode ser representado por um tubo acústico sem perdas e com p secções. As áreas $\{A(i)\}$ de cada secção reta do tubo são escolhidos de modo a se aproximar da função de área do trato vocal $A(x)$, como mostra a figura IV.11.

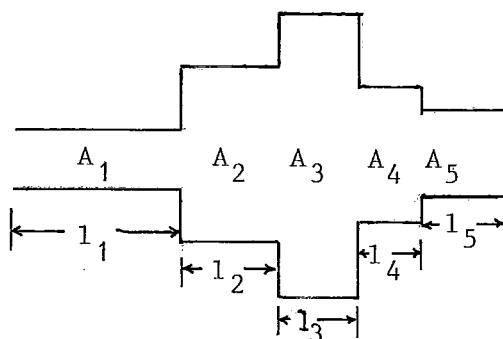


Figura IV.11. Concatenação de 5 tubos acústicos sem perdas.

Podemos notar que a razão

$$k(i) = [A(i+1) - A(i)] / [A(i+1) + A(i)] \quad (\text{IV. 22})$$

é a quantidade refletida da onda de propagação no tubo pela i -ésima junção, daí o nome de coeficientes de reflexão.

Outra constatação notável é que o modelo de tubo sem perdas tem muitas propriedades em comum com filtros digitais. Em outras palavras, pode ser mostrado também que a função de transferência do modelo de tubo sem perdas tem um atraso na propagação correspondente ao número de secções do modelo e que também não apresenta zeros, mas somente polos. Estes polos, propriamente ditos, definem as ressonâncias ou formantes do modelo de tubo sem perdas. A equação (IV.22) evidencia também que $|k(i)| \leq 1$, $1 \leq i \leq p$, pois como as áreas $A(i)$ são quantidades sempre positivas, o numerador será sempre menor do que o denominador em módulo.

IV.3.5. Cálculo do Ganho

Uma vez determinados os preditores $a(k)$, através da solução da matriz de autocorrelações, podemos examinar agora a questão do ganho G . Para se determinar G , podemos começar comparando as equações (IV.4) e (IV.6), onde vemos que o único sinal de entrada $u(n)$ que resultará no sinal de saída $s(n)$ é aquele onde $Gu(n) = e(n)$, isto é o sinal de saída é proporcional ao sinal de erro. Para qualquer outra entrada $u(n)$ a saída do filtro $H(z)$ será diferente de $s(n)$. Porém, se estabelecermos que qualquer que seja $u(n)$ a energia do sinal de saída deve igualar a do sinal original $s(n)$, podemos, pelo menos, especificar a energia total no sinal de entrada. Dado que o filtro $H(z)$ é fixo, fica estabelecido, pelo exposto acima, que a energia do sinal de entrada $Gu(n)$ deve igualar a energia total do sinal de erro, que é dado por $E(p)$ na equação (IV.12).

Examinando a resposta do filtro $H(z)$ para dois tipos especiais de sinais de entrada: impulso determinístico e ruído branco estacionário, pode-se obter uma compreensão mais profunda do comportamento do filtro e das suas propriedades no domínio do tempo para este modelo "só de polos". O ganho de entrada G é determinado então como um subproduto da análise por autocorrelação.

IV.3.6. Estabilidade do Filtro

Após os cálculos dos parâmetros do modelo, nos resta analisar a questão da estabilidade do filtro $H(z)$, pois é uma questão importante em muitas aplicações onde se inclui a de processamento da voz. A literatura afirma que um modelo "só de polos" é estável se todos os polos estiverem contidos dentro do círculo unitário (neste caso ele é também um filtro de fase mínima).

Os polos de $H(z)$ são simplesmente as raízes do polinômio $A(z)$ do denominador, onde

$$A(z) = 1 + \sum_{k=1}^p a(k) z^{-k} \quad (\text{IV.23})$$

e

$$H(z) = G / A(z).$$

(IV. 24)

$A(z)$ é também conhecido como filtro inverso ou filtro de síntese. Aqui aparece mais uma aplicação dos coeficientes de reflexão $k(i)$, pois pode-se demonstrar que $|k(i)| \leq 1$ é uma condição necessária e suficiente para garantir que todas as raízes do polinômio $A(z)$ estejam dentro do círculo unitário e portanto garantindo que o filtro $H(z)$ é estável. Uma ulterior análise comparativa entre os métodos de autocorrelação até aqui adotado e os de covariância apenas mencionado, é que no cálculo dos preditores $a(k)$ pelo método de autocorrelação pode-se garantir a estabilidade do sistema para processamento da voz, dado que as condições para a estabilidade explicitada acima se verificam. Pode-se demonstrar também que a garantia da estabilidade não existe quando se calcula os $a(k)$ pelo método de covariância.

Outra característica notável é que favorece a utilização dos $k(i)$ como o melhor conjunto de parâmetros para representar um sinal de voz é que os valores dos coeficientes de reflexão $k(i)$, $i < p$, não se alteram a medida que se aumenta p , o que não ocorre com os $a(i)$. Isto significa que não é preciso recalcular os $k(i)$ já obtidos se quisermos aumentar o número de secções do tubo, ou a ordem do preditor.

IV. 3.7. Solução por Filtro em Treliza

Como vimos, tanto o método de autocorrelação como o de covariância consistem basicamente em duas etapas:

- 1) Cálculo dos valores da matriz de correlação;
- 2) Solução de um conjunto de equações lineares.

Em aplicações no processamento de voz estes métodos vêm sendo amplamente utilizados com grande sucesso. Entretanto, mais recentemente, surgiu uma outra classe de métodos, denominados de métodos de treliza, onde as duas etapas acima são combinadas num algoritmo recursivo para a determinação dos parâmetros do preditor linear. Para vermos como estes métodos se relacionam,

começamos com o algoritmo de Durbin-Levinson. Lembrando que, no i -ésimo estágio deste processo recursivo, o conjunto de coeficientes $\{a(j), j=1, 2, \dots, i-1\}$, são os coeficientes da i -ésima ordem do preditor linear ótimo. Usando estes coeficientes se pode definir:

$$A^{(i)}(z) = 1 + \sum_{k=1}^i a^{(i)}(k) z^{-k} \quad (\text{IV. 25})$$

como sendo a função de sistema do filtro inverso de i -ésima ordem (ou o filtro de erro de predição). Se a entrada a esse filtro é o segmento do sinal $s(m) = s(n+m)w(m)$, então os valores de saída do erro de predição serão $e(m) = e(n+m)$, aonde

$$e^{(i)}(m) = s(m) + \sum_{k=1}^i a^{(i)}(k) s(m-k). \quad (\text{IV. 26})$$

Por razões de simplicidade, não utilizaremos mais o subscrito n o qual denota o fato de estarmos considerando um segmento do sinal localizado na amostra n . Assim, em termos de transformada z , a equação (IV.26) é escrita como

$$E^{(i)}(z) = A^{(i)}(z) S(z). \quad (\text{IV. 27})$$

Pela substituição da equação (IV.19c) na equação (IV.25) nós obtemos uma fórmula de recorrência para $A^{(i)}(z)$ em termos de $A^{(i-1)}(z)$; isto é:

$$A^{(i)}(z) = A^{(i-1)}(z) - k(i) z^{-i} A^{(i-1)}(z^{-1}). \quad (\text{IV. 28})$$

Substituindo-se a equação (IV.28) na equação (IV.27) obtém-se

$$E^{(i)}(z) = A^{(i-1)}(z) S(z) - k(i) z^{-i} A^{(i-1)}(z^{-1}) S(z). \quad (\text{IV. 29})$$

O primeiro termo da equação (IV.29) é a transformada z do erro de predição para um preditor de ordem $(i-1)$. Ao segundo termo se pode dar uma interpretação semelhante se definirmos

$$B^{(i)}(z) = z^{(-i)} A^{(i)}(z^{(-1)}) S(z). \quad (\text{IV.30})$$

Pode ser facilmente mostrado que a transformada inversa de $B^{(i)}(z)$ é

$$b^{(i)}(m) = s(m-i) - \sum_{k=1}^i a^{(i)}(k) s(m+k-i). \quad (\text{IV.31})$$

Esta equação sugere que nós estamos tentando predizer $s(m-i)$ de i amostras da entrada $\{s(m-i+k), k=1, 2, \dots, i\}$ que segue $s(m-i)$. Portanto $b^{(i)}(m)$ é chamado de sequência de erro de predição regressiva (das amostras anteriores). A figura IV.12 mostra que as i amostras envolvidas na predição são as mesmas usadas para predizer $s(m)$ em termos das i amostras anteriores na equação (IV.26). Voltando a equação (IV.29) vemos que a sequência do erro de predição $e^{(i)}(m)$ pode ser escrita como:

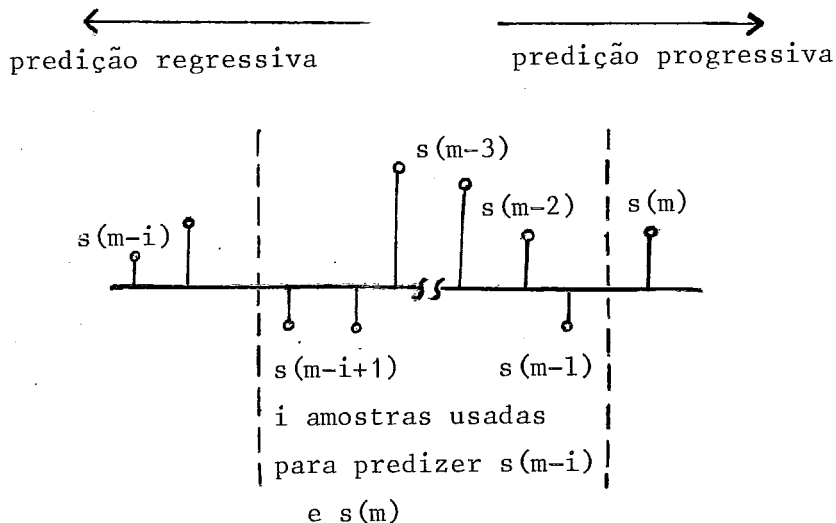


Figura IV.12. Predição progressiva e regressiva usando preditor de i -ésima ordem.

$$e^{(i)}(m) = e^{(i-1)}(m) - k(i) b^{(i-1)}(m-1). \quad (\text{IV.32})$$

Substituindo-se a equação (IV.28) na equação (IV.30) obtêm-se:

$$B^{(i)}(z) = z^{(-1)} B^{(i-1)}(z) - k(i) E^{(i-1)}(z). \quad (\text{IV.33})$$

Então o erro de predição regressiva do i -ésimo estágio é

$$b^{(i)}(m) = b^{(i-1)}(m-1) - k(i) e^{(i-1)}(m). \quad (\text{IV.34})$$

Agora as equações (IV.32) e (IV.34) definem as sequências do erro de predição regressiva e progressiva para um preditor de i -ésima ordem em termos dos erros de predição correspondentes do preditor da $(i-1)$ -ésima ordem. Usar um preditor de ordem zero é equivalente a não usar nenhum preditor de modo que

$$e^{(0)}(m) = b^{(0)}(m) = s(m). \quad (\text{IV.35})$$

Podemos agora representar graficamente as equações (IV.32) e (IV.35) pela estrutura mostrada na figura IV.13.

Tal estrutura é chamada de filtro em treliça. É fácil de ver

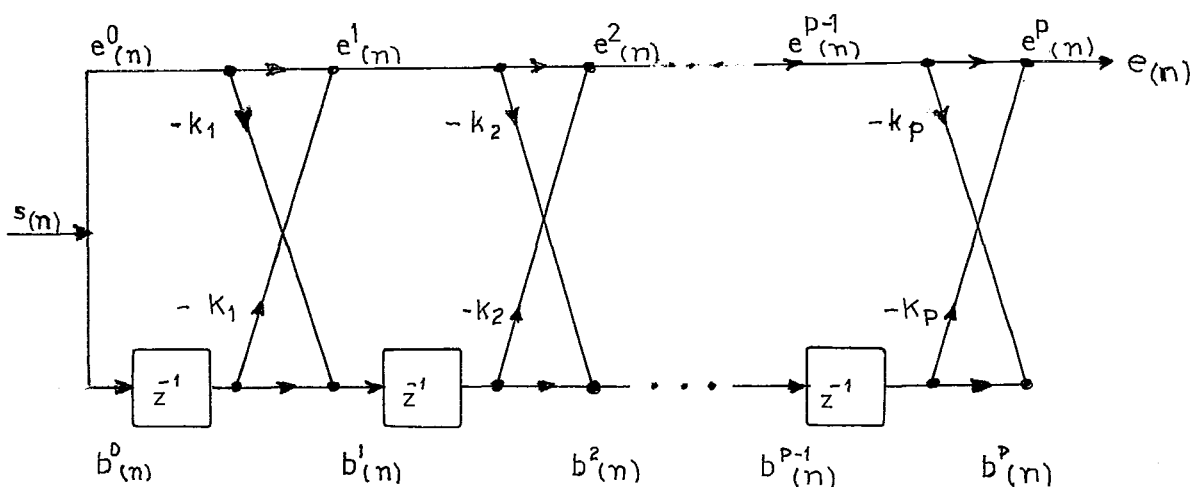


Figura IV.13. Diagrama de blocos da implementação do método de treliça.

que se nos estendermos a treliça em p secções, a saída da última secção será o erro de predição progressiva, como representado na figura IV.13. Esta figura então mostra a implementação de uma rede digital de um filtro de erro de predição com função de transferência $A(z)$.

Queremos neste ponto enfatizar que esta estrutura é uma consequência direta do algoritmo de Durbin-Levinson, e que os parâmetros $k(i)$ podem ser obtidos como na equação (IV.19). Notamos também que os coeficientes de predição não aparecem explicitamente no filtro em treliça. Conforme nos relata RABINER e SCHAFER (3), Itakura foi quem mostrou que os parâmetros $k(i)$ podem ser relacionados diretamente com os erros de predição progressiva e regressiva. Também devido à natureza da estrutura de treliça todo o conjunto de coeficientes $\{k(i), i=1, 2, \dots, p\}$ pode ser computado sem precisarmos calcular os coeficientes de predição. Esta relação é dada por:

$$k(i) = \frac{\sum_{m=0}^{N-1} e^{(i-1)}(m) e^{(i-1)}(m-1)}{\left\{ \sum_{m=0}^{N-1} (e^{(i-1)}(m))^2 \sum_{m=0}^{N-1} (e^{(i-1)}(m-1))^2 \right\}^{1/2}} \quad (\text{IV. 36})$$

A expressão da eq. (I.V.36) está na forma de uma função de correlação cruzada normalizada, isto é, ela dá a indicação do grau de correlação entre o erro de predição regressiva e progressiva. Por esta razão os $k(i)$'s são também chamados de coeficientes de correlação parcial ou coeficientes PARCOR.

Pode-se mostrar que a equação (IV.36) substitui a equação (IV.19b) do algoritmo de Durbin-Levinson e que os coeficientes de predição podem ser calculados sucessivamente como antes. Portanto, a análise por PARCOR é uma alternativa à inversão da matriz e apresenta resultados idênticos ao método de autocorrelação, ou seja, o conjunto dos coeficientes de PARCOR é equivalente ao conjunto dos coeficientes de predição que minimizam o erro quadrático médio de predição progressiva. O mais importante é que esta proposta abre toda uma nova classe de procedimentos baseada na configuração de treliça (ver figura IV.15).

IV.3.8. Resumo

O problema básico da análise por predição linear é o de determinar, diretamente de um sinal de voz, um conjunto de coeficientes de predição $\{a(i)\}$ de tal maneira que se obtenha uma boa estimativa das propriedades espectrais deste sinal, utilizando-se para isso a equação (IV.24). Devido à natureza não estacionária do sinal de voz, os coeficientes de predição devem ser estimados a partir de segmentos de curta duração deste sinal. A idéia básica é a de se encontrar um conjunto de preditores que irão minimizar o erro quadrático médio de predição sobre um trecho curto da forma de onda do sinal de voz. Os parâmetros resultantes são assumidos como sendo os da função $H(z)$ do sistema do modelo de predição da fala.

A justificativa prática para a utilização do mínimo erro quadrático médio de predição, como base para o cálculo dos parâmetros do modelo, é que isto nos conduz a um conjunto de equações lineares, com métodos eficientes de resolvê-las, para a obtenção dos preditores. A sua importância está no fato de que os parâmetros daí resultantes modelam com boa precisão os sinais da voz humana, possibilitando a utilização destes parâmetros para a compressão dos dados do sinal, a análise da estabilidade do modelo ou do filtro que ele representa e a facilidade de síntese que estes parâmetros permitem. Com relação ao método de treliça existem diferenças, muito claras, na implementação entre este método e os métodos diretos de autocorrelação e covariância discutidos no começo do capítulo. A principal diferença é que no método de treliça os coeficientes de predição são obtidos diretamente das amostras de voz sem necessidades dos cálculos intermediários da função de autocorrelação. Ao mesmo tempo, o método garante a produção de um filtro estável, não necessitando da utilização de uma função de enquadramento. Pelos motivos expostos acima, o método de treliça é também uma proposta viável para a implementação da análise por predição linear.

IV.4. Síntese da Voz através dos Parâmetros de Predição Linear.

A voz pode ser sintetizada de vários modos diferentes usando-se os parâmetros obtidos pela análise por predição linear. O modo mais simples é o de se utilizar um sistema que adote a mesma representação paramétrica que foi usada na análise. A figura IV.14 mostra a representação em blocos de tal sintetizador.

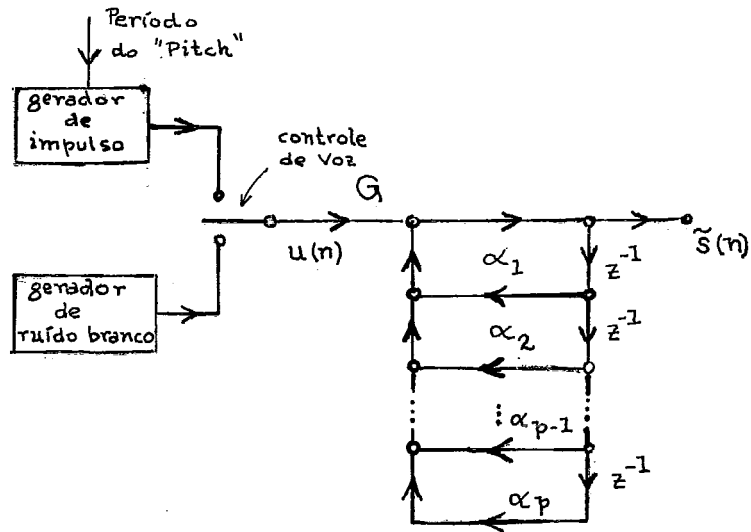


Figura IV. 14. Diagrama de blocos de um sintetizador por predição linear em escada.

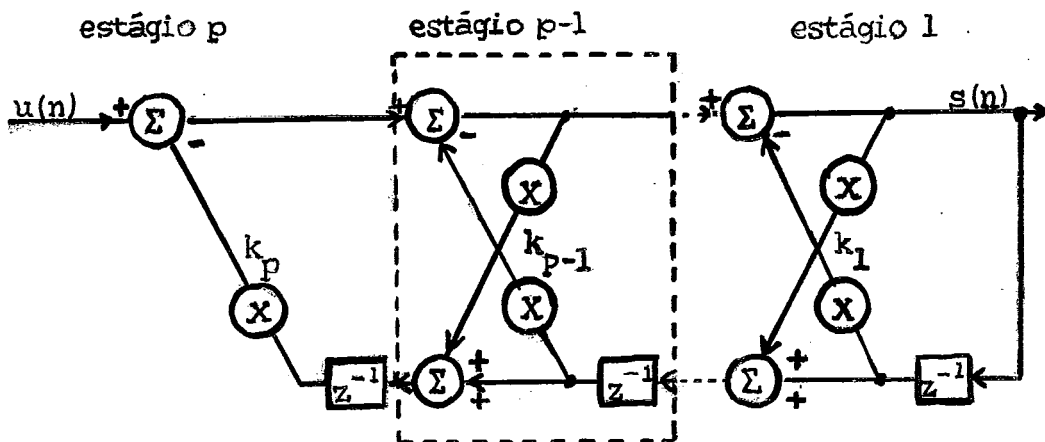


Figura IV. 15. Filtro em treliça para síntese de voz utilizando os coeficientes de reflexão $k(i)$.

Os parâmetros de controle, variáveis no tempo, necessários

para o sintetizador, são: o tom fundamental; a escolha do tipo de excitação (vocalizado/não-vocalizado); o ganho e os coeficientes de predição.

Esta é uma forma direta e a mais simples para se implementar o sintetizador de voz o que é sem dúvida uma vantagem. Entretanto o principal obstáculo para sua utilização prática é que ela requer uma grande precisão computacional para a síntese da voz, dado que é uma forma direta de implementação de uma estrutura recursiva que tende a ser muito sensível às variações nos coeficientes. A alternativa mais atrativa à síntese por parâmetros de predição é a de se utilizar os coeficientes de reflexão ou os PARCOR num sistema equivalente a um tubo sem perdas. Em outras palavras, o filtro em escada pode ser substituído por um filtro em treliça. A vantagem da síntese através do filtro em treliça é que os multiplicadores são os coeficientes de reflexão $k(i)$'s, que têm a propriedade de serem limitados, pois como vimos $|k(i)| < 1$; também, eles podem ser interpolados diretamente sem que isto acarrete problemas com a estabilidade do filtro, o que não acontece com a síntese direta através dos preditores no filtro em escada. A estrutura em treliça é também menos sensível aos efeitos de quantização decorrentes do tamanho da palavra do computador ter um comprimento finito. A figura IV.15 mostra a implementação do filtro em treliça para síntese de voz.

A utilização prática e a implementação desta estrutura como é utilizada pelo sintetizador de voz, serão mostradas no capítulo VI.

V. Concepção do sistema de Síntese de Voz.

V.1 Introdução

O processamento do sinal de voz, seja por técnicas analógicas, seja por técnicas digitais, vem sendo estudado de maneira sistemática há mais de 40 anos. O emprego da eletrônica digital possibilitou o desfecho mais interessante destas pesquisas em voz para o uso em computadores, permitindo-lhes, como novo meio de saída de informações, a palavra falada. Estas pesquisas foram motivadas pela necessidade de se fornecer ao usuário uma comunicação oral no lugar daquela que é hoje uma informação impressa. Isto possibilita, portanto, a utilização da rede telefônica como mais um meio de saída do computador através do sintetizador de voz.

Iremos descrever a seguir como o sistema de síntese de voz foi concebido e realizado. Ele é capaz de "ler" em voz alta, palavras ou frases que forem digitadas no seu teclado ou recebidas por intermédio de sua interface serial.

Foi desenvolvida uma facilidade para se manipular os parâmetros do sistema de síntese de voz que, através de alguns caracteres gráficos inseridos juntamente com as palavras ou frases a serem faladas, permite variar os seguintes parâmetros: o tom fundamental ou "pitch" acima ou abaixo de um valor prefixado; a intensidade ou energia do som, a mais ou a menos de uma intensidade pré-estabelecida e aumentar a duração de um elemento de voz, que denominamos de "difone". Todas as variações possíveis são efetuadas a nível do difone que é o nosso elemento básico para a formação de um fonema.

Este sistema é composto de três partes fundamentais a saber:

- a) o hardware básico do sistema que é constituído por um microcomputador SCHUMEC-M100;

- b) o hardware de síntese de voz que foi montado numa placa de "wire-wrap" junto com o circuito integrado para síntese de voz TMS 5220 da Texas Instruments. Além deste circuito integrado que processa os parâmetros da voz usando a técnica de Predição Linear, foram aí montados os circuitos de interfaceamento desta placa ao sistema padrão de dutos (Bus) S-100, já que o microcomputador M100 emprega este padrão para interligação de

suas placas, como por exemplo, a de memória dinâmica MAD (RAM). Nesta placa também estão montadas as pastilhas (chips) de MALP (EPROM) e as interfaces seriais universais (USART);

- c) o software, que é constituído por uma série de módulos interligados, que manipulam as informações recebidas pelo teclado e controlam o sintetizador de voz. Portanto o software, rodando no micro M100, pode ser considerado o "cérebro" do sistema de voz enquanto que o hardware de síntese pode ser considerado o aparelho fonatório do sistema.

O "cérebro", com base no texto escrito introduzido no sistema, calcula os comandos a serem dados ao "aparelho fonatório que produz ou "sintetiza" o sinal vocal. Ambas as partes foram concebidas de modo a permitir a elocução em tempo real das palavras ou frases recebidas pelo sistema. Mesmo um texto longo será lido sem solução de continuidade, existindo apenas um pequeno atraso inicial. De fato, o microcomputador analisando o texto, uma frase de cada vez e, frase por frase, determina, num tempo muito menor do que aquele necessário para pronunciar a mesma frase, os comandos que serão fornecidos ao sintetizador. Também possibilita que a fala sintética tenha entoações apropriadas.

A seguir serão apresentadas sucessivamente a codificação dos difones segundo o modelo matemático adotado, a criação e organização de um dicionário de difones para a língua portuguesa a fim de permitir a síntese de textos irrestritos e os códigos estabelecidos para a manipulação dos parâmetros do sistema de síntese.

V.2. Síntese por Difone da Língua Portuguesa

Em termos linguísticos, a voz pode ser considerada como uma sucessão discreta de unidades fonéticas elementares que são os fonemas, tal como a sequência de fotografias numa fita de cinema.

No início das pesquisas sobre síntese artificial da voz, se considerava válido este esquema a nível físico e linguístico e portanto, bastaria ao sintetizador assumir a configuração correspondente aos vários fonemas para se reproduzir o sinal vocal. Na realidade, a transição entre um fonema e o adjacente

se mostra, na maioria dos casos, mais importante do que a sua parte estacionária para a correta identificação do fonema. Por isso, as regras que controlam as transições entre os fonemas devem ser criteriosamente estabelecidas e, além disso, são amiúde, diferentes para os vários pares de fonemas.

SCAGLIOLA e VIVALDA (7) apresentam uma conceituação diferente e que evita uma grande parte dos problemas de uma síntese por regras de junção de fonemas.

Essa conceituação considera os elementos principais do fonema como sendo a unidade elementar da linguagem e não mais todo o fonema como unidade elementar, de tal modo que essas unidades incorporem os fenômenos de transição que são responsáveis pela compreensão do próprio fonema. Estes elementos, extraídos da voz de uma pessoa real, são constituídos via de regra por duplas de fonemas e por isso chamados de difones, conforme relatam SCAGLIOLA e VIVALDA (7).

Os fenômenos de coarticulação, ou seja, de modificação da produção acústica de um fonema devido aos fonemas adjacentes, são negligenciáveis entre difones, por isso podem ser unidos sem problemas não necessitando assim de nenhum cuidado especial.

Conforme estabelecido no capítulo IV, item IV.2.3, a língua portuguesa é constituída por sons de vogais (A, Ā, E, Ê, I, O, Ó, U), e de consoantes (B, C, D, F, G, J, L, LH, M, N, NH, P, R, RR, S, T, V, X, Z). Porém, para efeito da criação do dicionário de difones, classificamos estes sons nos seguintes conjuntos:

- 1) A parte inicial de uma vogal no início de uma palavra ou na presença de um hiato, como sendo o conjunto $\emptyset V$, (o caractere \emptyset significa "branco" ou "espaço") com 8 elementos: $\emptyset V = \{\emptyset A, \emptyset a, \emptyset E, \emptyset e, \emptyset I, \emptyset O, \emptyset o, \emptyset U\}$
- 2) A parte final de uma vogal, como sendo o conjunto $V\emptyset$, com 8 elementos: $V\emptyset = \{A\emptyset, A\emptyset, E\emptyset, E\emptyset, I\emptyset, O\emptyset, O\emptyset, U\emptyset\}$
- 3) Os ditongos, como o conjunto VV , com 33 elementos, que estão relacionados na tabela V.1.
- 4) As consoantes em posição pré-consonantal, como o conjunto CC , com 16 elementos, que encontram-se na tabela V.2.
- 5) As transições entre consoante e vogal sucessiva, como sendo o conjunto CV , com 152 elementos, que encontram-se na tabela V.3.

- 6) As semiconsoantes, como o conjunto S, com 2 elementos, o "L" e o "R" em final de palavra: conjunto $S = \{ L, h \}$
- 7) Os elementos especiais, como o conjunto E, com 3 elementos o "M", "N" e o "S" em final de palavra: conjunto $E = \{ w, y, S \}$
- 8) As transições entre as vogais e as semiconsoantes, como o conjunto VS, com 14 elementos, que encontram-se na tabela V.4.
- 9) As transições entre as vogais e os elementos especiais, como o conjunto VE, com 16 elementos, que encontram-se na tabela V.5.
- 10) As transições entre o elemento especial /n/ e as vogais, como o conjunto EV, com 2 elementos: $EV = \{ ye, yi \}$
- 11) As transições entre elementos especiais, como o conjunto EE, com 2 elementos: $EE = \{ wS, yS \}$
- 12) O conjunto unitário SE da transição entre a semiconsoante /r/ e o elemento especial /s/: $SE = \{ hS \}$

Nestes conjuntos de difones estabelecidos para a língua portuguesa, no total de 257, faltam todos os elementos de transição entre vogal e consoante sucessiva porque este tipo de transição pode ser, de fato, efetuada pela simples junção do final de um som vocálico com o início da consoante, sem que haja confusão fonêmica ou geração de sons espúrios. Convém observar que utilizamos na codificação dos sons o valor da própria letra em caractere maiúsculo, com exceção de:

- Ā - codificado como "a";
- Ê - codificado como "e";
- RR - codificado como "R";
- R - codificado como "r";
- LH - codificado como "l";
- NH - codificado como "n";
- R - em final de palavra, codificado como "h";
- M - em final de palavra, codificado como "w" e o
- N - em final de palavra, codificado como "y".

