

11/1540/83

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

MESA DIGITALIZADORA DE  
ALTA RESOLUÇÃO

por

PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI



Dissertação submetida como requisito parcial para  
a obtenção do grau de Mestre em  
Ciência da Computação

Prof. Anatólio Laschuk  
Orientador

Porto Alegre, Janeiro de 1983

U F R G S  
BIBLIOTECA  
CPD/PGCC

Prondzynski, Paulo Roberto

Mesa digitalizadora de alta resolução.  
Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1983.  
198p.

Diss. (mestr.ci.comp.) UFRGS-PGCC,  
Porto Alegre, BR-RS, 1983.

Dissertação: Mesa digitalizadora  
Computação Gráfica  
Periférico de entrada de dados

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro, recebido em forma de bolsa, durante o Curso de Pós-Graduação e à EDISA Eletrônica Digital S.A. e DIGICON S.A. Controle Eletrônico para Mecânica, pelo estímulo e cessão de material para a confecção e aferição do protótipo.

Agradeço ainda ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao meu orientador, pelo apoio e pelas sugestões valiosas que muito me auxiliaram na confecção deste trabalho.

Por último, desejo registrar meu especial agradecimento aos colegas Alberto, Ana, Carla, Denise, Domingos, Eldo, Fátima, Igor, Jonas, Kelber, Manuel, Marcos, Sérgio Pretto, Sônia, Todesco e Vítor pelo ambiente de cordialidade e discussões sadias que permitiram levar este trabalho a bom termo.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	7
PREFÁCIO .....	9
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. APLICAÇÕES DAS MESAS DIGITALIZADORAS .....	17
2.1 Descrição de um sistema em blocos .....	17
2.1.1 Funções e facilidades auto-contidas ..	18
2.1.1.1 Ajuste automático dos eixos de referência .....	18
2.1.1.2 Comunicação com a máquina hos_ pedeira .....	19
2.1.1.3 Interfaceamento de entrada e saída .....	20
2.1.1.4 Obtenção do valor médio dos dados .....	20
2.1.1.5 Operação "on-line" e "off- line" .....	21
2.1.1.6 Sinalização luminosa e audí- vel programável .....	21
2.1.1.7 Auto-teste .....	22
2.1.1.8 Chaves de controle auxilia_ res .....	22
2.1.2 Utilização prática das mesas digitali- zadoras .....	23
2.1.2.1 Apontamento .....	24
2.1.2.2 Cardápio .....	24
2.1.2.3 Desenho arquitetônico, elétri_ co, mecânico e hidráulico ...	25
2.1.2.4 Desenhos de circuitos impres- sos e máscaras para micro-ele_ trônica .....	25
2.1.2.5 Cartografia .....	26
2.1.2.6 Entrada de dados manuscritos	26



3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MESA DIGITALIZADORA COM ACOPLAMENTO CAPACITIVO .....	27
3.1 Descrição dos blocos essenciais da mesa digi- talizadora .....	27
3.1.1 Reticulado .....	28
3.1.2 Sensor .....	28
3.1.3 Bloco operacional .....	29
3.1.4 Unidade de controle .....	29
3.2 Geração da varredura .....	30
3.2.1 Excitação do reticulado .....	30
3.2.2 Captação do sinal de varredura .....	33
3.2.2.1 Características do sensor ...	35
3.2.2.2 Lei de acoplamento .....	37
3.2.3 Parâmetros de varredura .....	39
4. MEDIÇÃO DE COORDENADAS .....	41
4.1 Características do sinal captado pelo sensor	41
4.2 Medição de posição .....	44
4.2.1 O processo de interpolação .....	45
4.2.2 Medição de fase ou atraso .....	57
4.3 Medida de referência .....	59
4.4 Resolução .....	60
4.5 Seqüenciamento e velocidade de aquisição de posição .....	65
5. SISTEMA CONTROLÁVEL POR MICRO-PROCESSADOR .....	67
6. CAUSAS E MINIMIZAÇÃO DE ERROS .....	71
6.1 Tipos de erros .....	72
6.1.1 Erros inerentes ao princípio de funcio- namento .....	73
6.1.1.1 Erro de assimetria nas bordas do reticulado .....	73
6.1.1.2 Erros devidos às condições de contorno das bordas .....	80
6.1.1.3 Erro de linearidade entre li- nhas do reticulado devido à altura do sensor .....	80

6.1.1.4	Erro de linearidade entre linhas devido à alinearidade da lei de acoplamento capacitivo	84
6.1.2	Erros devidos aos circuitos de medição	85
6.1.2.1	Erros de varredura .....	85
6.1.2.2	Erros no amplificador de entrada .....	86
6.1.2.3	Erros no filtro .....	87
6.1.2.4	Erros no comparador .....	91
6.1.3	Outros tipos de erro .....	91
6.1.3.1	Assimetria introduzida pelo elemento sensor .....	91
6.1.3.2	Espaçamento desigual entre as linhas do reticulado .....	92
6.1.3.3	Erros devidos à introdução de materiais sobre a superfície da mesa .....	92
6.1.3.4	Influência da temperatura ...	93
6.1.3.5	Erros devidos ao movimento do sensor .....	93
6.1.3.6	Ruídos externos .....	94
7.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	95
ANEXO 1	Programa "SIM" .....	103
ANEXO 2	Programa "SIM1" .....	110
ANEXO 3	Programa "SIM2" .....	120
ANEXO 4	Programa "SIMUL" .....	130
ANEXO 5	Rotinas de uso geral .....	133
ANEXO 6	Programas de apoio para utilização do protótipo junto ao minicomputador HP2100 .....	165
ANEXO 7	Descrição do protótipo de mesa digitalizadora implementado .....	181
ANEXO 8	Interface da mesa digitalizadora junto à extensão de barramento do minicomputador HP2100 .....	192
	BIBLIOGRAFIA .....	198

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema típico utilizando mesa digitalizadora .....	15
Figura 2.1	Configuração de um sistema genérico utilizando mesa digitalizadora .....	17
Figura 2.2	Ajuste de eixos de referência .....	19
Figura 2.3	Cardápio para linguagem ALGOL .....	24
Figura 3.1	Blocos funcionais de uma mesa digitalizadora .....	27
Figura 3.2	Excitação do reticulado .....	31
Figura 3.3	Propagação do campo elétrico durante a varredura .....	32
Figura 3.4	Capacitância de acoplamento entre reticulado e sensor .....	33
Figura 3.5	Circuito elétrico equivalente de uma ponteira sensora .....	36
Figura 3.6	Acoplamento entre sensor e reticulado ...	38
Figura 4.1	(a) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 128mm da borda da mesa .....	47
Figura 4.1	(b) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 132mm da borda da mesa .....	48
Figura 4.1	(c) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 136mm da borda da mesa .....	49
Figura 4.1	(d) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 140mm da borda da mesa .....	50
Figura 4.1	(e) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 144mm da borda da mesa .....	51
Figura 4.2	Espectro de frequências do sinal captado	54
Figura 4.3	Espectro de frequências da onda quadrada	55
Figura 4.4	Relação entre as amplitudes dos espectros da onda quadrada e do sinal captado .....	56

Figura 4.5	Medição de atraso .....	58
Figura 4.6	Fase dos sinais captados com comprimento de onda (a) maior do que o reticulado e (b) menor do que o reticulado .....	63
Figura 5.1	Diagrama em blocos de um sistema controlável por computador .....	68
Figura 6.1	Tensão captada sobre um reticulado em função da distância às bordas .....	74
Figura 6.2	Assimetria do sinal captado (a) nas bordas da mesa em relação ao centro da mesa (b) .....	76
Figura 6.3	Forma da curva de erro de assimetria nas bordas .....	77
Figura 6.4	O cursor como elemento sensor .....	79
Figura 6.5	Caso particular em que o sensor repousa sobre o plano do reticulado .....	81
Figura 6.6	Curvas de erro devidas à altura do sensor em relação ao reticulado e às dimensões físicas do sistema .....	83
Figura 6.7	Erro de linearidade entre as linhas do reticulado devido à alinearidade da lei de acoplamento capacitivo .....	84
Figura 6.8	Influência do filtro sobre os erros de linearidade .....	89
Figura 7.1	Curva de erro (a) medida no protótipo e (b) obtida através de simulação .....	99
Figura 7.2	Blocodiagrama dos programas de simulação	101

## PREFÁCIO

Com o advento da Computação Gráfica, redobram-se os esforços no sentido de quebrar as barreiras impostas pelas máquinas aos processos interativos com o homem. Surgiram então diversos dispositivos periféricos de entrada e saída com características peculiares, voltadas a atender as necessidades (ou capacidades) humanas.

Hoje em dia são extremamente populares periféricos de saída como sistemas de vídeo coloridos e "plotters". Ambos se valem do canal de comunicações mais potente de que dispõe o homem, que é a visão.

A entrada de dados gráficos, porém, é um processo um tanto mais complexo. Se analisada em termos do parâmetro interatividade, leva a tecerem-se considerações sobre dois casos distintos:

a) A informação ainda não reside no sistema e deseja-se fornecê-la com a máxima eficácia.

b) Já existe alguma informação armazenada no sistema e o que se deseja é apontá-la (isto é, localizá-la na memória), de modo que ela possa ser reconhecida e sofrer alguma interação.

Para o segundo caso a solução clássica tem sido a utilização de um conjunto vídeo/"light-pen". A informação é colocada na tela e a "light-pen" é usada para apontar a zona desejada. Este arranjo possui sérias limitações por requerer um sistema de vídeo com varredura de direção fixa ("raster scan") ou similar e por possuir baixa resolução. Além disso, não é adequado para a introdução de novas informações na máquina.

Uma das formas eficientes de que se utiliza o homem para se comunicar é apontar os objetos (com o dedo, com um lápis, etc.) ou desenhá-los. Para um sistema de computação, apontar algo significa fornecer-lhe suas coordenadas. Desenhar algo normalmente implica fornecer-lhe uma seqüên-

cia de coordenadas de pontos que, através de um programa de aplicação, serão convenientemente interligados. O que fazer com as coordenadas é função primordial do "software" de apoio que controla as interações pelas quais passará a informação. Como obter as coordenadas é função do "hardware" associado ao periférico utilizado na entrada de dados.

A grande maioria das informações gráficas (figuras, desenhos, mapas, esquemas, fotografias, rascunhos, etc.) está armazenada em meios bidimensionais. A solução para o problema de introduzir novos dados em um sistema computacional consiste, então, em se construir um dispositivo capaz de fornecer a posição de um apontador (caneta ou cursor de construção especial) que possa ser convenientemente manipulado.

Este trabalho tece considerações sobre um destes dispositivos de aquisição de coordenadas, mais precisamente, as mesas digitalizadoras, com ênfase especial nas que utilizam o princípio de funcionamento capacitivo.

Inicialmente, é introduzido o conceito de mesa digitalizadora, independentemente do princípio de operação adotada.

No capítulo 2 são abordadas suas aplicações, citando-se possíveis funções embutidas e utilizações práticas.

O capítulo 3 refere-se especificamente ao princípio de funcionamento das mesas digitalizadoras capacitivas, enquanto que o capítulo 4 tece considerações sobre o modo como é feita a medição das coordenadas.

Já no capítulo 5 é apresentada uma arquitetura em bloco-diagramas de um sistema controlável por micro-processador.

As causas principais e a minimização ou compensação dos erros encontrados é abordada no capítulo 6, seguido de um capítulo de conclusões genéricas acerca dos resulta-

dos obtidos através de um protótipo e programas de simulação.

Por fim, os anexos trazem os programas de simulação implementados, a descrição do protótipo de baixa resolução construído, sua interface junto ao mini-computador HP2100 e programas genéricos de utilização.

## RESUMO

Este trabalho descreve uma técnica para a implementação de mesas digitalizadoras de alta resolução.

Inicialmente é examinado o princípio de funcionamento das mesas digitalizadoras capacitivas, sendo, a seguir, detalhadas as principais causas de erros.

Os resultados apresentados foram obtidos através da construção de um protótipo de baixa resolução e de programas de simulação.



## ABSTRACT

This work describes a technique for implementing high resolution digitizers and tablets.

Firstly, the operating principle of capacitive digitizers is examined, and, then, the main causes of errors are discussed in detail.

The results shown were obtained through the implementation of a low resolution prototype and simulating programs.

## 1. INTRODUÇÃO

A Computação Gráfica Interativa vem se preocupando ao longo do tempo com a introdução de facilidades nos processos interativos homem-máquina. Com seu advento foram agilizadas as pesquisas no sentido de se obter periféricos de entrada de dados que atendessem às potencialidades humanas, surgindo então as mesas digitalizadoras.

Via de regra, uma mesa digitalizadora é composta de uma superfície plana, de formato quadrado ou retangular, representativa de um quadrante cartesiano. Esta superfície pode ser apontada através de um dispositivo apropriado, sendo as coordenadas referenciadas obtidas e enviadas para o computador que as processará, de acordo com a programação efetuada pelo usuário do sistema.

A obtenção de um par de coordenadas é feita usualmente com um dos seguintes objetivos:

- a) Apontar para uma determinada região ou
- b) Medir a localização de um determinado ponto com certa precisão.

Embora do ponto de vista do "software" de aplicação os objetivos possam ser totalmente diversos, do ponto de vista do "hardware" envolvido eles diferem apenas quanto à precisão da medição.

Os fabricantes de mesas digitalizadoras adotaram as nomenclaturas "tablet" e "digitizer", de acordo com a aplicação a que se destinam. Normalmente um "tablet" é um sistema com as seguintes características:

- a) Dimensões: até 60cm x 60cm.
- b) Resolução: baixa, da ordem de 100 $\mu$ m ou mais.
- c) Velocidade de aquisição: elevada, 60 pares de coordenadas por segundo ou mais.
- d) Tipo de apontador: caneta, com cursor opcional.

Por outro lado, os "digitizers" ou digitalizadores apresentam as seguintes características típicas:

- a) Dimensões: até 1,5m x 1,5m.
- b) Resolução: elevada, tipicamente da ordem de 25 $\mu$ m.
- c) Velocidade de aquisição: entre 20 e 200 pares de coordenadas por segundo.
- d) Tipo de apontador: cursor, com caneta opcional para baixas resoluções.

De acordo com /OHL 78/, no entanto, o "tablet" é o dispositivo físico de aquisição de coordenadas, enquanto que o "digitizer" é um sistema de periféricos e processadores, do qual o "tablet" é uma das partes principais. Visto que esta distinção é um tanto ambígua se aplicada aos sistemas comercializados atualmente, optou-se neste trabalho por utilizar-se a nomenclatura "mesa digitalizadora" para referenciar qualquer tipo de sistema bidimensional de aquisição de coordenadas, independentemente de suas características ou de seu princípio de funcionamento.

Um sistema típico utilizando uma mesa digitalizadora é o que aparece na figura 1.1.

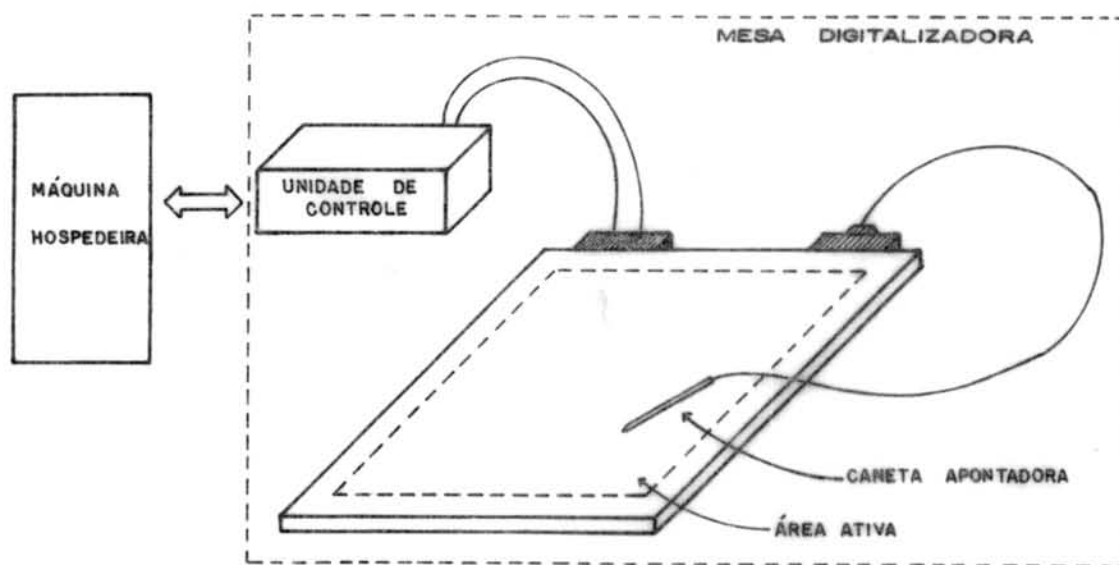


Figura 1.1 Sistema típico utilizando mesa digitalizadora

A unidade de controle pode fazer parte da mesa ou ser externa a esta, e deve conter todos os circuitos necessários para ativá-la e fazer a troca de dados com o computador hospedeiro.

## 2. APLICAÇÕES DAS MESAS DIGITALIZADORAS

### 2.1 Descrição de um sistema em blocos

Para melhor avaliar as potencialidades das mesas digitalizadoras, é interessante ver-se quais as possibilidades de configurações em que elas podem vir interligadas. A figura 2.1 apresenta um sistema genérico onde aparece uma máquina hospedeira central e vários periféricos.

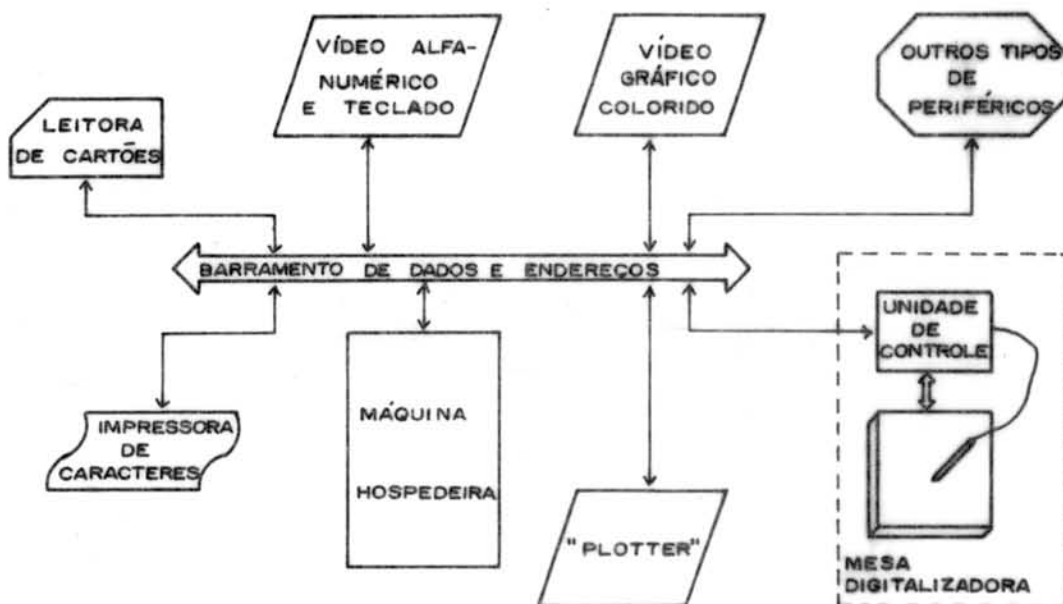


Figura 2.1 Configuração de um sistema genérico utilizando mesa digitalizadora

É interessante salientar-se que, através da máquina hospedeira e de um programa de aplicação conveniente, os periféricos podem se comunicar entre si. Assim, os dados que forem recebidos da mesa digitalizadora podem ser exibidos no sistema de vídeo gráfico ou no "plotter", por exemplo.

O programa de aplicação que interage com os dados fornecidos pela mesa digitalizadora caracteriza uma utilização prática desta. Existem, no entanto, interações que de-

vem ser feitas com os dados de forma transparente ao usuário. Outras, ainda, são feitas pela própria unidade de controle da mesa para aproveitar o seu tempo ocioso. São as funções embutidas na unidade de controle, realizadas sempre que esta possua capacidade de processamento suficiente.

### 2.1.1 Funções e facilidades auto-contidas

Quando a unidade de controle é suficientemente poderosa para que o periférico seja considerado inteligente, ela pode exercer funções outras que não o simples gerenciamento dos circuitos de aquisição de coordenadas. Este é normalmente o caso quando a unidade de controle está baseada sobre um micro-computador, podendo as funções embutidas serem simples interações com os dados ou ainda controle de comunicações, auxílio aos processos interativos inerentes ao funcionamento da mesa, etc..

#### 2.1.1.1 Ajuste automático dos eixos de referência

Conforme já foi visto anteriormente, a mesa representa um quadrante do sistema de coordenadas cartesiano. Quando se coloca uma figura, de qualquer espécie, sobre a mesa para ser digitalizada, é comum desejar-se que ela seja orientada segundo os eixos cartesianos. Porém, manualmente, é quase impossível realizar-se esta tarefa, pois externamente a superfície da mesa não mostra seus eixos.

Entretanto, dispondo-se de um programa de apoio adequado, pode-se executar as seguintes operações:

- a) Posicionar a figura a ser digitalizada sobre a mesa.
- b) Colocar em andamento o programa de apoio para ajuste de referência.
- c) Fornecer a este programa (digitalizar) a origem do sistema de coordenadas a ser adotado.
- d) Fornecer ao programa um ponto qualquer sobre um dos eixos do novo sistema de coordenadas.

Assim, de acordo com a figura 2.2, supondo-se que a nova origem a ser adotada seja  $(X_0, Y_0)$  e que um ponto qualquer sobre o eixo das abcissas seja  $(X_1, Y_1)$ , nota-se claramente que todos os pontos lidos de acordo com o sistema anterior devem sofrer uma translação para se adequarem à nova origem e uma rotação de um ângulo  $\alpha$ , tal que

$$\alpha = \arctan \frac{(Y_1 - Y_0)}{(X_1 - X_0)} .$$

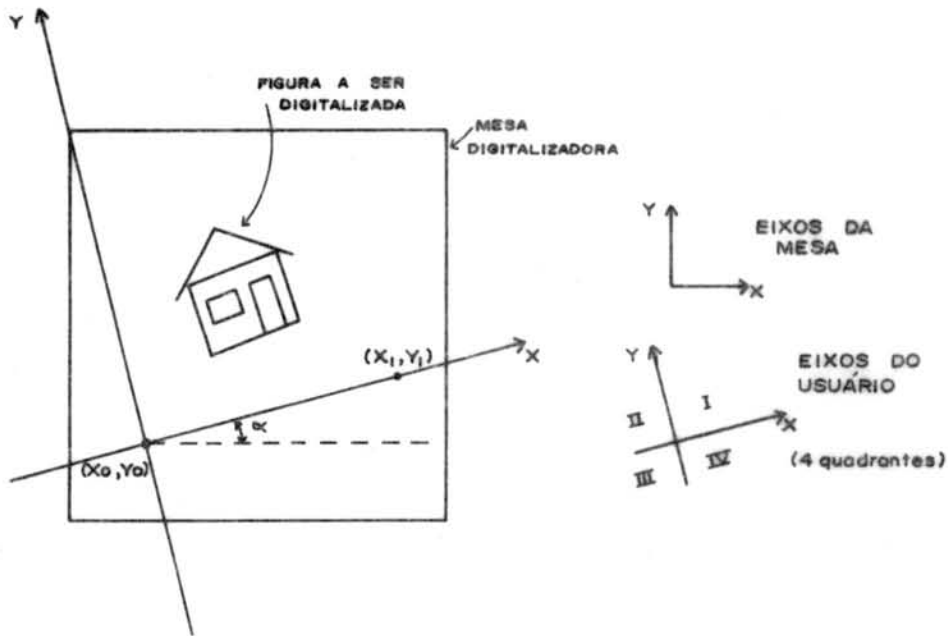


Figura 2.2 Ajuste de eixos de referência

É interessante ainda salientar-se que, mediante este artifício, a mesa pode agora operar sobre os quatro quadrantes cartesianos, desde que obedecidas as limitações impostas pelas suas dimensões.

#### 2.1.1.2 Comunicações com a máquina hospedeira

A mesa digitalizadora não é necessariamente um dispositivo passivo. A resposta a um pedido de dados do computador hospedeiro pode ser uma interrupção, evitando-se assim longos laços de espera.

Por outro lado, o conteúdo fornecido pela mesa pode ter o significado de dados ou de uma palavra de estado, que reflita uma determinada situação. Assim, fica a cargo da própria mesa tomar a iniciativa sempre que uma medida de exceção for requerida.

#### 2.1.1.3 Interfaceamento de entrada e saída

Normalmente, este tipo de periférico baseia seu protocolo de entrada e saída sobre as normas RS232 ou IEEE488, ou ambas. Eventualmente, ainda, são oferecidas opções de saída em binário paralelo ou em decimal codificado em binário (BCD) /RON 81/.

Uma vez que a unidade de controle da mesa normalmente dispõe de tempo ocioso, é prática corrente utilizá-la para executar, via "software", todos os protocolos de entrada e saída. Com isto, minimiza-se a quantidade e a complexidade dos circuitos empregados, sem efeitos negativos sobre o desempenho global do sistema.

#### 2.1.1.4 Obtenção do valor médio dos dados

Em virtude dos processos analógicos envolvidos na medição de coordenadas pela maioria dos tipos de mesas digitalizadoras, estas se mostram propensas a serem influenciadas pelas mais variadas fontes de ruído. Isto significa dizer-se que os resultados obtidos não mapeiam diretamente a posição que está sendo apontada, mas sim uma vizinhança razoavelmente próxima desta.

Uma vez que os ruídos sempre estão presentes, é conveniente fazer-se mais de uma medição, tomando-se o seu valor médio como resultado. O algoritmo de obtenção do valor médio pode ser totalmente executado pela unidade de controle, podendo ainda incluir atividades tais como a exclusão de valores considerados absurdos por distarem significativamente da média geral ou até mesmo impedir a execução de novas medidas caso estes valores se repitam com demasiada



frequência.

#### 2.1.1.5 Operação "on-line" e "off-line"

A mesa digitalizadora pode comunicar-se sempre com o computador hospedeiro, numa operação do tipo "on-line". Entretanto, muitas vezes ocorre a circunstância de desejar-se entrar com uma grande quantidade de dados antes de interagir com eles. Neste caso, uma possibilidade interessante é a de a mesa poder comunicar-se diretamente com um dispositivo de armazenamento secundário (disco ou fita magnética, por exemplo). Quando todos os dados tiverem sido armazenados, o computador hospedeiro será avisado para passar a operar sobre eles, numa configuração tipicamente "off-line" /DIG 80/.

#### 2.1.1.6 Sinalização luminosa e audível programável

Os indicadores luminosos e sonoros permitem à máquina chamar a atenção do usuário de que algum processo está em andamento e, provavelmente, alguma iniciativa deve ser tomada.

A sinalização normalmente é utilizada para refletir algum parâmetro de estado de interesse relevante ou para requerer alguma interação. Por exemplo, se um processo de digitalização foi interrompido antes de seu término e de-seja-se colocar o apontador novamente sobre a última posição fornecida, costuma-se indicar a direção e sentido da manipulação necessária através de quatro diodos emissores de luz ("LEDs"), dispostos de acordo com os vértices de um quadrado cujas diagonais correspondem aos eixos da mesa. A indicação luminosa informa, então, se o movimento deve ser para a direita, esquerda, para cima ou para baixo.

A sinalização audível é utilizada para chamar a atenção do usuário, requerendo a digitalização de novas coordenadas ou para informar que alguma exceção está acontecendo (rodando programas de auto-teste, por exemplo). É comum utilizarem-se sinais de diferentes tons.

### 2.1.1.7 Auto-teste

Com uma pequena ajuda do usuário, diversas funções e circuitos internos podem ser automaticamente testados, bastando para isto que a unidade de controle passe a executar programas voltados exclusivamente para esta finalidade. Os programas de auto-teste devem ser rodados sempre que a unidade é posta em funcionamento ou quando estiver com capacidade ociosa. As falhas em qualquer tipo de teste são normalmente apontadas através de indicadores sonoros e/ou luminosos.

Os itens testados são, geralmente, os que dizem respeito aos circuitos de medição, comunicações (interfreamento) e funções gerais como chaves e indicadores.

### 2.1.1.8 Chaves de controle auxiliares

Durante o processo interativo de aquisição de coordenadas é imperioso que o usuário informe o sistema quando a operação de apontamento está completa. Para isto, é utilizada uma chave de efetivação, que deve ser de fácil manuseio. Às vezes, esta chave vem acoplada a um pedal, para poder ser acionada com o pé, deixando o usuário com as mãos livres. Este é o tipo de entrada mais simples.

Pode acontecer, no entanto, que se deseje amostrar os dados com uma certa velocidade, ajustável segundo a vontade do operador. Neste caso, a chave de efetivação é substituída por um oscilador de frequência variável, cujo controle é acessível externamente. Esta é a entrada em rajada.

Há casos, porém, em que a entrada em rajada amostra os dados com demasiada frequência. Deve ser prevista, então, uma configuração selecionável que alerte a unidade de controle para que esta somente envie dados ao computador hospedeiro quando eles mantiverem entre si distâncias iguais ou superiores a um certo valor escolhido convenientemente,

de modo a minimizar a utilização da unidade de armazenamento ou memória principal. Este tipo de amostragem é denominado entrada incremental ou por deslocamento.

É importante, ainda, que se repare na necessidade de existência de um sensor de contato (geralmente uma chave acionada por pressão) entre o apontador e a superfície da mesa, sendo seu valor lógico refletido para uma palavra de estado ou algum parâmetro acessível à máquina hospedeira. Desta maneira, é possível saber-se se o apontador foi ou não levantado antes de se efetuar a última aquisição de dados. Esta informação é de inestimável valia quando as coordenadas recebidas são interpretadas por um programa de aplicação como sendo os pontos iniciais e finais de segmentos de retas. Se o apontador foi levantado, trata-se de um segmento invisível. Em caso contrário, o segmento é visível.

Por último, é interessante salientar a presença de chaves que executam funções gerais como inicialização, pedido de auto-teste e pedido de interrupção.

### 2.1.2 Utilização prática das mesas digitalizadoras

Em sua grande maioria, os programas de aplicação utilizam as mesas digitalizadoras com a finalidade de gerar alguma documentação que possa ser facilmente duplicada e reutilizada. Obviamente, não se pode menosprezar neste enfoque a importância dos pacotes de "software" de apoio, bem como as estruturas de dados voltadas para atender casos específicos encontrados em tais tipos de situação-problema.

Outras vezes, as mesas são utilizadas para gerar comandos de controle para a máquina hospedeira, ou para seqüenciar programas. De qualquer maneira, cabe ao usuário definir o que fazer com as coordenadas recebidas.

### 2.1.2.1 Apontamento

É muito comum encontrar-se mesas de baixa resolução emulando dispositivos lógicos de apontamento, tais como "light-pens" e "joysticks". Considerando-se que a superfície digitalizadora pode mapear uma tela de vídeo e, vinculando-se a posição do seu cursor às coordenadas amostradas, pode-se perfeitamente emular ou simular os apontadores acima citados /FUC 78/.

### 2.1.2.2 Cardápio

Se a superfície da mesa for dividida em setores de tamanho razoável e, a cada setor for atribuído um determinado significado, obtém-se a característica de cardápio. Usualmente, os setores são rotulados com dados de entrada pré-estabelecidos ou comandos largamente utilizados. Neste último caso, é possível fazer-se interativamente o seqüenciamento e alterações dinâmicas em programas. Na figura 2.3 é apresentado um caso típico em que o cardápio é utilizado para digitar um programa em linguagem ALGOL.

BEGIN	END	PROCEDURE	SIN	COS	TAN	VAR 1
FOR	STEP	UNTIL	REAL	INTEGER	ARRAY	VAR 2
IF	THEN	ELSE	7	8	9	VAR 3
WHILE	DO	TO	4	5	6	VAR 4
<	=	>	1	2	3	ROLAR ↑
X	+	÷	0	NOVA LINHA	TRANS MITIR	ROLAR ↓
/	(	)	:	.	,	;

Figura 2.3 Cardápio para linguagem ALGOL

No exemplo dado são fornecidos os principais comandos da linguagem em conjunto com campos representativos de nomes de variáveis (VAR1 a VAR4). Repare-se que, devido à falta de espaço, foram omitidas as letras do alfabeto e outros comandos essenciais, que, se presentes, permitiriam à mesa digitalizadora simular um teclado alfanumérico altamente eficiente. Na prática, o número de setores utilizados está ligado diretamente à aplicação desejada. No seqüenciamento de programas é comum utilizarem-se aproximadamente 50 setores. Na simulação de teclados orientados para linguagens de alto nível, o número oscila entre 100 e 300 setores.

#### 2.1.2.3 Desenho arquitetônico, elétrico, mecânico e hidráulico

Os resultados de projetos arquitetônicos e de engenharia em geral normalmente são expressos através de plantas, vistas em corte, esquemas elétricos e hidráulicos, etc..

Neste campo, as mesas digitalizadoras podem ser largamente utilizadas, tanto na geração de rascunhos como na documentação final. É interessante salientar-se que a possibilidade de exibir-se os dados através de um sistema de vídeo gráfico e obter-se cópias via "plotter" ou "hard-copy" permite ao usuário facilidades de interação com largo ganho de tempo. Por este motivo, estas mesas são essenciais nos modernos projetos de navios, carros, aviões e edifícios.

#### 2.1.2.4 Desenhos de circuitos impressos e máscaras para micro-eletrônica

Via de regra, a implementação de circuitos eletrônicos e circuitos integrados exige a confecção de desenhos de circuitos impressos e máscaras respectivamente. Ambos os casos são praticamente idênticos, podendo valer-se das mesas digitalizadoras como auxílio na geração de rascunhos e artes

finais. A existência de "photo-plotters" de alta resolução enseja ainda a obtenção direta de fotolitos de elevada qualidade.

Por outro lado, através de interações simples, os programas de aplicação podem fornecer automaticamente as tabelas de furação, metalização e corte, com uma evidente diminuição nos tempos de produção.

#### 2.1.2.5 Cartografia

Quando se deseja copiar mapas, fotos e nos levantamentos aerofotogramétricos, a escolha natural recai sobre as mesas de alta resolução. Trata-se normalmente de operações de entrada de dados "off-line", através de dispositivos de armazenamento auxiliares, como fitas magnéticas, por exemplo /DIG 80/.

Uma possibilidade interessante neste campo é a utilização da mesa como se fosse um planímetro, para o cálculo da área de figuras. Através de programas dedicados, calcula-se a superfície pela soma de áreas poligonais elementares. Apesar de demorado, o processo é simples e fornece bons resultados.

#### 2.1.2.6 Entrada de dados manuscritos

A boa documentação exige, além da construção das figuras, desenhos, esquemas, etc., a presença de comentários claros e concisos. A tarefa interativa de inserção de comentários fica facilitada se eles puderem ser diretamente manuscritos pelo usuário. Obviamente, deverão existir programas de apoio para reconhecimento de padrões que, por sua vez, imporão alguma padronização sobre as características geométricas dos dados a serem digitalizados.

### → 3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MESA DIGITALIZADORA COM ACOPLAMENTO CAPACITIVO

Existem diversos princípios de funcionamento utilizados na implementação de mesas digitalizadoras, sendo os de captação capacitiva e magnética os mais utilizados, devido a sua simplicidade, baixo custo e boa resolução/PRO 82/. Ambos são essencialmente semelhantes, tendo sido o método capacitivo escolhido devido às facilidades de construção encontradas. Industrialmente falando, porém, sugere-se a adoção do método magnético, por apresentar vantagens sobre o capacitivo /PRO 82/.

#### 3.1 Descrição dos blocos essenciais da mesa digitalizadora

O sistema capacitivo é composto de, no mínimo, um reticulado, um sensor, um bloco operacional e uma unidade de controle, de acordo com a figura 3.1.

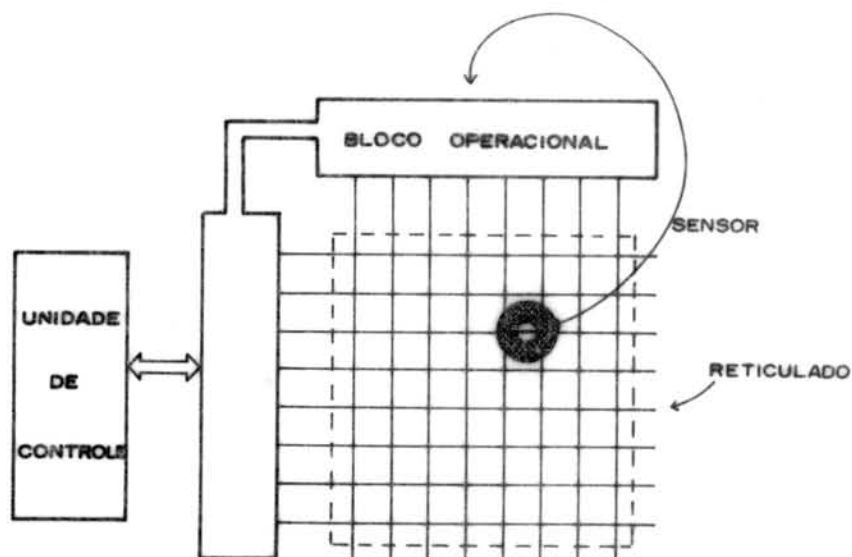


Figura 3.1 Blocos funcionais de uma mesa digitalizadora



### 3.1.1 Reticulado

Trata-se de um conjunto de fios condutores paralelos, um para cada eixo cartesiano, colocados em planos paralelos e isolados entre si.

Estes condutores devem ser convenientemente excitados para gerar os sinais que permitirão o cálculo da posição do sensor com relação à mesa.

Convém salientar-se que cada conjunto de fios é excitado em tempos diferentes, não influenciando sobre o outro. Isto implica dizer-se que a obtenção de uma abcissa e uma ordenada é feita de forma seqüencial no tempo. A não interferência de um conjunto de fios sobre o outro é garantida devido à sua ortogonalidade.