	A	Ã	E	Ê	I	O	Ô	U
A	AA	--	--	--	AI	AO	--	AU
Ã	--	aa	aE	--	aI	aO	--	aU
E	--	--	EE	--	EI	--	--	EU
Ê	--	--	--	ee	eI	--	--	eU
I	IA	--	--	--	II	IO	--	IU
O	--	--	--	--	OI	OO	--	OU
Ô	--	--	--	--	oI	--	oo	ou
U	UA	Ua	UE	Ue	UI	UO	Uo	UU

Tabela V.1. Formação do conjunto VV.

	B	C	D	F	G	P	T	U
R	Bh	Ch	Dh	Fh	Gh	Ph	Th	Uh
L	BL	CL	DL	FL	GL	PL	TL	UL

Tabela V.2. Formação do conjunto CC.

	A	Ã	E	Ê	I	O	Ó	U
B	BA	Ba	BE	Be	BI	BO	Bo	BU
C	CA	Ca	CE	Ce	CI	CO	Co	CU
D	DA	Da	DE	De	DI	DO	Do	DU
F	FA	Fa	FE	Fe	FI	FO	Fo	FU
G	GA	Ga	GE	Ge	GI	GO	Go	GU
J	JA	Ja	JE	Je	JI	JO	Jo	JU
L	LA	La	LE	Le	LI	LO	Lo	LU
LH	lA	la	lE	le	lI	lO	lo	lU
M	MA	Ma	ME	Me	MI	MO	Mo	MU
N	NA	Na	NE	Ne	NI	NO	No	NU
NH	nA	na	nE	ne	nI	nO	no	nU
P	PA	Pa	PE	Pe	PI	PO	Po	PU
R	rA	ra	rE	re	rI	rO	ro	rU
RR	RA	Ra	RE	Re	RI	RO	Ro	RU
S	SA	Sa	SE	Se	SI	SO	So	SU
T	TA	Ta	TE	Te	TI	TO	To	TU
V	VA	Va	VE	Ve	VI	VO	Vo	VU
X	XA	Xa	XE	Xe	XI	XO	Xo	XU
Z	ZA	Za	ZE	Ze	ZI	ZO	Zo	ZU

Tabela V.3. Formação do conjunto CV .

	A	Ã	E	Ê	I	O	Ó	U
R	Ah	...	Eh	eh	Ih	Oh	oh	Uh
L	AL	...	EL	eL	IL	OL	oL	UL

Tabela V.4. Formação do conjunto VS .

	A	Ã	E	Ê	I	O	Ó	U
M	--	--	EW	--	Iw	Ow	--	Uw
N	--	--	Ey	--	Iy	Oy	--	Uy
S	AS	aS	ES	eS	IS	OS	oS	US

Tabela V.5. Formação do conjunto VE .

V.2.1. Conversão do Texto Escrito a uma Sequência de Difones.

Um dos objetivos pretendidos neste trabalho é o de tornar a utilização do sistema de síntese de voz a mais simples possível, ou seja, queremos digitar uma palavra ou frase na forma mais direta e natural com que estamos habituados a fazê-lo, ou seja, na forma de uma sentença e, em seguida, queremos ouvir a elocução desta sentença pelo sintetizador.

Para facilitar esta tarefa, desenvolvemos então um programa de conversão rudimentar de textos para os correspondentes difones com a finalidade de demonstrar a viabilidade do sistema, facilitar as experiências e permitir o refinamento do dicionário de difones o qual é fundamental à qualidade da voz sintetizada. A entrada para este programa é um texto qualquer que pode ser constituído de uma palavra, uma sentença ou uma frase. Existem, entretanto, algumas limitações de natureza ortográfica a este texto, que são:

- 1- as vogais abertas precisam ser sinalizadas;
- 2- hiatos que possuem ditongos homógrafos devem ser separados por um travessão, por exemplo: BAÍA deve ser digitado como BA_I_A, pois existe o homógrafo BAIA, ou MARÍLIA como MARÍLI_A, pois existe o ditongo homógrafo, IA_RA;
- 3- os encontros vocálicos que possam constituir ditongos serão lidos como tal, a menos que sejam separados silabicamente por um _ ;
- 4- o som da letra "X" será o de /CH/ exceto no fim de palavra onde será lido como /CS/ e em posição pós-vocálica e préconsonantal, quando será lido como /s/.

Este programa admite também, entremeados às letras do texto, caracteres especiais para a manipulação dos parâmetros da fala. Estas facilidades, todavia, não estão limitadas às fronteiras silábicas.

A saída do conversor é uma sequência de bytes que representam o código do difone seguido do código do seu tom fundamental ("pitch") e da sua intensidade. Com esta saída, pode-se então, extrair do dicionário de difones os seus elementos referenciados pelo código do difone, alterar o tom

fundamental ("pitch") e a respectiva intensidade com que este difone se encontra armazenado e em seguida produzir a síntese e a correspondente elocução deste texto.

V.2.2. Organização do Dicionário de Difones

O dicionário de difones, utilizado para a síntese de voz, foi gerado a partir de segmentos de voz obtidos da tabela de parâmetros dos elementos fonéticos (PL/VALUEARRAY) publicados na tese de doutorado de Geraldo Lino de Campos, CAMPOS (1). Esta tabela apresenta todos os registros do arquivo PL/VALUEARRAY e contém os coeficientes de reflexão $k(i)$'s para os fonemas utilizados no seu trabalho. Além dos $k(i)$'s, cada linha da tabela representa o conjunto de todos os parâmetros de um quadro de voz (ou "frame"). Assim temos, além dos $k(i)$'s, também a intensidade e o tom fundamental ou "pitch" de cada quadro.

A listagem completa do dicionário de difones utilizado neste trabalho se encontra no Anexo 3.

O procedimento usado para a confecção de cada um dos 257 difones foi o seguinte: após a classificação dos difones, como está descrito no item V.2, extraiu-se da tabela de fonemas de CAMPOS (1), para cada difone, as três linhas (ou quadros) mais representativas do som do referido difone. Estas três linhas, depois de um ajuste manual dos seus parâmetros, é que formam, propriamente, o difone. Assim foi construída a primeira versão do dicionário de difones. Esta versão deve ser reajustada pelo uso do sistema, num processo iterativo de modificação dos parâmetros dos difones e nova experimentação do sistema, a fim de se obter a melhor concordância dos difones com os sons que eles representam.

VI. Implementação do Sistema de Síntese de Voz

VI.1 Introdução

A construção deste sistema de síntese de voz só se tornou possível graças a recente tecnologia de microcomputadores e ao aparecimento de circuitos integrados para a síntese de voz. Isto promete abrir enormes possibilidades para desenvolvimento de pesquisas em linguística e fonética e de novas aplicações na área da computação. O componente fundamental do nosso sistema é o circuito integrado TMS 5220 da "Texas Instruments". Este circuito integrado foi concebido para aplicações de uso geral, porém a maioria das aplicações que dele se utilizam são para fazer síntese de reconstrução, isto é, reproduzir palavras ou frases de um dicionário de voz armazenado em ROM. Isto se deve ao fato de que, para a utilização deste sistema de síntese de voz, é necessário se encomendar à "Texas Instruments" a gravação das palavras ou frases em memórias ROM do que se deseja sintetizar, ou se montar um estúdio de áudio para a gravação de voz acoplado a um sistema de análise dessa voz para a extração dos parâmetros pela técnica de predição linear e em seguida gravá-los em memória EPROM. Em ambos os casos, o processo é dispendioso e pouco flexível. Para superar estes obstáculos é que, baseados no trabalho de CAMPOS (1), idealizamos este sistema totalmente baseado num microcomputador, para que funcione como um verdadeiro sintetizador de voz.

Podemos dizer que a verdadeira síntese de voz, produzida por máquinas, se dá quando os sons das palavras ou frases por ela pronunciada, são gerados pela própria máquina e não apenas a reprodução da voz de uma pessoa gravada em memória. Com base nesse conceito é que desenvolvemos o "hardware" e o "software" do sistema.

Embora o "hardware" e o "software" funcionem como um todo integrado, eles serão apresentados separadamente.

Para alcançar o objetivo final pretendido, que é construir um terminal de voz que fale sem restrição de texto, é necessário o desenvolvimento de duas etapas fundamentais:

- primeiro, o texto deve ser convertido a uma sequência apropriada de parâmetros que serão os dados de entrada

fornecidos ao sintetizador de voz;

- segundo, o sintetizador deve ser controlado e alimentado com estes dados para produzir a fala sintética.

O primeiro passo é decisivo para se obter um sistema viável e satisfatório, que fale com naturalidade e com pronúncia correta. O sucesso desta etapa depende do desenvolvimento de regras e algoritmos para a conversão de textos à difones. Para isto há a necessidade de conhecimentos de linguística e fonética da língua portuguesa brasileira.

A segunda etapa consiste no projeto e desenvolvimento do sistema à nível de "hardware" e "software" que empregue um microcomputador capaz de suportar a carga de processamento nas velocidades exigidas e tenha capacidade de memória suficiente para acomodar, além dos programas do sistema, também o dicionário de difones.

É importante notar que esta solução foi concebida para um microcomputador Schumec-M100, perfeitamente adequado a esta aplicação. Todavia, com o mesmo circuito integrado de síntese de voz são possíveis outras soluções e implementações a nível "hardware", ou a utilização de outros microcomputadores.

VI.2. Descrição do "hardware" do Sistema.

O "hardware" do sistema é composto de duas partes:

- a) o sistema Schumec-M100, que é baseado no microprocessador INTEL-8085 e
- b) a placa onde foi montado o "hardware" de síntese de voz.

Esse "hardware" foi construído numa placa de formato padrão S-100 para ligações tipo "Wire-Wrap". Isto facilitou muita sua montagem e a sua interconexão ao sistema Schumec, pois um dos atrativos deste sistema é a existência dos dutos S-100, mas antes de descrevermos o "hardware" e o "software" apresentaremos o diagrama de blocos do sistema a fim de se poder ter uma visão geral das suas partes e como elas se relacionam entre si.

VI.2.1. Diagrama de Blocos do Sistema.

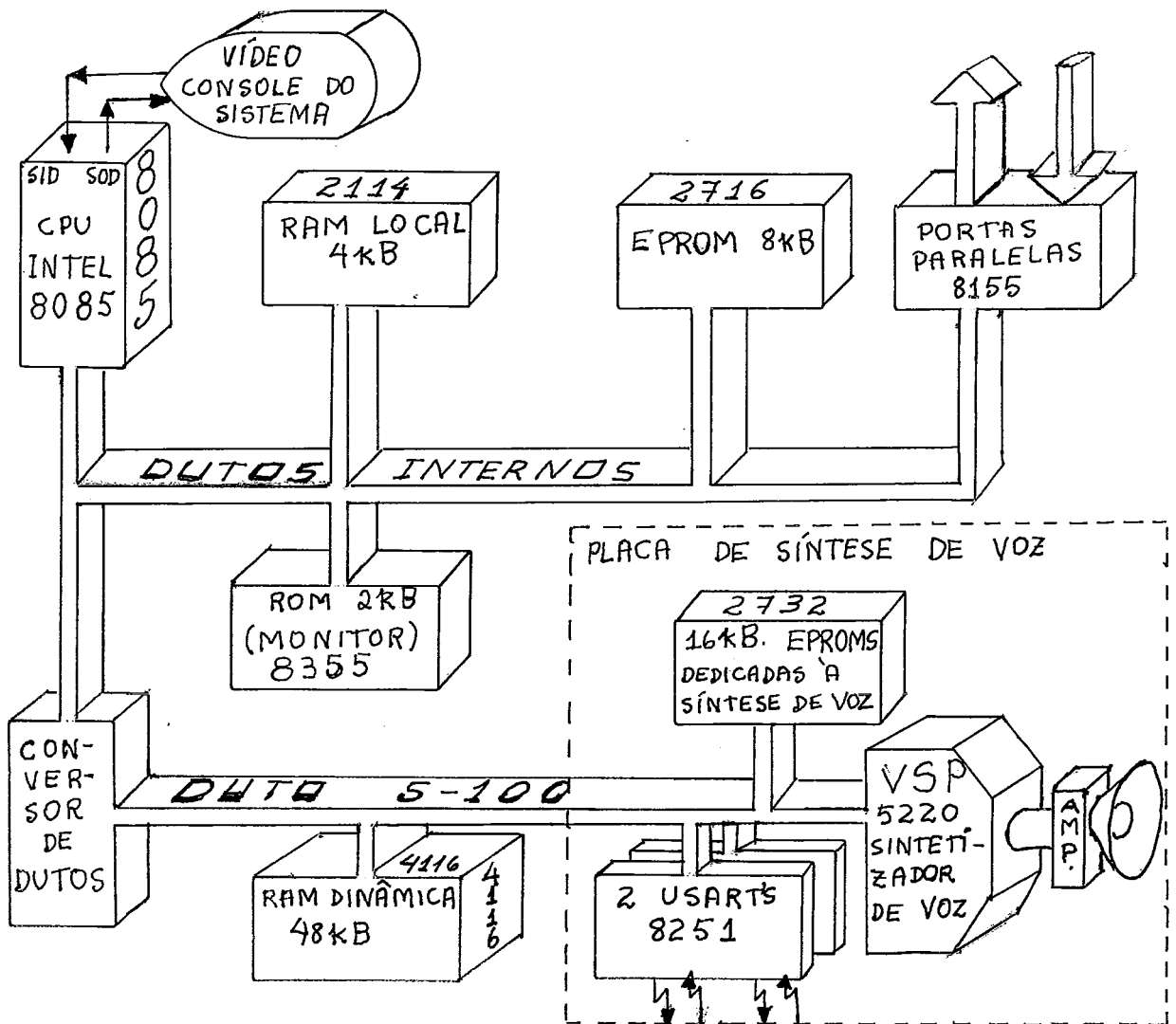


Figura VI.1. Blocos que constituem o sistema.

A figura VI.1 apresenta em diagrama de blocos como se interligam os componentes principais do sistema. Os diagramas esquemáticos completos do "hardware" do sistema encontram-se nos anexos 4, 5 e 6.

VI.2.2. Descrição do Sistema SCHUMEC-M100

O sistema SCHUMEC é baseado no EXPLORER/85 da NETRONICS RESEARCH AND DEVL.P.(35). Ele é composto por uma placa matriz ("Mother board") que contém: Uma CPU Intel 8085; um ROM 8355 de

2k bytes onde reside o programa Monitor; 4kb de memória RAM 2114, 8k bytes de memória EPROM com um interpretador Basic da Microsoft; os circuitos integrados 8155 que contêm 256 bytes de memória RAM; portas para entrada e saída em paralelo e um conjunto de "buffers" e de circuitos para a geração dos sinais do duto S-100, isto é, efetuar a conversão dos dutos internos do sistema Intel-8085 no duto S-100 e vice-versa.

O duto S-100 se torna acessível através de um conjunto de expansão com cinco conectores de 100 pinos cada um, interligados entre si por uma placa de circuito integrado. Esta placa, por sua vez, se liga ao conector S-100 da placa matriz. Uma descrição detalhada do padrão de dutos S-100 encontra-se em ZUFFO (37). A esse duto então se liga a placa de 48 kB de RAM dinâmica e a placa do sintetizador de voz. Restam, portanto 3 soquetes vazios possibilitando a ligação de outras placas de controle e interfaceamento para outros periféricos, tais como, controlador de diskete, controlador de impressora etc.

O diagrama esquemático do sistema Schumec encontra-se no anexo 4.

VI.2.3. Descrição da Placa de Síntese de Voz.

Para interligação do circuito integrado de síntese de voz TMS 5220 da "Texas Instruments" ao microcomputador Schumec-M100 utilizamos uma placa padrão S-100 para montagens tipo "WireWrap" dos componentes de síntese de voz. Os diagramas esquemáticos detalhados desta placa encontram-se no anexo 5. Como esta placa se liga ao duto S-100, foi necessário o desenvolvimento de um circuito de interfaceamento com o duto que consiste basicamente em duas portas de E/S de 8 bits (circuito integrado 8212). Os dutos de dados são unidirecionais no S-100, isto é, 8 linhas para receber bytes de entrada e 8 linhas para dar saída aos bytes, e bidirecionais no duto interno da placa de síntese de voz. Portanto, uma das portas 8212 se liga ao duto de saída de dados do S-100 e a outra se liga ao duto de entrada do S-100. O outro lado dessas portas são unidos entre si, ou seja, ligados em paralelo (ligação tipo "back-to-back"), como mostra a figura VI.2.

Os detalhes importantes neste esquema são: a combinação dos

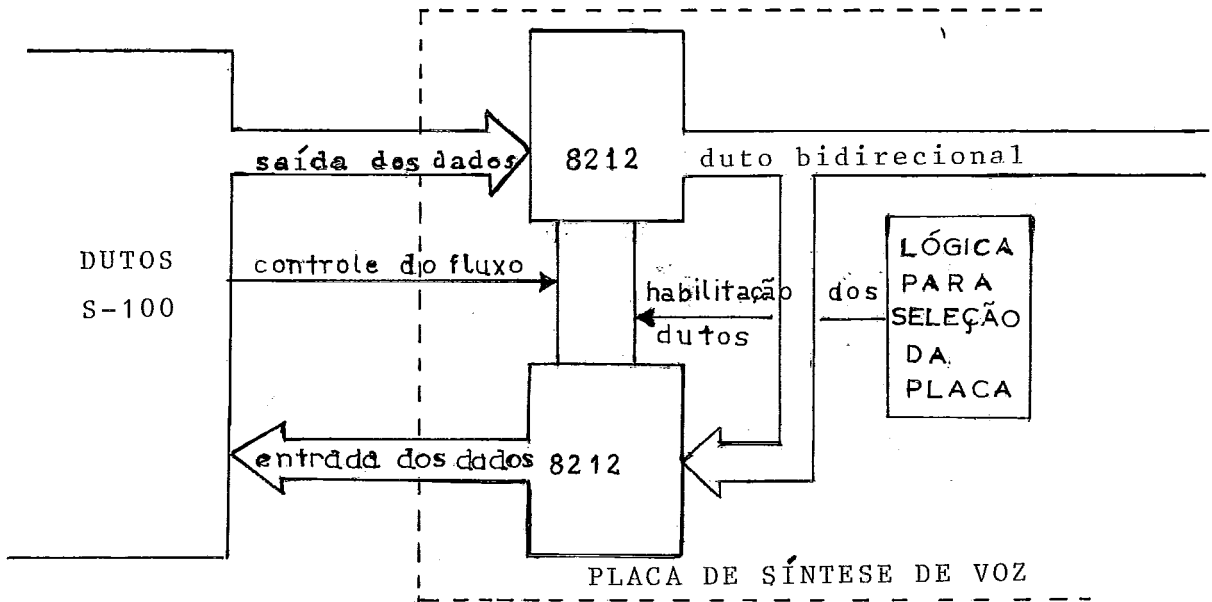


Figura VI.2. Esquema do interfaceamento da placa de síntese de voz com o duto S-100.

sinas disponíveis no duto S-100 para o controle do fluxo dos dados, isto é, se o dado sai do duto ou se entra no duto, e a lógica de seleção da placa que, baseada nos endereços dos dispositivos montados na placa, abre as portas para a passagem dos dados a estes dispositivos. Este é um detalhe importante do projeto do "hardware" desta placa, pois para o controle do fluxo há a necessidade de casar as operações de E/S, ou seja, sincronizar os ciclos de leitura ou de escrita realizados pela CPU com as operações de E/S realizadas pelos dispositivos da placa de síntese de voz. Já a lógica de seleção é necessária para inibir estas operações de E/S que não se destinam aos dispositivos da placa. Em outras palavras, ela serve para evitar a disputa pelo duto por dois ou mais componentes do sistema ("bus contention"); pois somente um dispositivo pode estar colocando dados no duto num determinado instante. O processador de voz TMS 5220 da "Texas Instruments" está, portanto, ligado diretamente aos dutos do sistema e como é um dispositivo muito mais lento do que a CPU do microcomputador, ele dispõe de um sinal de saída (READY) que é usado para parar a CPU a fim de que ele possa receber comandos ou realizar a transferência dos dados. Esta concepção adotada permite um controle mais simples a nível de "software", bastando para a transferências de dados ao

processador de voz, usar as instruções "IN" e "OUT" pois o "hardware" se encarregará de "engatar" os dois processadores, o micro e o de voz, e "desengatá-los" assim que a transferência dos dados ou de comandos se completar. Um detalhe importante nesta ligação do TMS 5220 da "Texas Instruments" ao duto de dados é a denominação atribuída aos bits pela Texas Instruments que denota por D0 o bit de mais alta ordem e por D7 o bit de mais baixa ordem, isto é, ao contrário da notação adotada pela Intel. Devido a isto é que ligamos a linha D0 do duto de dados ao bit D7 do TMS 5220 da "Texas Instruments", a linha D1 ao bit D6 e, assim por diante, até, finalmente, a linha D7 ligada ao bit D0 do processador de voz.

Uma outra solução ao problema da ligação do processador de voz ao microcomputador seria a de liga-lo através de portas de entrada e saída de dados em paralelo. Isto melhoraria o desempenho da CPU do microcomputador mas acarretaria maior complexidade no "software" de controle do processador de voz. Os seus ciclos de operação e os tempos de transferência de dados não seriam mais respeitados automaticamente pelo "hardware", mas teriam que ser programados a nível "software".

Para armazenar os programas e o dicionário de difones, foram também montados nesta placa, quatro soquetes para os ROM's 2732 (que têm capacidade de 4 kb cada um).

Completando o "hardware" temos um conjunto de circuitos integrados TTL's que implementam a lógica de endereçamento, de seleção e de inversão de alguns sinais usados pelo processador de voz, como também pelas MAL's (ROM's) e portas seriais. Utilizamos então o espaço físico da placa para a montagem dessas duas portas seriais 8251 (USART). Elas são necessárias, visto que, o sistema Schumec não dispõe de outras portas seriais além daquela utilizada pela console do sistema. Como existe uma gama de velocidades de comunicação padronizadas nestas ligações com terminais ou computadores, instalamos também nesta placa uma série de divisores para, a partir do "clock" do sistema, gerar os "clocks" para as comunicações seriais, com taxas que podem ser escolhidas a partir de 150 bps até 19.200 bps.

VI.3. O TMS 5220 da "Texas Instruments".

O TMS 5220 da "Texas Instruments" é um dispositivo de síntese de voz que utiliza a LPC. Como este dispositivo emprega um processador para sintetizar a voz a partir de parâmetros codificados, os quais foram obtidos pela análise do sinal de voz usando o método de predição linear. A "Texas Instruments" o denomina de "processador de síntese de voz" cuja sigla em inglês é VSP. Suas principais características são:

- 1- apresenta uma qualidade de voz de aceitável a boa;
- 2- em virtude da técnica de predição linear e da codificação adotada, consegue-se taxas de armazenamento da ordem de 1000 a 2500 bps;
- 3- é fabricado com tecnologia MOS canal P de baixo custo;
- 4- é compatível com TTL;
- 5- dispõem de facilidades para ser controlado por interrupção;
- 6- utiliza somente +5V e -5V de alimentação.

Vamos apresentar aqui apenas um resumo deste circuito integrado pois uma descrição detalhada encontra-se no manual da TEXAS INSTRUMENTS INC. (34).

Este dispositivo foi projetado para ser ligado e controlado por um microcomputador. Os parâmetros da voz a ser sintetizada podem ser fornecidos ao VSP pelo microcomputador, ou extraídos diretamente pelo VSP de uma memória de síntese de voz, (uma ROM especial), controlada pelo próprio VSP.

O VSP então decodifica estes dados para acionar o filtro digital variante no tempo e que modela o trato vocal humano. Esse filtro, como foi mostrado no capítulo IV, é excitado por uma representação digital tanto dos impulsos produzidos pelas cordas vocais nos sons sonoros, como pelo ruído branco produzido pela passagem do fluxo de ar numa constrição do trato vocal produzindo assim os sons surdos. A saída resultante do filtro passa por um conversor D/A para produzir a forma de onda do sinal de voz sintetizado.

A arquitetura do VSP, em diagrama de blocos, está mostrada na figura VI.3.

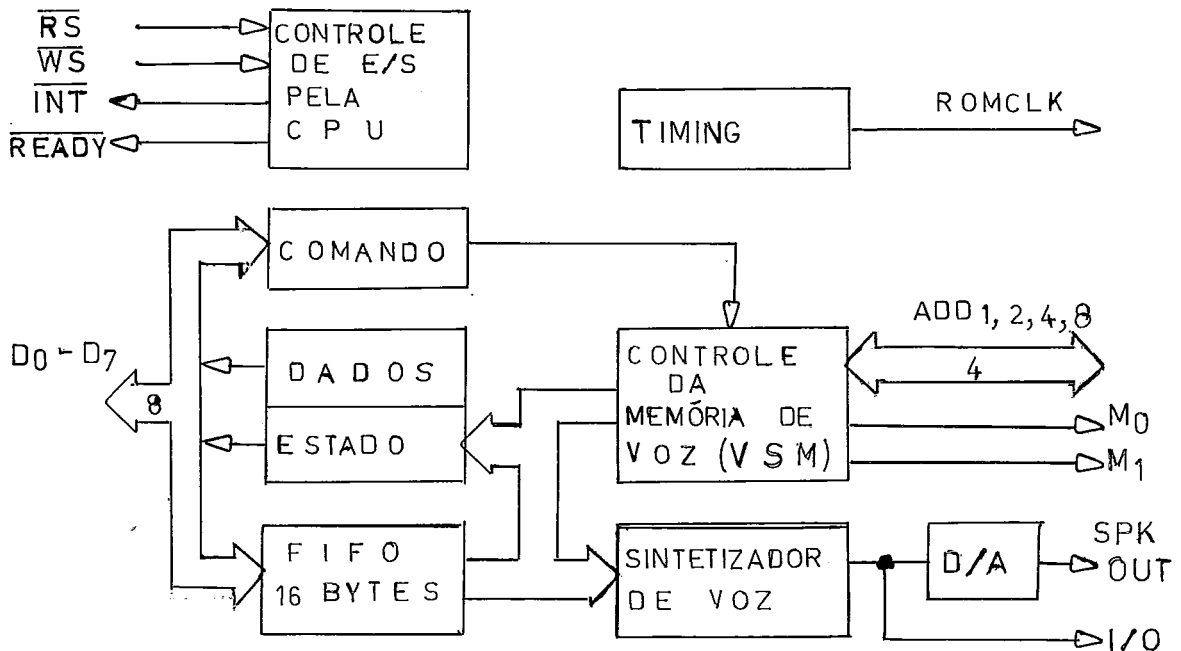


Figura VI.3. Diagrama de blocos do VSP.

Na sua arquitetura temos então um duto de dados com 8 linhas, por onde o VSP recebe dados e comandos e por onde informa ao microcomputador os seus estados. O VSP também utiliza este duto para transferir dados de sua memória de voz sintetizada, somente acessível a ele, ao microcomputador.

Além do duto de dados, o VSP possui um duto de controle com 4 linhas e que são RS, WS, INT, READY, com as funções:

- RS : é usada para selecioná-lo para a leitura de seu estado ou dos dados da memória de voz;
- WS : é usada para selecionar o VSP, indicando que um comando ou dados lhe serão enviados;
- INT : é usada pelo VSP para indicar que lhe ocorreram mudanças de estado que requerem atenção do microcomputador. Essas mudanças podem ser ocasionadas pelo fim da fala, ou pelo "buffer" FIFO de entrada, (de onde o VSP está retirando os parâmetros, ter sido esvaziado até a metade de sua capacidade, ou ter ficado totalmente vazio em virtude do microcomputador não lhe ter fornecido os dados restantes em tempo hábil. Este sinal é desativado pelo VSP quando o seu registro de estado for lido ou se uma instrução de "RESET" lhe

for enviada.

-READY: esta linha é usada pelo VSP para manter a CPU do microcomputador em estado de espera ("WAIT STATE") enquanto se realiza a transferência de comando ou dados entre eles.

A estrutura de E/S do VSP (figura VI.3) apresenta dois registradores de entrada, o de comandos com tamanho de 1 byte e o "BUFFER" FIFO com capacidade para 16 bytes, e dois registradores de saída, o de estado e o de dados, ambos com tamanho de 1 byte. No ciclo de "escrita", quando a linha WS se torna ativa, a lógica de controle do VSP dirige os dados provenientes do duto para o registrador de comando a menos que o VSP já esteja executando o comando de "Speak External" quando então os dados são dirigidos ao "buffer" FIFO. No ciclo de "leitura", iniciado pela ativação da linha RS, o VSP coloca no duto de dados o conteúdo do seu registrador de estado a menos que esteja executando o comando de "Read Byte" quando então o conteúdo do registrador de dados provenientes da memória de voz é que será colocado no duto de dados.

Os comandos aceitos pelo VSP são:

"READ BYTE", para permitir a CPU do microcomputador acessar os dados armazenados na memória de voz;

"READ AND BRANCH", para iniciar a função de leitura e desvio na memória de voz;

"LOAD ADDRESS", que permite ao microcomputador alterar um registrador de endereços associados a memória de voz para que ele aponte para outro segmento de dados de voz armazenados nesta memória;

"SPEAK", que inicia a fala a partir dos dados armazenados na memória de voz cujo endereço inicial foi estabelecido pelo comando "LOAD ADDRESS";

"SPEAK EXTERNAL", que possibilita ao microcomputador fornecer agora ao VSP, os dados para a fala, não havendo a necessidade de acessar a memória de voz que poderá estar ligada ou não ao VSP;

"RESET", que permite ao microcomputador parar a execução pelo VSP de um comando de "fale" ("SPEAK"), colocando o VSP num estado conhecido. Este comando porém, não para a execução do comando "SPEAK EXTERNAL".