Os parâmetros importantes na construção do reticulado, que serão abordados futuramente, são:

- a) Distância entre as linhas ou condutores.
- b) Distância entre os planos que contém cada conjunto.
- c) Largura ou raio e geometria do corte transversal das linhas.
- d) Número de linhas de reserva nas bordas para compensação de erros.

### 3.1.2 Sensor

O sensor constitui-se fisicamente no objeto usado para apontar as coordenadas na mesa, recebendo o sinal gerado pelo reticulado e enviando-o para o bloco operacional. Suas formas geométricas podem variar largamente, porém, na prática, utiliza-se apenas os que possuem forma de caneta (ponteira sensora) ou de disco (cursor).

Os parâmetros relevantes na sua construção são:

- a) Formas geométricas.
- b) Distância às linhas do reticulado.



- c) Blindagens aos campos elétricos.
- d) Características do amplificador de entrada.

### 3.1.3 Bloco operacional

Após ser recebido pelo sensor, o sinal é enviado para o bloco operacional onde é filtrado e conformado por um comparador, para que seja medida sua fase (ou atraso). A ação de filtragem é utilizada para interpolar-se as coordenadas das posições intermediárias entre as linhas do reticulado.

Os principais parâmetros do conjunto filtro/comparador são:

- a) Características de corte (fase e atenuação).
- b) Tempo de assentamento.
- c) Sensibilidade à forma de onda.
- d) Histerese.

Fazem parte ainda do bloco operacional os circuitos de excitação do reticulado, que devem ser facilmente configuráveis pela unidade de controle de modo a gerar varreduras com as características adequadas.

### 3.1.4 Unidade de controle

A unidade de controle deve atuar sobre o bloco operacional de modo a gerar corretamente as varreduras que permitirão a determinação da posição do sensor em relação a cada eixo cartesiano. Fica a seu encargo, ainda, a execução opcional das funções embutidas citadas no capítulo 2.

Uma vez que a obtenção de dados irá envolver medidas de fase (ou atraso), é necessário prover meios para a correta sincronização entre os seus sinais de controle e a sua real efetivação.

### 3.2 Geração da varredura

A excitação das linhas do reticulado deve ser efetuada de forma tal que cada ponto da superfície da mesa possa ser apontado e reconhecido. Ao serem acionadas, as linhas produzem uma determinada configuração de campo elétrico. Se este acionamento for seqüencial e repetitivo, é possível criar-se alterações na configuração dos campos elétricos com características muito semelhantes às da propagação das ondas eletromagnéticas. Este processo recebe o nome de varredura e, através de um acoplamento capacitivo, é possível determinar-se a posição apontada em função das características recebidas.

#### 3.2.1 Excitação do reticulado

Conforme mencionado anteriormente, a excitação dos conjuntos ortogonais de linhas que formam o reticulado é feita de modo entrelaçado no tempo, para impedir que a varredura em um eixo exerça influência sobre o outro. Isto significa dizer-se, também, que todo o estudo e desenvolvimento da técnica adotada pode ser feito sobre um eixo apenas.

Embora não seja totalmente imprescindível, é conveniente do ponto de vista de implementação, que o acionamento das linhas seja digital e que gere varreduras repetitivas. Estas são características do procedimento que será descrito a seguir.

Cada linha de um determinado conjunto é conectada a uma saída paralela de um registrador de deslocamento. A necessidade ou não de intercalação de um "driver" de linha dependerá da tecnologia utilizada (TTL, CMOS, etc.). Este registrador recebe à sua entrada série um sinal com ciclo de trabalho de 50% (onda quadrada) que será denominado  $F_0$ , por tratar-se da frequência fundamental utilizada nos processos de determinação de posição. Além disso, de acordo com a figura 3.2, o registrador recebe ainda um sinal de relógio denominado DESLOC, por tratar-se do sinal que efetiva

rã os deslocamentos. É importante salientar-se que o registrador de deslocamento deve possuir uma saída paralela para cada linha do conjunto associado e que os sinais  $F\emptyset$  e DESLOC devem possuir fase conhecida e bem determinada (devem ser derivados de um mesmo sinal de relógio).

A relação entre as frequências dos sinais  $F\emptyset$  e DESLOC deve ser precisa, pois dela dependerão os parâmetros de varredura. Usualmente, escolhe-se uma relação da qual resulta um número inteiro, sendo a frequência de  $F\emptyset$  menor do que a de DESLOC.

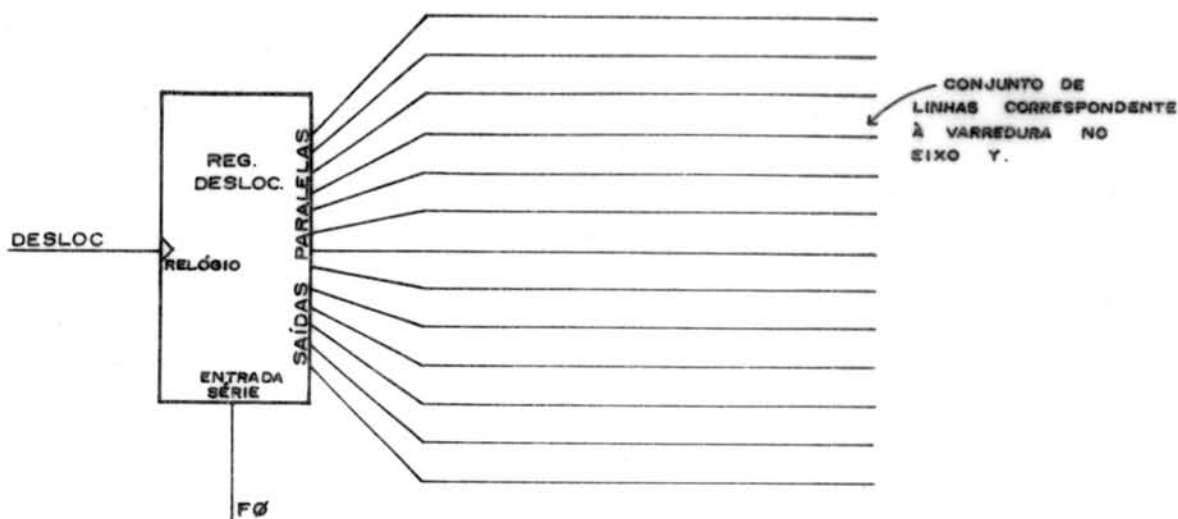


Figura 3.2 Excitação do reticulado

Sempre que uma linha recebe uma excitação de valor lógico "0" ou "1", lhe é associado um campo elétrico envolvente convencionalizado como sendo negativo e positivo respectivamente. A figura 3.3 ilustra a seqüência de deslocamentos que ocorrem durante a varredura de um conjunto com 8 fios, tendo sido arbitrada a relação entre  $F\emptyset$  e DESLOC como sendo igual a 8. Isto implica dizer-se que o sinal  $F\emptyset$

conseguirá propagar-se por 4 linhas durante seu semi-ciclo positivo e por mais 4 durante o semi-ciclo negativo. Note-se que no instante  $t_1$  todas as linhas estão no estado lógico " $\emptyset$ ", o que representa as condições iniciais. Somente a partir de  $t_9$  a varredura atingirá a condição de regime, tornando-se repetitiva. Cada intervalo de tempo  $t$  representa um ciclo do sinal DESLOC e, durante estes intervalos, o campo elétrico na vizinhança do reticulado assume as configurações estáticas mostradas.

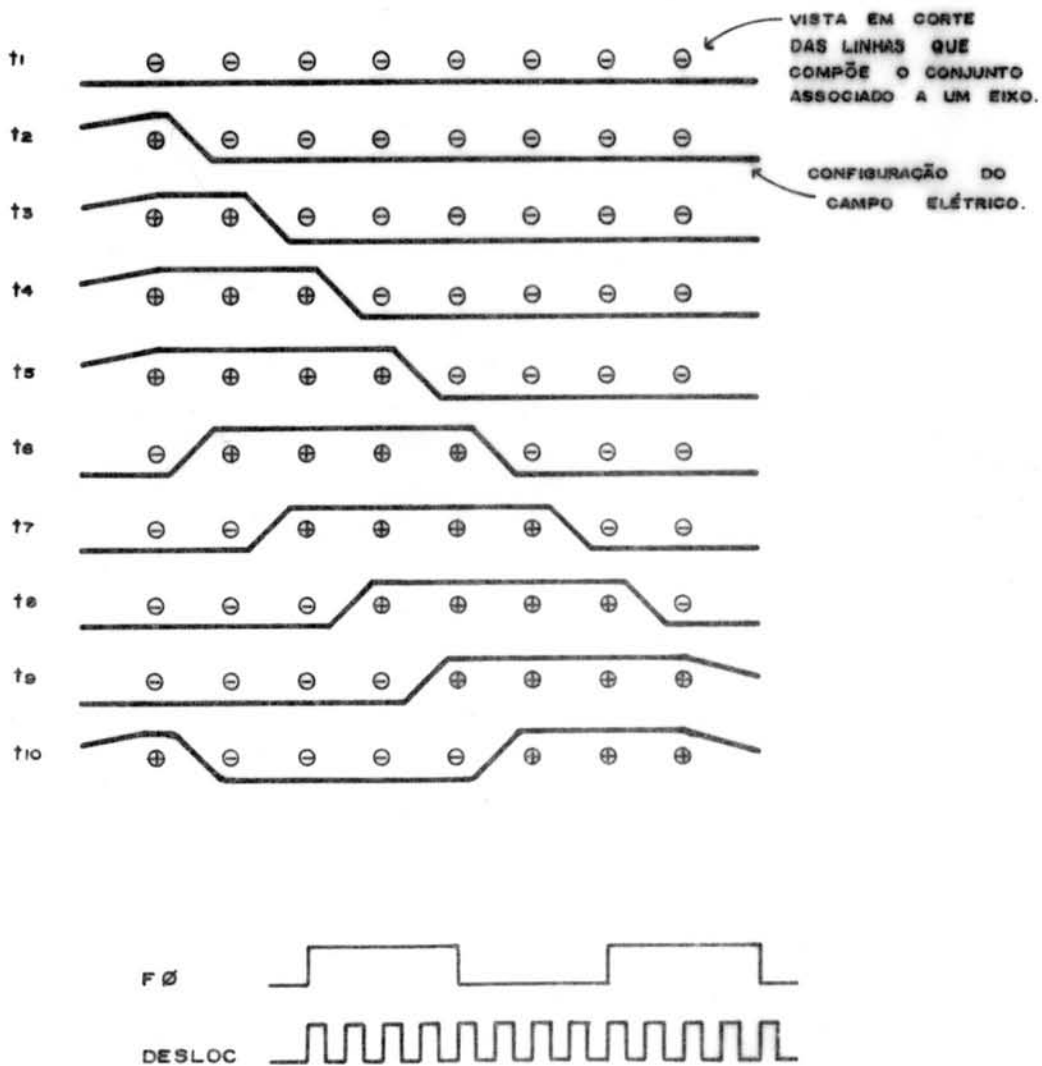


Figura 3.3 Propagação do campo elétrico durante a varredura

Convém reparar-se que, em analogia com um sistema de propagação de ondas, o comprimento de onda  $\lambda$  gerado é:

$$\lambda = \text{NUMLIN} \cdot \text{DIST}, \text{ onde:}$$

NUMLIN é o número de linhas que compõe o conjunto e

DIST é a distância que separa o centro das linhas.

A figura 3.3 introduz também, de forma simplificada, uma das causas de erro que será abordada futuramente, que é a assimetria do campo elétrico nas bordas, devida às condições de contorno da mesa.

Embora outras formas de seqüenciamento de excitação sejam possíveis, a apresentada acima é uma das que melhor se adapta aos processos de captação, devido à amplitude dos sinais recebidos e conseqüente imunidade a ruídos.

### 3.2.2 Captação do sinal de varredura

Cada linha do reticulado forma, em relação ao elemento sensor, uma pequena capacitância, de acordo com a figura 3.4.

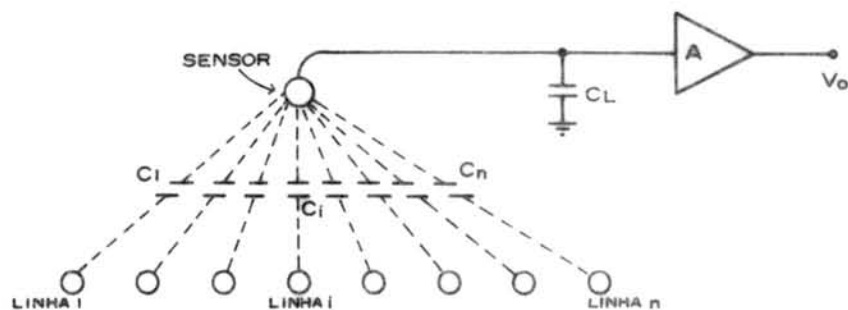


Figura 3.4 Capacitância de acoplamento entre reticulado e sensor

Considerando-se o amplificador A como sendo ideal, com ganho unitário, obtém-se para a tensão de saída  $V_o$  a seguinte expressão:

$$V_o = \left[ \frac{C_1 K_1}{C_1 + C_L} + \frac{C_2 K_2}{C_2 + C_L} \dots + \frac{C_i K_i}{C_i + C_L} \dots + \frac{C_n K_n}{C_n + C_L} \right] V_i$$

onde:  $C_i$ ,  $i=1\dots n$ , são as capacitâncias de acoplamento entre cada linha com o sensor.

$K_i$  é uma constante que vale 1 quando a respectiva linha sofre transição de nível positiva, -1 quando sofre transição negativa e  $\emptyset$  (zero) se a linha ainda não sofreu transição.

$C_L$  é uma capacitância de carga.

$V_i$  é a amplitude da tensão de excitação, suposta igual para todas as linhas.

O termo  $K_i$  introduz uma dependência temporal na expressão de  $V_o$ , isto é, à medida que a varredura vai sendo efetuada, a tensão de saída vai se modificando. Por outro lado, esta equação não permite a fácil visualização da forma de onda obtida. Fazendo-se, porém,  $C_L \gg C_i$ ,  $V_i$ , pode-se reescrever:

$$V_o = (C_1 K_1 + C_2 K_2 \dots + C_i K_i \dots + C_n K_n) V_i / C_L$$

Analisando-se agora esta nova expressão pode-se afirmar que:

a)  $V_o$  assume um valor constante durante os intervalos entre transições, pois nenhum termo  $K_i$  é alterado.

b) Quando houver uma transição de nível numa linha qualquer, de índice  $j$ ,  $V_o$  sofrerá uma variação  $\Delta V_o$ , tal que:

$$\Delta V_o = \frac{C_j K_j V_i}{C_L}$$

c) Quando duas ou mais linhas sofrerem transição,

o valor de  $\Delta V_0$  poderá ser obtido utilizando-se o princípio da superposição.

Com isto, é possível concluir-se que a forma do sinal de saída será uma escada ascendente e descendente, com uma taxa de repetição igual à de  $F\emptyset$  e com a altura dos degraus proporcional ao valor das capacitâncias de acoplamento.

Sem dúvida, é lícito afirmar-se que a maior capacitância de acoplamento corresponde à linha que estiver mais próxima do sensor. Correspondentemente, esta linha provocará a maior variação  $\Delta V_0$ , conferindo ao sinal captado uma característica de fase em relação a  $F\emptyset$  que será oportunamente utilizada para o cálculo da posição do sensor.

### 3.2.2.1 Características do sensor

O elemento sensor pode ser construído utilizando-se qualquer tipo de material condutor de eletricidade. Isto é suficiente para garantir a formação de um capacitor cujas placas são representadas pelo sensor propriamente dito e pelas linhas do reticulado. O dielétrico é o material utilizado para isolar-se o reticulado do meio ambiente (geralmente vidro) e por qualquer tipo de material de alta resistividade colocado sobre a mesa, como papel, por exemplo.

No intuito de minimizar a influência de ruídos, é imperioso que as capacitâncias de acoplamento sejam maximizadas. Isto leva a tecerem-se considerações a respeito da geometria e detalhes construtivos da ponteira sensora.

A capacitância depende da área do sensor, do tipo de material dielétrico empregado, da área equivalente das linhas e da distância entre linhas e sensor. Exceto este último parâmetro, todos os demais podem ser mantidos aproximadamente constantes durante o manuseio da mesa. Obviamente, o tamanho do sensor, o número e largura de linhas por unidade de área e as características do dielétrico imporão algumas restrições práticas à sua implementação.

Uma vez que o acoplamento é capacitivo e que se deseja maximizar o sinal recebido, é importante que o elemento sensor não sofra carga excessiva. Analisando-se o circuito equivalente de um sensor genérico, obtém-se algo semelhante ao ilustrado na figura 3.5.

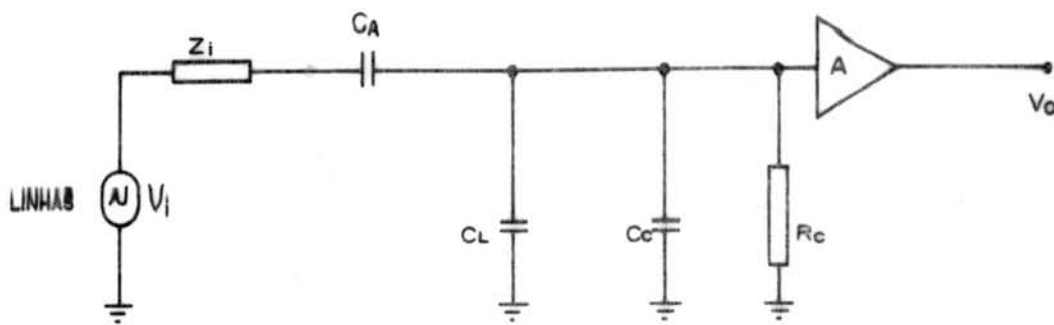


Figura 3.5 Circuito elétrico equivalente de uma ponteira sensora

Neste circuito, os acionadores das linhas são representados pela fonte de tensão  $V_i$  (ideal) com uma determinada impedância de saída  $Z_i$ . As capacitâncias de acoplamento são representadas por  $C_A$ .  $C_C$  e  $R_C$  representam a impedância de entrada do amplificador  $A$ . Neste contexto, o amplificador  $A$  é considerado ideal quanto a seus parâmetros de entrada, ou seja, ele possui largura de banda e impedância de entrada infinitos. Seu ganho, para melhor compreensão, pode ser considerado unitário. O capacitor  $C_L$  representa a capacitância de carga espúria devida à proximidade dos circuitos de recepção com eventuais blindagens (corpo da caneta sensora ou cursor) ou ainda, capacitâncias adicionadas propositalmente para garantir que  $C_L \gg C_A$ , o que é a condição necessária para obter-se a simplificação da expressão do sinal de saída  $V_o$ .

Repare-se que, com exceção de  $C_A$  e  $V_i$ , todos os demais elementos adicionados contribuem para diminuir a tensão de saída, por assumirem a forma de divisores de tensão



resistivos e/ou capacitivos.