PARÂMETRO	ENE.	R	PITCH	K(1)	K(2)	K(3)	K(4)	K(5)	K(6)	K(7)	K(8)	K(9)	K(10)	
Nº DE BITS	4	1	6	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	TOTAL DE BITS DO QUADRO
TIPO														
VOCALIZADO	xxxx	0	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxx	xxx	xxx	50
NÃO-VOCALIZADO	xxxx	0	000000	xxxxxx	xxxxxx	xxxx	xxxx							29
REPETIÇÃO	xxxx	1	xxxxxx											11
SILÊNCIO	0000													4
PARE	1111													4

Figura VI.4. Formatação dos quadros de parâmetros para o VSP.

Os parâmetros de síntese enviados ao VSP, no total de 13 para cada quadro ("frame"), (vide figura VI.4) são: o tom fundamental ("pitch"); a energia ou intensidade; um bit para indicar repetição e os 10 coeficientes de reflexão - $k(1)$ até $k(10)$. Estes parâmetros lhe são enviados pelo microcomputador ou pela memória de voz numa forma codificada e de acordo com formatos prè-estabelecidos (figura VI.4). Nestes formatos cada parâmetro tem um número determinado de bits e ocupa uma determinada posição na sequência de parâmetros a ser recebida pelo VSP. Esta sequência de parâmetros, que representa a duração do som de um quadro ("frame") de voz, tem o seguinte formato: ENERGIA, com 4 bits; REPETIÇÃO, com 1 bit; "PITCH", com 6 bits e os 10 coeficientes de reflexão $k(i)$'s, onde $k(1)$ e $k(2)$ ocupam 5 bits cada um; $k(3)$ a $k(7)$ com 4 bits cada e os últimos três coeficientes, $k(8)$ até $k(10)$ com 3 bits cada um. Os valores que cada um dos parâmetros podem assumir representam um código (um endereço) para acessar o parâmetro real de 10 bits que se acha armazenado numa MAD (ROM) interna ao VSP. Com esta estratégia a "Texas Instruments" conseguiu atingir a casa dos 1200 bps de taxa média de armazenamento.

O valor médio decorre do fato de que os quadros que contém o conjunto de parâmetros utilizados pelo sintetizador são de tamanho variável. Nos sons sonoros eles assumem o tamanho máximo

de 50 bits pois contém o conjunto completo de parâmetros, com o bit de repetição igual a zero (desligado). Entretanto, a fala é constituída também por sons surdos, sons que se prolongam (intervalos estacionários longos de sons sonoros ou surdos) e de "silêncios". Nestas circunstâncias, os quadros não contém todos os parâmetros. Assim, para os sons surdos ("unvoiced") os quadros tem apenas os parâmetros ENERGIA (4 bits), o bit de REPETIÇÃO em zero, o "pitch" (6 bits todos obrigatoriamente em zero), k(1) e k(2) (5 bits cada um) e finalmente k(3) e k(4) (com 4 bits cada um), num total de 29 bits. Os outros coeficientes de reflexão k(5) até k(10) não tem grande influência para a geração destes sons, não sendo então utilizados neste tipo de quadro.

Para indicar repetição dos sons a "texas instruments" utiliza um bit que, se estiver ligado, fará com que o processador de voz use os coeficientes de reflexão do quadro anterior. Neste quadro sã serão fornecidos ao sintetizador, o código da energia, o bit de repetição em 1 (ligado) e o "pitch" num total de 11 bits. Os dois últimos formatos de quadro (figura VI.4) tem apenas 4 bits de tamanho e são: o de "silêncio", onde todos os 4 bits da energia assumem o valor zero e o código de "pare" de falar, onde todos os 4 bits da energia assumem o valor 1.

Na figura VI.5 obtida de CATER (4), podemos visualizar um formato típico de um quadro para a geração de um som sonoro.

De um modo resumido, vamos descrever o funcionamento do VSP.

Após o processador de voz receber um comando para "falar", ele acessa os parâmetros do quadro que lhe foi enviado e decodifica-os consultando a sua tabela interna em MAL (ROM) e os armazena num interpolador de parâmetros. A saída do interpolador, sob controle do processador de voz, é introduzida no f treliça por sua vez, é amostrada a intervalos de 100 a 125 microsegundos pelo conversor D/A que utiliza os 10 bits mais significativos dos 14 bits de saída do filtro em treliça. A saída do conversor fornece um sinal de áudio com potência da ordem de 1,5 mW. Assim, cada conjunto de parâmetros fornecido num quadro ao processador de voz é utilizado como meta a ser alcançada pelo interpolador. Isto permitiria ao filtro simular as variações que estariam ocorrendo no trato vocal humano na

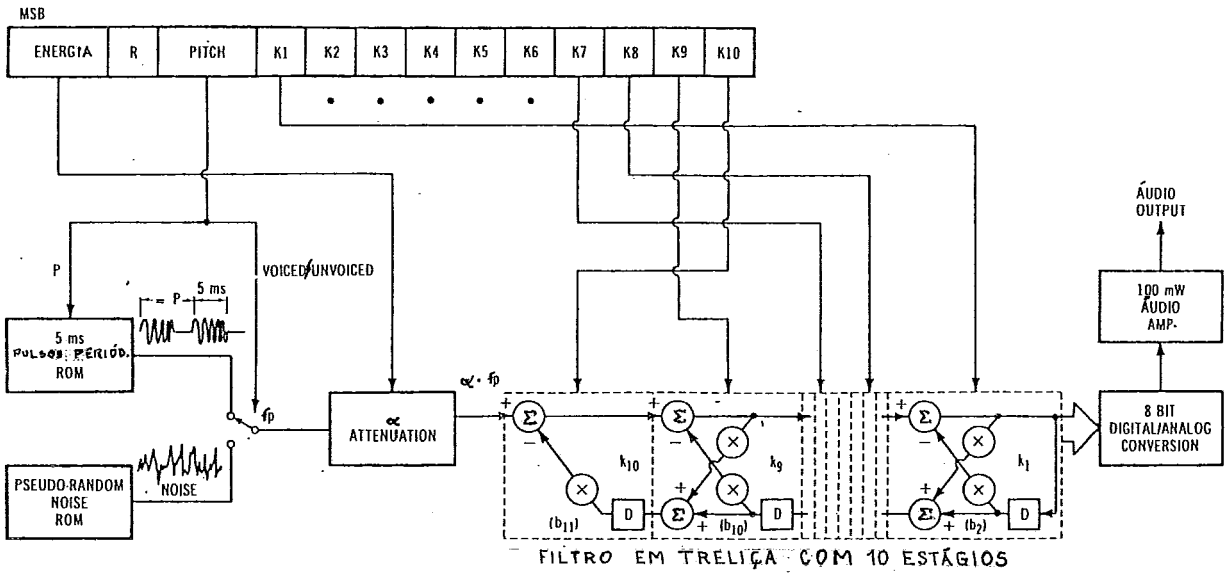


Figura VI.5. Relacionamento entre um quadro e o filtro em treliça usado pelo VSP.

tentativa de reproduzir os sons da voz humana.

VI.4. O "software" do Sistema.

VI.4.1. Diagrama de Blocos do "software" do Sistema.

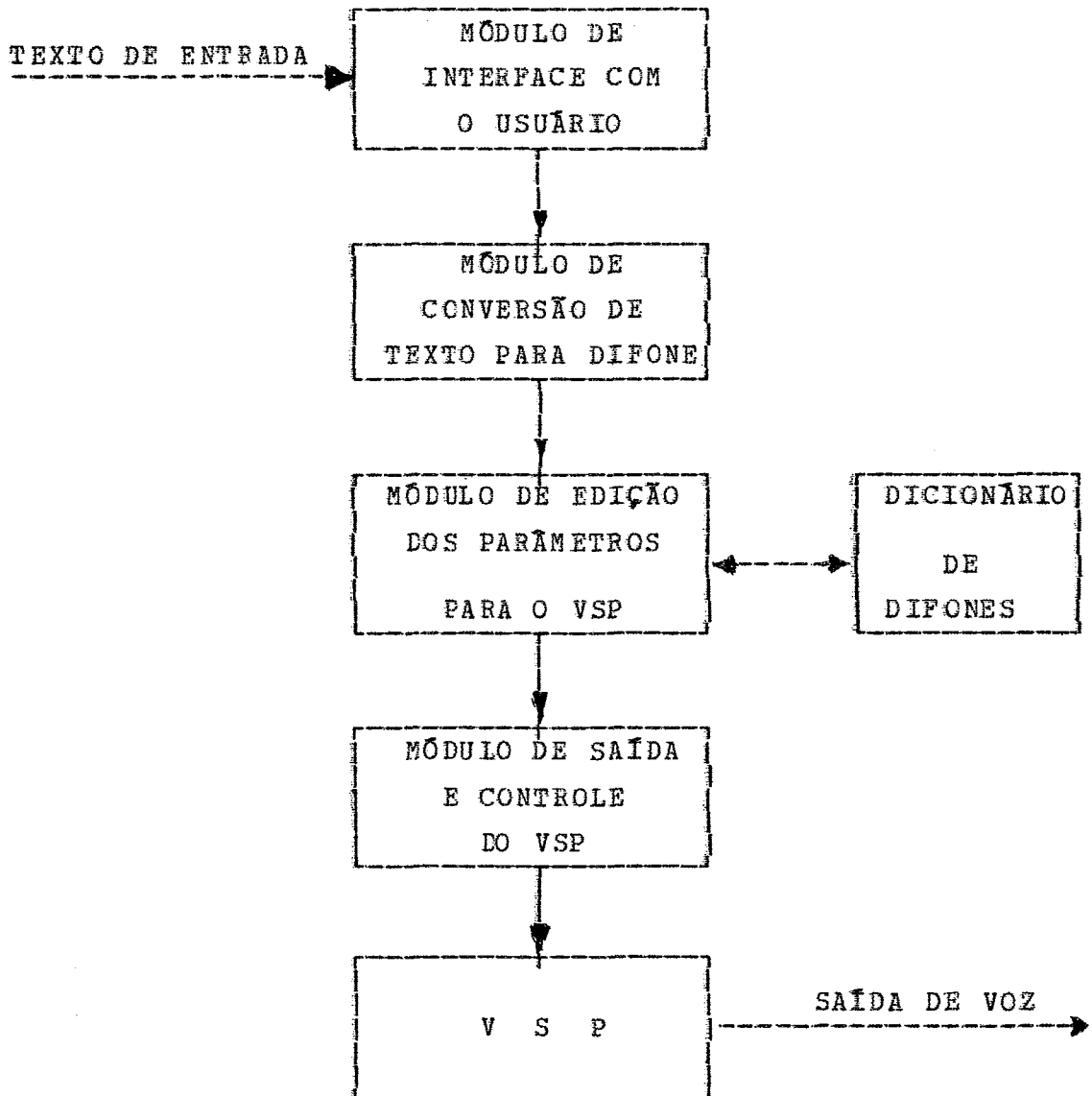


Figura VI.6. Diagrama de blocos do "software"

VI.4.2. Descrição do "software".

Todos os módulos de programa foram escritos na linguagem "Assembler" para o microprocessador INTEL-8085. Utilizamos para a compilação destes programas, um "Cross-Assembler" disponível no Sistema Operacional MTS-"Michigan Terminal System" para o computador IBM 370/158 do LCC (Laboratório de Computação

Científica). As respectivas listagens encontram-se no Anexo 2.

O "software" foi concebido de forma modular para permitir maior flexibilidade no seu desenvolvimento e teste, o que tornou também mais simples a sua programação na medida em que cada módulo tenha apenas uma entrada e uma saída. Estas rotinas foram desenvolvidas tendo em vista o controle do VSP pelo microcomputador e para facilitar a utilização do sistema pelo usuário.

O primeiro módulo de interface com o usuário tem a função de receber o texto de entrada fornecido pelo o usuário via terminal. Na nossa aplicação, utilizamos o próprio terminal de console do sistema SCHUMEC.

Este módulo espera receber um caractere espaço para indicar o fim de uma palavra ou um "CR - Carriage Return" para indicar o fim de uma sentença. Em ambos os casos o controle é passado ao módulo de conversão juntamente com um ponteiro que aponta o início da palavra, no caso de ter recebido espaço, ou do início da frase, no caso de ter recebido CR. Existe uma facilidade de correção da palavra ou da frase, pela utilização da tecla de BS - "Back-Space" ou DEL - "delete".

O módulo de conversão partindo do texto já armazenado numa área de memória de acesso direto (RAM), converte-o a uma sequência de segmentos com 4 bytes cada, onde nos 2 primeiros bytes está o código do difone. O byte seguinte contém um número relativo a ser adicionado (ou subtraído) ao valor padrão de "PITCH" do difone e, finalment, um byte também com um número relativo, a ser adicionado ao valor padrão da ENERGIA ou intensidade do difone.

O texto de entrada pode conter, além dos caracteres alfabéticos, também os seguintes caracteres especiais para permitir a manipulação de alguns parâmetros da fala:

(usado para manipulação do "PITCH". Indica o aumento do valor do "PITCH" atual para o degrau superior imediato. Por exemplo: se for a primeira vez que aparece na frase, o caractere "(" fará com que, a partir deste momento, o valor padrão inicialmente assumido passe de 123 Hz a 126 Hz, no caso do VSP estar trabalhando com a frequência de amostragem de 10 kHz. Uma facilidade de repetição é possível colocando-se logo após o "(" o número de vezes que se quer variar de uma só vez o

"PITCH. Por exemplo: escrever "(1" é equivalente a "((", ou "(5" é equivalente a "(((((".

-) usado também para manipulação do "PITCH", o qual indica a diminuição da frequência do "PITCH" para o degrau imediatamente inferior ao atual. Obedece as mesmas regras e funciona portanto, de modo inverso, ao "((".
- + usado para aumentar a ENERGIA em um degrau. Funciona de modo análogo ao "((" e com as mesmas facilidades de repetição.
- é análogo ao "+" porém indica a diminuição da ENERGIA em um degrau.
- (travessão) é usado para indicar a separação de sílabas em situações não determinísticas, como por exemplo, para diferenciar hiatos de ditongos.
- & usado para indicar a nasalização da vogal que o antecede. Pode ser repetido quantas vezes se desejar a fim de se prolongar o som da vogal nasalizada.
- ' (apóstrofe) é usado para indicar o som aberto das vogais "E" e "O". Quando repetido prolonga o som aberto da vogal que o precede.

Este programa utiliza a técnica de Automato Finito para a conversão do texto em difones.

O módulo de edição dos parâmetros recebe a sequência codificada de difones produzida pelo módulo de conversão, acessa o dicionário de difones e edita-os numa área de saída efetuando as alterações (se houverem) nos parâmetros "PITCH" e ENERGIA.

O módulo de saída e controle do VSP recebe do módulo de edição dos parâmetros a área de memória contendo na sua primeira posição, o número de bytes que devem ser enviados ao sintetizador para que seja produzida a fala de uma palavra ou uma frase. Este módulo controla o preenchimento do "BUFFER" FIFO e o envio de comandos ao VSP.

VI.5. Modo de Operação do Sistema.

Ao se ligar ou se pressionar o botão de "RESET" do micro-computador este passa a operar no modo "monitor". Deve-se em seguida, teclar a barra de espaço no terminal para iniciar-se a comunicação do terminal com o microcomputador. O caractere

"espaço" é utilizado por uma rotina do microcomputador para, automaticamente, determinar a velocidade de comunicação com o terminal. Em seguida deve-se teclar:

GO C000 "CR"

onde "CR" significa a tecla de "RETURN" ou "CARRIAGE RETURN". Isto transfere o controle do microcomputador ao "software" do sistema de síntese de voz.

A partir de então, o sistema está pronto para a introdução do texto, podendo-se manipular os sons através dos caracteres de controle descritos no item VI.4.2. Ao se teclar um caractere "espaço" finalizando uma palavra, o sistema automaticamente irá pronunciar a palavra e, para a repetição da elocução da palavra bastará teclar a barra de "espaço" novamente. Assim, a medida que se for digitando a frase, o sistema irá pronunciando palavra por palavra, até se chegar ao fim da frase, que será identificada pelo sistema ao se teclar o "CR". Para a repetição da frase bastará teclar apenas o "CR" novamente.

VII. Resultados e Conclusões.

VII.1. Resultados

A primeira elocução tentada foi a palavra "EDIT", cuja sequência de parâmetros em LPC, já codificado em binário, foi publicada em BRIGHTMAN e CROOK (10), que resultou num som um tanto estranho porém reconhecível, após algumas repetições da fala pelo sistema. Após este resultado passamos a utilizar a tabela de parâmetros de fonemas do idioma português obtida de CAMPOS (1). A fala resultante foi considerada de qualidade razoável, sendo clara e inteligível.

A taxa de armazenamento médio é da ordem de 150 bps, calculada a partir do número de bits utilizados pelo texto de entrada para cada segundo de voz produzida em correspondência a este texto.

O dicionário com os 257 difones ocupa cerca de 8 kbytes. Os programas ocupam outros 8 kbytes. A memória de acesso direto (RAM) com 32 kbytes e possibilidades de alcançar até 48 kbytes é utilizada para o armazenamento temporário do texto de entrada e das tabelas de parâmetros editadas para alimentar o processador de voz. Isto resulta numa boa capacidade para a fala concatenada de longos textos.

VII.2. Conclusões.

Este sistema de síntese de voz possibilita, pela sua flexibilidade e capacidade de manipulação dos sons, um trabalho de experimentação, a partir de um texto relativamente longo, determinar as regras de uma gramática de entoação para a língua portuguesa brasileira, que seja apropriada ao uso de um conversor de texto mais elaborado. Um dos objetivos a que se propõem este trabalho, que é o de servir de base para projeto de construção de um terminal portátil de voz, foi alcançado e sua viabilidade demonstrada. A qualidade de voz obtida pelo sistema é comprometida em certo grau, em virtude da utilização da tabela de parâmetros de CAMPOS (1), que a obteve de um sistema de análise e síntese integrados e utilizando um computador de grande porte, portanto sem problemas de precisão numérica ou

erros de truncamento ou arredondamento. Também os coeficientes de reflexão obtidos desta tabela, quando convertidos para o TMS 5220 da "Texas Instruments", são substituídos pelo valor do parâmetro da tabela interna do VSP que mais se aproxima deste.

Apesar destas limitações e também de não dispormos de um sistema de análise de voz para permitir a obtenção e a experimentação de parâmetros obtidos a partir de outras amostras de vozes (feminina, por exemplo) conseguimos uma qualidade satisfatória da voz sintetizada.

VII.3. Tópicos para Pesquisas Futuras.

Dois tópicos são fundamentais, tendo em vista a melhoria do sistema apresentado. Primeiro, o desenvolvimento de um sistema de análise dos sinais de voz por predição linear, para permitir a obtenção de parâmetros mais adequados ao TMS 5220 da "Texas Instruments" por nós empregado. Aqui se inclui também a possibilidade de desenvolver e experimentar outras técnicas ou métodos de extração dos parâmetros da voz, visando melhorar a precisão destes.

Segundo, em relação a qualidade da voz sintetizada, nos parece fundamental dotá-la da maior naturalidade possível. Embora este objetivo pareça impossível de se atingir, pois o texto escrito já é uma codificação da fala e não contém toda uma série de informações relativas aos aspectos expressivos e emocionais que são perdidos neste processo. Entretanto, acreditamos que valendo-se de pesquisas em Inteligência Artificial se possa recuperar uma boa parte destas informações. Assim, por exemplo, pela identificação de padrões de expressões que indiquem raiva, ódio, angústia, tristeza, etc., ou pelo reconhecimento de palavras-chave ou determinadas construções, se possa sintetizar a fala com a entoação apropriada. Em outras palavras, significa que a complexidade do programa de conversão deve ser bastante aumentada, a fim de utilizar não só as regras de sintaxe mas sobretudo a semântica, isto é, a "compreensão" do texto "lido".

VIII. BIBLIOGRAFIA

- (1) - CAMPOS, G. L.: Síntese de Voz para o Idioma Português. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica, USP. São Paulo, 1980.
- (2) - MARKEL, J. D. AND GRAY, A. H.: Linear Prediction of Speech. Springer-Verlag, New York, 1976.
- (3) - RABINER, L. R. AND SCHAFER, R.W.: Digital Processing of Speech Signals. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1978.
- (4) - CATER, J. P.: Eletronicallly Speaking: Computer Speech Generation. Howard W. Sams & Co. Inc. Indianapolis, IN. 1983.
- (5) - KUECKEN, J. A.: Talking Computers and Telecommunication. Van Nostrand Reinhold Co. Inc. New York, N.Y. 1983.
- (6) - TEJA E.R. & GONNELLA G.: Voice Technology. Reston Publishing Co, Inc. Reston, Virginia. 1983.
- (7) - SCAGLIOLA, C. & VIVALDA, E.: "Sistema di Risposte Vocali Automatiche da Calcolatore", Elettronica e Telecomunicazione N. 2. Torino. (1979).
- (8) - STOFFEL, D.: "Talking Terminals", Byte, September, pp. 218-227. (1982).
- (9) - WIGGINS R. & BRANTINGHAM, L.: "Three-Chip System Synthesizes Human Speech", Electronics, vol. 51 (18). Pp. 109-116, Aug. 31, (1978).
- (10) - BRIGHTMAN T., & CROOK S.: "Exploring Pratical Speech I/O", Mini-Micro Systems, pp. 291-305 may (1982).

- (11)-MAKHOUL, J.: "Linear Prediction. A Tutorial Review", Proc. Of IEEE vol. 63. No 4, pp. 561-580, Apr. (1975).
- (12)-FLANAGAN, J. L.: "Computers That Talk and Listen", Man-Machine Communication by Voice. Proc. Of IEEE, vol. 64. No. 4. Pp. 405-415, Apr. (1976).
- (13)-RABINER, L. R. & SCHAFER, R.W, : "Digital Techniques for Computer Voice Response. Implementations and Applications", proc. Of IEEE, vol. 64. No. 4. Pp. 416-433, Apr. (1976).
- (14)-ALLEN J.: "Synthesis of Speech from Unrestricted Text", Proc. Of. IEEE, vol. 64. No. 4. Pp. 433-442, Apr (1976).
- (15)-UMEDA, N.: "Linguistic Rules for Text-to-Speech Synthesis", proc. Cf IEEE, vol. 64. No. 4. Pp. 443-481, Apr. (1976).
- (16)-MORF, M.; DICKINSON, B.; KAILATH. & VIEIRA, A. C. G.: "Efficient Solution of Covariance Equations for Linear Prediction", IEEE Trans. On Ac., Sp. And Sig. Proc., vol. 25. No. 5. Pp. 429-433, Oct. (1977).
- (17)-MAKHOUL, J.: "Stable and Efficient Lattice Methods for Linear Prediction", IEEE Trans. On Ac., Sp. And Sig. Proc., vol. 25. No. 5 pp. 423-428, Oct. (1977).
- (18)-SCHROEDER, M. R.: "Linear Prediction, External Entropy and Prior Information in Speech Signal Analises and Synthesis", Speech Communication, Vol. 1 No. 1. Pp. 9-20, May (1982).
- (19)-SHERWOOD, B. A.: "The Computer Speaks". IEEE Spectrum, pp. 18-25. Aug. (1979).

- (20)-SONGCO, D. C., ALLEN, S. I., PLEXICO, P. S. & MORFORD, R. A.: "How Computers Talk to the Blind". IEEE Spectrum, pp. 34-38. May. (1980).
- (21)-ANDREIEV, N.: "Speech Synthesis: High Technology's Dark Horse in Search of New Pastures", Control Engineering, pp. 95-98. SEP. (1981).
- (22)-DAVIS, D. B.: "Voice Store and Forward - Is the Message Getting Through?", Mini-Micro System, pp. 105-113, Jan. (1982).
- (23)-MASTERS, P.: "Talk is Getting Cheaper", Datamation, pp. 71-74, (1981).
- (24)-COLE, B. C.: "Advances in Speech Synthesis", Interface Age, pp. 100-105, SEP, (1981).
- (25)-BERNEY, C. L. & HARSHMAN, C.: "Voice Ware Does it Differently", Mini-Micro System, Pp. 183-193, Mar. (1982).
- (26)-HEFTMAN, G.: "Speech Synthesizers-the Talk. of The IC World", Electronic Design, pp. 73-76, Mar. 5, (1981).
- (27)-HOFSTETTER, E. M; TIERNEY, J. & WHEELER, O.: "Microprocessor Realization Of A Linear Predictive Vocoder", IEEE Trans. On Ac., Sp. And Sig. Proc., Vol. 25. No. 5 pp. 379-387, Oct. (1977).
- (28)-RABINER, L. R. ATAL, B. S. & SAMBUR, M. R.: "Lpc Prediction Error-analysis of its Variations With the Position of the Analysis Frame", IEEE Trans. On Ac., Sp. And Sig. Proc., Vol. 25. No. 5 pp. 434-442. Oct. (1977).

- (29)-FELDMAN, J. A; HOFSTETTER, E. M. & MALPASS, M.: "A Compact, Flexible Lpc Vocoder Based on a Commercial Signal Processing Microcomputer", IEEE Journal Of Solid-state Circuits, Vol. 18. No. 1 pp-4-9, Feb. (1983).
- (30)-FELLMAN, R. D. & BRODERSEN, R. W.: "A Switched-Capacitor Adaptative Lattice Filter", IEEE Journal Of Solid-state Circuits, Vol. 18 No. 1 pp. 46-56, Feb. (1983).
- (31)-GREGORIAN, R. & AMIR, G.: "A Single Chip Speech Synthesizer Using a Switched-Capacitor Multiplier", IEEE Journal Of Solid-state Circuits, pp. 65-74, Feb. (1983).
- (32)-INOUE, K, WAKABAYASHI, K. ET alii.: "A Single Cmos Speech Synthesis Chip And New Synthesis Techniques", IEEE Journal Of Solid-State Circuits, Vol. 18. No. 1. Feb. (1983).
- (33)-HOOT, J. E.: "Voice Lab: A System For Digital Speech Synthesis and Analyses", Byte, pp. 186-206, Jul. (1983).
- (34)-TEXAS INSTRUMENTS INC.: Tms 5220 Voice Synthesis Processor Data Manual, Midland Tx. 1981
- (35)-NETROMICS RESEARCH AND DEVELOPMENT LTD.: Explorer 85-Assembly Manual, Levels A, B, C, D, New Milford, Ct. (1979).
- (36)-FONS, K & GARGAGLIANO, T.: "Articulate Automata: An Overview of Voice Synthesis", Byte, Vol. 6 No. 2. Pp. 164-187, Feb. (1981).

- (37)-ZUFFO, J. A.: Microprocessador: Dutos de Sistema, Técnicas de Interface e Sistemas de Comunicação de Dados", Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 535 p. 1981.
- (38)-FERREIRA, A. B. H.: Novo Dicionário da Língua Portuguesa, Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1975.
- (39)-PLATÃO Timeu e Critias ou a Atlântida, Hemus - Livraria e Editora Ltda. São Paulo. 1981.
- (40)-ALBUQUERQUE, J. P. A. & MARCA, J. R. B.: "Representação Digital de Sinais de Voz", Revista IBM, Ano I No. 4. Pp. 30-39, Jun. (1980).

Anexo 1. Nomenclatura.

ADM = "Adaptative Delta Modulation".
ADPCM = "Adaptative Differential PCM".
APC = "Adaptative Predictive Coding".
A/D = Conversor Analógico para Digital.
 $a(i)$ = coeficientes de predição.
 $a(k)$ = coeficientes de predição do sinal de saída.
AR = "Auto-Regressive".
ARMA = Auto-Regressive Moving Average".
 $A(Z)$ = transformada Z da função "filtro inverso".
 $A^i(Z)$ = iteração i do filtro inverso.
 $b(l)$ = coeficientes de predição do sinal de entrada.
bps = bits por segundo
CPU = "Central Processing Unit".
DM = "Delta Modulation".
DPCM = "Differential PCM".
D/A = Conversor Digital para Analógico.
EPROM = "Eraseble Programmable Read Only Memory".
E = erro quadrático total de predição.
 $e(n)$ = erro de predição.
 $E(n)$ = transformada de Fourier de $e(n)$
 $F(N)$ = frequência de Nyquist
 f_1, f_2, f_3 = frequências de ressonância do trato
vocal ou formantes dos sons vocalizados.
FIFO = abreviatura usada para designar a disciplina
de filas tipo "first-in, first-out".
G = Ganho do sistema.
 $H(z)$ = Função de transferência do sistema.
ILE = Integração em Larga Escala.
IMAE = Integração em Muita Alta Escala.
 $k(i)=k$ = coeficientes de reflexão.
LCC = Laboratório de Computação Científica.
LDM = "Linear Delta Modulation".
LPC = "Linear Predictive Coding."
MA = "Moving Average".
MAD = Memória de Acesso Direto.
MAL = Memória de Apenas Leitura.
MALP = Memória de Apenas Leitura Programável.