Na prática, exceto o capacitor de carga  $C_L$ , todos os demais elementos conseguem ter sua influência minimizada. É praxe utilizarem-se circuitos de entrada com transistores de efeito de campo e "bootstrap" tanto para o seu dreno como fonte. Conseguem-se, assim, resultados tais como:

- a) Largura de banda  $> 100$  MHz
- b) Resistência de entrada ( $R_C$ )  $> 100$  M $\Omega$
- c) Capacitância de entrada ( $C_i$ )  $< 0,5$  pF

Além disso, utilizando-se nos excitadores de linha tecnologias adequadas, como TTL em coletor aberto ou CMOS, os demais efeitos nocivos podem ser desprezados.

### 3.2.2.2 Lei de acoplamento

Conforme visto anteriormente, a distância entre o sensor e as linhas desempenha um papel fundamental na detecção da posição apontada.

Se o elemento sensor estivesse colocado no mesmo plano do reticulado, então o ideal seria que a lei de acoplamento fosse inversamente proporcional à distância. Neste caso, a interpolação das posições intermediárias entre as linhas seria linear.

Na prática, porém, nem a lei de acoplamento é inversamente proporcional, nem o sensor repousa sobre o plano do reticulado. Estes dois fatores levarão ao surgimento de erros de linearidade entre as linhas, que serão discutidos num capítulo específico sobre erros.

O levantamento das características de dois reticulados diferentes veio a comprovar que a separação das linhas não desempenha papel fundamental sobre a curva característica de acoplamento. Na figura 3.6 é mostrada a amplitude dos sinais recebidos em reticulados com separação de 3mm e 16mm respectivamente.

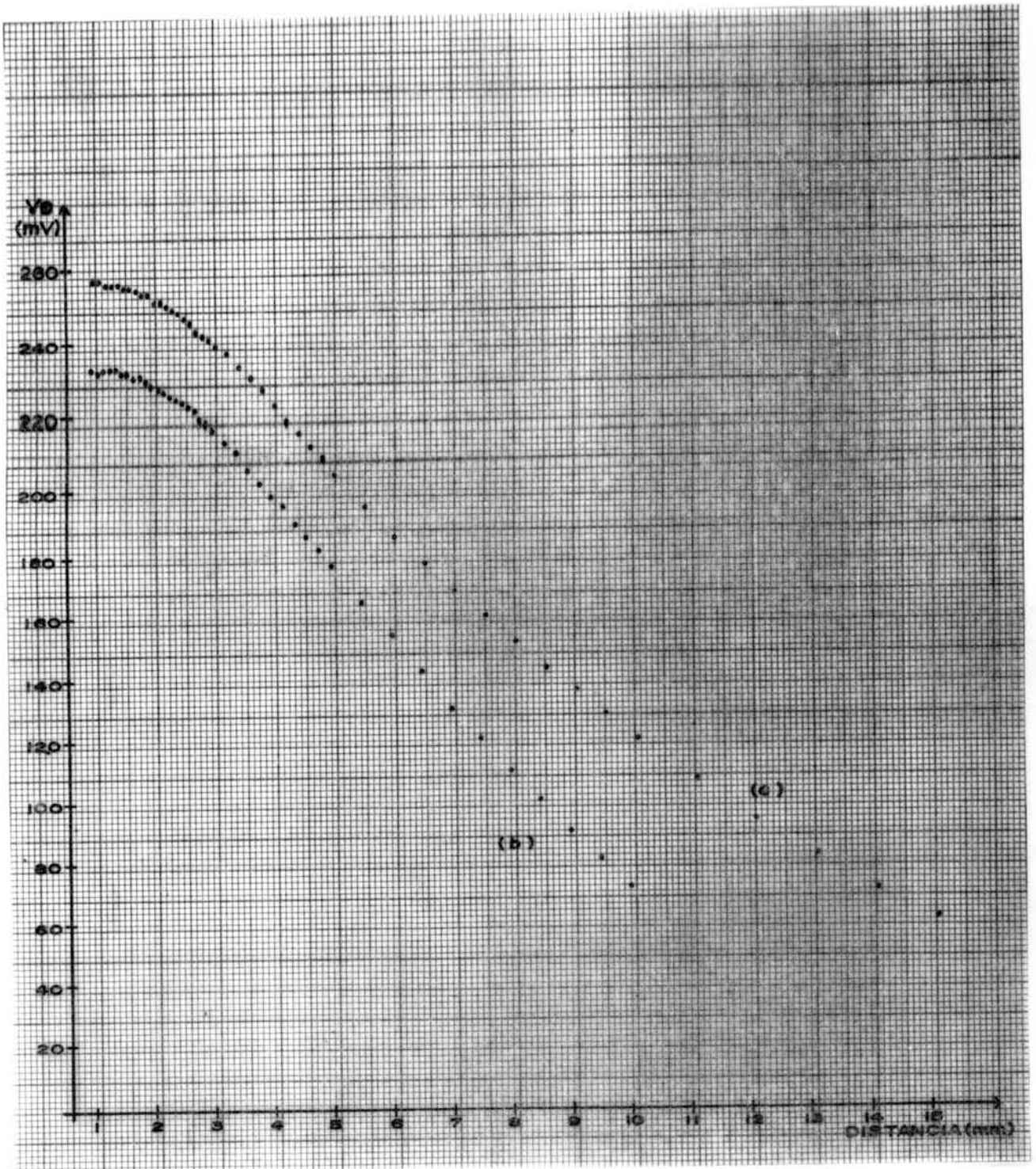


Figura 3.6 Acoplamento entre sensor e reticulado com (a) separação entre linhas de 3mm e (b) separação de 16mm

Por outro lado, as formas geométricas do elemento sensor alteram profundamente esta lei. A grosso modo, pode-se fazer uma analogia entre a ponta de uma caneta sensora e um capacitor esférico. Neste caso, a tendência do acoplamento é variar com o inverso do quadrado da distância. Da

mesma forma, um cursor em forma de circunferência pode ser comparado ao capacitor de placas paralelas. Neste caso, o acoplamento tende a variar com o inverso da distância.

Os resultados apresentados na figura 3.6 foram obtidos com um sensor aproximadamente cilíndrico, com 1,5mm de diâmetro e 3mm de comprimento. Para efeito de simulação, as curvas foram aproximadas por expressões do tipo  $y=x^{-1,2}$ , onde  $y$  é a tensão recebida e  $x$  é a distância entre o sensor e uma determinada linha. Note-se que para pequenas distâncias a medição apresenta incorreção, devido ao fato de os deslocamentos terem sido tomados considerando-se o sensor puntiforme.

### 3.2.3 Parâmetros de varredura

A varredura efetuada de acordo com a descrição acima gera campos elétricos associados a cada linha do reticulado, que, em analogia com um sistema físico de propagação de ondas, possuem uma determinada velocidade de propagação  $v$  e um certo comprimento de onda  $\lambda$ .

A velocidade de propagação através da mesa é bem determinada, e pode ser expressa por:

$$v = f(\text{DESLOC}) \cdot \text{DIST} = \frac{\text{DIST}}{p(\text{DESLOC})} \text{ (m/s)}$$

onde DIST é a distância entre linhas do reticulado e  $f(\text{DESLOC})$  e  $p(\text{DESLOC})$  são respectivamente a frequência e o período do sinal DESLOC.

Conhecendo-se a velocidade de propagação, pode-se calcular então o comprimento de onda, que será expresso por

$$\lambda = v \cdot p(F\emptyset) \text{ (m)}$$

onde  $v$  é a velocidade de propagação e  $p(F\emptyset)$  é o período do sinal  $F\emptyset$ .

Agora, substituindo-se  $p(F\emptyset)$  pelo inverso da frequência de  $F\emptyset$  e colocando-se no lugar de  $v$  a expressão anteriormente apresentada, obtém-se:

$$\lambda = \frac{f(\text{DESLOC}) \cdot \text{DIST}}{f(F\emptyset)}$$

Fica assim demonstrado que tanto a velocidade como o comprimento de onda dependem diretamente dos sinais  $F\emptyset$  e DESLOC.

É importante, neste ponto, atentar-se para o fato de que nenhum dos parâmetros acima mencionados afeta diretamente a resolução do sistema, embora possam impor-lhe restrições, devido à frequência máxima admissível por uma dada tecnologia escolhida para implementação. Neste contexto, considera-se o termo resolução como sendo representativo do número de partes em que é dividida a mesa, ou, em última análise, o número de bits com que serão representadas as posições apontáveis.

#### 4. MEDIÇÃO DE COORDENADAS

Tendo sido visto como é feita a varredura na mesa e como são manipulados os sinais recebidos pelo elemento sensor, será abordado a seguir o modo como é efetuado o processo de medição de coordenadas. Salienta-se que a descrição irá focalizar um eixo cartesiano apenas, sendo similar o tratamento que deverá sofrer o outro.

##### 4.1 Características do sinal captado pelo sensor

Conforme visto no capítulo anterior, a equação que descreve de forma aproximada o sinal captado pelo sensor é:

$$V_o \approx (C_1 K_1 + C_2 K_2 \dots + C_i K_i \dots + C_n K_n) V_i / C_L$$

Nesta expressão, a relação  $V_i / C_L$  assume um valor constante, que irá influir diretamente sobre a amplitude do sinal  $V_o$ . Em virtude da presença indesejável de ruídos no sistema, é importante maximizar a amplitude da tensão de excitação  $V_i$  e minimizar o valor da capacitância de carga  $C_L$ . Sobre o primeiro parâmetro, no entanto, impõe-se restrições tecnológicas quanto à construção dos acionadores ("drivers") de linha. Quanto à capacitância de carga, porém, apesar de disporem-se de recursos para virtualmente eliminá-la, não é interessante que tal aconteça, devido a alinearidades na medição que isto acarretaria. Estes dois tópicos voltarão a ser abordados com mais ênfase num capítulo subsequente versando sobre erros do processo de medição.

Os termos restantes da equação,  $K_i$  e  $C_i$ , introduzem no sinal captado uma dependência temporal e uma relação com a função de acoplamento entre sensor e linhas, respectivamente, da qual se conclui que:

a) Uma vez que a varredura tenha atingido seu regime permanente de operação, o sinal recebido é repetitivo

e possui frequência igual à frequência fundamental injetada nos registradores de deslocamento que acionam o reticulado, ou seja,  $f(F\emptyset)$ .

b) O sinal recebido possui a característica de ser formado por saltos, ou seja, possui a aparência genérica de uma escada, ascendente e descendente.

c) Sempre que uma linha do reticulado sofre transição de nível lógico, lhe é associado na tensão de saída um salto, cujo sentido é o mesmo da transição que o gerou e cuja amplitude será dada pela lei que rege o acoplamento entre o sensor e as linhas do reticulado. Pode-se afirmar, no entanto, que quanto menor a distância que separa o sensor da linha que sofreu a transição de nível, tanto maior será a amplitude do salto recebido.

d) Se duas ou mais linhas sofrerem transições ao mesmo tempo, a amplitude do salto captado poderá ser obtida através da soma dos efeitos de cada uma (princípio da superposição).

e) Os saltos ocorrem a intervalos bem definidos, iguais ao período do sinal de deslocamento (DESLOC) dos registradores que acionam o reticulado.

f) O número de degraus (saltos) que ocorrem no sinal  $V_o$  é exatamente igual à relação entre as frequências dos sinais de deslocamento e excitação da mesa, ou seja,  $NUMSALTOS = f(DESLOC)/f(F\emptyset)$ .

g) Para o tipo de varredura adotado, sempre ocorrerá que metade dos saltos será seqüencialmente ascendente e a outra metade será descendente.

h) Uma vez que, para este tipo de varredura, o sinal recebido é obtido através de um somatório de efeitos localizados, pode-se afirmar que ele é o que possui o maior valor médio em relação ao obtido com outras formas de varredura.

i) O salto de maior amplitude é aquele gerado pe-



la linha mais próxima ao sensor. Esta característica influencia o ponto por onde o sinal captado cruza por seu valor médio e, conseqüentemente, lhe confere uma determinada fase (ou atraso) em relação ao sinal  $F\emptyset$  que o gerou.

j) Em consonância com a lei que rege o acoplamento sensor/reticulado, a amplitude dos saltos varia suavemente e sem apresentar descontinuidades à medida que o elemento sensor é movimentado sobre a mesa. Isto implica dizer-se que a informação de fase carregada pelo sinal recebido também varia suavemente e sem descontinuidades. Note-se que nenhuma afirmação foi feita quanto à linearidade da variação de fase.

l) Colocando-se o elemento sensor exatamente sobre a primeira linha de varredura, e não levando-se em conta os erros devidos à assimetria que o sistema apresenta nas bordas e desconsiderando-se os atrasos impostos pelos circuitos eletrônicos (filtro, comparador, etc.) que manipulam os sinais, pode-se afirmar que a diferença de fase ou atraso entre o sinal recebido  $V_0$  e o sinal de referência  $F\emptyset$  é nula.

m) Colocando-se o elemento sensor sobre a última linha de varredura e, desprezando-se as causas de erros apontados no item anterior, obter-se-á uma diferença de fase dada por:

$$\Delta FASE = \frac{\lambda \cdot 360}{DISTOTAL} \text{ (graus), onde}$$

$\Delta FASE$  é a diferença de fase entre  $V_0$  e  $F\emptyset$  em graus

$\lambda$  é o comprimento de onda característico da varredura e

$DISTOTAL$  é a distância total entre a primeira e última linha do reticulado.

É importante atentar-se ainda para o fato de que, numa implementação real, surgem efeitos colaterais que alte

ram a forma de onda captada. Mais especificamente, as causas destas distorções são o "overshoot" e as características de resposta em frequência do amplificador de entrada do sensor. Estes efeitos voltarão a ser referenciados quando da abordagem do tratamento de erros.

Repare-se ainda que, devido à forma de degraus assumida por  $V_0$ , sua fase ou atraso não pode ser obtida simplesmente procurando-se o ponto de seu cruzamento por seu valor médio. Esta operação resultaria em obter-se variações de fase discretas, caracterizadas por ocorrerem nas transições dos saltos de  $V_0$ .

#### 4.2 Medição de posição

Uma vez que existe uma função que regula o acoplamento entre o sensor e o reticulado, é possível afirmar-se que o sinal captado  $V_0$  possui uma forma diferente para cada distância entre o elemento sensor e a primeira linha pertencente ao conjunto associado a um determinado eixo. Note-se que, movimentando-se o sensor paralelamente às linhas, a distância que o separa destas não se altera, o mesmo ocorrendo com a forma de  $V_0$ , a menos de condições especiais que ocorrem nas bordas do reticulado. Em conseqüência, cada posição do sensor trará consigo uma informação de fase que será única. Portanto, medindo-se a diferença de fase entre os sinais  $F_0$  e  $V_0$ , estar-se-á fazendo uma medida indireta da posição do sensor. Desprezando-se os erros e assumindo-se uma variação de fase linear, a posição desejada será expressa por:

$$POS = \frac{\lambda \cdot \Delta FASE}{360} \text{ (m)}, \text{ onde}$$

POS é a distância que separa o elemento sensor da primeira linha de varredura

$\lambda$  é o comprimento de onda característico da varredura e

$\Delta FASE$  é a diferença de fase medida em graus.



Se, no entanto, ao invés de medir-se a diferença de fase, for medido o atraso de  $V_0$  em relação a  $F\emptyset$ , por ser um processo mais simples com circuitos eletrônicos, obtém-se:

$$POS = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{p(F\emptyset)} \text{ (m)}, \text{ onde}$$

$\Delta T$  é o atraso medido e  
 $p(F\emptyset)$  é o período do sinal de referência  $F\emptyset$ .

Reescrevendo-se este resultado em termos dos parâmetros de varredura resulta:

$$POS = f(\text{DESLOC}) \cdot \text{DIST} \cdot \Delta T \text{ (m)}, \text{ onde:}$$

$f(\text{DESLOC})$  é a frequência do sinal DESLOC e  
 $\text{DIST}$  é a distância que separa as linhas do reticulado.

Cumpra agora encontrar-se uma maneira de tornar a variação de fase ou atraso do sinal  $V_0$  contínua e medi-la convenientemente.

#### 4.2.1 O processo de interpolação

Uma forma elementar de medir o atraso de um determinado sinal é compará-lo com seu valor médio, gerando assim um sinal digital cuja borda de subida dista, em tempo, da borda de subida do sinal de referência, uma quantia igual ao atraso introduzido pelo sistema. Esta operação de comparação é simples de ser realizada através de circuitos eletrônicos, porém, exige que a informação em questão não esteja mascarada por outros sinais. Este é justamente o caso da mesa digitalizadora, pois, devido à forma de escada, o sinal  $V_0$  possui características de fase ou atraso discretas, se medidas em termos de comparação com seu valor médio.

A figura 4.1 mostra o sinal recebido numa mesa digitalizadora cujo reticulado é composto por dois conjuntos com dezessete fios cada um, separados por uma distância de 16mm. Para efeitos de simulação, utilizou-se a altura do sensor em relação ao plano do reticulado como sendo de 4mm, comprimento de onda  $\lambda = 512\text{mm}$  e lei de acoplamento sensor reticulado como sendo  $V = 0,48 d^{-1.26}$ , onde  $V$  é a tensão recebida pelo sensor quando uma linha situada a uma distância  $d$  sofre transição. Os dados utilizados foram obtidos experimentalmente e se comparam favoravelmente com os resultados obtidos através da construção de uma mesa-protótipo.