OCR = "Optical Character Recognition".
 PCM = "Pulse-Code Modulation".
 PWC = "Parametric Waveform coding".
 PARCOR = coeficientes de correlação parcial.
 RAM = "Random Access Memory".
 ROM = "Read Only Memory".
 $R(i)$ = R = coeficientes da matriz de Toeplitz.
 SID = "Serial Input Data".
 SOD = "Serial Output Data".
 $s(t)$ = s = sinal analógico da voz.
 $S(z)$ = Transformada de Fourier da banda de $s(t)$.
 $s(n)$ = função discreta do sinal de voz,
 representada por uma sequência de amostras.
 T = período.
 TTL = "Transistor-Transistor Logic".
 TTY = abreviação de "Teletype Writer" usada para
 designar genericamente terminais do mesmo tipo.
 $u(n)$ = u = forma de onda do sinal da glote.
 USART = "Universal Synchronous and Assynchronous
 Receive Transmit".
 $u_G(t)$ = função da forma de onda irradiada nos lábios.
 $u_L(t)$ = função da forma de onda produzida pela glote.
 VSP = "Voice Synthesis Processor".
 V/NV = Vocalizado/Não-vocalizado.
 $Z(i)$ = impedância da secção i de uma linha de
 transmissão.

ANEXO 2. LISTAGENS DOS PROGRAMAS.

* PARA COMPILAR COM O CROSS ASSEMBLER

*

*\$R *I8080ASR SCARDS=FALADOE SPRINT--P SPUNCH--A PAR=OBJF=KIM

*

*

* -----

*

*

* AREA DE CONSTANTES, PONTEIROS ETC.

*

	ORG	07F30H	; INICIO DA RAM ESTATICA
PAEPD	DW	2000H	; PONTEIRO DA AREA DE TABELAS DECIMAIS
PAEPH	DW	1000H	; PONTEIRO DAS TABELAS EM HEXA
PASPV	DW	0000H	; PONTEIRO DOS PARAMETROS P/ VSP
FREP	DB	0	; FLAG DE RESET ATIVO
FFLD	DB	0	; FLAG DE FALANDO
APONT	DW	0	; APONTADOR DO PARAM. A SAIR P/ VSP
CURSOR	DW	0400H	; CURSOR NA IMAGEM DA TELA NA RAM
ITELA	DW	0400H	; INICIO DA TELA EM RAM
FTELA	DW	07FFH	; FIM DA TELA EM RAM
T12	EQU	0101H	; TEMPO DE 12 MICROSEGUNDOS
T30	EQU	0104H	; TEMPO DE 30 MICROSEGUNDOS
T260	EQU	0126H	; TEMPO DE 260 MICROSEGUNDOS
CR	EQU	0DH	; CARRIAGE RETURN
LF	EQU	0AH	; LINE FEED
CLINHA	DB	0	; CONTADOR DE LINHAS
HLSAV	DW	0	; HL SALVO
CSAVE	DB	0	; C CONTEM END. LOW PROX. FRASE NO ROM
BSAVE	DB	0	; B CONTEM END. HI PROX. FRASE NO ROM
GETCH	EQU	0F563H	
CO	EQU	0F4DAH	
GETNUM	EQU	0F5C8H	
ECHO	EQU	0F514H	
ECHOB	EQU	0F50CH	
CROUT	EQU	0F506H	
NMOUT	EQU	0F645H	

```

MONISC EQU 0F03CH ; MONITOR DO SCHUMEC
CONVER EQU 0C000H ; CONVERSOR TEXTO-FONE
MMP EQU 0D800H , MONITOR MICRO-MTS

```

```
* MONTA EQU ----
```

```
SPACE 2
```

```
*
```

```
* PROGRAMA MONITOR
```

```
*
```

```

ORG 0C000H
LXI H,2000H
SHLD PAEPD
LXI H,1000H
SHLD PAEPH
LXI H,00H
SHLD PASPV

```

```
*
```

```
*
```

```

CALL INIVSP ; INICIALIZA O V.S.P.
MON1: MVI C,'>' ; IDENTIFICADOR DO MONITOR
CALL CO ; MANDA PARA O VIDEQ
CALL GETCH ; LE O COMANDO
CPI 12H ; CNTRL-R = (DC2) : PARA RETORNAR AO MTS
JZ MMP
CPI 1BH ; (ESC) : PARA VOLTAR AO MONITOR SCHUMEC
JZ MONISC
CPI 'M' ; SE 'M' CANTA O Q ESTA NO ROM A000H
JZ CANTA
CPI 'N' ; SE 'N' TABELAS ESTAO NO ROM 8000H
JZ TEMROM
CPI 'O' ; SE 'O' TABELAS ESTAO NA RAM 2000H
JZ TEMRAM
CPI 'L' ; SE 'L' LISTA TABELA
JZ LISTAR
CPI 'F' ; SE 'F' FALA
JZ FALAR
CPI 'E' ; SE 'E' EDITA TABELA
JZ EDITAR
CPI 'R' ; SE 'R' REPETE S/ PARAR
JZ REPETE

```

```

CPI   'A'      ; ACHA O ENDERECO DA LINHA L NA TAB. T
JZ    ACHAR
CPI   'T'      ; TROCA O DADO DE UMA COLUNA
JZ    TRCQUE
CPI   'C'      ; COLOCA DADO NUMA LINHA
JZ    CCLOQ
CPI   'S'      ; FALA FRASE DO ROM (EM INGLES)
JZ    FAFRA
CPI   'V'      ; REPETE A FRASE ANTERIOR SEM PARAR
JZ    REPFRA
CPI   'U'      ; FALA TODAS AS FRASES DO ROM (EM INGLES)
JZ    FATODO
CALL  CO       ; ENTAO NAO EH COMANDO. ECO DO CARAC. LIDO
JMP   MGN1     ; LE DE NOVO SE NAO EH COMANDO VALIDO
SPACE 2

```

* F I M D O M O N I T O R

SPACE 2

```

POSIHL: CALL CO      ; FAZ ECO DO COMANDO
        MVI C,1      ; NUMERO DE PARS. A SEREM LIDOS
        CALL GETNUM  ; LLTT: NUMERO DA LINHA E NUMERO DA TAB.
        POP D
        MOV A,D
        CPI 0
        JZ GETNU1
GETNU0: MOV A,E
        CPI 0
        JNZ POSI1
        MVI E,1
        JMP POSI1
GETNU1: MVI D,1
        JMP GETNU0
POSI1:  LHLD PAEPD
LS0:    MOV A,M
        CPI 04
        JNZ LS3
        INX H
        MOV A,M

```

```

        CMP     F
        JNZ     LS2
        INX     H
        RET
        SPACE 2
LISTAR: CALL   POSIHL
LS05:  MVI     C,0CH      ; CLEAR-HOME
        CALL   ECHO
        MVI     C,10H     ; 16 IDLES - (CCIOSOS)
LS1:   MVI     B,0
        CALL   ECHOB
        DCR     C
        JNZ     LS1
        JMP     LS5
LS2:   INX     H
        JMP     LS0
LS3:   CPI     03
        JNZ     LS2
LS35:  CALL   CROUT
        LXI     H,IMEN
        MVI     D,TAMAN   ; 26 BYTES (18 EM HEX)
LS4:   MOV     C,M
        CALL   CO
        INX     H
        DCR     D
        JNZ     LS4
        JMP     MON1
IMEN:  DB     'FIM DAS TABS. ENCONTRADO',ODH,0AH
TAMAN: EQU    *-IMEN
LS5:   MOV     E,E
        PUSH   H
        CALL   CABEC
        POP    H
        CALL   LISTA
        JMP    MON1
*      MODULO DE EDICAO PARAMETRO P/ VSP
        SPACE 2
EDPVSP: PUSH   H          ; SALVA APONTADOR DA TABELA
        INX     H          ; AVANCA O PONTEIRO

```

```

INX   H           ; AVANCA O PONTEIRO
PUSH  H           ; SALVA END. DO CONT. DE BYTES
INX   H           ; AVANCA O PONTEIRO
INX   H           ; APONTA O INICIO DOS PARAMETROS
MVI   B,0         ; INICIALIZA O ...
MVI   C,1         ; CONTADOR DE BYTES DE ...
PUSH  B           ; PARAMETROS COM 01.
MVI   B,80H      ; COLOCA MASCARA EM B
XRA   A           ; ZERA A
MOV   M,A        ; ZERA A MEMORIA
E0:   MVI   C,8   ; COLOCA CONTANDO DE BITS EM C
      LDAX D     ; PEGA EM A O 1 PARAM. APONTADO POR DE
      INX   D     ; APONTA O PROX. PARAMETRO
E1:   RLC       ; DESLOCA OS BITS DO PARAM. P/A ESQUERDA
      DCR   C     ; MENOS 1 BIT
      JZ   FIM   ; SE C CHEGOU A 0, ENTAO E O FIM
      JNC  E1    ; ENQUANTO NAO TERM CARRY, VAI DESLOCANDO
E2:   RLC       ; ACHOU O INICIO DO PARAMETRO, TESTA O BIT
      PUSH PSW  ; SAIVA REG A E FLAGS
      JNC  EFETUA ; SE O BIT E = 0 JA ESTA FEITO, VAI AO PRO
      MOV  A,B   ; SENDO E 1. PREPARA A MASCARA EM A
      ORA  M     ; LIGA O BIT NA MEMC. NA POS. DADA ...
      MOV  M,A   ; PEGA MASCARA E EFETIVA..
EFETUA: MOV  A,B ; PEGA A MASCARA
      RRC       ; AVANCA UM BIT
      MOV  B,A   ; ATUALIZA DE VOLTA B
      JC   E4   ; SE DEU CARRY, COMPLETOU + 1 BYTE
      POP  PSW  ; RESTAURA O PARAMETRO EM A
E3:   DCR   C   ; MENOS 1 BIT NO CONTADOR DE BITS
      JZ   E0   ; SE CHEGOU A ZERO PEGA O PROX. PARAMETRO.
      JMP  E2   ; SENAO, CONTINUA A PEGAR OS BITS
E4:   INX   H   ; BYTE CHEIO, APONTA O PROXIMO
      XRA   A   ; ZERA REG. A
      MOV  M,A ; ZERA OS BITS DO PROX. BYTE
      POP  PSW ; TIRA A PSW DA PILHA P/PEGAR O CONT.
      XTHL        ; TROCA CONTEUDO DE (HL) COM (SP)
      INX   H   ; SOMA UM AO CONTADOR
      XTHL        ; DEVOLVE P/ PILHA E PEGA DE VOLTA (HL)
      JMP  E3   ; CONTINUA NOS BITS DO PARAMETRO

```

```

FIM:  MOV  A,B      ; CHEGOU AO FIM. VEJAMOS SE ...
      CPI  80H     ; O BYTE NA MEMORIA ESTA CHEIO
      JZ   E5      ; SE ESTA, O BYTE DE FIM JA ESTA PRONTO.
      XRA  A       ; SENAO, ZERA REG. A
      INX  H       ; MAIS 1 EM HL
      MOV  M,A     ; ZERA O PROXIMO BYTE
      XTHL      ; PEGA O CONTADOR DE BYTES NA PILHA
      INX  H       ; SOMA 1
      XTHL      ; DEVOLVE P/ A PILHA (STACK)
E5:   POP  D       ; ENTAO, PEGA O RESULTADO DO CONTADOR EM D
      POP  H       ; PEGA O END. NA AREA DE SAIDA DO CONTADOR
      MOV  M,E     ; COLOCA CONTADOR DE(E) EM CONTADOR.
      INX  H       ; AVANCA O PONTEIRO.
      MOV  M,D     ; COLOCA (D) EM CONT. +1.
      POP  H       ; PEGA O END DO INICIO DA TAB.
      MOV  M,L     ; COLOCA (L) EM PONT.
      INX  H       ; AVANCA O PONTEIRO.
      MOV  M,H     ; COLOCA (H) EM PONT. +1
      RET                ; MISSAO CUMPRIDA, PODEMOS VOLTAR.
      SPACE 2

```

*

```

*      ROTINA DE INICIALIZACAO DO VSP
      SPACE 2
INIVSP: MVI  C,10   ; CONTADOR DE BYTES DE SAIR
        MVI  A,80H  ; BIT E7=1
        STA  FREP   ; LIGA FLAG RESET EM PROGRESSO
I1:    IN   90H     ; LE ESTADO
        RRC                ; PEGA O BIT "TS"
        JC   I3      ; SE ESTA FALANDO, TESTA DE NOVO
I2:    MVI  A,0FFH  ; SENAO MANDA FF P/ O VSP
        OUT  90H     ; EFETUA
        LXI  D,T260  ; CARREGA A CONST. DE TEMPO
        CALL TEMPO   ; DA UM TEMPO.
        DCR  C       ; MENOS 1 NO CONTADOR
        JNZ  I2      ; SE NAO CHEGOU A ZERO, CONTINUA
        XRA  A       ; SENAO, ZERA A
        STA  FREP   ; DESLIGA FLAG
        RET                ; VOLTA NUMA BOA
I3:    LXI  D,T12   ; PEGA CONSTANTE DE TEMPO DE 12 MICROS

```



```

CALL TEMPO ; DA UM TEMPO
JMP I1 ; VOLTA P/ TESTAR DE NOVO
SPACE 2
TEMPO: EQU * ; ROTINA DE TEMPORIZACAO
T1: DCR E ; SUBTRAI 1 DA CONSTANTE ...
JNZ T1 ; DE TEMPO ...
DCR D ; ATE CHEGAR A ...
JNZ T1 ; ZERO
RET ; ENTAO RETORNA.
SPACE 2
FALA: MVI A,80H ; LIGA O FLAG ...
STA FFLD ; DE FALANDO
F1: IN 90H ; LE ESTADO DO VSP
RRC ; COLOCA O BIT DE TS NO CARRY
JC F4 ; - TA FALANDO "TS=1"
MVI A,0F7H ; SE NAO ESTA FALANDO, ENTAO...
OUT 90H ; MANDA O COMANDO DE 'SPEAK EXTERNAL'
LXI D,T30 ; PEGA A CONSTANTE DE TEMPO E ...
CALL TEMPO ; DA UM TEMPO
PUSH H ; SALVA HL
INX H ; AVANCA O PONTEIRO PARA ...
INX H ; PEGAR O N. DE BYTES
MOV E,M ; PEGA O CONT. LOW EM E
INX H ; APONTA O HL.
MOV D,M ; PEGA O HL EM D
INX H ; AGORA APONTA O 1. PARAMETRO
SHLD APONT ; ATUALIZA O APONTADOR
F2: IN 90H ; LE O ESTADO DO VSP
RRC ; BIT DE 'TS' NO CARRY
RRC ; BIT DE 'BL' NO CARRY
JNC F5 ; SE 'BL'= 0 BUFFER CHEIO
MOV A,D ; SENAO, VERIFICA SE ...
CPI 0 ; O RESTO E H ...
JNZ F3 ; MENOR ...
MVI A,8 ; QUE 8.
CMP E ; SE FOR >= ...
JC F3 ; A 8, VAI TIRAR APENAS 8 BYTES
MOV C,E ; SENAO, TIRA SOMENTE O RESTO
CALL SAI ; DA SAIDA A (REG.C) BYTES

```

```

POP      H          ; RESTAURA HL
SHLD    APONT      ; ATUALIZA APONTADOR
XRA     A          ; ZERA A
STA     FFLD       ; DESLIGA FLAG
RET     ; VOLTA DAQUI
F3:     MVI     C,8  ; TEMOS MAIS QUE 8 BYTES P/TIRAR ...
CALL    SAI       ; TIRAMOS APENAS 8
JMP     F2        ; VOLTA PARA TESTAR O 'BL' DE NOVO
F4:     LXI     D,T12 ; TEMPO DE 12 MICROSEGUNDOS
CALL    TEMPO     ; VAI GASTA-LO
JMP     F1        ; VOLTA PARA NOVO TESTE DO 'TS'
F5:     PUSH   D    ; SALVA DE
LXI     D,T12     ; CARREGA A CONSTANTE DE 12 MICROS.
CALL    TEMPO     ; DA O TEMPO
POP     D         ; RESTAURA REG. DE
JMP     F2        ; VOLTA A TESTAR 'BL'
SPACE 2
SAI:    LHLD   APCNT ; APONTA O PROX. BYTE A SAIR
S1:     MOV    A,M   ; PEGA-O EM A
OUT     90H      ; MANDA O BYTE PARA O VSP
INX     H        ; APONTA O PROXIMO
DCX     D        ; DEBITA UM 1 NO CONTADOR TOTAL
DCR     C        ; DEBITA 1 NO CONTADOR DO BLOCO
JNZ     S2       ; SE NAO CHEGOU A ZERO, DA UM TEMPO
SHLD   APONT    ; SE CHEGOU A ZERO, GUARDA O APONTADOR
RET     ; E VOLTA
S2:     PUSH   D    ; SALVA DE
LXI     D,T12     ; CARREGA DE COM A CONSTE. DE TEMPO
CALL    TEMPO     ; CHAMA ROTINA DE TEMPORIZACAO.
POP     D         ; RESTAURA DE E ..
JMP     S1        ; CONTINUA TIRAR OS BYTES.
SPACE 2
CABEC:  LXI     H,ACABEC ; APONTA O INICIO DO CABECALHO
MVI     C,04H    ; COLOCA O CODIGO "HOME" EM C
CALL    CC       ; MANDA P/ O TERMINAL
CA1:    MOV     C,M   ; PEGA O BYTE E ...
CALL    CC       ; MANDA P/ O TERMINAL
INX     H        ; APONTA O PROX.
MOV     A,M     ; COLOCA-O EM A

```

```

CPI    20H      ; E BRANCO?
JNZ    CA1     ; NAO, CONTINUA NO LOOP
MOV    A,E     ; COLOCA NUMERO NA TABELA EM A
CALL   NMOUT   ; MANDA N. TAB P/ O TERMINAL EM HEX.
MVI    B,2DH   ; 45 BYTES NO CONTADOR
CA2:   MOV    C,M   ; PEGA O BYTE DO CABECALHO
      INX    H     ; APONTA O PROXIMO
      CALL   CC    ; MANDA-O AO TERMINAL
      DCR    E     ; MENOS 1 NO CONTADOR
      JNZ    CA2   ; CHEGOU A ZERO? NAO, CONTINUA
      CALL   CROUT ; SE CHEGOU, ENTAO MANDA CR, LF E
      RET                     ; RETORNA.
      SPACE 2
ACABEC: EQU    *
      DB    'TAB LIN ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA'
MASC:   EQU    *
      DB    10H,02H,40H,20H,20H,10H,10H,10H,10H,10H,08H,08H,08H
COPADE: EQU    *      ; CONVERTE PARAMETROS EM DECIMAL
C1:    LXI    B,MASC ; CARREGA BC COM END DA MASCARA
C2:    MOV    A,M     ; PEGA O PARAMETRO
      INX    H     ; APONTA O PROXIMO
      CPI    ' '     ; E BRANCO?
      JZ     C2     ; SIM, IGNORA E VAI PEGAR O PROX.
      CPI    0DH    ; E CR?
      JZ     C1     ; SIM, FIM DE 1 LINHA DE PARAM. COMECA DE N
      CALL   CCBIN  ; SENAO, E PARAMETRO - CONVERTE P/BINARIO
      STAX   D     ; COLOCA-O NA SAIDA
      MOV    A,M     ; PEGA O PROX. PARAMETRO
      CPI    0DH    ; E CR?
      JZ     C3     ; SIM, ENTAO JA PODE MARCAR E RECOMEÇAR
      CPI    ' '     ; SENAO, SERA BRANCO?
      JZ     C5     ; SIM, MARCA, IGNORA BRANCO E CONTINUA
      CALL   COBIN  ; SENAO, CONVERTE-O PARA BINARIO.>9
      PUSH   PSW    ; SALVA PSW PRA MULTIPLICAR O PARAM. POR 10
      LDAX  D     ; PEGA O PARAMETRO DA SAIDA DE NOVO
      ADD    A     ; VEZES 2
      STAX  D     ; GUARDA NA MEMORIA DE VOLTA
      ADD    A     ; VEZES 4
      ADD    A     ; VEZES 8

```

```

XCHG          ; TROCA DE COM HL
ADD   M       ; SOMA VEZES 8 + VEZES 2 = VEZES 10
MOV   M,A     ; DEVOLVE PARA A AREA DE SAIDA
POF   PSW     ; RESTAURA PSW - PEGA O SEG. DIGITO
ADD   M       ; SOMA COM O 1. DIGITO VEZES 10
MOV   M,A     ; FINALMENTE NA MEMORIA CONVERTIDO P/HEX
XCHG          ; TROCA HL COM DE
CALL  MARCA   ; AGORA PODE MARCA-LO
CPI   1FH     ; SERA O ULTIMO?
JNZ   C6      ; NAO, CONTINUA
MOV   A,C     ; SENAO VEJAMOS
CPI   MASC+1  ; E A SEGUNDA MASCARA?
JNZ   C6      ; NAO, CONTINUA
INX   D       ; SENAO, E O FIM
XRA   A       ; ZERA A
STAX  D       ; ZERA O PROX. BYTE DE SAIDA. CODIGO DE FI
RET          ; RETORNA
C3:  CALL  MARCA   ; MARCA O BYTE DE SAIDA ANTES DE VOLTAR
C4:  INX   E       ; MAIS UM BYTE NA SAIDA
      INX   H       ; APONTA O PROXIMO PARAMETRO DE ENTRADA
      JMP   C1      ; RECOMECA
C5:  CALL  MARCA   ; MARCA O BYTE NA SAIDA ANTES DE CONTINUAR
C6:  INX   D       ; APONTA O PROX. BYTE DE SAIDA
      INX   H       ; APONTA O PROX. BYTE DE ENTRADA
      JMP   C2      ; CONTINUA A PEGAR OS PARAMETROS DA MESMA
      SPACE 2
MARCA: LDAX  B      ; PEGA A MASCARA
      XCHG          ; TROCA DE COM HL
      ORA   M       ; LIGA O BIT DO BYTE DE SAIDA MARCANDO INI
      MOV   M,A     ; EFETIVA NA MEMORIA
      INX   B       ; APONTA A PROXIMA MASCARA
      XCHG          ; TROCA HL COM DE
      RET          ; RETORNA
      SPACE 2
COBIN: SUI   '0'    ; SUBTRAI A POLARIZACAO
      JC   ERRO     ; SE O NUM.<0 ERRO NA ENTRADA
      CPI   10      ; COMPARA COM 10
      JNC  ERRO     ; SE>= 10 ERRO TAMBEM NA ENTRADA
      RET          ; RETORNA

```

```

SPACE 2
ERRO: CALL CROUT ; MANDA CR,LF P/O TERMINAL
      LXI H,EMENS ; APONTA O INICIO DA MENSAGEM DE ERRO
      MVI B, TMENS ; EM B O TAMANHO DA MENSAGEM
CN2:  MOV C,M ; PEGA O CARACTER
      CALL CO ; MANDA P/ O TERMINAL
      INX H ; APONTA O PROXIMO
      DCR B ; MENOS 1 NO CONTADOR
      JNZ CN2 ; SE NAO CHEGOU A 0, CONTINUA O LOOP
      JMP MON1 ; VOLTA P/ O MONITOR
SPACE 2
EMENS: DB 'ERRO NA TAB. DE ENTRADA. CARACTERE NAO HEXADECIMAL'
TMENS: EQU *-EMENS
SPACE 2
LISTA: EQU * ; LISTA A TAB. N. (HL)=INI.TAB. (D)=LINHA 1
      PUSH H ; SALVA PONTEIRO DA TABELA
      MVI E,0 ; ZERA O CONTADOR DE LINHAS
      MOV B,D ; COLOCA EM B O NUMERO DA LINHA INICIAL
POS1:  DCR B ; L MENOS 1
      JZ L1 ; DEU ZERO? HL JA ESTA POSICIONADO
POS2:  MOV A,M ; SENAO, VAI PROCURAR...
      INX H ; O FIM...
      CPI 0DH ; DA LINHA QUE E O CR.
      JNZ POS2 ; SE NAO ENCONTROU, APROCURA CONTINUA
      JMP POS1 ; SE ENCONTROU, VAI VER SE E A PROPRIA
L1:    MVI B,7 ; COMECA A LISTAR A LINHA. 7 BCCS NO INICI
L2:    MVI C,' ' ; PEGA UM BRANCO E...
      CALL CO ; MANDA P/ O TERMINAL
      DCR E ; MENOS 1
      JNZ L2 ; SE AINDA NAO ACABOU, CONTINUA
      PUSH D ; SENAO, SALVA DE E VAI BOTAR O N. DA LINH
NUMLIM: MOV A,D ; PEGA O NUMERO DA LINHA EM A
      MVI E,100 ; 100 EM E
NU1:   MVI C,2FH ; INICIALIZA O C C/ 1 A MENOS QUE '0'
NU2:   INR C ; SOMA 1 AO C
      SUB E ; NUM. DA LINHA MENOS 100
      JNC NU2 ; NUM. DA LINHA >=100 CONTINUA A DIVISAO
      ADD E ; NUM. DA LINHA <100, RECOMPOE NUM. NA LIN
      MOV B,A ; COLOCA NUM. DA LINHA EM B

```

```

CALL CO      ; IMPRIME O C - DIGITO MAIS SIGNIFICATIVO
MOV  A,E    ; (A) RECEBE 100 NA 1A.VEZ E 10 NA 2A.
SUI  90     ; SUBTRAI 90 DE (A)
MOV  E,A    ; DEVOLVE P/ (E)
MOV  A,B    ; RETOMA O NUM. DA LINHA
JNC  NU1    ; SE A SUBTRACAO POR 90 DEU 10, INICIA A DI
ADI  30H    ; SENAO E O ULTIMO DIGITO, CONVERTE-O P/AS
MOV  C,A    ; COLOCA-O EM C
CALL  CC    ; E MANDA P/ A TELA
L3:  MOV  A,M    ; PEGA O CARACTERE
CPI  04     ; VE SE E O FIM DA TABELA
JZ   L6     ; SE FOR O FIM, SE PREPARA P/RETORNAR
CPI  03
JZ   L6
MOV  C,A    ; SENAO, TRANSFERE-O P/ REG C...
CALL  CO    ; E MANDA P/ O TERMINAL
MOV  A,M    ; PEGA-O DE NOVO
INX  H      ; APONTA O PROXIMO
CPI  0DH    ; VE SE EH FIM DA LINHA
JNZ  L3     ; NAO, CONTINUA O LOOP
POP  D      ; SENAO, RESTAURA DE
INR  E      ; SOMA 1 AO CONTADOR DE LINHAS
MOV  A,E    ; COLOCA-O EM A P/ VER SE CHEGOU EM 15
INR  D      ; SOMA 1 AO NUMERO DA LINHA
CPI  15     ; VE SE CHEGOU EM 15
JZ   L4     ; SIM, VAI AGUARDAR COMANDO
MVI  C,0AH  ; SENAO, DA UM LF ...
CALL  CO    ; PARA O VIDEO
JMP  L1     ; E COMECA NOVA LINHA
L4:  MVI  E,0  ; ZERA O CONTADOR DE LINHAS
L5:  CALL GETCH ; LE UM CHARACTER
CALL  CO    ; FAZ O ECO
MOV  A,C    ; COLOCA-O EM REG. A
CPI  'C'    ; VE SE E CONTINUE. SE ...
JZ   L7     ; SIM, CONTINUA A LISTAR
CPI  'E'    ; SENAO, SERA IDA AO EDITOR?
JNZ  L5     ; NADA DISSO. VOLTA PARA LER DE NOVO
JMP  L65    ; SENAO, VOLTA AO EDITOR
L6:  POP  D    ; OPA, E PARA VOLTAR AO EDITOR...