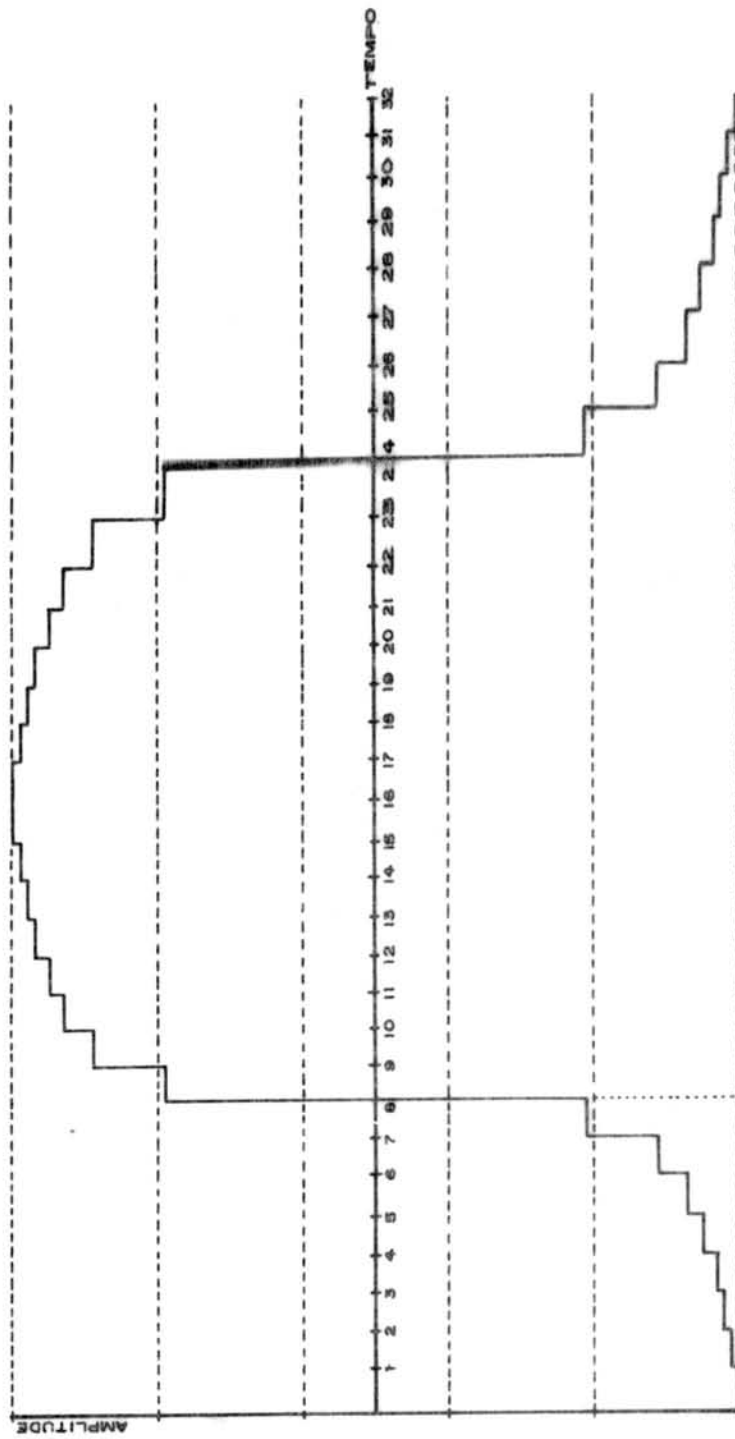


Figura 4.1 (a) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 128mm da borda da mesa

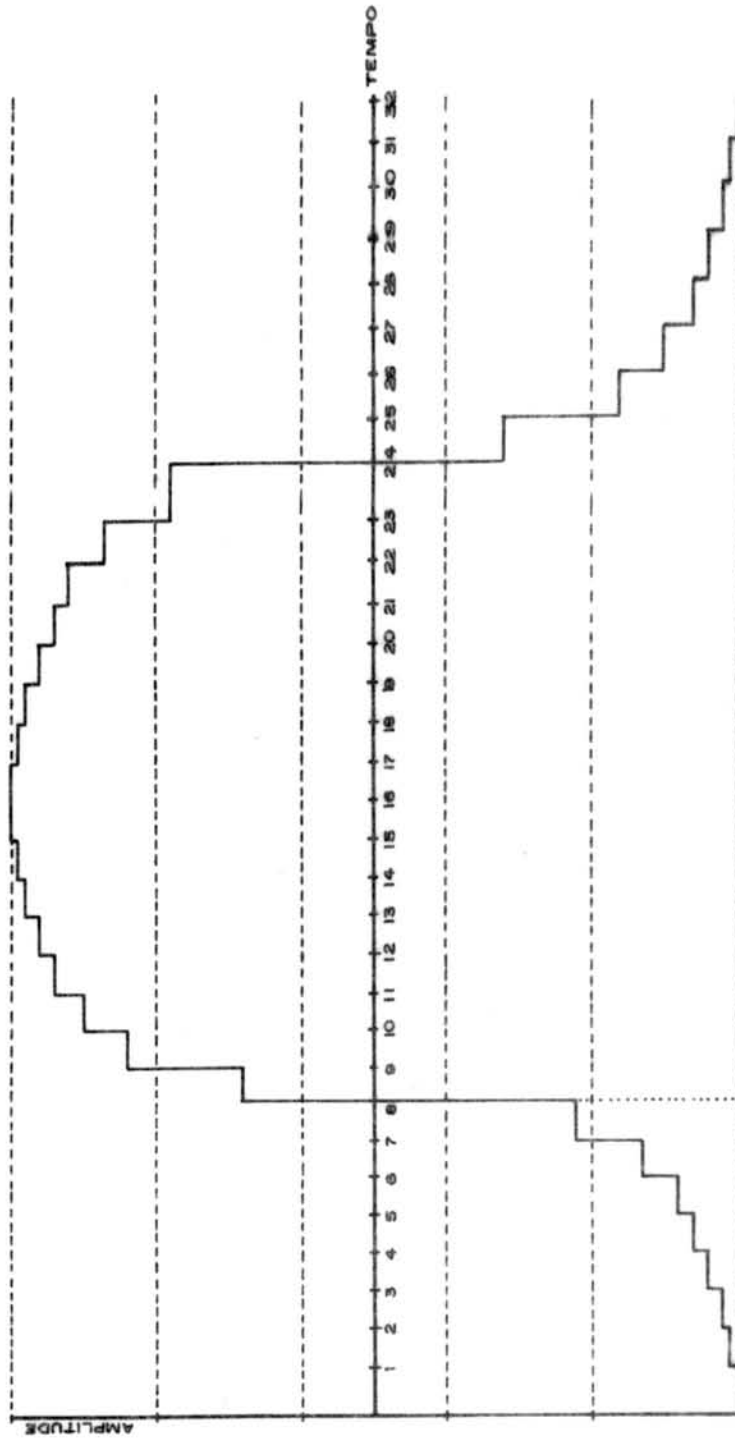


Figura 4.1 (b) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 132mm da borda da mesa

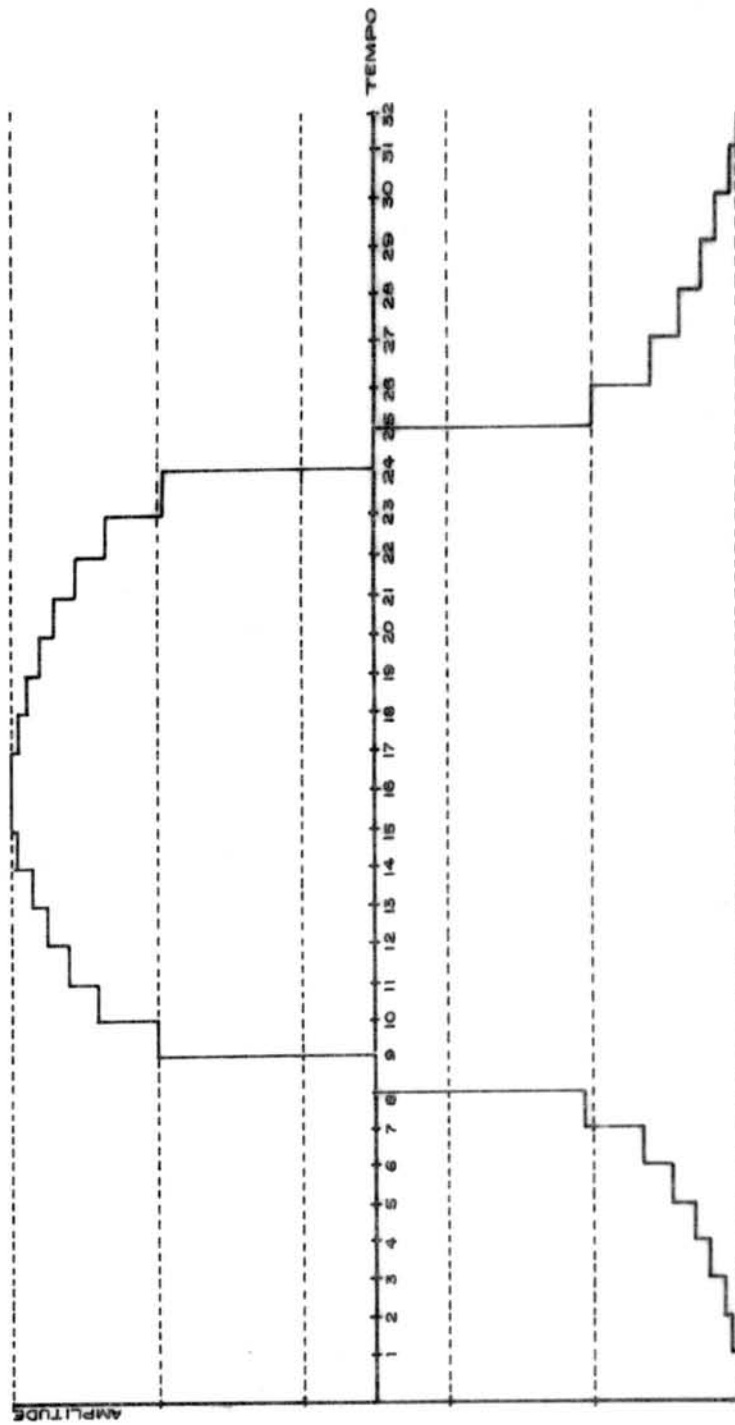


Figura 4.1 (c) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 136mm da borda da mesa

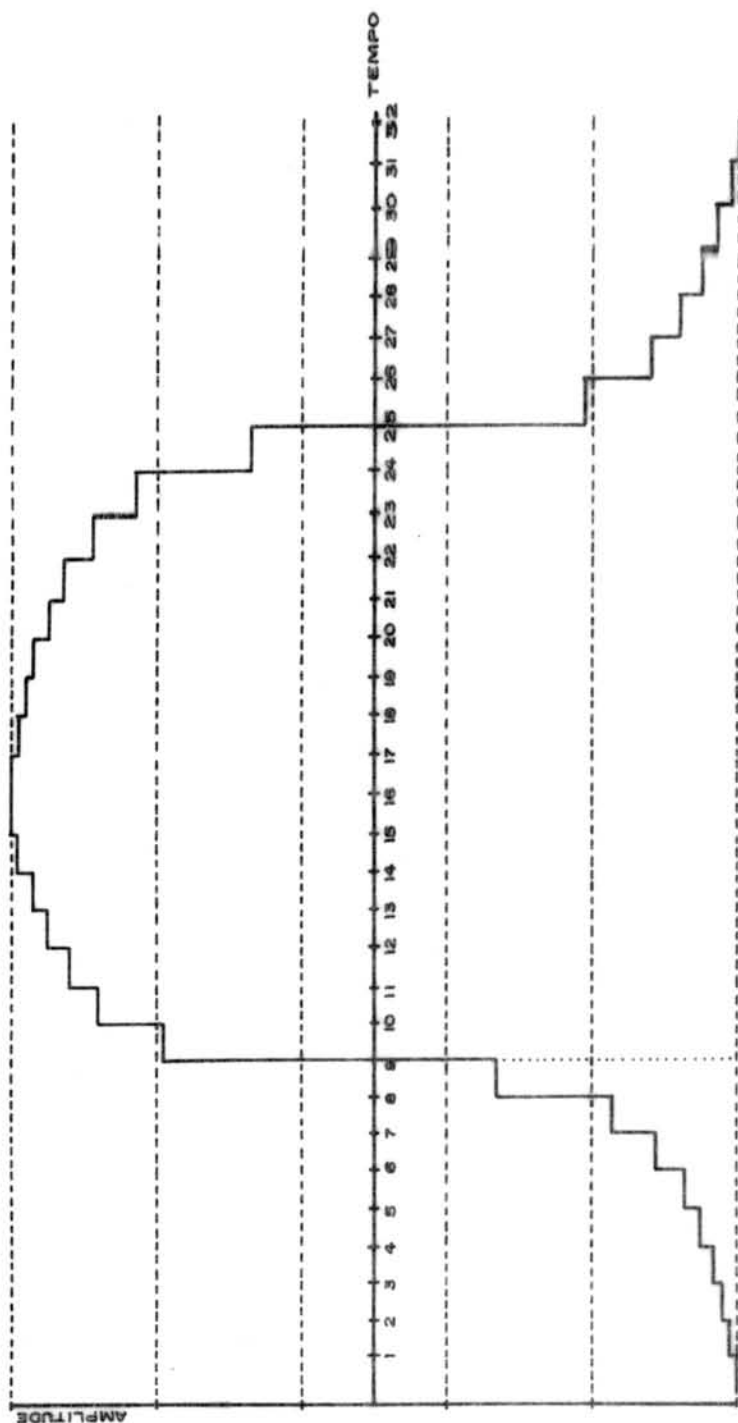


Figura 4.1 (d) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 140mm da borda da mesa

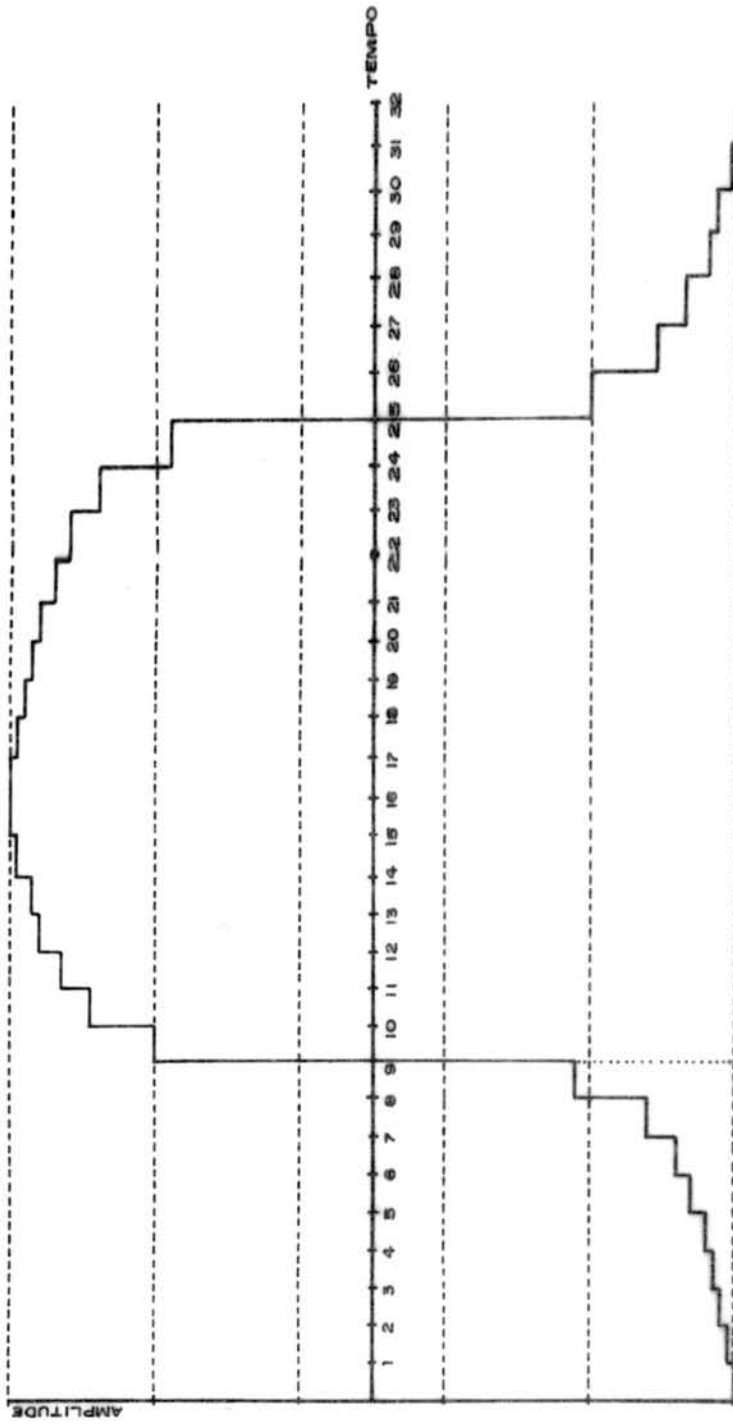


Figura 4.1 (e) Sinal normalizado recebido pelo sensor a uma distância de 144mm da borda da mesa

Repare-se que, na figura 4.1, os sinais amostrados nas posições 128 e 144mm equivalem a colocar-se o sensor exatamente sobre uma linha do reticulado, correspondendo a primeira ao centro da mesa (linha 8) e a segunda à linha de número 9. Por outro lado, a amostragem na posição 136mm (figura 4.1(c)) significa colocar-se o sensor exatamente entre duas linhas.

Note-se que, tanto na figura 4.1(a) como em 4.1(d), o sinal captado cruza por seu valor médio exatamente no instante correto (8 e 9 respectivamente), sem que seja necessário nenhum processo de interpolação para detectá-lo. Isto significa que é de esperar-se que, independentemente de sofrer interpolação ou não, o método de comparar-se o sinal com seu valor médio não apresenta qualquer erro nestas posições. Além disso, na figura 4.1(c), ocorre uma indeterminação quanto ao ponto exato do cruzamento. Porém, da das as condições de simetria da forma de onda, por mínima que seja a interpolação, ela permitirá a detecção do ponto correto.

Convém salientar-se que, da figura 4.1(a) até a figura 4.1(d) ocorreu uma pequena rotação de fase no sinal recebido. Isto pode ser comprovado observando-se a variação da amplitude dos saltos, que tende a fazer com que o gráfico se desloque para a direita. Além disso, é importante a tentar-se para o fato de que, na figura 4.1(b) e 4.1(d), apesar da existência de um pequeno deslocamento, este se apresenta mascarado pelos degraus do sinal captado, impossibilitando sua detecção por um comparador.

A solução para este problema consiste em eliminar-se totalmente a informação de mascaramento, ou seja, os saltos do sinal recebido. Este processo é equivalente a efetuar-se uma interpolação e, na prática, consiste em apliar-se ao sinal uma função de filtragem.

Para se obter uma boa aproximação do que deve ser filtrado, é melhor analisar-se o sinal captado no domí-



nio freqüência. A figura 4.2 apresenta o espectro de freqüência correspondente à forma de onda da figura 4.1(a). Repare-se que, devido aos parâmetros utilizados na simulação, ela apresenta uma rotação de fase igual a  $90^\circ$ . Por outro lado, a figura 4.3 apresenta o espectro de freqüências de uma onda quadrada, com o mesmo período e defasamento. Ambas as figuras foram obtidas através de análise de Fourier.

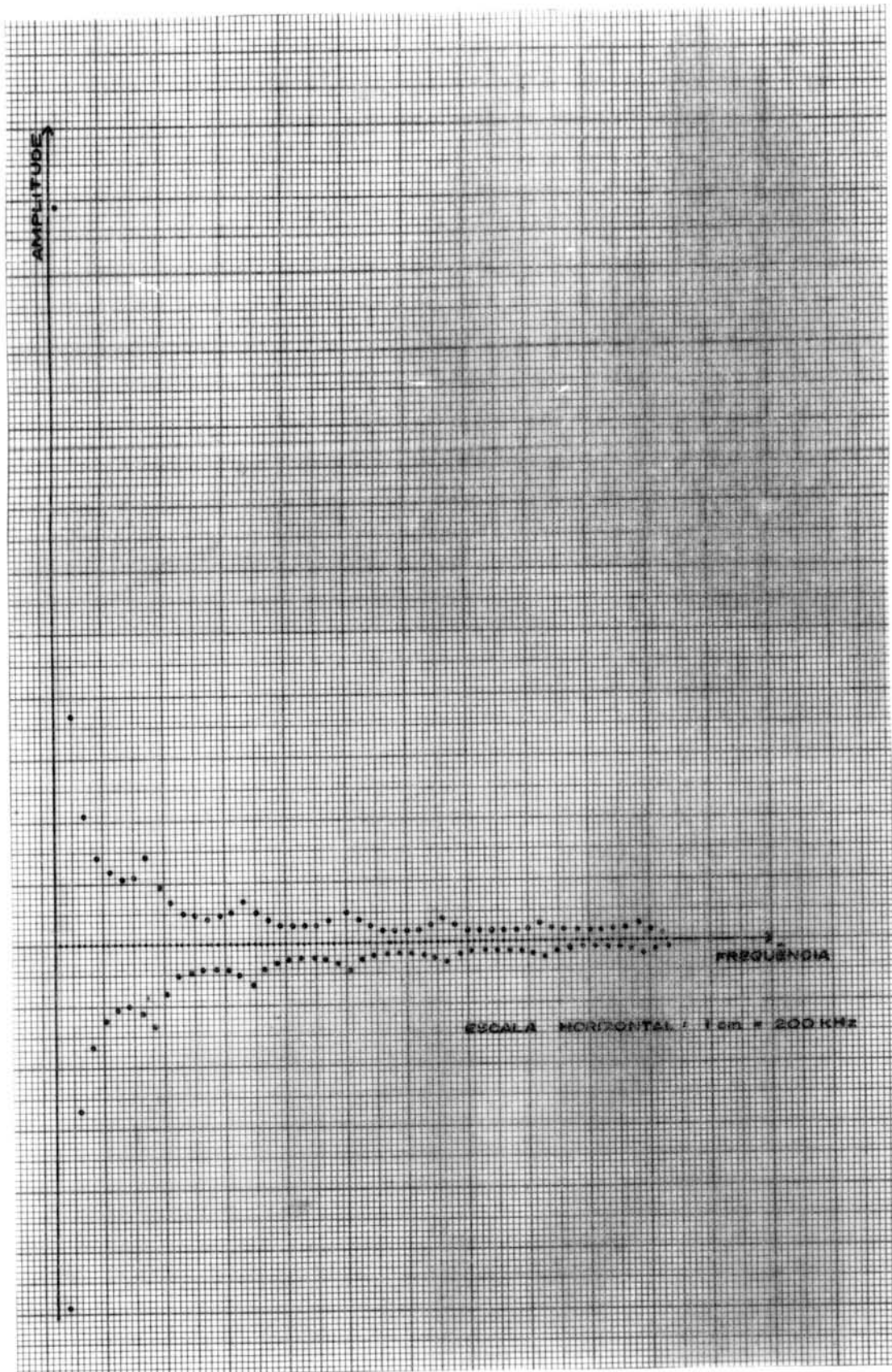


Figura 4.2 Espectro de freqüência do sinal captado

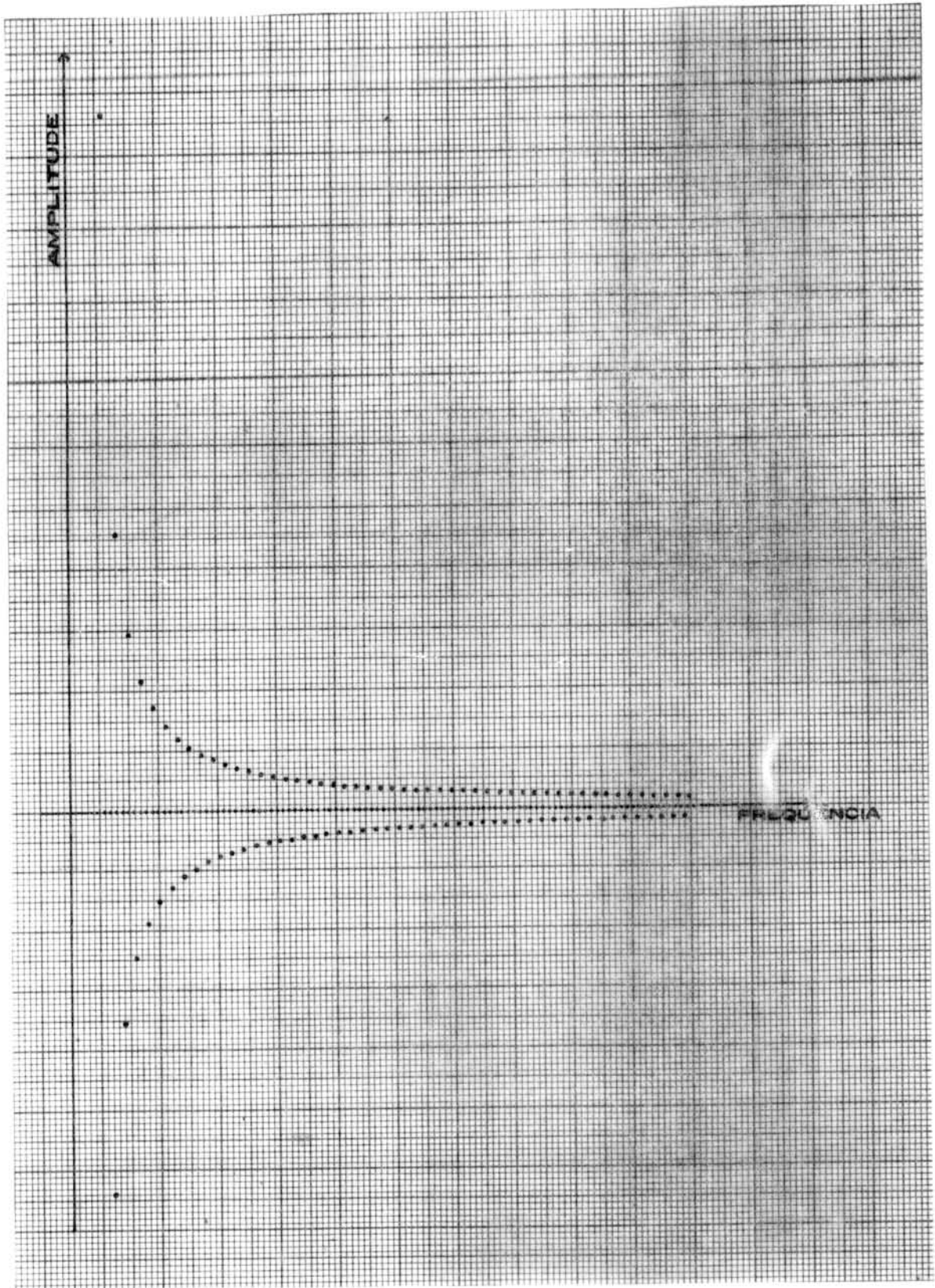


Figura 4.3 Espectro de freqüências da onda quadrada

Observando-se as figuras 4.2 e 4.3 nota-se que, em ambas, não estão presentes as harmônicas pares. Além disso, os dois gráficos diferem em amplitude, correspondendo sua relação à curva apresentada na figura 4.4.

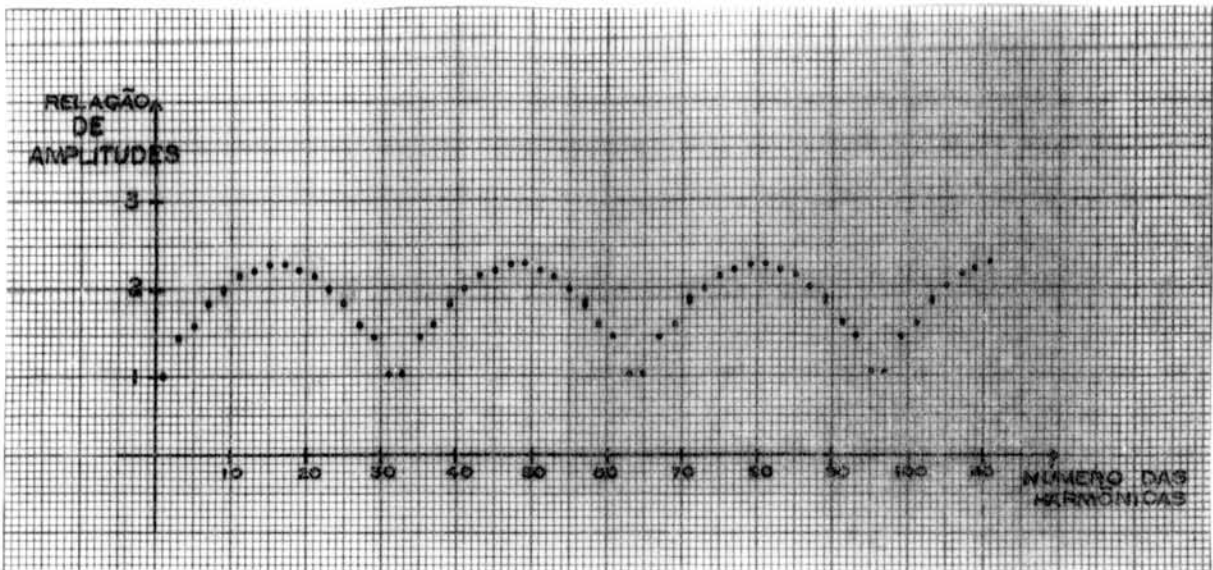


Figura 4.4 Relação entre as amplitudes dos espectros da onda quadrada e do sinal captado

É sabido que a frequência fundamental de um determinado sinal contém toda a informação necessária para mostrar-se sua fase ou atraso através do método de comparação com seu valor médio. Uma primeira solução, então, para o problema de interpolação, consiste em filtrar-se o sinal recebido, permitindo a passagem apenas da frequência fundamental ( $f(F_0)$ ).

Outra solução seria construir-se um filtro com características de ganho exatamente iguais às apresentadas na figura 4.4. Neste caso, na saída do filtro obter-se-ia uma onda quadrada, com a informação de fase correta.

Obviamente, ambas as soluções pressupõem que o filtro implementado possua linearidade de fase, ou seja, atraso constante para todas as frequências. Os resultados assim obtidos retiram o mascaramento imposto pelo formato em



degraus, fazendo com que o sinal recuperado passe a ter uma variação contínua de fase.

Embora esta segunda solução seja mais interessante do ponto de vista de construção dos circuitos de comparação e por ser menos sujeita a ruídos, devido à forma de onda obtida, sua implementação é um tanto difícil. Por outro lado, a primeira solução, além de fornecer um resultado igualmente preciso, pode ser construída de modo a preencher mais facilmente os requisitos de linearidade.

A curva apresentada na figura 4.4 foi validada através da simulação da recepção do sinal em vários pontos de mesa, tendo se repetido com boa fidelidade, a menos dos erros de linearidade, que serão abordados em capítulo subsequente.

#### 4.2.2 Medição de fase ou atraso

A rotação de fase ou atraso do sinal recebido pelo sensor, em relação à referência ( $F\emptyset$ ), é devida ao tempo de propagação do sinal através da mesa. Conforme visto anteriormente, conhecendo-se este tempo e a velocidade de propagação, pode-se perfeitamente determinar a distância entre o sensor e a linha excitada em fase com  $F\emptyset$ , que não necessariamente é a primeira do reticulado.

A figura 4.5 mostra a varredura em um eixo de uma mesa hipotética, com apenas 6 linhas. O cursor foi colocado no centro da mesa, recebendo um sinal representado por  $V_0$ . A excitação das linhas nos diversos tempos visa a mostrar como o campo se propaga ao longo da mesa. Repare-se que, no processo de filtragem, só foi permitida a passagem da frequência fundamental do sinal recebido, sendo eliminada, inclusive, a sua componente contínua, o que faz com que seu valor médio passe a ser nulo. Com isto, passando-se o sinal filtrado por um comparador, obtém-se uma janela de tempo  $\Delta T$ , que é o atraso desejado. É importante salientar-se que, no sinal filtrado, não foi levado em conta o atraso imposto

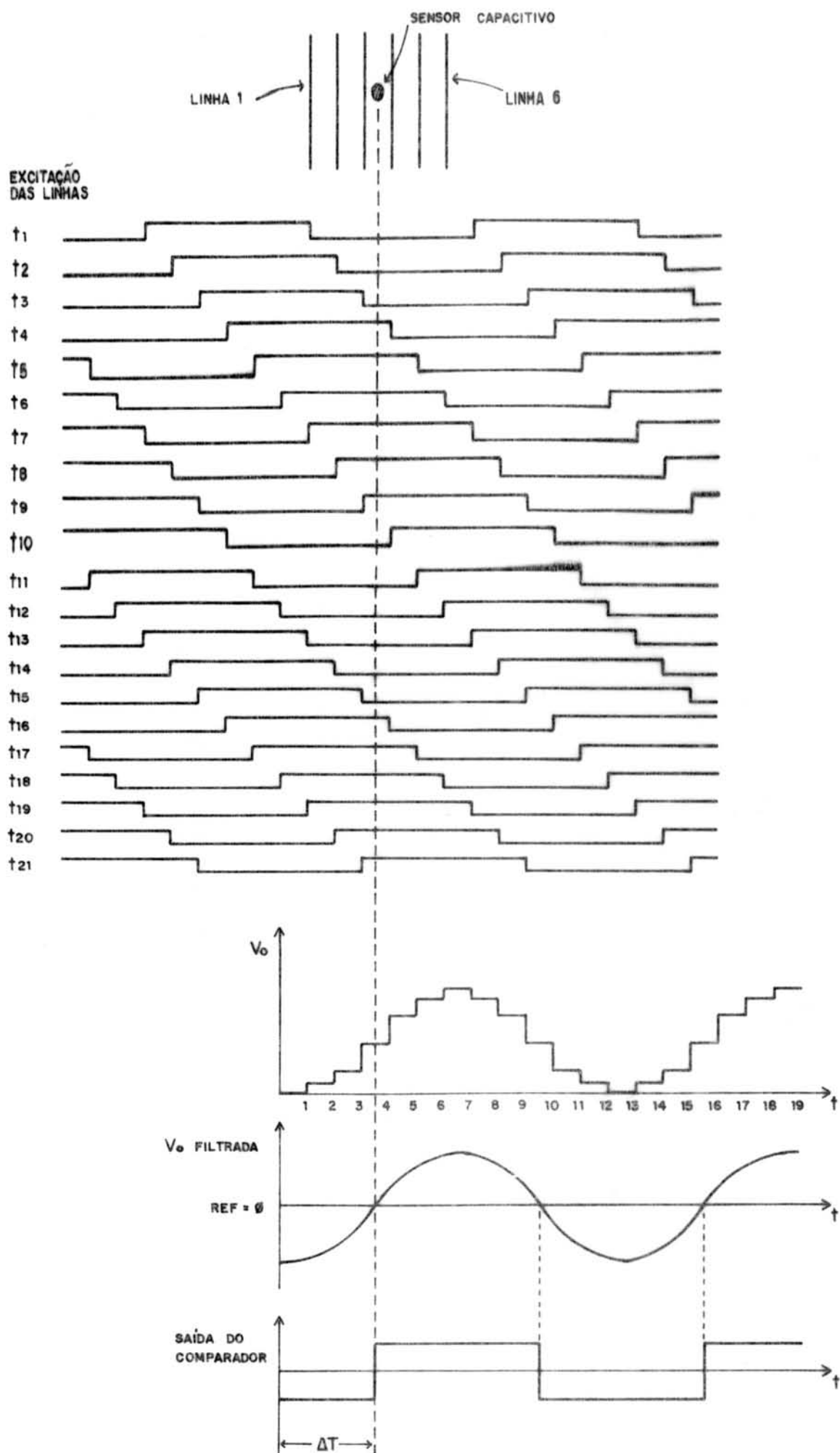


Figura 4.5 Medição de atraso

pelo filtro, que, na prática, deve ser descontado da medida para se obter o valor real.

Usualmente, para medir o tempo, costuma-se contar pulsos de relógio dentro dos limites ditados pela janela obtida. Utilizando-se uma frequência de relógio conveniente, pode-se obter como resultado diretamente a posição desejada ou um múltiplo seu.

#### 4.3 Medida de referência

Os circuitos que conformam o sinal captado, como amplificador de entrada do sensor, filtro e comparador, apresentam um determinado atraso ou tempo de propagação, que é variável em função da umidade, temperatura, precisão, envelhecimento dos componentes utilizados, etc.. Sem dúvida, este atraso deve ser subtraído em cada medição de posição, pois se constitui numa fonte de erro.

Uma maneira simples de medir-se este tempo seria colocar-se o sensor exatamente sobre a linha de varredura excitada em fase com  $F_0$ . Neste caso, a janela de tempo obtida dependerá exclusivamente do atraso imposto pelos circuitos mencionados anteriormente. Esta solução, porém, apresenta o inconveniente de requerer um posicionamento preciso e não é viável de ser repetida a cada aquisição de dados, para ambos os eixos cartesianos.

Uma solução mais elegante consiste em interromper-se o processo de varredura e excitar-se todas as linhas com a mesma fase de  $F_0$ . Neste caso, o sensor passará a captar uma forma de onda quadrada, com a mesma fase de  $F_0$ , a menos do erro introduzido pelos circuitos de conformação. Esta solução é completamente independente da posição do elemento sensor, desde, é claro, que este repouse sobre o reticulado da mesa.

Utilizando-se o princípio da contagem de pulsos de relógio para medir a largura da janela, torna-se fácil a tarefa de subtrair o atraso indesejável. Basta que, durante

a medição de referência, os contadores sejam colocados no sentido de contagem decrescente. Ao final do processo eles terão armazenado um conteúdo proporcional ao tempo de referência negativo. Após, durante o processo normal de medição, coloca-se os contadores no sentido crescente.

#### 4.4 Resolução

A resolução obtível com um sistema baseado na medição de um tempo de propagação depende unicamente do número de intervalos em que a maior janela gerada puder ser dividida. Assim, se ao colocar-se o elemento sensor sobre a última linha de varredura receber-se uma janela de duração  $\Delta T$  e desejar-se uma resolução de  $n$  bits, então o intervalo  $\Delta T$  deve ser dividido em  $2^n$  partes iguais. Quando o atraso é medido por contagem de pulsos de relógio, este deve possuir um período igual a  $\Delta T/2^n$  segundos. Desta forma, relacionando-se a resolução desejada com os parâmetros de varredura, obtêm-se:

$$\text{RESOL} = v \cdot p(\text{REL}) \text{ (m)}, \text{ onde}$$

RESOL é a resolução desejada, normalmente expressa como sendo uma distância elementar

$v$  é a velocidade de propagação e

$p(\text{REL})$  é o período do sinal de relógio a ser adotado.

Considerações práticas a respeito da velocidade e demais características dos circuitos comparadores convencionais limitam o número de intervalos em aproximadamente 2000. Isto faz com que se torne difícil aplicar o processo a mesas de grande porte e elevado número de bits de resolução.

Existe, no entanto, uma solução para este problema. Quando o comprimento de onda adotado é maior do que o comprimento da mesa no eixo correspondente, ocorre um único cruzamento do sinal recebido com seu valor médio (considere-



rando-se a transição de subida apenas) durante um período de varredura. Esta constatação é importantíssima, visto que garante que o atraso medido é proporcional à distância que se deseja conhecer.

Por outro lado, escolhendo-se um comprimento de onda menor do que o tamanho do reticulado, irá ocorrer uma ambigüidade, no sentido de que mais de um cruzamento será detectado durante um período de varredura. Mantendo-se a frequência do sinal de referência  $F_0$  constante e alterando-se o comprimento de onda deve-se, forçosamente, alterar-se na mesma proporção a velocidade de propagação. Conseqüentemente, fica da mesma forma modificado o tempo de propagação, ou seja, o atraso entre a referência e o sinal captado, pois:

$$\lambda = \frac{v}{f(F_0)}, \text{ onde:}$$

$\lambda$  é o comprimento de onda

$v$  é a velocidade de propagação e

$f(F_0)$  é a frequência do sinal  $F_0$ .