```

```

L65:   POP    H           ; RESTAURA DE, HL E...
       RET              ; RETORNA
L7:    MVI    C,04       ; HOME - CURSOR NO ALTO
       CALL   CO         ; SAI
       MVI    C,06       ; LIMPA TUDO MENOS A 1A. LINHA.
       CALL   CO         ; SAI
       PUSH  D           ; SALVA DE
       LXI    D,0        ; MAXIMA CONSTANTE DE TEMPO
       CALL   TEMPO      ; DA UM TEMPO
       LXI    D,0
       CALL   TEMPO
       CALL   CROUT      ; CURSOR NA 2A. LINHA.
       POP   D           ; RESTAURA D
       JMP    I1         ; CONTINUA A LISTAR
       CALL   CO         ; PARA O VIDEO...
FAFA:  CALL   POSIHL
       XCHG
       LHLD  PAEPH
       XCHG
       CALL  COPADE
       LHLD  PAEPH
       XCHG
       LHLD  PASPV
       CALL  EDPVSP
       LHLD  PASEV
       CALL  FALA
       RET
       SPACE 2
FALAR: CALL  FAFa
       JMP   MCN1
REPETE: CALL  FAFa
REP:    LXI   D,0
       CALL  TEMPO
       LXI   D,0
       CALL  TEMPO
       LHLD  PASEV
       CALL  FALA
       CALL  VECONS
       JMP   REP

```

```

ACHAR:  CALL  PCSIHL
        CALL  POSILI
        MOV   A,H
        CALL  NMOUT
        MOV   A,L
        CALL  NMOUT
        JMP   MON1
POSILI:  MOV   B,D
ACH1:    DCR   B
        RZ
ACH2:    MOV   A,M
        INX   H
        CPI   03H
        JZ    ACH3
        CPI   04H
        JZ    ACH3
        CPI   0DH
        JZ    ACH1
        JMP   ACH2
ACH3:    POP   H
        JMP   LS35
TROQUE:  CALL  POSIHL
        CALL  POSILI
        MVI   C,':'
        CALL  ECHO
TR1:     CALL  GETCH
        CPI   'E'
        JZ    ENE
        CPI   'P'
        JZ    PIT
        CPI   '1'
        JZ    K1
        CPI   '2'
        JZ    K2
        CPI   '3'
        JZ    K3
        CPI   '4'
        JZ    K4
        CPI   '5'

```



```

JZ      K5
CPI     '6'
JZ      K6
CPI     '7'
JZ      K7
CPI     '8'
JZ      K8
CPI     '9'
JZ      K9
CPI     'A'
JZ      KA
JMP     TR2

```

*

* ROTINAS PARA ALTERAR OS PARAMETROS DA TABELA

*

```

ENE:    LXI    E,2
        JMP    SEV
PIT:    LXI    B,8
        JMP    SEV
K1:     LXI    E,0BH
        JMP    SEV
K2:     LXI    B,0EH
        JMP    SEV
K3:     LXI    E,11H
        JMP    SEV
K4:     LXI    B,14H
        JMP    SEV
K5:     LXI    B,17H
        JMP    SEV
K6:     LXI    B,1AH
        JMP    SEV
K7:     LXI    B,1DH
        JMP    SEV
K8:     LXI    B,20H
        JMP    SEV
K9:     LXI    B,23H
        JMP    SEV
KA:     LXI    B,26H
        JMP    SEV

```

```

R:      LXI    B,4
SEV:    PUSH   B
SEVIRA: MOV    C,A
        CALL  ECHO
SEV1:   CALL  GETCH
        MOV   C,A
        CALL  ECHO
        MOV   A,C
        MVI  D,' '
        CPI  ODH
        JZ   SEV1
        CPI  ', '
        JZ   SEV1
        MOV  E,A
SEV2:   CALL  GETCH
        MOV  C,A
        CALL  ECHO
        MOV  A,C
        CPI  ODH
        JZ   SEV5
        CPI  ', '
        JZ   SEV3
        MOV  D,E
        MOV  E,A
        JMP  SEV2
SEV3:   POP   B
        PUSH  B
        DAD  B
        MOV  M,D
        INX  H
        MOV  M,E
SEV4:   MOV  A,M
        INX  H
        CPI  ODH
        JNZ  SEV4
        JMP  SEV1
SEV5:   POP   B
        DAD  B
        MOV  M,D

```

```

      INX    H
      MOV    M,E
      JMP    MON1
COLOQ: CALL    PCSIHL
      SHLD   HLSAV
      CALL   POSILI
      MOV    B,E
      MVI    M,04
COL0:  MVI    A,1
      JMP    QGALHO
COL1:  LHLD   HLSAV
      CALL   LISTA
      CALL   POSILI
COL2:  CALL   GETCH
      MOV    A,C
      CPI    CR
      JZ     COL6
      CPI    08H      ;BS
      JZ     COL4
      CPI    7FH      ;DEL
      JZ     COL4
      CPI    09H      ;HT
      JZ     COL5
      CPI    03H      ;ETX
      JZ     MON1
      MOV    M,A
      INX    H
COL3:  MOV    C,A
      CALL   CO
      JMP    COL2
COL4:  DCX    H
      JMP    COL3
COL5:  INX    H
      JMP    COL3
COL6:  MOV    M,A
      INX    H
      MVI    M,04
      LDA    CLINHA
      INR    A

```

```

        STA  CLINHA
        INR  D
        CPI  16
        JZ   COL7
        CALL CROUT
        JMP  COL1
COL7:   MVI  C,04      ;HOME
        CALL CC
        MVI  C,LF     ;LF
        CALL CO
        JMP  CCL0
TR2:   CPI  'R'
        JZ   R
        JMP  TR1
QGALHO: STA  CLINHA
        CALL APAG
        JMP  CCL1
APAG:  MVI  C,0CH    ;CLEAR-HOME
        CALL ECHO
        MVI  C,10H   ;16 IDLES
APAG1: MVI  B,0
        CALL ECHOB
        DCR  C
        JNZ  APAG1
        CALL CABEC
        RET
        SPACE 2
FAFRA: LHLD  PASEPV
        PUSH H
        INX  H
        INX  H
        PUSH H
        INX  H
        INX  H
        PUSH H
FF0:   CALL CC
        MVI  C,1
        CALL GETNUM
        MVI  H,8FH

```

```

      POP      D
      MVI     A,4
      CMP     E
      JC      ERROF
FF1:   DCR     E
      JM      FF2
      JNZ     FF8
FF2:   MVI     L,0BOH
FF3:   DCR     D
      JM      FF35
      JNZ     FF9
FF35:  MOV     A,H
      ANI     OFOH
      MOV     D,A
      MOV     B,A
      MOV     A,M
      ADD     D
      MOV     D,A
      INX     H
      MOV     E,M
      INX     H
      MOV     A,M
      ADD     B
      STA     BSAVE
      INX     H
      MOV     A,M
      STA     CSAVE
      LXI     H,1
      XTHL
      MVI     E,1
FF4:   SUB     A
      MOV     M,A
      LDA     CSAVE
      CMP     E
      JNZ     FF45
      LDA     ESAVE
      CMP     D
      JZ      FIMF
FF45:  LDAX    D

```

```

      INX    D
FF5:   RLC
      PUSH  PSW
      JNC   FF6
      MOV   A,E
      ORA   M
      MOV   M,A
FF6:   MOV   A,B
      RLC
      MOV   B,A
      JNC   FF7
      INX   H
      POP   PSW
      XTHL
      INX   H
      XTHL
      JMP   FF4
FF7:   POP   PSW
      JMP   FF5
FF8:   MOV   A,H
      ADI   10H
      MOV   H,A
      JMP   FF1
FF9:   INX   H
      INX   H
      JMP   FF3
ERROF: MVI   C,'R'
      CALL  CG
      MVI   C,'O'
      CALL  CG
      MVI   C,'M'
      CALL  CG
      MVI   C,'?'
      CALL  CG
      MVI   C,CR
      CALL  CG
      MVI   C,LF
      JMP   FF0
FIMF:  POP   D

```

```

    INX    D
    POP    H
    MOV    M,E
    INX    H
    MOV    M,D
    POP    H
    MOV    M,L
    INX    H
    MOV    M,H
    LHLD   P,ASPV
    CALL   FALA
    JMP    MON1
REFPRA: LHLD   P,ASPV
        CALL   FALA
        CALL   VECONS
        JMP    REPFRA
VECONS: RIM
        ORA    A
        RM
        JMP    MON1
EDITAR  JMP    MON1
FATODO  EQU    *
        LXI   D,0B000H
        LXI   H,3000H
        LXI   E,0FBOH
        SHLD  P,ASPV
        MOV   M,L
        INX   H
        MOV   M,H
        INX   H
        MOV   M,C
        INX   H
        MOV   M,B
        INX   H
FAT2:   LDAX  D
        MOV   M,A
        INX   H
        INX   D
        DCX   B

```

```
      MOV    A,B
      ORA    C
      JNZ    FAT2
      LHLD   PASPV
      CALL   FALA
      JMP    MON1
CANTA CALL   CO
      LXI    H,0A000H
      CALL   FALA
      JMP    MON1
TEMROM LXI    H,08000H
      SHLD   PAEPD
      JMP    MON1
TEMBAM LXI    H,02000H
      SHLD   PAEPD
      JMP    MON1
      END
```

```
;*****
```



```

;*****
;
;
CONVER:  ORG  100H
AREAUX  EQU  80H      ;FLAG PARA INDICAR QUE ESTA'
                                ;LENDO DE UMA AREA AUXILIAR
LEUDIG  EQU  40H      ;FLAG PARA INDICAR QUE LEU
                                ;DIGITO P/ALTERAR TOM OU INTENSIDADE
ANTER   EQU  1H      ;CODIGO DE CARATER ANTERIOR NO DIFONE
ATU     EQU  2H      ;CODIGO DE CARATER ATUAL NO DIFONE
MASC    EQU  3H      ;CODIGO DE MASCARAMENTO DO BYTE DO
                                ;DIFONE
AN      EQU  61H      ;'AN'
EH      EQU  65H      ;CODIGO DO SOM 'E' ABERTO
OH      EQU  6FH      ;CODIGO DO SOM 'O' ABERTO
NH      EQU  6EH      ;CODIGO DO SOM 'NH'
LH      EQU  6CH      ;CODIGO DO SOM 'LH'
ERE     EQU  72H      ;CODIGO DO SOM 'R' INTERVOCALICO
ER      EQU  68H      ;CODIGO DO SOM 'R' FINAL
EM      EQU  77H      ;CODIGO DO SOM 'M' FINAL
EN      EQU  79H      ;CODIGO DO SOM 'N' FINAL
K       EQU  128      ;LIGA BITE 7 PARA INDICAR SUBROT. NA MAT
ENDENT  DW  0          ;POINTER P/ ULT. CARACTER LIDO NA EN
SAVEND  DW  0          ;SALVA ENDENT
ENDSAI  DW  0          ;POINTER P/ ULT. BYTE MOVIDO P/ SAIDA
DIFONE  DW  0          ;AREA DE TRABALHO P/ MONTAR DIFONE
DIFTRA  DW  0          ;ABEA DE TRABALHO P/ MONTAR DIFONE NA
                                ;ROTINA DE SAIDA
ESTADO  DW  0          ;ESTADO ATUAL DO AUTOMATO
FLAGS   DB  0          ;FLAGS
TOM     DB  0          ;TOM ATUAL RELATIVO AO PADRAO
SAVTOM  DB  0          ;SALVA TOM
INTENS  DB  0          ;INTENSIDADE ATUAL RELATIVO AO PADRAO
SAVINT  DB  0          ;SALVA INTENSIDADE
ANT     DB  0          ;CARATER ANTERIOR
COLUNA  DB  0          ;NUMERO DA COLUNA NA MATRIZ DO AUTOMATO
                                ;EM FUNCAO DO ULTIMO CARATER LIDO
SAVEST  DB  0          ;SALVA ESTADO
SAVANT  DB  0          ;SALVA ANT

```

```

CARENT  DB      0      ;CARATER DE ENTRADA
RESTA   DE      0      ;CONTROLE DE LOOPS
NUM     DB      0      ;ALTERACAO DE TOM OU INTENSIDADE
TOMINT  DB      0      ;SALVA CARATER '( ' )' ' + ' ' - '
                                ;PARA ALTERACAO DE TOM OU INTENSIDADE

EJECT
ORG 06000H

*INICIO: POP  B      ;BC=ENDERECO DE RETORNO
INICIO:  EQU  *      ;HL=ENDERECO DA AREA DE PARAMETROS
*
PUSH B
MOV  E,M
INX  H
MOV  D,M      ;DE=POINTER DO INICIO DA AREA DE ENT
INX  H
PUSH H      ;ENDERECO DO POINTER PARA O ULT. CARA-
                                ;CTER LIDO

MOV  C,M
INX  H
MOV  B,M      ;BC=POINTER DO ULT. CARATER LIDO
INX  H
MOV  A,B
CMP  D      ;POINTER DA ENT. IGUAL AO INICIO DA ENT?
JNZ  NAOINI  ;NAO INICIALIZA VARIAVEIS
MOV  A,C
CMP  E      ;POINTER DA ENT. IGUAL AO INICIO DA ENT?
JNZ  NAOINI
MOV  E,M
INX  H
MOV  D,M      ;DE=POINTER DO INICIO DA AREA DE SAIDA
DCX  D      ;DE=POINTER PARA O ULTIMO BYTE QUE SAIU
SUB  A
STA  FLAGS
STA  TOM
STA  INTENS
STA  ESTADO+1
JMP  INIC

NAOINI: INX  H
INX  H      ;HL=ENDERECO DO POINTER DO ULT. BYTE SAI
MOV  E,M

```

```

      INX   H
      MOV   D,M           ;DE=POINTER DE ULT. BYTE SAIU
INIC:  XCHG                ;HL=POINTER DO ULT. BYTE QUE SAIU
      SHLD ENDSAI
*      DCX   B
      MOV   H,B
      MOV   L,C
                                   ;HL=POINTER DO ULT. BYTE LIDO
      SHLD ENDENT
      EJECT
INIAUT: MVI   A,1
      STA   ESTADO
      LXI   H,' '
      SHLD DIFONE
      MOV   A,H
      STA   CARENT
AUTOMA: LDA   CARENT
      STA   ANT
      CALL  LER           ;ATUALIZA ENTENT CARENT E COLUNA
ACEMAT: LDA   COLUNA
      DCR   A
      RLC
      RLC                ;A=DESLOCAMENTO DA COL. NA LINHA DA MATR
      MOV   C,A
      MVI   B,0          ;BC=DESLOCAMENTO DA COLUNA
      LHLD ESTADO
      DCX   H
      MVI   A,96         ;A=TAMANHO DA LINHA DA MATRIZ
      CALL  MULTI        ;HL=HL*A=DESLOCAMENTO DO INICIO DA MATRI
      DAD   B            ;HL=DESLOC. DO INICIO DA CELULA DA MATRI
      XCHG
      LXI   H,MATRIZ
      DAD   D            ;HL=ENDERECO INICIO DA CELULA DA MATRIZ
      EJECT
;***** ANALISE DA CELULA DA MATRIZ. *****
      MVI   A,3
      STA   RESTA        ;NUME DE BYTES QUE FALTA ANALISAR CELULA
ANACEL: MOV   A,M        ;A=BYTE DA CELULA DA MATRIZ
      MVI   B,0

```

```

CMP    B
JZ     PROXBY      ;PEGA PROXIMO BYTE DA CELULA
JP     SAIDIF      ;SAIDA DO DIFONE
                          ;ROTINA DE CHAMADA DE SUB ROTINA

ANI    7FH
DCR    A
RLC                      ;DESLOCAMENTO DO END. DO END. DA SUB.
                          ;NA TABROT

MOV    C,A
PUSH   H              ;END. DO BYTE NA CELULA DA MATRIZ
LXI    H,TABROT
DAD    B
MOV    A,M            ;A=BAIXA ORDEM DO END. SUBROT
INX    H
MOV    H,M            ;H=ALTA ORDEM END. SUBROT
MOV    L,A            ;HL=END. SUBROT.
CALL   PCHL           ;CHAMADA DA SUBROTINA
JMP    POPCEL

SAIDIF: MOV  A,M      ;PRIMEIRO BYTE DO DIFONE
        INX  H
        PUSH H       ;END. DO SEGUNDO BYTE DO DIFONE
        MOV  H,M      ;H=SEGUNDO BYTE DO DIFONE
        MOV  L,A      ;L=PRIMEIRO BYTE DO DIFONE
        LDA  RESTA
        DCR  A
        STA  RESTA
        CALL SAIDA

POPCEL: POP  H        ;HL=END. ULT. BYTE ANALISADO NA CEL.
PROXBY: INX  H        ;HL=ENDERECO PROXIMO BYTE NA CELULA
        LDA  RESTA
        DCR  A
        STA  RESTA
        JNZ  ANACEL
        EJECT
        MOV  A,M      ;ROTINA DE TRANSICAO DO AUTOMATO
        STA  ESTADO
        ANA  A
        JZ   ESTO     ;FIM DE ENTRADA OU DE ENTRADA AUX.
        JP   AUTOMA   ;TRANSICAO NORMAL DO AUTOMATO

```

```

;
; ROTINA DE TRANSICAO ANORMAL , FIM DE MODIFICADOR DE TCM OU INTE
; DADE VOLTA AO ESTADO ANTERIOR AO MODIFICADOR.
;

```

```

LDA SAVEST
STA ESTADO
LDA SAVANT
STA ANT
JMP ACEMAT

```

```

;
; ROTINA DE FIM DE ENTRADA OU DE ENTRADA AUXILIAR
;

```

```

ESTO: LDA FLAGS
      MOV C,A
      ANI AREAUX ;FIM DE TABELA AUXILIAR ????
      JZ FIMCON ;NAO , FIM DE ENTRADA
      XRA C
      STA FLAGS ;DESLIGA FLAG AREAUX
      LHLD SAVEND
      SHLD ENDENT ;VOLTA A LER DA AREA DE ENTRADA
      LDA SAVTOM
      STA TOM
      LDA SAVINT
      STA INTENS
      JMP INIAUT ;INICIALIZA VARIAVEIS DO AUTOMATO
      EJECT

FIMCON: POP D ;DE=ENDERECO DO POINTER DA AREA DE ENT
        ;NA AREA DE PARAMETROS
        LHLD ENDENT ;LH=POINTER DO ULTIMO CARATER LIDO
        XCHG
        MOV M,E
        INX H
        MOV M,D
        INX H
        INX H
        INX H
        XCHG ;DE=ENDERECO DO POINTER DA AREA DE SAIDA
        ;NA AREA DE PARAMETROS
        LHLD ENDSAI ;HL=POINTER DO ULTIMO CARATER QUE SAIU

```

```

XCHG
MOV  M,E
INX  H
MOV  M,D          ;ATUALIZA POINTER DO ULT. CARATER QUE SA
                  ;NA AREA DE PARAMETROS

RET

;
;***** FIM DA ROTINA CENTRAL DO PROGRAMA
;

EJECT

SAIDA:  SHLD DIFTRA      ;L=PRIMEIRO BYTE DO DIFONE
        LXI  H,DIFTRA
        MVI  B,2        ;NUMERO DE BYTES DO DIFONE
        LXI  D,DIFONE

LOOPS:  MOV  A,M        ;A=BYTE DO DIFONE
        CPI  3
        JZ   PRGXFO    ;MASCARA VAI PARA PROXIMO BYTE
        JNC  MOVFON    ;FONE SEM CODIGO
        CPI  1
        JZ   MOVANT    ;MOVE CARATER ANTERIOR
        LDA  CARENT    ;CODIGO IGUAL A DOIS MOVE CARATER ATUAL
        JMP  MOVFON

MOVANT: LDA  ANT
MOVFON: STAX D
PROXFO: INX  H
        INX  D
        DCR  B
        JNZ  LOOPS
XCHG
DCX  H          ;HL=ENDERECO DO SEGUNDO BYTE DO DIFONE
MOV  E,M
DCX  H
MOV  D,M
MOV  M,E
LHLD ENDSAI
INX  H
MOV  M,D
INX  H
MOV  M,E

```

```

INX  H
LDA  TOM
MOV  M,A
INX  H
LDA  INTENS
MOV  M,A
SHLD ENDSAI
RET

```

;

;***** TERMINO DA ROTINA DE SAIDA

;

```

EJECT
MULTI:  PUSH B           ;ROTINA DE MULTIPLICACAO HL=HL*A
        PUSH D
        XCHG            ;DE=MULTIPLICANDO
        LXI  H,0        ;HL=PRODUTO PARCIAL
        MVI  E,8        ;B=NUMERO DE BITS DO MULTIPLICADOR
LOOPM:  DAD  E           ;HL=HL*2
        RLC             ;CARRY=PROXIMO BIT DE MAIS ALTA ORDEM
        ;DO MULTIPLICADOR
        JNC  DCRB       ;BIT=0 NAO SOMA
        DAD  D           ;SOMA MULTIPLICANDO NO PRODUTO PARCIAL
DCRB:   DCR  E
        JNZ  LOOPM      ;AINDA TEM BIT NO MULTIPLICADOR
        POP  D
        POP  B
        RET

```

;

;***** TERMINO DA ROTINA DE MULTIPLICACAO

;

```

EJECT
PCHL:  PCHL
        ;SIMULACAO DE CALL INDIRETO
        SPC
ROTO1: LDA  ESTADO     ;INICIO DE ALTERACAO DE TOM E INTENSIDAD
        STA  SAVEST
        LDA  ANT
        STA  SAVANT
        LDA  CARENT

```

STA TOMINT

; TOMINT ' (' , ') ' , '+ ' E '-'

SUB A

STA NUM

RET

;

;***** FIM DA ROTINA "ROTO1"

;

SPC 2

ROT02: LDA NUM ;PROCESSA DIGITO PARA ALTERACAO DE TOM E
;INTENSIDADE

LXI H,10

CALL MULTI ;HL=NUM*10

LDA CARENT ;A=DIGITO ASCII

ANI OFH ;DESLIGA ZONA

ADD L -

STA NUM

LDA FLAGS

ORI LEUDIG ;LIGA FLAG DE DIGITO

STA FLAGS

RET

;

;***** FIM DA ROTINA "ROTO2"

;

EJECT

SPC

ROT03: EQU * ;FALA DIGITO DE UMA ENTRADA AUXILIAR

CALL ROT05 ;ROTINA DE FIM DE PALAVRA

LHLD ENDENT

SHLD SAVEND

LDA CARENT

ANI OFH

LXI H,10

;HL=TAMANHO DO ELEMENTO DA TABELA

CALL MULTI ;HL=DESLOCAMENTO DO DIGITO NA TABDIG

LXI D,TABDIG

DAD D ;HL=ENDERECO POSICAO DO DIGITO NA TABDIG

SHLD ENDENT

LDA TOM


```

STA SAVTOM
LDA INTENS
STA SAVINT
LDA FLAGS
ORI AREAUX
STA FLAGS ;LIGA FLAG DE AREA AUXILIAR DE LEITURA.
RET

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT03"
;

SPC 2
ROT04: EQU *

;PONTUACAO

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT04"
;

SPC 2
ROT05: EQU * ;FIM DE PALAVRA

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT05"
;

SPC 2
ROT06: LXI H,' ' ;ROTINA DE FIM DE SILABA
SHLD DIFONE
RET

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT06"
;

SPC 2
EJECT
ROT07: MVI I,MASC ;ESTADO 30 (V'V),COLUNAS 'E' 'O'
MVI H,ANTER
CALL SAIDA
LDA ANT
LXI H,CARENT
CMP M ;ENTRADA IGUAL A ANTEROR ???
CNZ ROT14
RET

```

```

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT07"
;
      SPC 2
ROT08: EQU *           ;USADA PARA PRESERVAR O SIMBOLO ANTERIOR
                        ;QUANDO SE IGNORA ALGUM SIMBOLO DA ENTRA
      LDA ANT
      STA CARENT
      RET
      EJECT
LER:   LHL D ENDE NT   ;ROTINA DE LEITURA
      INX H
      SHLD ENDE NT    ;ATUALIZA POINTER DA ENTRADA
      MOV A,M
      STA CARENT
      MOV C,A
      MVI B,0
      LXI H,TABCOL
      DAD B           ;ENDERECO DA COLUNA EM TABCOL
      MOV A,M         ;A=NUMERO DA COLUNA
      STA CCLUNA
      ANA A
                        ;COLUNA = ZERO ???/
      JZ LER          ;SIM,CARATER INVALIDO
      RET
;
;***** FIM DA ROTINA "ROT08"
;
      EJECT
ROT09: LDA FLAGS      ;ROTINA DE FIM DE ALT. DE TOM OU INTES.
      MOV E,A
      ANI LEUDIG
      JZ MOV1         ;NAO LEU DIGITO ASSUME 1
      XRA B
      STA FLAGS       ;DESLIGA FLAG LEUDIG
      JMP TEST1
MOV1:  MVI A,1
      STA NUM
TEST1: LDA TOMINT

```

```

CPI '+'
JC ROTTOM ;TOMINT = '(' OU ')'
LXI H,INTENS ;TOMINT='+' '-'
JNZ ROTDIM ;TOMINT = '-' , DIMINUI INTENSIDADE
JMP ROTTSOM ;TOMINT = '+' , AUMENTA INTENSIDADE
ROTTOM: LXI H,TOM
;TOMINT '(' ')'
CPI '('
JZ ROTTSOM ;AUMENTA TOM
ROTDIM: LDA NUM
;TOMINT = ')' OU '-'
CMA
INR A
STA NUM ;NUM = NUM * -1
ROTSOM:
; SOMA NUM EM TOM OU INTENS CUJO ENDERECO ESTA EM HL . SE NUM = 0
; VOLTA PARA O PADRAO
LDA NUM
ANA A
JZ MOVRES
ADD M
MOVRES: MOV M,A
RET
;
;***** FIM DA ROTINA "ROT09"
;
EJECT
ROT10: LDA DIFONE ;ROTINA DE INICIO DO SOM 'AN'
CPI 'A'
JZ CALR14
CPI 'I'
CALR14: CZ ROT14 ;'A' E 'I' SAO OS SONS QUE FORMAM DIFONE
; COM 'A'
;E NAO COM 'AN' ; ROT14 FINALIZA O SOM
; ANTERIOR
;E MUDA DE SILABA
MVI L,MASC
MVI H,AN

```

JMP SAIDA

;

;***** FIM DA ROTINA "ROT10"

;

SPC 2

; TRANSFORMA OS CAMPOS ANTI CARENT E DIFONE , PARA NAO PERDER INF

; MACAO E PERMITIR A DIMINUICAO DO NUMERO DE ESTADOS DO AUTGMATO.

ROT11: LDA COLUNA

CPI 14 ;COLUNA DO 'A'

JC COMPR ;A ENTRADA NAO E VOGAL

LDA ANT

STA DIFONE

RET

;

COMPR: LXI H,CARENT

MOV A,M

CPI 'R'

JNZ ENTRH ;CARENT = 'H'

MVI M,ERE ;CARENT = CODIGO DO SOM 'R' INTERVOGALIC

RET

;

ENTRH: LDA ANT

CPI 'L'

JC MOVX ;ANTE IGUAL 'C'

JZ MOVLH ;ANTE IGUAL 'L'

MVI M,NH

RET

;

MOVX: MVI M,'X'

RET

;

MOVLH: MVI M,LH

RET

;

;***** FIM DA ROTINA "ROT11"

;

EJECT

ROT12: EQU * ;TRANSFORMA DE FONE CONFORME CARATER

;ANTERIOR

```

;USADA PARA AS LETRAS QUE MUDAM DE SOM
;DEACORDO COM
;O CONTEXTO PERMITE DIMINUIR UM NUMERO
;DE ESTADOS DO AUTOMATO
;DO AUTOMATO

```

```

LDA ANT
LXI H,DIFONE
CPI 'R'
JC COMPG
JZ MOVRE
MVI M,'Z' ; ANTE IGUAL 'S' DIFONE IGUAL 'Z'
RET

;
MOVRE: MVI M,ERE ; ANTE IGUAL 'R' FONE IGUAL ERE
RET

;
COMPG: CPI 'G'
JC MOVS ; ANTE IGUAL 'C'
JZ MOVJ
MVI M,'C' ; ANTE IGUAL 'Q' FONE IGUAL 'C'
RET
MOVJ: MVI M,'J' ; ANTE IGUAL 'G'
; FONE IGUAL 'J'
RET
MOVS: MVI M,'S' ; ANTE IGUAL 'C' FONE IGUAL 'S'
RET

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT12"
;
EJECT
ROT13: MVI L,MASC
MVI H,ANTER
CALL SAIDA

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT13"
;
SPC 2
ROT14: MVI L,MASC ; ROTINA DE FINALIZACAO DE SOM E SILABA
MVI H,' '

```

CALL SAIDA

JMP ROT06

```

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT14"
;

```

SPC 2

ROT15: MVI A, 'S'

STA ANT

JMP RCT13

```

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT15"
;

```

SPC 2

ROT16: EQU * ;ROTINA DE SOM DE 'X' EM FINAL DE PALAVR

CALL ROT14 ;TERMINA VOGAL ANTERIOR

LXI H, 'EC'

CALL SAIDA ;DIFONE IGUAL 'CE'

LXI H, 'ES'

JMP SAIDA ;DIFONE IGUAL SE

```

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT16"
;

```

EJECT

ROT17: MVI L, MASC

MVI H, ANTER

CALL SAIDA

MVI L, MASC

MVI H, ATU

JMP SAIDA

```

;
;***** FIM DA ROTINA "ROT17"
;

```

SPC 2

ROT18: EQU * ;SAIDA DO SOM 'AN'

CALL ROT10

JMP ROT14

```

;

```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT18"
```

```
;
```

```
SPC 2
ROT19: MVI L,MASC
        MVI H,ANTER
        CALL SAIDA
        MVI L,MASC
        MVI H,EN
        JMP SAIDA
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT19"
```

```
;
```

```
SPC 2
ROT20: MVI L,MASC
        MVI H,'A'
        CALL SAIDA
        MVI L,MASC
        MVI H,' '
        CALL SAIDA
        JMP RCT06
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT20"
```

```
;
```

```
EJECT
ROT21: EQU * ;'A' 'U'
        CALL ROT10
        MVI L,MASC
        MVI H,'U'
        CALL SAIDA
        JMP RCT14
```

```
;
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT21"
```

```
;
```

```
SPC 2
ROT22: MVI A,ER
        STA ANI
        JMP RCT13
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT22"
```

```
;
```

```
          SPC 2
ROT23:   LDA  DIFONE
          CPI  'E'
          JZ   CALL14
          CPI  AN
          JZ   CALL14
          CPI  EN
CALL14:  CZ   RCT14
          MVI  L,MASC
          MVI  H,EH
          JMP  SAIDA
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT23"
```

```
;
```

```
          SPC 2
ROT24:   LDA  DIFONE
          CPI  'A'
          JZ   CZ14
          CPI  'I'
          JZ   CZ14
          CPI  'O'
          JZ   CZ14
          CPI  AN
CZ14:    CZ   ROT14
          MVI  L,MASC
          MVI  H,OH
          JMP  SAIDA
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT24"
```

```
;
```

```
          EJECT
ROT25:   MVI  A,EM
          STA  ANT
          JMP  ROT13
```

```
;
```

```
;***** FIM DA ROTINA "ROT25"
```

```
;
```



```

      SPC 2
ROT26: MVI A,EN
      STA ANT
      JMP ROT13

```

;

;

;***** FIM DA ROTINA "ROT26"

;