Agora, mantendo-se fixa a cadência de contagem de tempo (REL), aumenta-se a resolução na mesma proporção em que foi diminuído o comprimento de onda.

Suponha-se o exemplo abaixo, com os seguintes dados:

a) DISTOTAL = 256mm (comprimento do reticulado num determinado eixo cartesiano)

b)  $\lambda = 512\text{mm}$  (comprimento de onda, duas vezes maior do que o comprimento da mesa)

c) DIST = 16mm (distância que separa as linhas do reticulado)

d)  $f(F_0) = 10 \text{ KHz}$  (frequência fundamental)

e)  $f(\text{DESLOC}) = 320 \text{ KHz}$  (frequência de deslocamento)

f)  $f(\text{REL}) = 5.120 \text{ KHz}$  (cadência de contagem de tempo ou atraso).

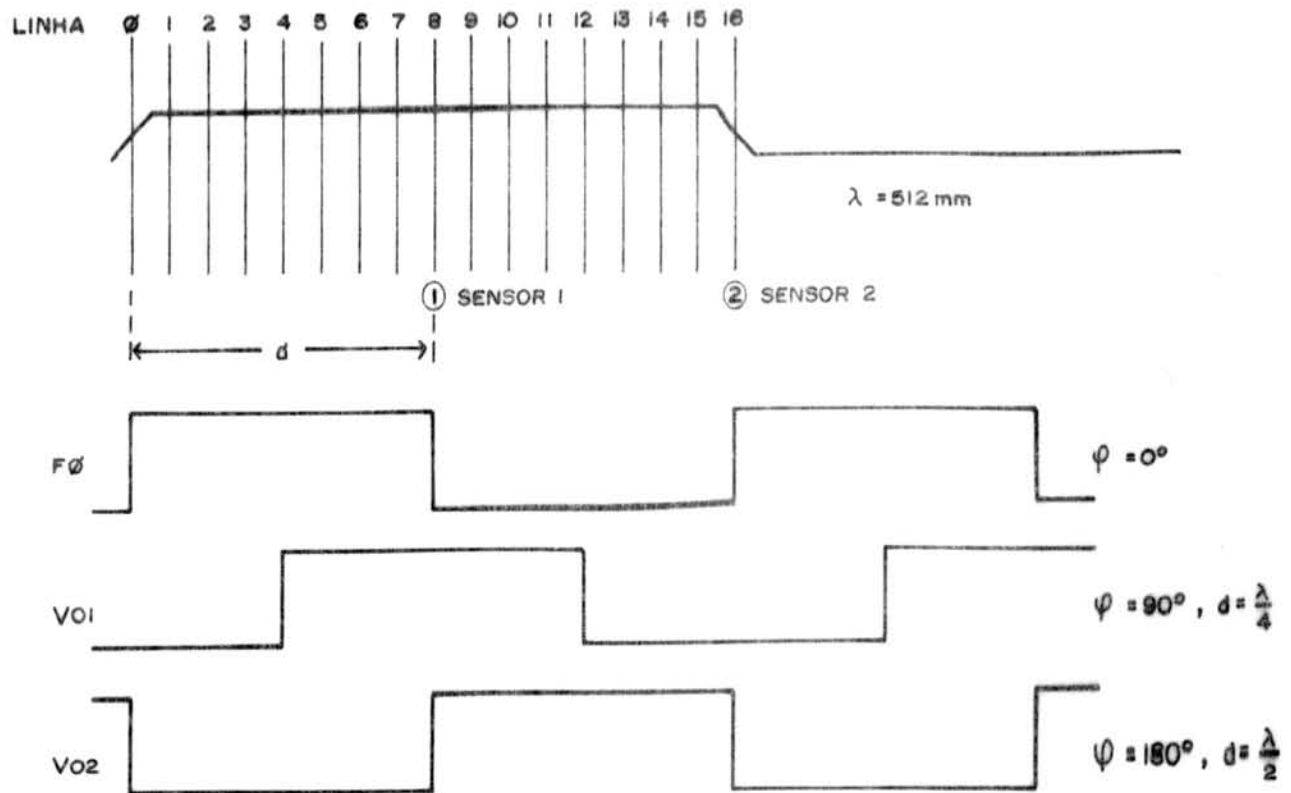
Conseqüentemente, a velocidade de propagação será de  $v = 5.120 \text{ m/s}$  e a resolução será de  $\text{RESOL} = 1\text{mm}$ , ou 8 bits, considerando que a mesa possui 256mm de comprimento.

Agora, suponha-se que  $f(\text{DESLOC})$  seja diminuída quatro vezes, ou seja, passa-se a ter:

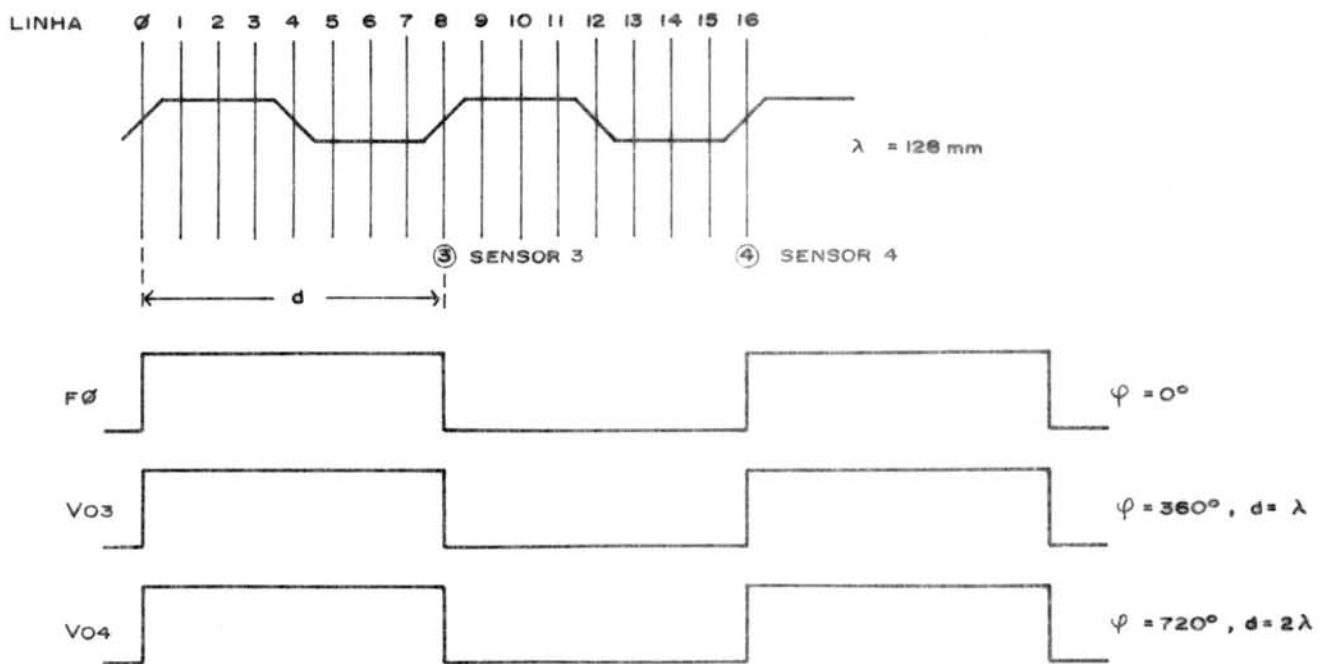
a)  $f(\text{DESLOC}) = 80 \text{ KHz}$

b)  $\lambda = 128\text{mm}$  (comprimento de onda menor do que o comprimento da mesa),

Agora, tem-se  $v = 1.280 \text{ m/s}$ , o que implica tempos de propagação quatro vezes maiores. Mantendo-se constante a cadência de contagem de tempo (REL), obter-se-á resultados quatro vezes maiores, ou seja, foram ganhos 2 bits de resolução. Esta afirmação somente é válida para o caso de o sensor estar colocado a uma distância do início da varredura menor do que o comprimento de onda. A partir daí ocorre ambigüidade, repetindo-se as leituras cada vez que o deslocamento do sensor completa um comprimento de onda. A figura 4.6 esquematiza ambas as varreduras, mostrando duas possíveis posições onde o atraso gerado é o mesmo.



(a)



(b)

Figura 4.6 Fase dos sinais captados com comprimento de onda (a) maior do que o reticulado e (b) menor do que o reticulado

Na figura 4.6 os sinais  $V_{01}$  a  $V_{04}$  possuem a mesma rotação de fase que os sinais captados pelos sensores hipotéticos SENSOR1 a SENSOR3 respectivamente. Note-se que  $V_{03}$  e  $V_{04}$  são ambíguos, por ser impossível discernir-se entre uma rotação de  $360^\circ$  e uma de  $720^\circ$ .

No entanto, se a contagem de tempo para o atraso do sinal  $V_{01}$  resultou em, por exemplo, 127 (1111111 BINÁRIO), a dos sinais  $V_{03}$  e  $V_{04}$  deverá ser qualquer valor entre 508 e 511 (111111100 e 111111111 BINÁRIO). Da mesma forma, a contagem para o sinal  $V_{02}$  deverá ser 255 (11111111 BINÁRIO).

À medida com comprimento de onda maior do que o reticulado denomina-se medida grossa e à outra denomina-se medida fina. O resultado final será obtido concatenando-se os bits da medida grossa (mais significativos) com os dois bits menos significativos da medida fina. Deve-se tomar cuidado, porém, para evitar problemas com o erro inerente à precisão dos números binários (usualmente denominado erro de  $\pm$  meio dígito). Nestes casos, a simples concatenação não é válida, requerendo-se um processamento adicional.

Na prática, alterando-se a frequência do sinal DESLOC obtém-se velocidades de propagação para permitir medidas com as mais variadas resoluções finas, sendo que o número de bits ganhos pode chegar ao número de bits obtidos com a medida grossa menos um, devido ao erro inerente acima mencionado. Convém salientar-se também que as medidas finas podem ser aninhadas umas dentro das outras, para permitir medidas com uma resolução qualquer. O limite ocorre quando  $f(\text{DESLOC}) = f(F\emptyset)$ . O procedimento de medição não influi sobre qualquer característica de erro apresentada pelo sistema. Obviamente, não é interessante aumentar-se desmesuradamente a resolução sem que os erros de linearidade da mesa sejam da mesma ordem de grandeza.

#### 4.5 Seqüenciamento e velocidade de aquisição de posição

A obtenção de um par de coordenadas apontado envolve, no mínimo, a execução de uma medida grossa em relação a cada eixo cartesiano. No entanto, à medida em que se deseja melhorar a resolução do sistema, é conveniente fazer-se medidas finas e medidas de referência.

Um fator importante, até agora não mencionado, que deve ser levado em conta ao executar-se as medições é o fato de que a varredura deve se encontrar em regime permanente. Isto implica em que o reticulado já deve ter sido percorrido pelas excitações pelo menos uma vez e os filtros e demais circuitos eletrônicos devem estar corretamente assentados. Na prática, normalmente, o maior tempo de assentamento pertence aos filtros, sendo comum perder-se o tempo de quatro ou mais varreduras à sua espera. Cada implementação diferente deverá ter seu tempo de assentamento determinado de modo que este inconveniente não interfira no processo de medição de atraso.

Desta maneira, um dos seqüenciamentos de medida a propriados é o seguinte:

- a) Medida grossa no eixo X
- b) Medida de referência X
- c) Medida fina no eixo X
- d) Medida fina no eixo Y
- e) Medida de referência Y
- f) Medida grossa no eixo Y /CAR 78/.

Cada medida deve ser precedida do devido tempo de assentamento dos filtros, visto que a comutação de varreduras gera transitórios indesejáveis. Note-se que as medidas finas X e Y foram colocadas adjacentes, de modo a minimizar o tempo consumido entre uma e outra. Assim, o erro introduzido pelo deslocamento do elemento sensor entre as medições fica reduzido, embora ainda existente. /CAR 78/ apresenta um algoritmo para minimizá-lo.

Quando se deseja efetuar um número grande de medidas finas em um eixo, com o intuito de obter-lhe a média é necessário esperar-se pelo assentamento somente antes da primeira amostragem, fazendo-se as demais seqüencialmente. Este procedimento, no entanto, tende a aumentar o tempo consumido entre as medidas dos dois eixos, aumentando o erro acima citado.

Exceto para a referência, os tempos dispendidos nas medidas dependem da posição do sensor em relação ao reticulado (tempo de propagação da varredura). Para a referência, porém, o tempo gasto é igual ao atraso introduzido pelos circuitos de conformação de sinal, sendo, portanto, aproximadamente constante. Obviamente, devem ser ainda acrescentados os tempos de assentamento dos filtros para se obter o tempo total que será então o fator limitante da velocidade máxima de aquisição possível com o presente método.

## 5. SISTEMA CONTROLÁVEL POR MICRO-PROCESSADOR

A necessidade de se efetuar medições em diversas modalidades (grossa, fina e referência), com as conseqüentes alterações sobre o bloco operacional, sugere a conveniência de se utilizar um micro-processador para executar a tarefa de unidade de controle. Esta opção é ainda mais vantajosa por permitir que a unidade de controle efetue certas funções como ajuste automático dos eixos de referências, média dos dados amostrados e interfaceamento de entrada e saída, além de outras.

No presente capítulo pretende-se introduzir um sistema que seja controlável por micro-processador ou qualquer outro tipo de computador, independentemente de ser ele residente ou não na mesa. Supor-se-á apenas que a unidade de controle possa comunicar-se com o sistema a ser controlado através do envio e recepção de sinais em paralelo, o que é mais uma conveniência do que uma restrição.

A figura 5.1 apresenta um diagrama em blocos de um sistema controlável. Repare-se que, por ser a unidade de controle geralmente lenta em relação ao sinal de relógio (REL) que cadencia a contagem de tempo, há a necessidade da introdução de uma unidade de sincronização e efetivação dos sinais enviados pela unidade de controle.

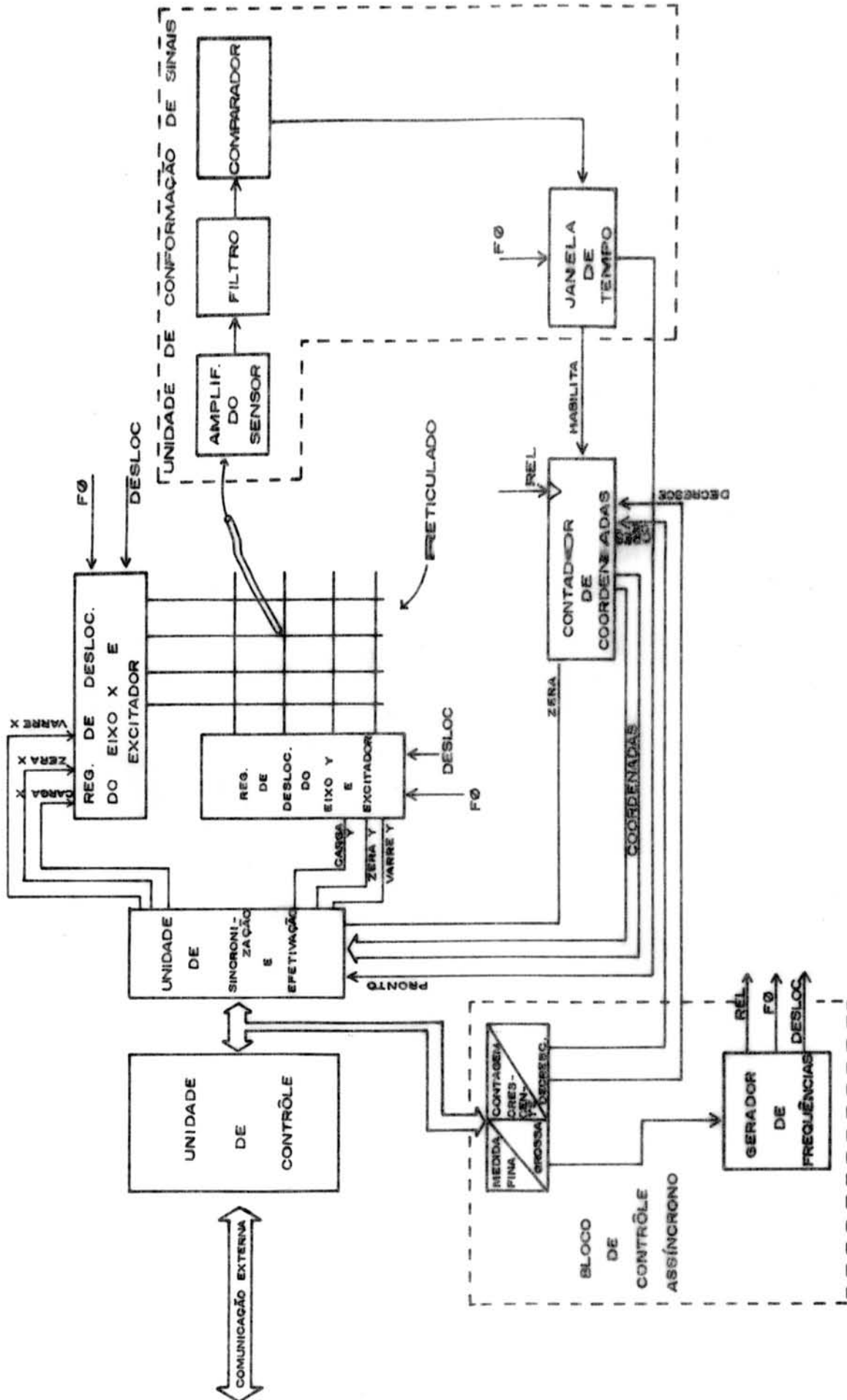


Figura 5.1 Diagrama em blocos de um sistema controlável por computador



A comunicação entre a unidade de controle e a de sincronização pode ser efetuada simplesmente em termos de seqüenciamento de medidas, ou seja, a unidade de controle pode apenas informar que deseja fazer a medida X grossa, medida X fina e assim por diante. Neste caso, cabe à unidade de sincronização e efetivação gerar todos os sinais de controle do bloco operacional.

Outra solução consiste em gerar todo o controle do bloco operacional via unidade de controle. Neste caso, o bloco de sincronização deveria apenas armazená-los e efetivá-los sincronamente com o sinal REL. Esta alternativa é vantajosa, pois requer um número menor de circuitos eletrônicos, repassando suas tarefas para o processador de controle.

O bloco operacional é composto ainda pelos circuitos de conformação de sinais, contador de coordenadas, registradores de deslocamento e excitadores de cada eixo e pelo bloco de controle assíncrono.