```

      SPC 2
ROT27: LDA ANT
      CPI 'E'
      JNZ MOVEOH
      MVI A,EH
      JMP STAANT
MOVEOH: MVI A,CH
STAANT: STA ANT
      LXI H,DIFONE
      CMP M
      CNZ RCT14
      MVI L,MASC
      MVI H,ANTER
      JMP SAIDA

```

;

;***** FIM DA ROTINA "ROT27"

;

EJECT

```

TABROT DW ROT01,ROT02,ROT03,ROT04,ROT05,RCT06,ROT07,ROT08
      DW ROT09,ROT10,ROT11,ROT12,ROT13,ROT14,ROT15,ROT16
      DW ROT17,ROT18,ROT19,ROT20,ROT21,ROT22,ROT23,RCT24
      DW ROT25,ROT26,ROT27
TABDIG DB 'ZERO'
      DB 'UM'
      DB 'DOIS'
      DB 'TRES'
      DB 'QUATRO'
      DB 'CINCO'
      DB 'SEIS'
      DB 'SETE'
      DB 'OITO'

```

```

DB      'NOVE      '
EJECT
TABCOL  DB      0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,22,0,0
DB      0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
DB      22,0,0,0,0,0,23,24,20,20,0,20,0,20,0,0
DB      21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,21,0,0,0,0,0,0
DB      0,14,1,7,1,15,1,2,4,16,5,3,8,9,10,17
DB      1,3,11,12,1,18,1,0,6,0,13,0,0,0,0,19
DB      0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
DB      0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
EJECT
MATRIZ  DB      0,0,0,2,0,0,0,3,0,0,0,4,K+8,0,0,1
DB      0,0,0,5,0,0,0,5,0,0,0,6,0,0,0,7
DB      0,0,0,5,0,0,0,7,0,0,0,5,0,0,0,5
DB      0,0,0,5,0,0,0,9,0,0,0,10,' I ',0,12
DB      0,0,0,11,' U ',0,13,K+8,0,0,1,K+1,0,0,25
DB      K+3,0,0,1,K+5,0,0,0,K+8,0,0,1,K+8,0,0,1
LINBDF  DB      1,' E ',0,2,1,' E ',0,3,1,' E ',0,4,K+8,0,0,2
DB      1,' E ',0,5,1,' E ',0,5,1,' E ',0,6,1,' L ',0,7
DB      1,' E ',0,5,1,' E ',0,7,K+11,1,ERE,5,1,' E ',0,5
DB      1,' E ',0,5,K+11,0,0,9,K+11,0,0,10,1,' I ',0,12
DB      K+11,0,0,11,1,' U ',0,13,1,' E ',K+6,1,K+1,0,0,25
DB      1,' E ',K+3,1,1,' E ',K+5,0,K+8,0,0,2,K+8,0,0,2
LING    DB      'GE',0,2,'GE',0,3,'GE',0,4,K+8,0,0,3
DB      'GE',0,5,'GE',0,5,'GE',0,6,'GL',0,7
DB      'GE',0,5,'GE',0,7,K+11,'G',ERE,5,'GE',0,5
DB      'GE',0,5,K+11,0,0,9,K+12,0,0,10,'JI',0,12
DB      K+11,0,0,11,K+11,0,0,8,'GE',K+6,1,K+1,0,0,25
DB      'GE',K+3,1,'GE',K+5,0,K+8,0,0,3,K+8,0,0,3
LINQ    DB      'CE',0,2,'CE',0,3,'CE',0,4,K+8,0,0,4
DB      'CE',0,5,'CE',0,5,'CE',0,6,'CL',0,7
DB      'CE',0,5,'CE',0,7,K+11,'C',ERE,5,'CE',0,5
DB      'CE',0,5,K+12,0,0,9,K+12,0,0,10,'CI',0,12
DB      K+12,0,0,11,K+12,0,0,8,'CE',K+6,1,K+1,0,0,25
DB      'CE',K+3,1,'CE',K+5,0,K+8,0,0,4,K+8,0,0,4
LINJ    DB      1,' E ',0,2,1,' E ',0,3,1,' E ',0,4,K+8,0,0,5
DB      1,' E ',0,5,1,' E ',0,5,1,' E ',0,6,1,' E ',0,7
DB      1,' E ',0,5,1,' E ',0,7,K+11,1,' E ',5,1,' E ',0,5
DB      1,' E ',0,5,K+11,0,0,9,K+11,0,0,10,1,' I ',0,12

```

DB K+11,0,0,11,1,'U',0,13,1,'E',K+6,1,K+1,0,0,25
 DB 1,'E',K+3,1,1,'E',K+5,0,K+8,0,0,5,K+8,0,0,5
 LINC DB 'CE',0,2,'CE',0,3,'CE',0,4,K+11,0,0,5
 DB 'CE',0,5,'CE',0,5,'CE',0,6,'CL',0,7
 DB 'CE',0,5,'CE',0,7,K+11,'C',ERE,5,'CE',0,5
 DB 'CE',0,5,K+11,0,0,9,K+12,0,0,10,'SI',0,12
 DB K+11,0,0,11,'CU',0,13,'CE',K+6,1,K+1,0,0,25
 DB 'CE',K+3,1,'CE',K+5,0,K+8,0,0,6,K+8,0,0,6
 LINLN DB 1,'E',0,2,1,'E',0,3,1,'E',0,4,K+11,0,0,5
 DB 1,'E',0,5,1,'E',0,5,1,'E',0,6,1,'E',0,7
 DB 1,'E',0,5,1,'E',0,7,K+11,1,'E',5,1,'E',0,5
 DB 1,'E',0,5,K+11,0,0,9,K+11,0,0,10,1,'I',0,12
 DB K+11,0,0,11,1,'U',0,13,1,'E',K+6,1,K+1,0,0,25
 DB 1,'E',K+3,1,1,'E',K+5,0,K+8,0,0,7,K+8,0,0,7
 LINGQU DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,8
 DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,5,K+13,0,0,6,3,'U',0,14
 DB 3,'U',0,23,3,'U',0,24,3,'U',0,17,3,'U',0,18
 DB 3,'U',0,19,3,'U',0,9,0,0,0,10,3,'I',0,12
 DB 3,'U',0,11,K+17,0,0,13,K+13,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+19,0,0,27,3,'U',0,13
 LINA DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,9
 DB K+13,0,0,5,3,'A',0,22,K+13,0,0,6,3,'A',0,14
 DB 0,0,0,15,0,0,0,16,3,'A',0,17,3,'A',0,18
 DB 3,'A',0,19,3,'A',0,9,K+13,0,0,10,K+17,0,0,12
 DB 3,'A',0,11,K+17,0,0,13,K+13,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+10,0,0,26,K+8,0,0,9
 LINE DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,10
 DB K+13,0,0,5,3,'E',0,22,K+13,0,0,6,3,'E',0,14
 DB 3,'E',0,23,3,'E',0,24,3,'E',0,17,3,'E',0,18
 DB 3,'E',0,19,K+13,0,0,9,3,'E',0,10,K+17,0,0,12
 DB K+13,0,0,11,K+17,0,0,13,K+13,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+19,0,0,27,K+23,0,0,28
 LINO DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,11
 DB K+13,0,0,5,3,'O',0,22,K+13,0,0,6,3,'O',0,14
 DB 3,'O',0,23,3,'O',0,24,3,'O',0,17,3,'O',0,18
 DB 3,'O',0,19,K+13,0,0,9,K+13,0,0,10,K+17,0,0,12
 DB 3,'C',0,11,K+17,0,0,13,K+13,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+19,0,0,27,K+24,0,0,28
 LINI DB K+14,0,0,2,K+14,0,0,3,K+14,0,0,4,K+8,0,0,12

DB K+14,0,0,5,0,0,0,22,K+14,0,0,6,0,0,0,14
 DB 0,0,0,23,0,0,0,24,0,0,0,17,0,0,0,18
 DB 0,0,0,19,0,0,0,9,K+14,0,0,10,3,'I',0,12
 DB 0,0,0,11,3,'U',0,13,3,' ',K+6,31,K+1,0,0,25
 DB 3,' ',K+3,1,3,' ',K+5,0,3,EN,0,27,K+8,0,0,12
 LINU DB K+14,0,0,2,K+14,0,0,3,K+14,0,0,4,K+8,0,0,13
 DB K+14,0,0,5,0,0,0,22,K+14,0,0,6,0,0,0,14
 DB 0,0,0,23,0,0,0,24,0,0,0,17,0,0,0,18
 DB 0,0,0,19,0,0,0,9,0,0,0,10,3,'I',0,12
 DB 0,0,0,11,3,'U',0,13,3,' ',K+6,31,K+1,0,0,25
 DB 3,' ',K+3,1,3,' ',K+5,0,3,EN,0,27,K+8,0,0,13
 LINVL DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+14,K+11,0,5
 DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,13,K+13,0,0,6,K+13,0,0,7
 DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,7,K+13,0,0,5,K+13,0,0,5
 DB K+13,0,0,5,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'LI',1
 DB K+14,K+11,0,11,K+14,'LU',13,K+13,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+8,0,0,14,K+8,0,0,14
 LINAM DB K+18,0,0,2,K+18,0,0,3,K+18,0,0,4,K+8,0,0,15
 DB K+18,0,0,5,K+18,0,0,5,K+18,0,0,6,K+18,0,0,7
 DB K+18,0,0,5,K+18,0,0,7,K+18,0,0,5,K+10,0,0,32
 DB K+10,0,0,19,K+20,K+11,0,9,K+20,K+11,0,10,K+20,'MI',
 DB K+20,K+11,0,11,K+20,'MU',13,K+18,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+21,K+3,0,1,K+21,K+5,0,0,K+8,0,0,15,K+8,0,0,15
 LINAN DB K+18,0,0,2,K+18,0,0,3,K+18,0,0,4,K+18,K+11,0,5
 DB K+18,0,0,5,K+18,0,0,5,K+18,0,0,6,K+18,0,0,7
 DB K+18,0,0,5,K+18,0,0,7,K+18,0,0,5,K+10,0,0,32
 DB K+10,0,0,19,K+20,K+11,0,9,K+20,K+11,0,10,K+20,'NI',
 DB K+20,K+11,0,11,K+20,'NU',13,K+18,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+18,K+3,0,1,K+18,K+5,0,0,K+8,0,0,16,K+8,0,0,16
 LINVR DB K+22,0,0,2,K+22,0,0,3,K+22,0,0,4,K+8,0,0,17
 DB K+22,0,0,5,K+22,0,0,5,K+22,0,0,6,K+22,0,0,7
 DB K+22,0,0,5,K+22,0,0,7,K+14,0,0,5,3,ER,0,32
 DB 3,ER,0,19,K+14,K+12,0,9,K+14,K+12,0,10,K+14,ERE,'I'
 DB K+14,K+12,0,11,K+14,ERE,'U',13,K+22,0,0,1,K+1,0,0,2
 DB K+22,K+3,0,1,K+22,K+5,0,0,K+8,0,0,17,K+8,0,0,17
 LINVS DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,18
 DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,5,K+13,0,0,6,K+13,0,0,7
 DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,7,K+13,0,0,5,K+14,0,0,5
 DB K+13,0,0,5,K+14,K+12,0,9,K+14,K+12,0,10,K+14,'ZI',1

DB K+14,K+12,0,11,K+14,'ZU',13,K+13,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+8,0,0,18,K+8,0,0,18
 LINVZ DB K+15,0,0,2,K+15,0,0,3,K+15,0,0,4,K+8,0,0,19
 DB K+15,0,0,5,K+15,0,0,5,K+15,0,0,6,K+15,0,0,7
 DB K+15,0,0,5,K+15,0,0,7,K+15,0,0,5,K+15,0,0,5
 DB K+15,0,0,5,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'ZI',1
 DB K+14,K+11,0,11,K+14,'ZU',13,K+15,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+15,K+3,0,1,K+15,K+5,0,0,K+8,0,0,19,K+8,0,0,19
 LINVIR DB ERE,'E',0,2,ERE,'E',0,3,ERE,'E',0,4,K+8,0,0,20
 DB ERE,'E',0,5,ERE,'E',0,5,ERE,'E',0,6,ERE,'E',0,7
 DB ERE,'E',0,5,ERE,'E',0,7,0,0,0,5,ERE,'E',0,5
 DB ERE,'E',0,5,K+12,0,0,9,K+12,0,0,10,ERE,'I',0,12
 DB K+12,0,0,11,ERE,'U',0,13,ERE,'E',K+6,1,K+1,0,0,25
 DB ERE,'E',K+3,1,ERE,'E',K+5,0,K+8,0,0,20,K+5,0,0,20
 LINVIS DB 'SE',0,2,'SE',0,3,'SE',0,4,K+8,0,0,21
 DB 'SE',0,5,'SE',0,5,'SE',0,6,'SE',0,7
 DB 'SE',0,5,'SE',0,7,'SE',0,5,0,0,0,5
 DB 'SE',0,5,K+12,0,0,9,K+12,0,0,10,'ZI',0,12
 DB K+12,0,0,11,'ZU',0,13,'SE',K+6,1,K+1,0,0,25
 DB 'SE',K+3,1,'SE',K+5,0,K+8,0,0,21,K+8,0,0,21
 LINVX DB K+15,0,0,2,K+15,0,0,3,K+15,0,0,4,K+8,0,0,22
 DB K+15,0,0,5,K+15,0,0,5,K+15,0,0,6,K+15,0,0,7
 DB K+15,0,0,5,K+15,0,0,7,K+15,0,0,5,K+15,0,0,5
 DB K+15,0,0,5,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'XI',1
 DB K+14,K+11,0,11,K+14,'XU',13,K+16,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+16,K+3,0,1,K+16,K+5,0,0,K+8,0,0,22,K+8,0,0,22
 LINVM DB K+25,0,0,2,K+25,0,0,3,K+25,0,0,4,K+8,0,0,23
 DB K+25,0,0,5,K+25,0,0,5,K+25,0,0,6,K+25,0,0,7
 DB K+25,0,0,5,K+25,0,0,7,K+25,0,0,5,3,EM,0,32
 DB 3,EM,0,19,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'MI',12
 DB K+14,K+11,0,11,K+14,'MU',13,K+25,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+25,K+3,0,1,K+25,K+5,0,0,K+8,0,0,23,K+8,0,0,23
 LINVN DB K+26,0,0,2,K+26,0,0,3,K+26,0,0,4,K+14,K+11,0,5
 DB K+26,0,0,5,K+26,0,0,5,K+26,0,0,6,K+26,0,0,7
 DB K+26,0,0,5,K+26,0,0,7,K+26,0,0,5,3,EN,0,32
 DB 3,EN,0,19,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'NI',12
 DB K+14,K+11,0,11,K+14,'NU',13,K+26,0,0,1,K+1,0,0,25
 DB K+26,K+3,0,1,K+26,K+5,0,0,K+8,0,0,24,K+8,0,0,24
 LINALT DB K+9,0,0,OFFH,K+9,0,0,OFFH,K+9,0,0,OFFH,K+9,0,0,OFFH

DB K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH
 DB K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH
 DB K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH
 DB K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH
 DB K+2,0,0,25,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH,K+9,0,0,0FFH
 LINA2 DB K+14,0,0,2,K+14,0,0,3,K+14,0,0,4,K+8,0,0,26
 DB K+14,0,0,5,0,0,0,22,K+14,0,0,6,K+14,0,0,7
 DB K+14,0,0,5,K+14,0,0,7,K+14,K+11,0,5,0,0,0,18
 DB 0,0,0,19,0,0,0,29,0,0,0,10,3,'I',0,12
 DB 0,0,0,11,3,'U',0,13,K+14,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+14,K+3,0,1,K+14,K+5,0,0,3,AN,0,26,K+8,0,0,26
 LINV2 DB K+14,0,0,2,K+14,0,0,3,K+14,0,0,4,K+8,0,0,27
 DB K+14,0,0,5,0,0,0,22,K+14,0,0,6,K+14,0,0,7
 DE K+14,0,0,5,K+14,0,0,7,K+14,K+11,0,5,0,0,0,18
 DB 0,0,0,19,K+14,0,0,9,0,0,0,10,3,'I',0,12
 DB K+14,0,0,11,K+14,' U',13,K+14,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+14,K+3,0,1,K+14,K+5,0,0,K+8,0,0,27,K+8,0,0,27
 LINV3 DB K+14,0,0,2,K+14,0,0,3,K+14,0,0,4,K+8,0,0,28
 DB K+14,0,0,5,0,0,0,22,K+14,0,0,6,0,0,0,14
 DB K+14,0,0,5,K+14,0,0,7,0,0,0,0,17,0,0,0,18
 DB 0,0,0,19,K+14,0,0,9,0,0,0,30,3,'I',0,12
 DB 0,0,0,30,3,'U',0,13,K+14,0,0,31,K+1,0,0,25
 DB K+14,K+3,0,1,K+14,K+5,0,0,K+8,0,0,28,3,1,0,28
 LINA2A DB K+14,K+13,0,2,K+14,K+13,0,3,K+14,K+13,0,4,K+8,0,0,2
 DB K+14,K+13,0,5,K+14,' A',22,K+14,K+13,0,6,K+14,3,'A'
 DB K+14,0,0,15,K+14,0,0,16,K+14,3,'A',17,K+14,3,'A',18
 DB K+14,3,'A',19,K+14,3,'A',9,K+14,K+13,0,10,K+14,K+17
 DB K+14,3,'A',11,K+14,K+17,0,13,K+14,K+13,0,31,K+1,0,0
 DB K+14,K+13,K+3,1,K+14,K+13,K+5,0,3,AN,0,26,K+8,0,0,2
 LINV3V DB K+14,K+13,0,2,K+14,K+13,0,3,K+14,K+13,0,4,K+8,0,0,3
 DB K+14,K+13,0,5,K+14,' ',1,22,K+14,K+13,0,6,K+14,3,1,
 DB K+14,3,1,23,K+14,3,1,24,K+14,3,1,17,K+14,3,1,18
 DB K+14,3,1,19,K+14,K+13,0,9,K+14,K+7,0,10,K+14,K+17,0
 DB K+14,K+7,0,11,K+14,K+17,0,13,K+14,K+13,0,31,K+1,0,0
 DB K+14,K+13,K+3,1,K+14,K+13,K+5,0,K+14,K+19,0,27,K+27
 LINV1 DB 0,0,0,2,0,0,0,3,0,0,0,4,K+8,0,0,31
 DB 0,0,0,5,0,0,0,5,0,0,0,6,0,0,0,7
 DB 0,0,0,5,0,0,0,7,0,0,0,20,0,0,0,21
 DB 0,0,0,5,0,0,0,9,0,0,0,10,3,'I',0,12

```
DB 0,0,0,11,3,'U',0,13,0,0,0,31,K+1,0,0,25
DB K+3,0,0,1,K+5,0,0,0,K+8,0,0,31,K+8,0,0,31
LINVNS DB K+13,0,0,2,K+13,0,0,3,K+13,0,0,4,K+8,0,0,32
DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,5,K+13,0,0,6,K+13,0,0,7
DB K+13,0,0,5,K+13,0,0,7,K+13,0,0,5,K+13,0,0,5
DB K+13,0,0,5,K+14,K+11,0,9,K+14,K+11,0,10,K+14,'SI',1
DB K+14,K+11,0,11,K+14,'SU',13,K+13,0,0,1,K+1,0,0,25
DB K+13,K+3,0,1,K+13,K+5,0,0,K+8,0,0,32,K+8,0,0,32
END
```

ANEXO 3- DICCIONARIO DE DIFONES-

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE ~~EA~~

4 0	44	18	20	8	11	10	6	7	4	7	4
7 0	44	18	19	8	11	9	8	6	4	6	4
8 0	44	18	18	8	11	9	8	6	4	6	4

DIFONE ~~AZ~~

8 0	44	19	18	7	11	8	8	4	5	6	5
7 0	44	18	18	8	11	7	8	4	5	6	5
4 0	44	18	18	8	11	7	8	6	4	7	4

DIFONE ~~ba~~

3 0	44	16	16	10	7	3	10	7	5	4	6
7 0	44	18	10	9	10	4	10	6	4	3	7
8 0	44	18	9	8	11	4	9	7	5	2	6

DIFONE ~~aß~~

3 0	44	18	10	8	11	3	9	6	5	3	6
7 0	44	19	11	8	11	2	7	6	5	2	6
8 0	44	18	11	8	10	2	9	6	4	2	6

DIFONE ~~ßE~~

3 0	44	23	10	3	7	4	12	9	6	5	3
7 0	44	24	10	2	7	3	12	9	6	5	3
8 0	44	23	10	2	7	4	12	9	6	5	3

DIFONE ~~Eß~~

4 0	44	23	10	2	7	4	12	9	6	5	3
5 0	44	23	11	3	7	3	12	8	6	4	3
9 0	44	23	10	3	7	3	12	9	6	4	3

DIFONE ~~ße~~

9 0	44	23	14	6	6	1	10	8	6	5	4
5 0	44	23	14	6	6	2	10	8	6	5	4
4 0	44	23	14	6	6	2	11	8	6	4	3

DIFONE ~~eß~~

3 0	44	23	14	6	6	2	11	8	6	4	3
7 0	44	23	13	6	6	1	12	8	6	4	3
8 0	44	22	13	6	6	2	13	8	6	3	3

DIFONE ~~ßI~~

2 0	44	24	13	0	7	5	10	9	6	4	1
7 0	44	24	13	1	7	2	9	10	6	5	0
5 0	44	25	14	0	6	3	9	8	6	5	2

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Iʘ

3 0 44 25 14 1 6 2 9 8 6 5 2
 7 0 44 24 13 0 7 4 11 9 6 5 1
 8 0 44 24 13 0 7 4 11 8 6 4 2

DIFONE ʘO

8 0 44 7 25 12 7 3 8 4 4 4 7
 4 0 44 6 27 12 5 2 9 5 4 5 7
 3 0 44 6 26 11 7 3 7 6 4 4 7

DIFONE Oʘ

3 0 44 6 26 11 8 2 7 6 3 4 7
 5 0 44 6 26 11 9 3 8 5 3 4 7
 7 0 44 6 28 10 7 4 8 4 3 5 7

DIFONE ʘo

7 0 44 13 25 9 9 3 12 3 4 6 6
 5 0 44 13 24 9 10 4 12 2 4 7 5
 3 0 44 14 21 10 11 4 12 2 4 6 6

DIFONE oʘ

4 0 44 15 20 10 11 4 12 2 3 6 7
 8 0 44 14 19 11 12 3 11 4 3 5 7
 8 0 44 15 19 11 11 3 10 5 3 5 7

DIFONE ʘU

8 0 44 7 18 12 11 4 5 6 1 3 5
 5 0 44 8 21 12 10 3 3 5 2 5 4
 3 0 44 8 22 12 9 5 0 4 3 5 5

DIFONE Uʘ

3 0 44 8 23 12 8 4 1 5 3 4 4
 5 0 44 8 22 12 8 4 1 5 2 5 5
 6 0 44 7 25 10 7 2 2 5 3 5 3

DIFONE L

6 0 44 2 19 8 9 7 13 9 3 6 3
 5 0 44 6 12 8 10 5 13 8 4 6 2
 4 0 44 5 15 7 10 5 12 9 5 5 2

DIFONE h

3 0 44 16 20 3 5 8 7 7 3 3 3
 5 0 44 13 20 3 4 11 5 7 4 4 3
 7 0 44 15 20 3 7 10 7 8 3 4 5

	ENE	R	PIT	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	KA
DIFONE BA													
	6	0	44	5	6	7	7	9	9	8	2	4	4
	5	0	44	3	9	6	9	11	5	5	3	3	4
	3	0	44	8	17	10	6	5	5	6	2	6	3
DIFONE Ba													
	7	0	44	2	6	9	6	13	6	9	2	3	3
	8	0	44	2	8	11	7	12	7	6	2	4	2
	8	0	44	10	22	9	6	3	7	7	4	4	4
DIFONE BE													
	5	0	44	5	5	8	6	11	8	7	2	5	2
	4	0	44	6	7	8	5	11	6	8	3	5	4
	3	0	44	21	9	1	8	6	11	10	5	5	2
DIFONE Be													
	5	0	44	8	1	7	2	6	5	5	2	3	4
	6	0	44	5	7	9	5	11	6	7	3	5	2
	4	0	44	18	12	4	7	4	13	6	4	5	2
DIFONE BI													
	9	0	44	4	9	7	7	11	9	6	4	4	2
	5	0	44	18	12	2	5	8	8	9	3	6	3
	5	0	44	21	9	0	10	4	12	10	6	6	3
DIFONE BO													
	9	0	44	4	8	9	6	12	7	7	3	4	2
	7	0	44	6	20	11	8	7	8	4	2	5	4
	8	0	44	6	27	13	8	3	9	4	4	4	6
DIFONE Bo													
	7	0	44	5	7	8	5	12	7	7	3	4	3
	5	0	44	8	27	10	7	5	8	4	3	5	5
	6	0	44	13	30	10	7	4	9	5	5	4	5
DIFONE BU													
	8	0	44	5	4	7	4	10	7	6	2	5	2
	7	0	44	4	10	8	7	11	9	3	3	4	2
	4	0	44	8	28	5	6	6	9	3	5	5	5
DIFONE BL													
	8	0	44	16	9	4	8	8	9	5	1	5	2
	7	0	44	15	17	4	6	6	8	11	2	6	3
	4	0	44	13	12	6	9	3	11	7	4	6	4

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Bh

8 0	44	3	8	8	6	13	6	7	2	4	2
6 0	44	13	16	8	8	3	11	5	3	5	4
6 0	44	15	22	4	9	7	10	3	5	6	3

DIFONE CA

9 0	0	7	4	4	2	5	6	7	2	4	4
9 0	0	5	6	7	5	7	7	7	2	3	1
9 0	0	19	15	9	4	6	6	7	3	4	4

DIFONE Ca

7 0	0	7	4	5	2	7	7	7	2	3	3
5 0	0	19	20	10	2	6	7	5	2	2	2
4 0	0	18	16	5	3	7	7	9	4	5	6

DIFONE CE

3 0	0	6	4	6	2	9	7	4	2	3	2
4 0	0	6	5	5	1	6	8	6	2	4	2
5 0	0	29	13	6	7	5	3	9	3	2	3

DIFONE Ce

3 0	0	6	5	4	3	6	7	6	2	3	3
4 0	0	19	0	7	4	4	6	5	2	2	1
5 0	0	23	9	2	7	3	10	11	6	4	3

DIFONE CI

3 0	0	27	3	1	2	6	5	5	2	2	3
4 0	0	24	3	1	4	6	5	4	3	3	2
5 0	0	22	6	1	6	6	8	11	5	3	1

DIFONE CO

3 0	0	21	0	7	10	7	4	4	2	2	3
4 0	0	11	20	14	7	5	5	5	3	4	3
5 0	0	8	25	12	6	3	8	6	3	4	5

DIFONE Co

3 0	0	4	5	5	3	8	5	4	2	3	3
4 0	0	7	3	6	2	8	6	7	2	3	3
5 0	0	20	4	13	12	9	6	6	4	2	3

DIFONE CU

3 0	0	11	18	14	6	5	5	3	2	3	4
5 0	44	10	14	14	7	1	7	6	4	3	5
6 0	44	6	16	14	10	4	8	2	4	3	5

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE CL

3 0	0	5	4	6	2	8	7	4	2	4	2
6 0	0	16	10	11	1	9	9	9	2	4	3
7 0	0	17	14	5	4	10	11	9	1	4	4

DIFONE Ch

4 0	0	6	4	5	0	8	8	6	2	4	3
5 0	0	21	11	15	4	3	5	6	2	3	2
7 0	0	19	25	9	2	10	5	5	3	3	4

DIFONE DA

7 0	44	4	7	8	5	13	8	6	3	4	2
6 0	44	6	8	6	4	12	8	7	3	4	2
8 0	44	16	13	7	7	8	9	6	4	4	2

DIFONE Da

7 0	44	3	10	8	7	13	7	5	2	4	2
6 0	44	4	10	7	6	14	7	5	2	3	3
5 0	44	5	9	11	5	13	6	6	3	4	2

DIFONE DE

7 0	44	4	5	9	8	9	9	5	2	3	3
6 0	44	3	8	10	7	11	7	5	1	3	2
5 0	44	6	9	8	6	12	7	6	2	3	3

DIFONE De

7 0	44	6	6	7	5	11	7	8	3	4	2
6 0	44	17	12	4	7	11	8	7	5	4	0
5 0	44	18	12	5	7	8	11	7	6	5	2

DIFONE DI

7 0	44	12	4	7	5	6	9	8	3	2	3
6 0	44	7	5	8	7	9	8	6	2	3	3
5 0	44	23	6	6	2	5	7	9	5	4	4

DIFONE DO

7 0	44	4	9	8	7	11	7	6	3	3	2
6 0	44	3	11	10	7	11	5	6	2	4	2
5 0	44	16	10	7	10	4	11	6	4	4	7

DIFONE Do

7 0	44	5	6	7	5	11	8	6	3	4	3
7 0	44	3	8	7	6	12	9	6	3	4	3
6 0	44	17	8	9	11	7	13	5	3	5	5

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE DU

7 0	44	3	8	9	6	11	8	7	3	4	3
6 0	44	12	7	3	8	10	8	10	2	4	2
5 0	44	9	14	7	9	8	11	6	4	4	5

DIFONE DL

7 0	44	18	8	6	3	5	7	7	3	3	3
6 0	44	22	14	9	3	3	4	5	3	4	5
5 0	44	22	14	5	5	2	5	9	3	4	4

DIFONE Dh

6 0	44	5	8	7	6	10	9	7	3	3	4
3 0	44	6	4	7	5	10	8	7	2	3	2
6 0	44	23	9	8	6	8	6	7	3	3	3

DIFONE FA

3 0	0	20	7	8	3	7	6	5	1	3	2
7 0	0	15	23	9	7	5	9	2	4	5	3
6 0	44	15	23	10	9	5	10	3	5	5	5

DIFONE Fa

2 0	0	22	6	5	2	6	3	5	2	1	2
7 0	0	23	8	5	3	5	4	5	2	2	2
3 0	44	11	23	7	6	8	7	4	4	5	4

DIFONE FE

3 0	0	22	5	6	3	3	4	7	1	3	2
5 0	0	17	14	4	5	7	11	6	4	5	2
4 0	44	19	17	1	7	6	11	6	6	5	3

DIFONE Fe

3 0	0	23	10	6	4	3	3	6	2	4	3
5 0	0	19	9	7	4	6	9	8	3	5	2
5 0	44	19	15	4	6	6	12	5	6	4	3

DIFONE FI

3 0	0	17	10	5	5	4	8	8	4	4	2
4 0	0	20	14	3	6	2	11	8	5	6	3
4 0	0	20	14	3	6	2	11	8	5	6	3

DIFONE FO

3 0	0	19	5	5	4	5	3	3	3	2	2
5 0	0	15	11	9	5	9	6	6	2	3	2
5 0	44	7	25	11	6	5	7	4	3	4	5

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Fo

3 0	0 22	7 7	5 2	4 5	3 2	2 2
5 0	0 21	8 5	5 4	4 4	4 2	1 2
5 0	44 11	26 8	6 8	7 3	3 3	5 3

DIFONE FU

3 0	0 22	9 7	5 4	1 5	3 2	2 2
6 0	0 16	8 7	6 7	7 8	3 3	3 3
6 0	44 7	21 10	8 6	7 6	1 4	5 5

DIFONE FL

3 0	0 17	7 4	2 4	3 7	3 4	3 3
7 0	0 13	18 4	6 12	5 5	3 4	4 4
3 0	44 11	17 2	10 12	5 6	3 5	3 3

DIFONE Fh

3 0	0 19	6 5	3 3	5 5	1 2	3 3
5 0	0 17	9 8	6 5	6 8	2 2	2 2
6 0	44 15	24 3	9 9	6 5	4 6	2 2

DIFONE GA

3 0	44 19	16 4	1 7	6 5	2 3	3 3
5 0	44 19	18 3	3 9	10 8	4 5	3 3
4 0	44 18	18 4	6 8	13 4	5 6	4 4

DIFONE Ga

9 0	44 16	13 5	8 6	12 6	4 5	6 6
8 0	44 16	13 5	9 6	11 6	3 5	5 5
7 0	44 16	14 5	9 6	11 7	3 5	4 4

DIFONE GE

9 0	44 4	5 8	6 11	9 6	2 3	3 3
8 0	44 3	7 7	5 12	8 6	3 3	3 3
7 0	44 26	8 4	5 6	3 7	3 5	3 3

DIFONE Ge

9 0	44 24	5 3	5 6	6 5	2 3	3 3
8 0	44 24	10 2	6 3	8 10	6 4	3 3
7 0	44 24	10 1	7 2	12 11	6 4	4 4

DIFONE GI

9 0	44 2	8 8	6 12	9 6	2 3	2 2
8 0	44 27	14 4	4 7	2 6	2 3	2 2
7 0	44 23	8 3	3 7	7 10	4 4	4 4

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE GO

9 0	44	13	10	14	8	4	4	3	2	3	4
8 0	44	8	23	12	6	3	4	6	4	4	5
7 0	44	8	19	12	8	2	6	6	4	3	6

DIFONE Go

9 0	44	19	5	12	11	2	5	3	2	3	4
8 0	44	13	18	12	7	2	6	7	3	3	7
7 0	44	12	17	11	12	2	10	6	3	2	7

DIFONE GU

9 0	44	8	12	14	11	3	6	5	3	4	3
8 0	44	7	15	13	8	5	4	5	4	2	6
7 0	44	6	17	13	7	8	7	4	3	1	6

DIFONE GL

9 0	44	15	10	9	6	5	4	9	3	4	4
8 0	44	15	5	9	6	9	7	10	3	4	4
7 0	44	15	11	5	9	6	12	8	2	5	5

DIFONE Gh

9 0	44	8	11	8	2	5	6	7	3	4	2
8 0	44	19	18	9	3	6	7	5	2	3	3
7 0	44	19	20	7	3	5	6	8	2	6	5

DIFONE JA

2 0	0	25	17	12	9	7	3	3	1	0	1
5 0	0	25	15	12	5	3	2	6	1	4	4
8 0	44	19	12	5	8	4	9	8	2	5	2

DIFONE. Ja

3 0	0	24	17	14	3	3	0	2	2	2	3
5 0	0	24	18	12	8	5	0	5	1	2	2
8 0	0	25	15	13	4	4	2	3	1	2	3

DIFONE JE

3 0	0	25	17	12	8	5	2	3	0	2	1
5 0	0	26	17	11	7	4	1	3	1	2	3
6 0	44	25	19	13	8	5	3	2	1	1	3

DIFONE Je

3 0	0	24	18	14	7	5	1	4	1	1	1
5 0	44	23	22	14	7	7	2	2	1	1	2
5 0	44	24	20	15	9	6	4	3	0	1	2

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE JI

3 0	44	25	17	13	8	5	0	1	2	3	2
5 0	44	25	18	10	3	3	2	5	2	4	4
6 0	44	25	15	9	0	5	4	8	4	5	5

DIFONE JO

3 0	0	23	10	10	5	4	4	7	2	4	4
5 0	0	20	5	12	4	7	6	7	2	4	5
7 0	44	11	20	6	7	5	11	5	2	5	6

DIFONE Jo

3 0	0	23	12	14	7	7	4	5	0	2	2
4 0	0	23	12	13	7	8	3	4	2	2	2
6 0	44	21	13	9	4	4	6	7	3	4	5

DIFONE JU

3 0	0	24	10	9	6	7	2	4	2	2	4
5 0	0	19	3	9	6	6	8	6	3	6	3
7 0	44	14	12	10	6	7	7	10	3	3	4

DIFONE LA

2 0	44	21	7	2	10	7	9	4	3	5	7
2 0	44	21	7	4	11	4	7	2	5	5	7
7 0	44	20	8	5	12	4	4	4	5	6	5

DIFONE La

3 0	44	7	17	5	9	8	8	7	5	6	0
3 0	44	8	14	8	10	7	9	6	4	7	2
8 0	44	12	10	7	11	5	11	5	3	7	3

DIFONE LE

7 0	44	21	10	2	6	4	15	7	5	3	5
3 0	44	24	14	2	6	0	13	8	6	3	5
5 0	44	24	12	2	6	1	14	8	5	3	5

DIFONE Le

7 0	44	17	7	5	10	3	10	6	5	5	3
8 0	44	18	5	5	12	3	11	7	6	4	2
8 0	44	18	5	6	12	4	10	7	5	5	3

DIFONE LI

6 0	44	21	14	2	5	4	9	9	4	6	2
3 0	44	20	10	2	6	7	8	11	3	4	1
6 0	44	21	11	1	6	2	12	12	5	4	2

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE LO

7 0 44 12 12 8 10 1 11 6 4 4 6
 5 0 44 10 13 9 10 3 12 7 4 3 5
 7 0 44 13 11 8 11 3 9 7 5 2 4

DIFONE Lo

8 0 44 13 13 9 11 2 12 3 5 5 5
 3 0 44 17 9 6 10 4 13 5 2 4 4
 7 0 44 13 12 7 11 5 10 2 4 7 5

DIFONE LU

9 0 44 17 14 7 9 0 3 11 5 5 3
 6 0 44 18 10 5 9 3 0 11 4 5 5
 7 0 44 17 9 4 10 3 3 10 3 5 6

DIFONE 1A

4 0 44 21 8 5 5 5 6 12 3 4 2
 7 0 44 23 10 2 7 2 6 11 5 5 2
 2 0 44 21 8 3 7 3 9 11 5 6 3

DIFONE 1a

3 0 44 21 10 1 8 4 8 9 5 6 5
 3 0 44 23 12 1 7 3 5 8 6 6 6
 3 0 44 23 13 2 7 1 6 6 5 6 6

DIFONE 1E

6 0 44 23 8 2 5 1 12 9 4 4 4
 8 0 44 26 15 1 5 5 4 11 5 5 3
 6 0 44 25 14 2 7 0 10 10 6 4 3

DIFONE 1e

7 0 44 23 9 1 7 3 10 8 6 5 3
 9 0 44 21 10 4 6 2 7 11 5 5 2
 5 0 44 23 8 3 8 2 10 11 6 4 3

DIFONE 1I

7 0 44 23 11 2 6 1 6 7 5 5 4
 3 0 44 23 12 4 5 0 6 9 4 5 5
 5 0 44 25 16 1 4 5 3 7 5 6 3

DIFONE 1O

7 0 44 22 15 4 7 0 11 8 5 5 5
 7 0 44 21 20 4 6 0 10 6 4 6 5
 9 0 44 20 20 1 7 2 9 9 3 6 3

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE lo

8 0	44	20	18	2	4	1	13	8	6	4	6
7 0	44	21	24	2	5	1	9	6	6	5	5
5 0	44	19	18	2	4	4	12	4	6	6	6

DIFONE lu

5 0	44	21	17	5	4	1	5	9	3	4	3
5 0	44	21	17	5	7	0	7	8	4	5	4
5 0	44	20	23	4	6	0	9	8	3	5	6

DIFONE MA

8 0	44	18	10	5	9	4	8	3	5	2	4
7 0	44	18	11	5	10	6	7	1	5	3	4
7 0	44	19	12	11	12	0	9	7	5	3	4

DIFONE Ma

7 0	44	18	11	2	11	5	6	5	4	2	4
3 0	44	20	12	1	11	5	5	4	5	2	5
3 0	44	17	13	5	12	4	7	3	5	1	4

DIFONE ME

9 0	44	16	9	4	8	3	14	6	3	6	4
2 0	44	17	8	3	8	3	14	5	3	5	4
9 0	44	19	8	3	8	6	14	7	5	1	2

DIFONE Me

4 0	44	16	8	6	9	3	14	6	4	5	5
9 0	44	21	11	4	7	3	12	5	6	4	3
7 0	44	23	11	5	7	3	11	7	6	2	2

DIFONE MI

5 0	44	11	13	3	9	11	12	7	2	5	1
7 0	44	12	12	2	9	9	12	5	2	5	2
7 0	44	23	10	0	8	6	12	10	5	4	0

DIFONE MO

7 0	44	14	12	4	11	10	2	7	3	5	3
7 0	44	10	16	10	11	8	8	3	3	4	5
5 0	44	8	20	13	11	3	6	4	4	3	6

DIFONE Mo

9 0	44	18	12	2	12	6	4	5	3	3	2
7 0	44	14	16	8	12	5	8	3	5	2	2
6 0	44	13	19	12	12	1	7	5	5	3	5

ENE R FIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE MU

7 0 44 13 14 3 10 9 8 5 1 4 2
 7 0 44 12 12 3 8 7 11 4 2 4 4
 9 0 44 11 15 8 10 7 12 1 3 3 5

DIFONE NA

7 0 44 18 11 2 9 8 7 9 5 4 2
 7 0 44 19 14 7 8 4 7 6 5 3 2
 3 0 44 22 11 9 8 8 6 7 3 5 3

DIFONE Na

5 0 44 18 10 0 10 9 9 8 4 6 1
 5 0 44 18 11 1 9 10 7 9 4 5 3
 4 0 44 19 13 6 8 1 11 9 5 3 3

DIFONE NE

5 0 44 15 10 2 12 10 11 5 4 4 2
 7 0 44 16 11 2 11 11 11 6 3 4 2
 7 0 44 21 10 3 7 4 12 8 5 4 3

DIFONE Ne

7 0 44 16 10 2 11 7 7 11 4 3 1
 2 0 44 17 11 1 12 6 7 11 3 3 2
 7 0 44 22 12 4 5 7 8 8 5 4 1

DIFONE NI

4 0 44 16 11 1 13 10 6 5 3 5 1
 7 0 44 11 12 2 11 13 6 6 2 4 3
 5 0 44 22 9 1 8 7 10 12 4 5 0

DIFONE NO

7 0 44 8 14 5 12 12 7 8 3 4 3
 3 0 44 13 13 4 9 10 9 5 3 6 4
 7 0 44 15 14 8 11 1 9 6 5 3 6

DIFONE No

6 0 44 17 11 1 13 8 6 10 3 5 3
 7 0 44 15 13 3 11 8 5 8 5 5 4
 7 0 44 16 18 10 10 2 9 6 5 5 4

DIFONE NU

3 0 44 11 13 3 12 7 5 7 4 5 4
 9 0 44 9 13 4 11 7 7 6 4 5 4
 7 0 44 15 10 7 9 4 10 5 4 3 5

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE nA

2 0 44 14 14 2 10 11 8 8 4 2 3
 8 0 44 15 10 7 5 9 12 6 2 5 4
 2 0 44 22 10 3 8 2 13 9 5 1 3

DIFONE na

6 0 44 11 14 3 6 7 12 6 3 6 1
 8 0 44 12 11 5 7 6 8 12 3 3 4
 5 0 44 19 9 0 12 7 11 5 3 3 4

DIFONE nE

5 0 44 11 15 3 11 12 7 7 4 3 4
 3 0 44 20 8 2 10 5 12 9 5 2 3
 2 0 44 22 9 2 8 4 13 9 6 3 3

DIFONE ne

9 0 44 12 12 4 8 14 7 7 3 3 3
 9 0 44 14 13 1 12 12 5 9 3 2 3
 7 0 44 20 5 3 10 6 12 9 3 1 4

DIFONE nI

7 0 44 14 11 3 7 8 11 12 2 3 2
 7 0 44 19 6 1 9 9 8 12 4 3 1
 3 0 44 22 8 0 7 7 8 12 4 4 2

DIFONE nO

6 0 44 11 16 1 10 11 6 8 2 4 5
 5 0 44 10 12 5 8 4 12 8 3 3 3
 2 0 44 16 14 5 8 2 12 9 4 3 5

DIFONE no

7 0 44 14 16 2 9 11 7 7 4 3 4
 4 0 44 15 13 4 7 9 13 5 3 4 3
 7 0 44 20 13 4 6 3 14 5 4 4 4

DIFONE nU

7 0 44 6 16 4 7 13 6 10 3 3 3
 7 0 44 6 16 3 8 13 8 8 3 3 1
 9 0 44 4 16 5 9 9 10 9 2 3 3

DIFONE PA

9 0 0 6 4 6 0 7 5 5 2 4 3
 7 0 0 6 5 4 2 9 6 9 2 4 4
 2 0 44 15 24 7 9 5 10 3 5 5 5

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Pa

3 0	0 6	4 5	1 7	7 7	7 1	4 2
7 0	0 12	24 8	6 6	7 4	4 4	5 5
8 0	0 13	20 9	8 8	7 9	5 3	4 7

DIFONE PE

3 0	0 6	4 5	1 9	8 8	6 2	4 3
4 0	0 7	6 4	1 11	5 5	2 4	4 4
7 0	0 18	16 2	6 5	14 6	6 4	4 4

DIFONE Pe

9 0	0 5	4 5	1 9	6 6	2 4	4 4
9 0	0 16	15 3	5 10	8 8	4 4	4 1
3 0	44 22	15 5	6 3	10 9	6 6	4 4

DIFONE PI

9 0	0 7	6 3	0 7	7 7	8 2	4 3
4 0	0 7	8 5	5 10	8 10	2 4	2 2
6 0	0 22	12 1	8 2	11 8	6 6	5 5

DIFONE PO

5 0	0 6	6 5	1 9	5 5	2 4	3 3
3 0	0 7	30 7	4 8	6 3	4 6	4 4
8 0	44 7	30 9	6 5	8 5	3 4	4 7

DIFONE Po

6 0	0 7	5 5	1 8	5 5	2 4	2 2
3 0	0 10	26 9	6 7	8 2	3 4	4 4
8 0	0 12	29 8	7 6	9 3	4 4	5 7

DIFONE PU

7 0	0 5	4 5	1 9	7 8	1 5	3 3
9 0	0 7	11 6	6 10	6 7	3 4	0 0
9 0	0 6	30 5	6 6	3 6	4 5	4 4

DIFONE PL

9 0	0 4	6 4	2 9	6 6	2 4	2 2
2 0	0 23	9 8	6 7	6 6	3 3	3 3
7 0	44 14	15 3	10 10	7 5	4 5	3 3

DIFONE Ph

2 0	0 4	5 4	2 7	6 8	2 4	3 3
5 0	0 15	13 7	2 9	5 7	3 4	2 2
6 0	0 15	23 2	11 9	6 6	5 4	3 3

	ENE	R	PIT	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	KA
DIFONE RA													
	3	0	44	14	22	6	7	11	8	7	4	3	3
	5	0	44	11	19	5	9	10	8	8	2	6	1
	7	0	44	16	16	4	12	6	6	7	5	4	2
DIFONE Ra													
	9	0	44	13	19	6	9	6	11	7	3	6	2
	6	0	44	16	20	2	9	7	9	9	3	5	3
	6	0	44	17	16	5	8	6	11	7	5	5	2
DIFONE RE													
	3	0	44	18	15	5	5	4	12	5	5	6	3
	8	0	44	18	18	1	7	6	6	10	4	6	2
	7	0	44	21	12	5	5	4	12	7	5	6	4
DIFONE Re													
	7	0	44	17	18	5	8	3	15	6	3	4	3
	7	0	44	17	19	4	8	3	14	8	3	5	4
	5	0	44	18	17	3	10	1	13	7	4	4	4
DIFONE RI													
	7	0	44	7	13	4	6	12	8	8	4	4	2
	8	0	44	3	13	7	7	12	8	7	2	4	1
	8	0	44	19	12	2	5	5	11	9	5	6	4
DIFONE RO													
	4	0	44	8	21	7	6	7	11	5	4	5	3
	3	0	44	15	24	2	6	7	9	6	4	5	4
	7	0	44	12	21	4	6	5	11	10	3	5	5
DIFONE Ro													
	8	0	44	13	26	2	7	13	7	10	2	5	4
	8	0	44	16	28	0	7	10	8	10	2	3	4
	9	0	44	22	9	9	7	8	6	5	2	3	3
DIFONE RU													
	3	0	44	5	26	6	6	8	8	9	4	5	4
	2	0	44	5	27	6	8	8	6	11	3	4	2
	2	0	44	7	23	4	9	5	10	8	3	5	5
DIFONE rA													
	3	0	44	18	20	5	3	6	7	6	3	4	3
	6	0	44	17	20	4	5	8	8	4	4	4	2
	9	0	44	17	21	2	11	10	6	8	4	5	1

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE ra

4 0 44 15 23 5 7 8 7 6 6 3 3
 6 0 44 15 19 6 10 8 8 4 4 4 5
 4 0 44 15 18 6 10 8 7 3 5 4 5

DIFONE rE

7 0 44 15 19 9 2 7 9 7 4 3 1
 3 0 44 15 17 8 4 9 11 5 4 4 2
 7 0 44 17 16 2 9 7 10 8 4 5 4

DIFONE re

7 0 44 16 18 7 7 8 11 4 2 3 2
 4 0 44 19 18 2 9 8 12 6 6 3 4
 3 0 44 19 17 3 7 7 14 6 6 4 4

DIFONE rI

9 0 44 16 10 3 10 8 14 10 4 2 2
 4 0 44 21 10 1 8 4 14 10 5 2 2
 5 0 44 22 11 1 7 2 14 10 6 2 2

DIFONE rO

5 0 44 9 25 10 5 4 5 6 4 5 4
 9 0 44 8 28 10 4 4 7 7 5 4 5
 3 0 44 8 30 5 5 8 4 6 5 6 4

DIFONE ro

2 0 44 16 17 14 10 4 6 4 3 4 3
 9 0 44 13 28 9 7 5 8 4 6 5 4
 7 0 44 15 21 10 10 5 8 3 5 5 7

DIFONE rU

7 0 44 5 22 13 8 7 3 4 2 4 4
 6 0 44 4 29 10 7 5 4 6 2 5 4
 3 0 44 3 27 12 11 3 3 6 1 4 4

DIFONE SA

5 0 0 24 10 9 6 9 5 6 3 3 3
 8 0 0 23 6 7 6 7 7 4 3 3 2
 9 0 44 15 18 6 10 7 6 10 4 5 2

DIFONE Sa

7 0 0 24 10 7 6 8 4 7 3 2 2
 6 0 0 25 7 5 5 7 5 5 3 2 3
 6 0 44 17 15 4 7 9 4 10 4 6 4

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE SE

6	0	0	24	10	7	6	7	5	4	2	2	3
4	0	0	18	13	6	4	7	7	9	4	5	3
7	0	44	20	15	2	7	6	9	10	5	6	2

DIFONE Se

7	0	0	23	7	9	9	8	5	8	3	3	2
4	0	0	19	14	6	3	8	5	8	5	5	3
8	0	44	19	16	2	8	6	8	11	5	6	0

DIFONE SI

7	0	0	25	6	7	9	6	5	5	3	3	3
4	0	0	24	1	6	5	4	8	7	2	4	4
7	0	44	21	16	2	6	3	7	11	5	6	4

DIFONE SO

3	0	0	23	12	7	5	5	3	6	2	3	3
9	0	0	14	18	6	9	5	10	3	4	6	3
7	0	44	13	15	9	11	4	12	4	4	5	6

DIFONE So

3	0	0	25	14	7	5	4	3	6	2	2	2
7	0	0	25	11	6	8	3	4	6	2	2	4
6	0	44	15	17	7	11	5	9	2	5	6	3

DIFONE SU

7	0	0	22	13	7	8	5	3	5	2	3	2
6	0	0	20	12	7	5	7	5	7	3	2	4
7	0	44	16	13	7	11	1	11	6	3	6	5

DIFONE TA

9	0	0	7	2	5	5	5	6	5	2	4	3
8	0	0	18	13	8	5	8	5	6	5	4	4
9	0	44	17	19	6	10	6	9	7	6	5	3

DIFONE Ta

7	0	0	6	3	5	4	6	6	7	2	4	3
5	0	0	18	13	6	5	9	7	6	5	4	4
7	0	44	18	15	5	8	7	10	5	5	5	3

DIFONE TE

7	0	0	21	10	6	4	6	7	4	3	3	2
7	0	0	21	14	3	6	5	10	8	5	6	2
4	0	44	21	12	3	6	4	13	10	6	5	2

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Te

2 0	0 16	5 5	3 5	6 5	5 2	3 2
3 0	0 19	14 3	8 7	9 9	5 5	4 1
7 0	44 21	15 3	7 5	10 8	6 6	5 2

DIFONE TI

2 0	0 23	5 6	2 3	5 5	4 4	3 3
6 0	0 22	11 2	4 6	5 11	6 6	4 4
5 0	44 24	15 0	7 2	8 12	6 6	4 2

DIFONE TO

4 0	0 3	3 5	4 7	7 7	6 1	3 4
7 0	0 17	11 7	9 6	9 5	3 3	5 5
5 0	44 12	19 9	8 8	4 9	4 5	6 5

DIFONE To

8 0	0 23	8 2	7 2	5 3	3 3	4 3
3 0	0 17	16 8	10 5	10 2	5 5	6 5
5 0	44 16	16 11	11 3	11 3	6 6	5 5

DIFONE TU

6 0	0 22	6 5	8 5	6 5	3 3	5 6
6 0	0 8	14 10	10 5	11 4	4 4	4 6
3 0	44 10	15 12	10 1	6 6	6 6	3 5

DIFONE TL

2 0	0 18	7 7	9 6	13 3	4 4	4 6
2 0	0 19	4 7	12 6	11 4	4 4	4 7
3 0	44 20	3 5	12 6	10 4	4 4	4 7

DIFONE Th

8 0	0 6	3 6	3 7	5 6	1 1	4 4
9 0	0 19	9 10	5 8	5 6	4 4	4 4
7 0	44 16	21 5	7 6	10 5	5 5	4 3

DIFONE VA

6 0	44 20	7 8	3 7	6 5	1 1	3 2
7 0	44 15	23 9	7 5	9 2	4 4	5 3
7 0	44 15	23 10	9 5	10 3	5 5	5 5

DIFONE Va

2 0	44 22	6 5	2 6	3 5	2 1	2 2
7 0	44 23	8 5	3 5	4 5	2 2	2 2
3 0	44 11	23 7	6 8	7 4	4 4	5 4

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE VE

5 0	44	22	5	6	3	3	4	7	1	3	2
8 0	44	17	14	4	5	7	11	6	4	5	2
4 0	44	19	17	1	7	6	11	6	6	5	3

DIFONE Ve

6 0	44	23	10	6	4	3	3	6	2	4	3
5 0	44	19	9	7	4	6	9	8	3	5	2
5 0	44	19	15	4	6	6	12	5	6	4	3

DIFONE VI

3 0	44	17	10	5	5	4	8	8	4	4	2
4 0	44	20	14	3	6	2	11	8	5	6	3
7 0	44	23	13	2	7	2	9	8	6	5	3

DIFONE VO

5 0	44	19	5	5	4	5	3	3	3	2	2
9 0	44	15	11	9	5	9	6	6	2	3	2
6 0	44	7	30	9	7	3	7	5	2	6	6

DIFONE Vo

2 0	44	22	7	7	5	2	4	5	3	2	2
7 0	44	21	8	5	5	4	4	4	2	1	2
7 0	44	11	26	8	6	8	7	3	3	5	3

DIFONE VU

3 0	44	22	9	7	5	4	1	5	3	2	2
7 0	44	16	8	7	6	7	7	8	3	3	3
9 0	44	7	21	10	8	6	7	6	1	4	5

DIFONE VL

3 0	44	17	7	4	2	4	3	7	3	4	3
7 0	44	13	18	4	6	12	5	5	3	4	4
3 0	44	11	17	2	10	12	5	6	3	5	3

DIFONE Vh

7 0	44	19	6	5	3	3	5	5	1	2	3
2 0	44	17	9	8	6	5	6	8	2	2	2
6 0	44	15	24	3	9	9	6	5	4	6	2

DIFONE XA

3 0	0	25	20	12	8	8	2	4	1	2	0
7 0	0	25	16	12	9	7	4	4	1	1	1
3 0	44	24	19	12	9	6	5	4	1	1	2

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE Xa

4 0	0 24	17 11	7 4	2 2	1 2	1
7 0	0 23	11 8	5 7	6 7	3 2	3
7 0	44 24	16 12	10 7	6 5	1 1	0

DIFONE XE

9 0	0 23	22 15	9 7	2 4	1 1	2
6 0	0 23	20 15	9 8	4 3	1 1	1
8 0	44 24	21 14	9 10	6 4	1 1	1

DIFONE Xe

9 0	0 25	18 14	7 6	3 3	2 1	1
3 0	0 25	19 13	9 7	1 3	2 2	1
7 0	44 25	21 13	8 8	3 3	2 2	1

DIFONE XI

6 0	0 22	15 3	6 1	10 8	6 4	4
7 0	0 23	14 3	6 1	9 7	7 3	5
3 0	44 23	14 2	6 1	10 8	6 4	4

DIFONE XO

2 0	0 25	9 12	7 5	5 3	1 2	1
9 0	0 25	9 12	8 5	4 5	1 2	0
5 0	44 25	9 11	7 11	6 6	2 3	1

DIFONE Xo

6 0	0 25	13 14	7 8	2 3	1 1	3
8 0	0 24	16 13	8 7	3 4	0 2	2
6 0	44 24	13 15	9 7	6 5	1 2	2

DIFONE XU

9 0	0 24	13 13	8 9	6 7	1 1	2
2 0	0 26	11 11	9 9	6 5	2 2	2
2 0	44 25	11 12	9 9	6 5	2 0	2

DIFONE ZA

9 0	44 27	10 6	5 4	5 5	1 3	2
7 0	44 24	2 6	8 6	6 6	3 5	4
2 0	44 17	15 4	10 9	2 10	5 5	4

DIFONE Za

3 0	44 26	5 5	6 6	4 5	3 2	2
2 0	44 22	3 10	7 5	4 7	4 4	4
9 0	44 18	12 7	5 11	4 8	5 5	4

ENE R PIT K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 KA

DIFONE ZE

8 0	44	25	0	6	4	7	6	4	3	2	4
8 0	44	19	8	9	2	7	7	5	5	5	3
9 0	44	20	15	2	8	5	6	9	5	6	4

DIFONE Ze

7 0	44	26	8	7	7	6	6	5	3	2	2
7 0	44	22	11	7	3	8	4	5	4	5	4
7 0	44	20	15	3	8	6	6	10	5	7	2

DIFONE ZI

6 0	44	23	7	7	5	6	3	6	2	3	4
5 0	44	22	11	7	2	6	5	6	4	5	5
3 0	44	24	14	1	6	2	9	13	5	5	1

DIFONE ZO

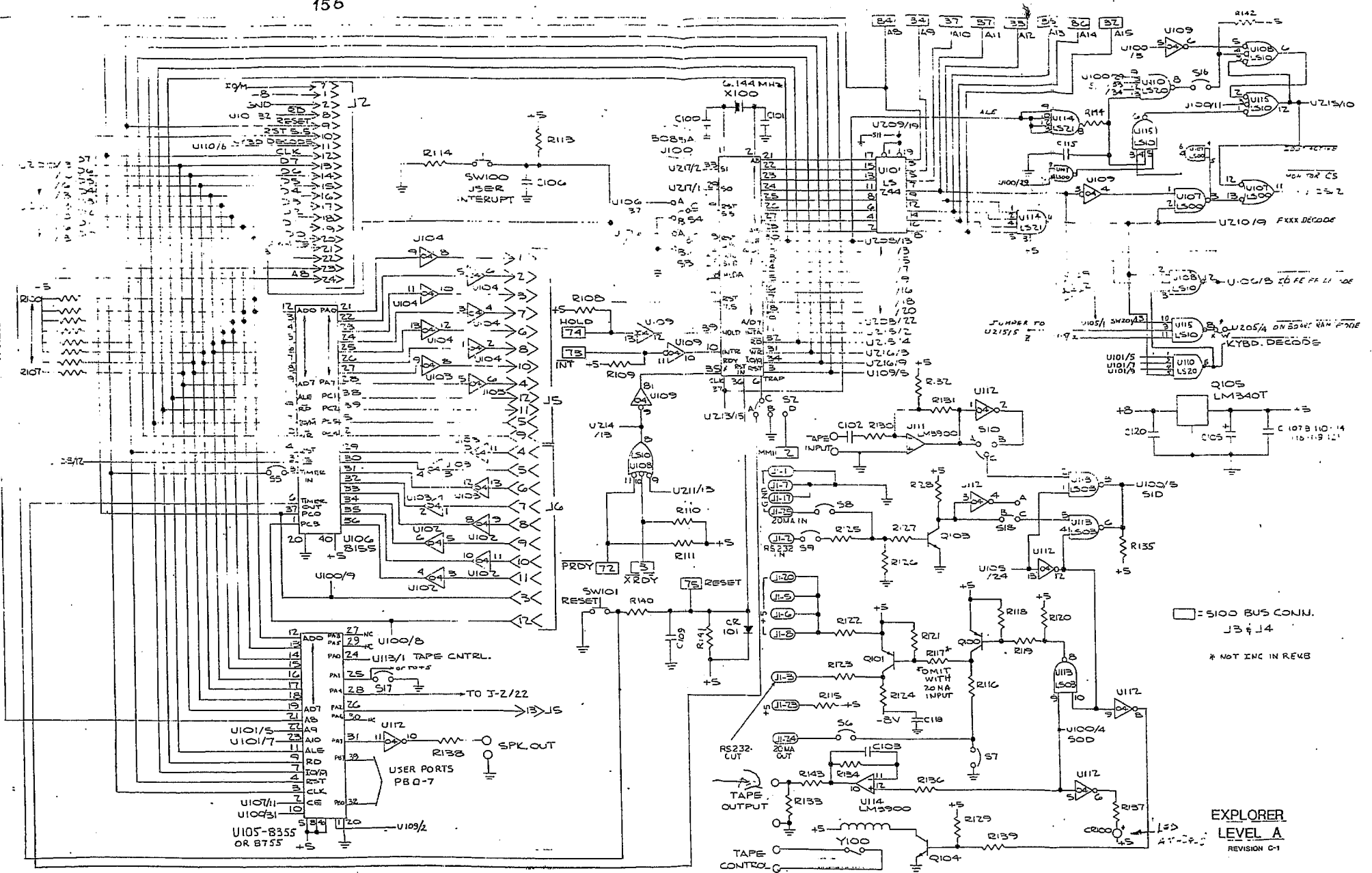
7 0	44	22	15	7	6	5	4	4	3	3	3
3 0	44	20	10	6	8	6	5	5	3	3	5
7 0	44	17	11	6	11	2	10	4	3	6	5

DIFONE Zo

7 0	44	21	7	4	8	7	4	8	3	3	3
7 0	44	18	12	6	10	4	8	4	3	6	5
9 0	44	16	13	7	11	3	10	3	5	6	5

DIFONE ZU

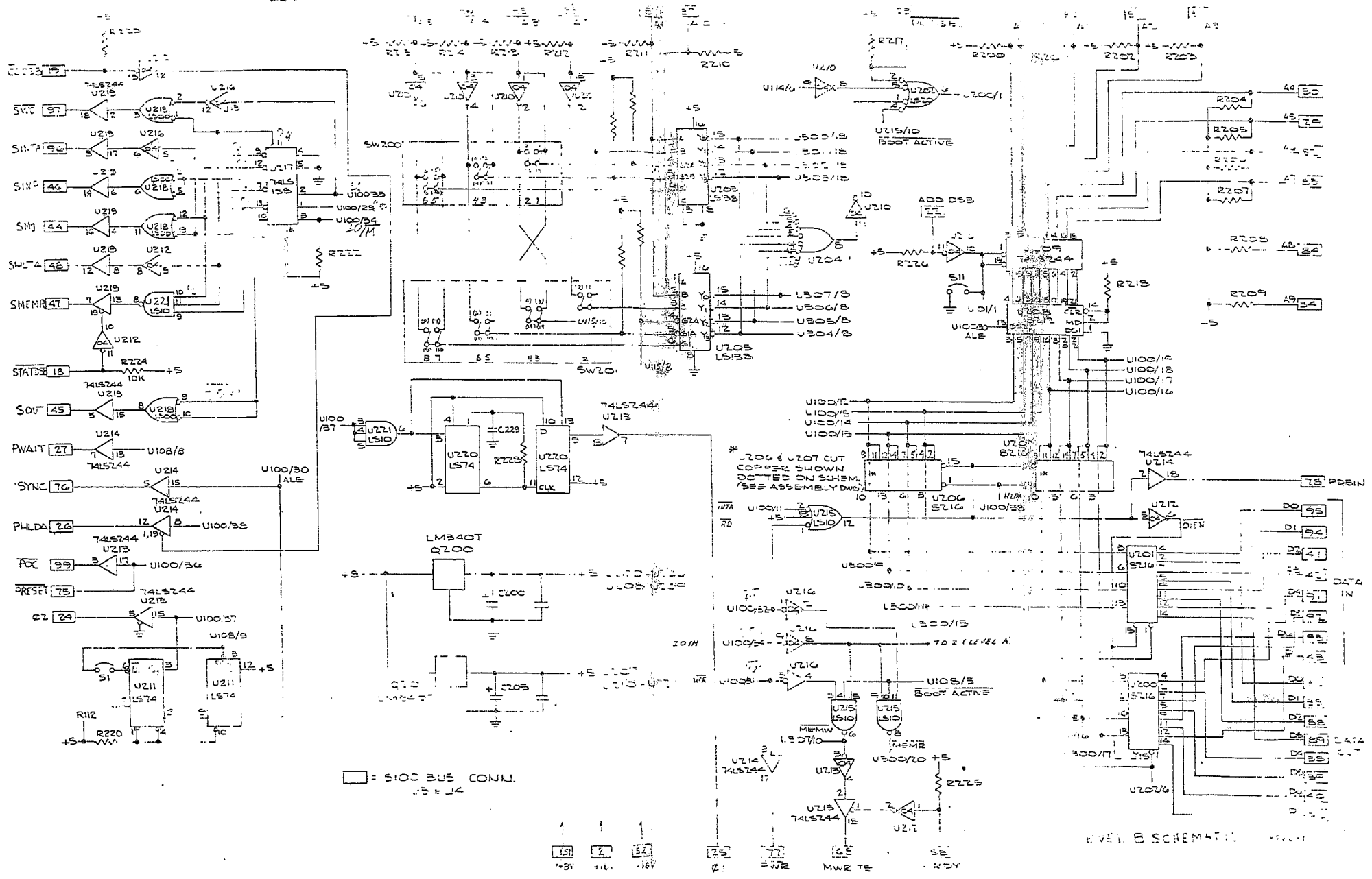
7 0	44	22	17	8	8	3	7	8	3	2	2
7 0	44	22	15	7	6	6	2	6	3	2	3
4 0	44	21	10	4	5	9	4	7	3	4	4



ANEXO 4. PARTE 1/4: CPU, ROM COM O MONITOR, RAM E-PORTAS PARALELAS.

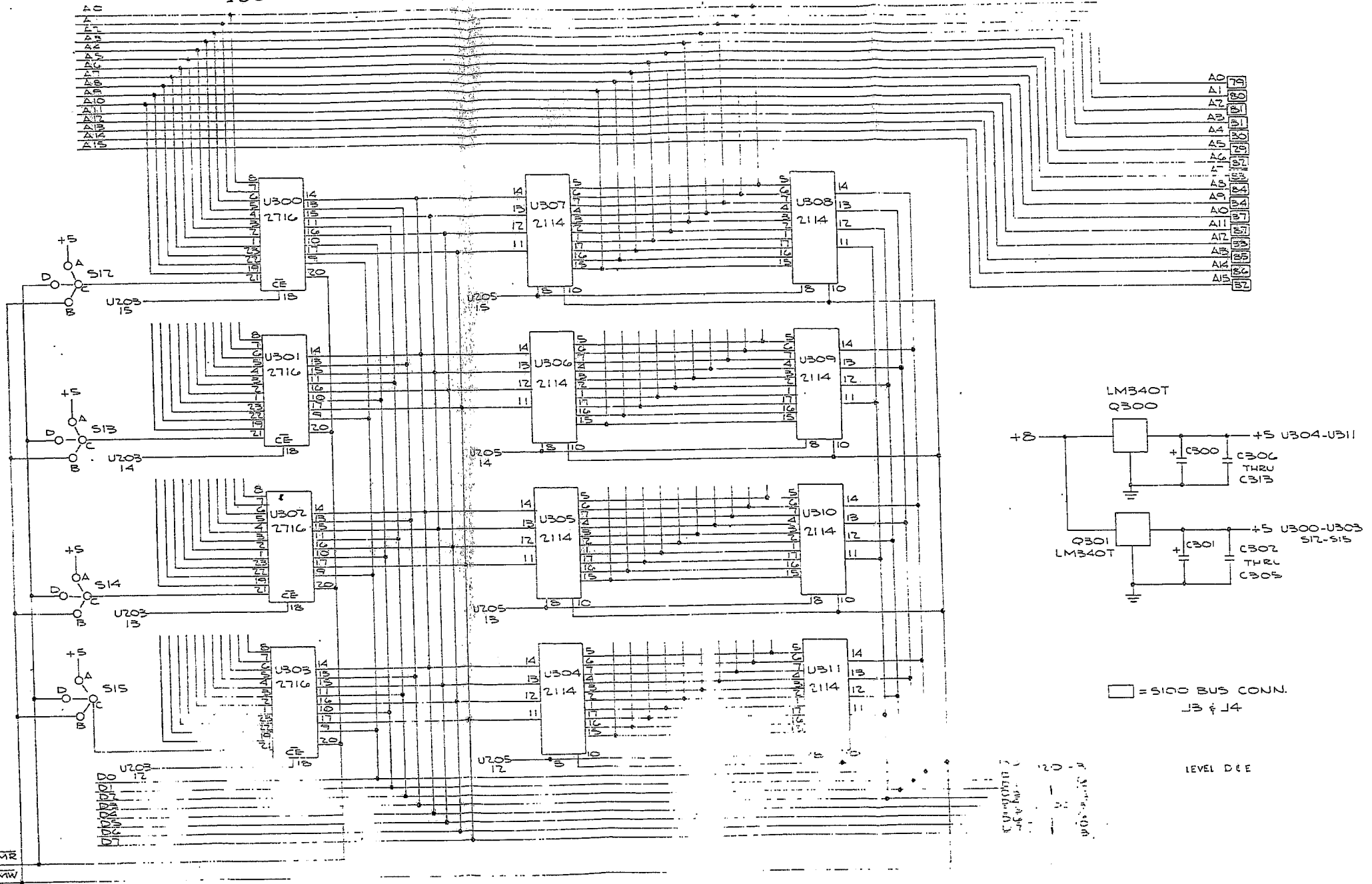
EXPLORER
LEVEL A
REVISION C-1

□ = 5100 BUS CONN.
J3 & J4
* NOT INC IN REV B

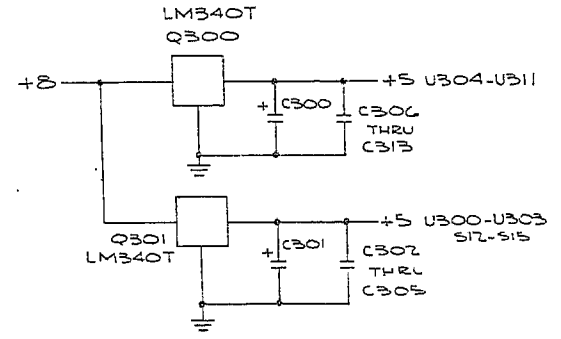


ANEXO 4 - PARTE 2/4 - CONVERSÃO PARA DUTO S-100.

LEVEL B SCHEMATIC



- A0 [7]
- A1 [8]
- A2 [9]
- A3 [10]
- A4 [11]
- A5 [12]
- A6 [13]
- A7 [14]
- A8 [15]
- A9 [16]
- A10 [17]
- A11 [18]
- A12 [19]
- A13 [20]
- A14 [21]



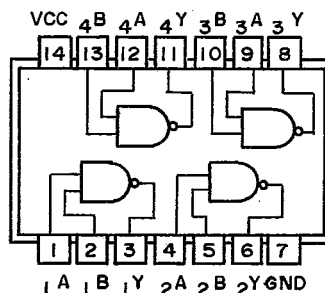
□ = 5100 BUS CONN.
J3 & J4

LEVEL DCE

FABRICANTE / CÓDIGO
TEXAS / SN74LS00N

QUATRO GATES NAND POSITIVOS
DE DUAS ENTRADAS

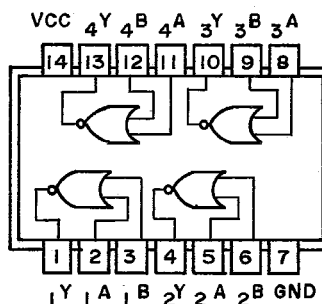
TTL



FABRICANTE / CÓDIGO
TEXAS / SN7402N

QUATRO GATES NOR POSITIVOS
DE DUAS ENTRADAS

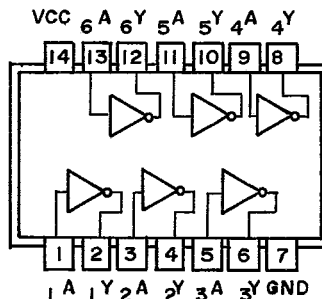
TTL



FABRICANTE / CÓDIGO
TEXAS / SN7404N

DIODO LIMITADOR NA ENTRADA
SEIS INVERSORES

TTL

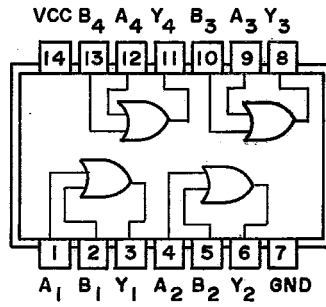


FABRICANTE / CÓDIGO

TEXAS / SN74LS32

QUATRO GATE OU POSITIVAS
DE DUAS ENTRADAS

TTL

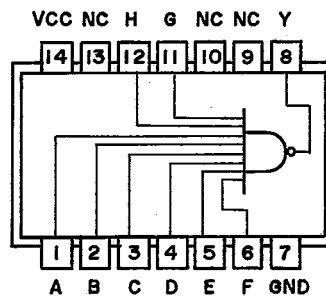


FABRICANTE / CÓDIGO

TEXAS / SN74LS30

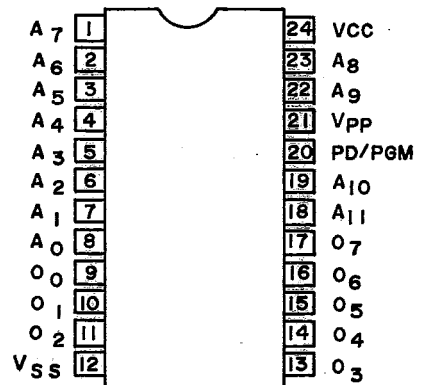
UM GATE NAND POSITIVA
DE OITO ENTRADAS

TTL

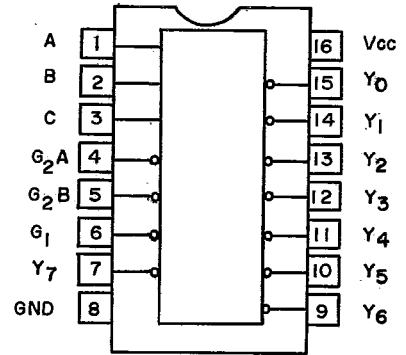


FABRICANTE / CÓDIGO

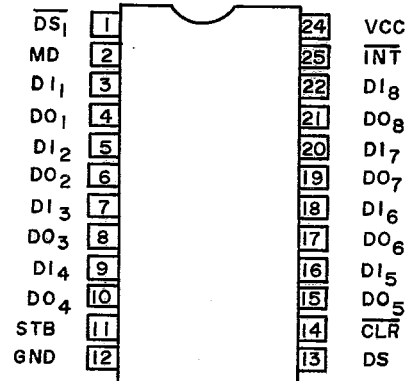
TEXAS / TMS 2532



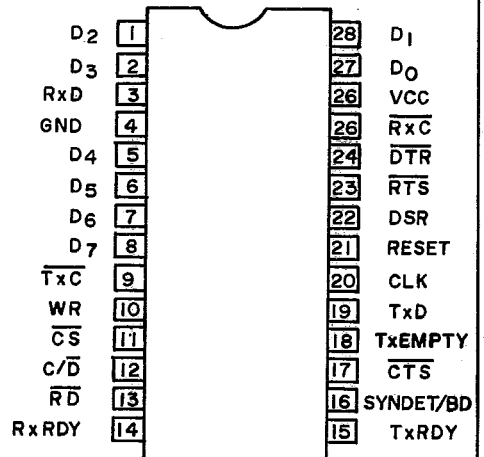
FABRICANTE / CÓDIGO
 TEXAS / SN74LS138N
 DECODIFICADOR DE 3 PARA 8
 DEMULTIPLEXADOR
 TTL
 MSI

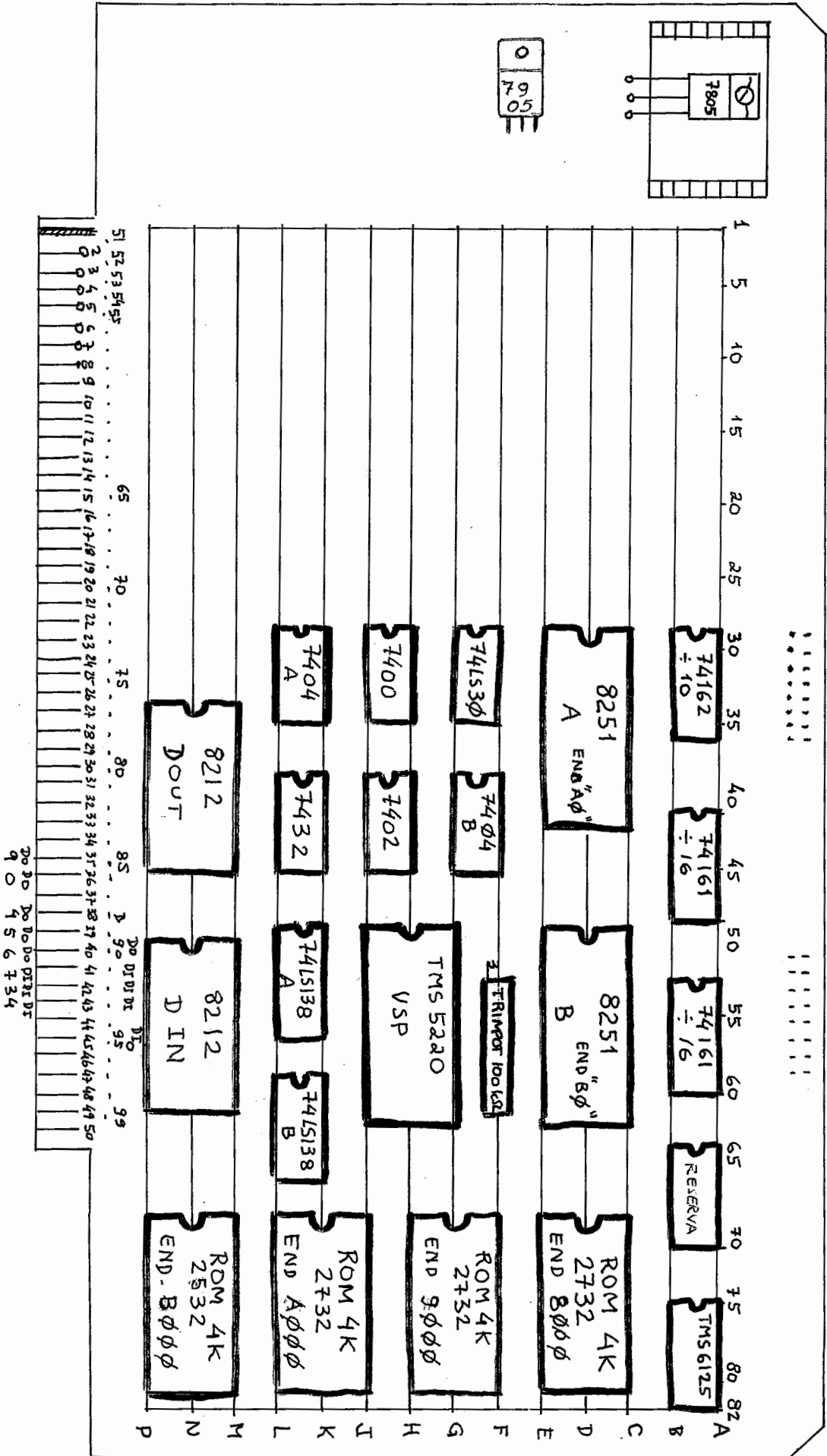


FABRICANTE / CÓDIGO
 INTEL / 8212
 PORTA DE 8 BITS
 BIDIRECIONAL

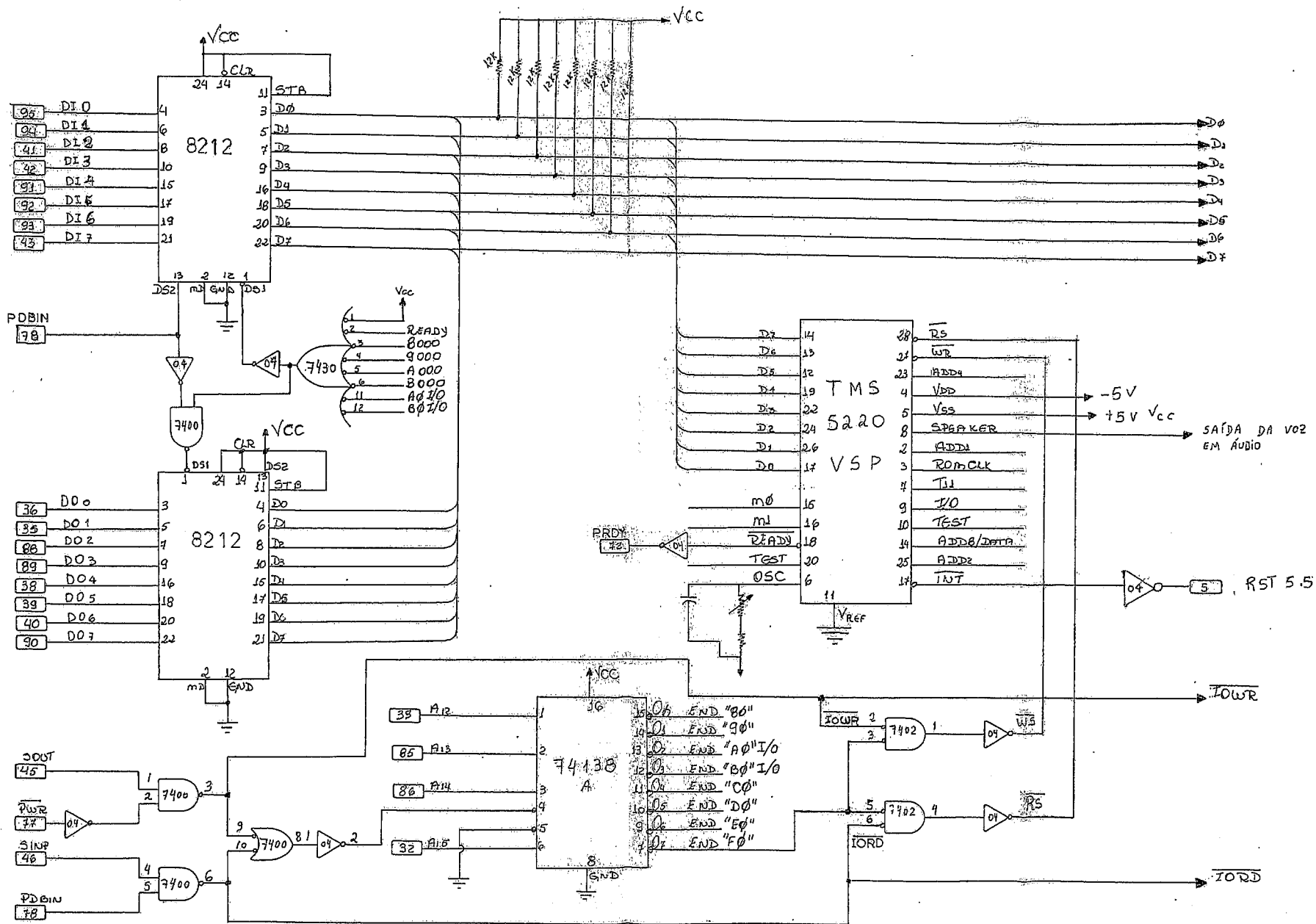


FABRICANTE / CÓDIGO
 INTEL / 8251A
 ENTRADAS E SAÍDAS COMPATÍVEIS
 COM TTL
 INTERFACE PROGRAMÁVEL

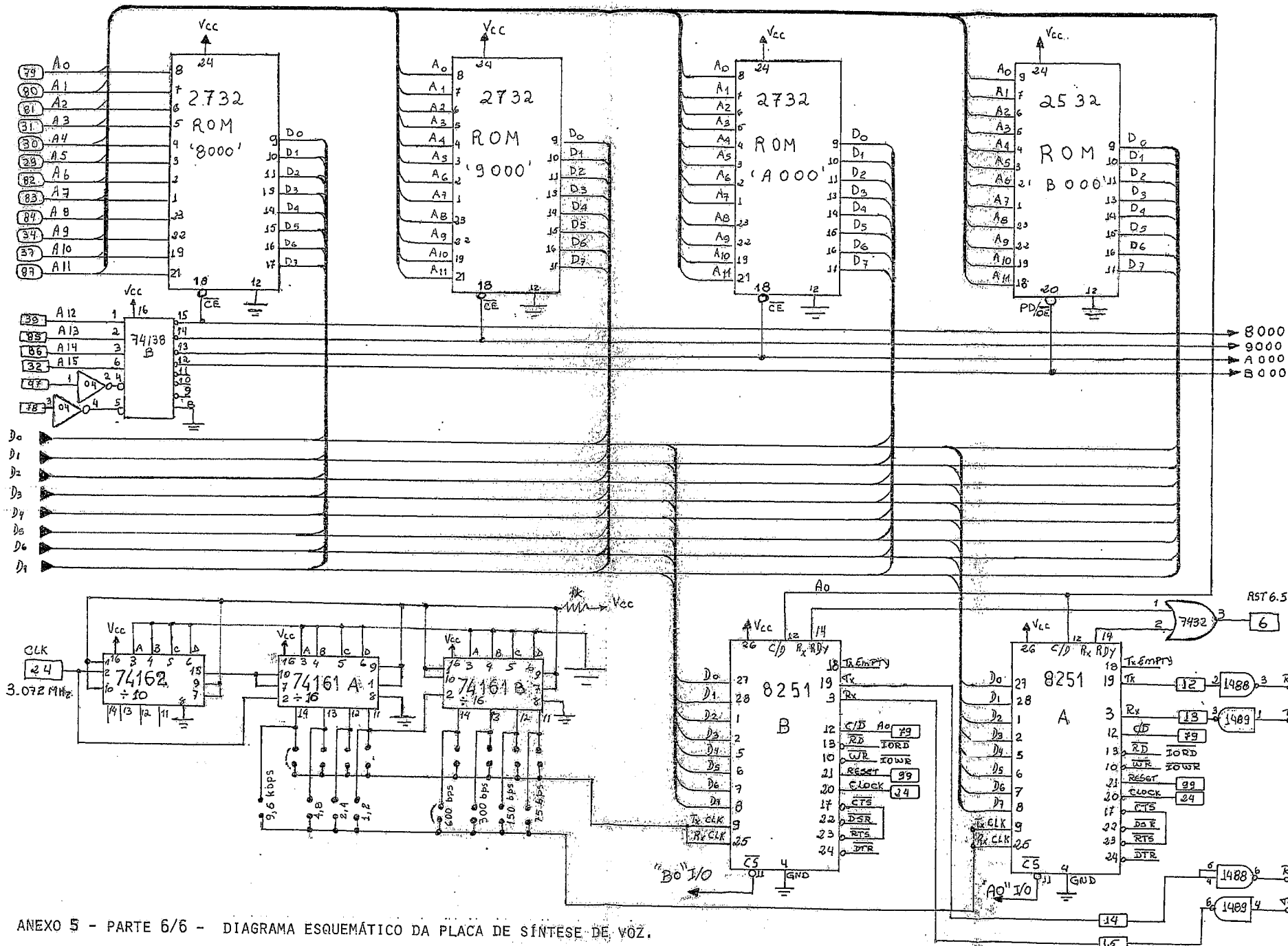




ANEXO 5 - PARTE 4/6 - DISPOSIÇÃO DOS COMPONENTES NA PLACA.



ANEXO 5 - PARTE 5/6 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PLACA DE SÍNTESE DE VOZ.



ANEXO 5 - PARTE 6/6 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PLACA DE SÍNTESE DE VÓZ.