O bloco de conformação de sinais gera uma janela de tempo proporcional ao atraso entre o sinal captado e o sinal de referência  $F\emptyset$ , ao passo que o contador de coordenadas a mede, contando pulsos do sinal de relógio REL. Terminada a contagem é enviado um sinal de PRONTO que será repassado para a unidade de controle. Este contador é programável, no sentido de que é possível controlar-se o sentido da contagem. Ele deve possuir ainda uma entrada que permita o seu zeramento, o que é uma condição necessária para poder-se iniciar a medição. Eventualmente existe a possibilidade de efetuar-se a subtração da medida de referência através da potencialidade da própria unidade de controle. Neste caso, o contador deve ser crescente apenas.

Os registradores de deslocamento possuem sinais de controle que permitem a interrupção da varredura convencional (VARREX e VARREY), para permitir o entrelaçamento das varreduras de cada eixo no tempo. Existe também a neces

sidade de se zerar ou carregar o nível "1" (ZERAX, CARGAX, ZERAY, CARGAY) em todas as linhas ao mesmo tempo, durante a medida de referência. Neste caso, a varredura convencional também é paralisada.

Desde que o seqüenciamento seja feito de maneira correta, certos sinais podem ser efetivados assincronamente. É o caso da escolha do sentido de contagem e da frequência do sinal DESLOC, que determina o comprimento de onda desejado. Basta que eles sejam armazenados e efetivados antes do início de uma dada medição. Em função de peculiaridades da tecnologia de implementação adotada, outros sinais podem ser ainda assíncronos.

Convém lembrar que a unidade de sincronização não precisa se preocupar com o tempo de assentamento dos filtros. A unidade de controle pode se encarregar disso, desprezando um certo número de medidas, até considerar os circuitos em regime permanente.

## 6. CAUSAS E MINIMIZAÇÃO DE ERROS

Como é de se esperar, os processos de medição envolvendo sinais analógicos estão sujeitos às mais variadas formas de erro. Existe uma série de especificações (resolução, precisão, exatidão, etc.) utilizadas pelos ramos da Matemática e da Engenharia para avaliar as características de sistemas de medição de distâncias, como é o presente caso. Cumpre, no entanto, que sejam aqui definidos dois conceitos empregados com alguma confusão pelos fabricantes e usuários de tais dispositivos. Estes conceitos são:

a) Resolução nominal: caracteriza a capacidade que o dispositivo tem de discernir entre duas posições distintas. Sua limitação principal é o ruído e eventuais características peculiares da tecnologia adotada.

b) Resolução útil: corresponde ao valor unitário do dígito menos significativo com que é feita a medida. Uma vez que esta deve ser estável e repetitiva, o limite da resolução útil é exatamente a resolução nominal do sistema.

Todavia, normalmente, quando se especifica um determinado aparelho, fala-se apenas em resolução, referindo-se tão somente a sua resolução útil. Este é também o significado empregado neste trabalho. Convém, ainda, salientar-se que, o conceito de resolução útil é também confundido com o de precisão.

Além disso, e com o intuito de manter a compatibilidade com os dados fornecidos por fabricantes, os erros serão expressos em termos de uma curva ou gráfico de erro de linearidade, obtida da seguinte maneira: para cada posição assumida pelo elemento sensor da mesa digitalizadora (abscissa), o erro de linearidade (ordenada) será a diferença entre a posição real do sensor e a posição fornecida como resultado pela mesa. Obviamente, para que a especificação seja válida, a posição real do sensor deve ser conhecida com uma exatidão melhor do que a resolução da mesa. Esta

forma gráfica de expressão de erros é duplamente vantajosa, pois enseja a rápida visualização dos efeitos dos erros que serão discutidos a seguir, além de permitir a fácil obtenção de dados complementares para o cálculo da exatidão do processo de medição.

### 6.1 Tipos de erro

Embora as causas e fatores que os influenciam sejam inúmeros, os erros apresentados pelo método de captação capacitiva podem ser agrupados em torno de dois tipos genéricos, que são:

- a) Erros inerentes ao princípio de captação capacitivo e
- b) Erros devidos aos circuitos de medição.

Os erros do primeiro tipo, via de regra, são previsíveis, repetitivos e, na maior parte dos casos, tratáveis através de programas de simulação. São dependentes, principalmente, de características geométricas do sensor e do reticulado. Por conseguinte, permanecem estáveis ao longo do tempo.

Já os erros devidos aos circuitos de medição só podem ser discutidos de forma qualitativa, em vista das poucas ferramentas até hoje disponíveis para sua melhor caracterização. Uma particular exceção a esta afirmativa é o caso do estudo de filtros.

Não se pode eleger um determinado tipo de erro como sendo o mais importante ou significativo. O certo é que todos os tipos de erros que serão mencionados a seguir estarão sempre presentes. Cumprirá ao projetista do sistema tomar as devidas providências para minimizá-los. Pode-se adiantar, entretanto, que a melhor arma para o combate aos erros devidos aos circuitos de medição é a adoção de técnicas e tecnologias de ponta, visando aproximar o funcionamento de cada sub-circuito de seu comportamento ideal, além do emprego generalizado de blindagens elétricas. Tomando-se es-

tas precauções com a devida competência, pode-se afirmar que, a menos dos circuitos de filtragem, os demais circuitos passarão a ter influência desprezível sobre o erro de linearidade da mesa. O filtro foi colocado à parte porque não é importante tão somente a sua implementação, mas também a correta escolha de suas características. Disto tudo conclui-se que a melhor maneira de se verificar a eficácia das medidas adotadas será a própria medição "in loco", obtida como resultado da implementação da mesa. A descrição dos erros a seguir e suas causas irá permitir ao projetista experimentado escolher quais os parâmetros que devem ser otimizados em cada bloco do sistema.

#### 6.1.1 Erros inerentes ao princípio de funcionamento

##### 6.1.1.1 Erro de assimetria nas bordas do reticulado

O reticulado possui dimensões físicas finitas. Isto implica que o campo elétrico gerado pelas linhas não varia linearmente com o inverso da distância, passando a depender da distância entre cada linha e a borda da mesa. A figura 6.1 ilustra a tensão captada por um elemento sensor de formato cilíndrico em função da distância que o separa das linhas de um reticulado formado por 64 linhas separadas por uma distância de 3mm. O sensor foi deslocado ortogonalmente em relação às linhas, tendo sido mantido praticamente no mesmo plano do reticulado. Além disso, excitou-se somente uma linha de cada vez, mantendo-se as demais conectadas à massa. São mostrados os resultados obtidos desde a 6ª até a 12ª linha.



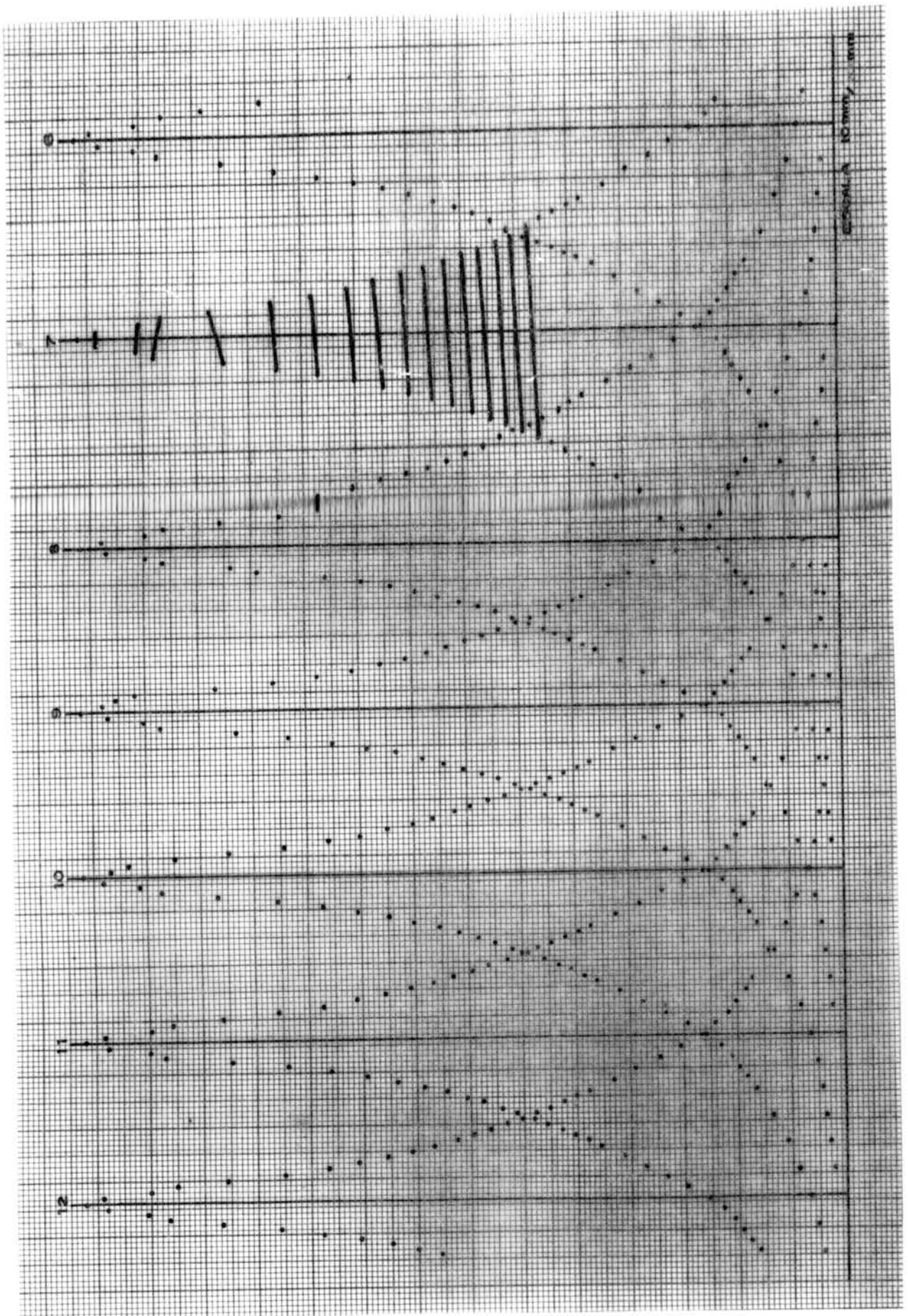
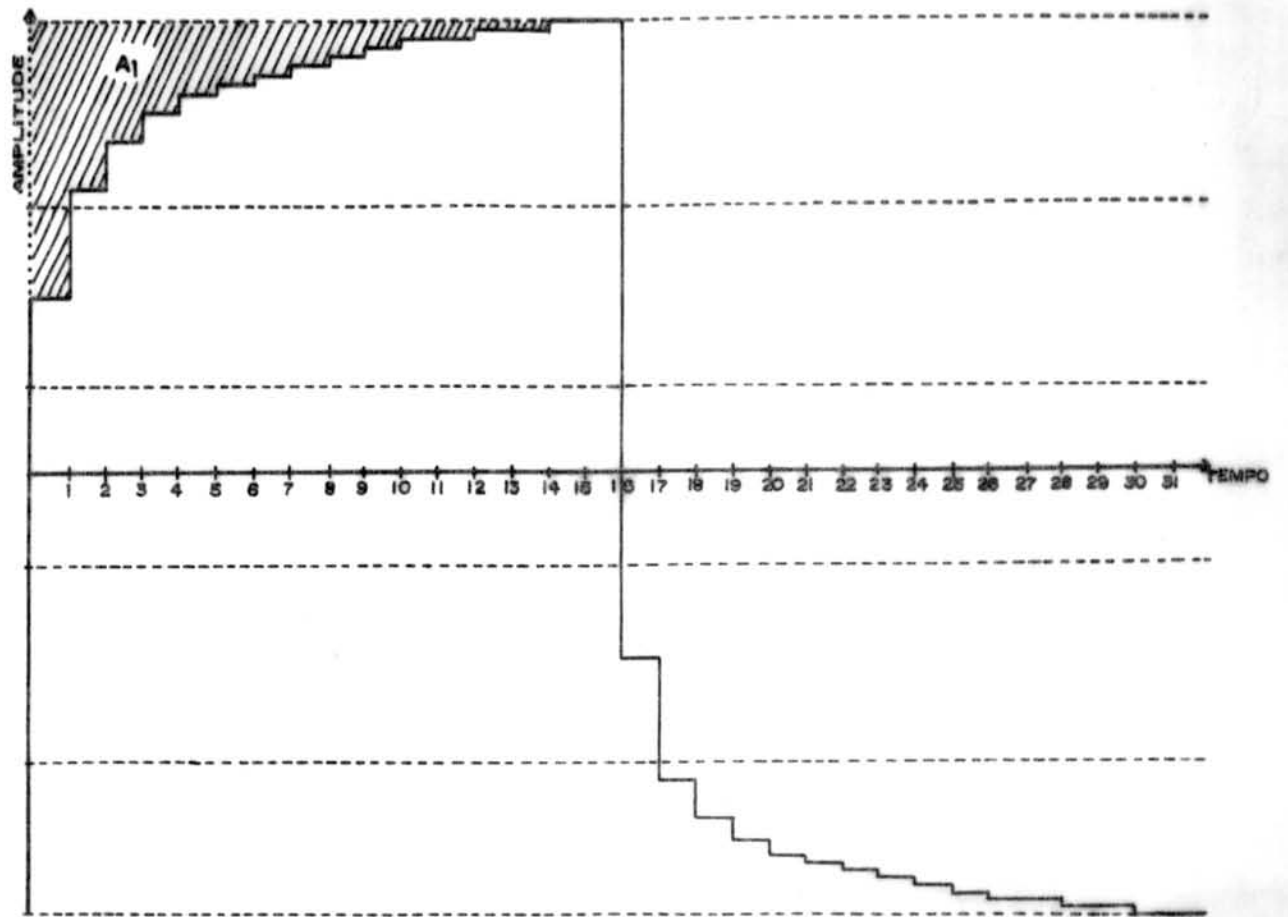


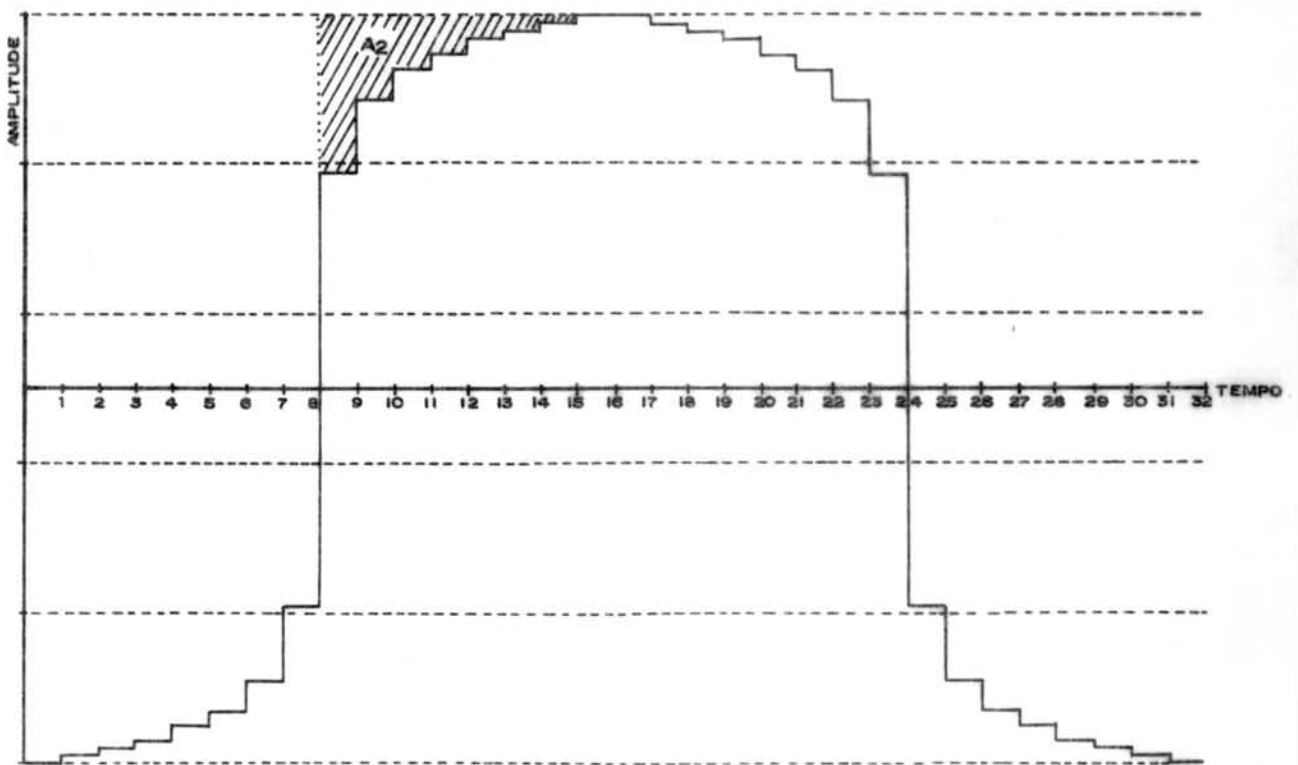
Figura 6.1 Tensão captada sobre um reticulado em função da distância às bordas

Repare-se que, caso não houvesse assimetria, interligando-se os pontos à direita e à esquerda de cada linha, obter-se-iam linhas horizontais ou formando ângulos pequenos e tais que sua média tendesse a zero. No entanto, observando-se a interligação feita na linha de número 7, nota-se clara tendência de declividade para um lado. Esta tendência é tanto mais acentuada quanto menor a distância da linha em relação à borda do reticulado. Além disso, ela é simétrica em relação ao início e ao fim do reticulado, e somente se anula no seu centro, pois esta é a única posição em que realmente há simetria. É de se esperar, portanto, que este erro atinja seu valor máximo (em módulo) no início e no fim do reticulado, passando por zero no seu centro.

A consequência da assimetria sobre a forma de onda do sinal captado está evidenciada na figura 6.2(a), onde é mostrado o sinal captado exatamente sobre a primeira linha de um reticulado com 17 linhas, separadas de 16mm. É interessante comparar-se esta figura com a figura 6.2(b), que corresponde ao sinal recebido no centro do mesmo reticulado. O erro de linearidade introduzido corresponde à diferença das suas áreas hachuradas  $A_1$  e  $A_2$ .



(a)



(b)

Figura 6.2 Assimetria do sinal captado (a) nas bordas da mesa em relação ao centro da mesa (b)



Outro fato a ser salientado nas curvas da figura 6.1 é a ligeira quebra em seu suave declínio sempre que o sensor está posicionado sobre outra linha que não a que está sendo excitada. Isto se deve ao fato da linha não energizada representar uma capacitância adicional para a massa, formando um divisor capacitivo e diminuindo a tensão captada. Esta pequena alinearidade na lei de acoplamento é evitada fazendo-se a capacitância de entrada do amplificador do sensor ( $C_L$ ) muito maior do que a capacitância de acoplamento entre o sensor e qualquer linha ( $C_i$ ). Neste caso, a tensão recebida é dada por:

$$V_o = \frac{C_i}{C_i + C_L} \cdot V_i, \text{ onde}$$

$V_i$  é a tensão de excitação da linha  $i$ .

Se  $C_L \gg C_i$ ,  $V_o \approx V_i$ , então obtém-se:

$$V_o \approx \frac{C_i \cdot V_i}{C_L},$$

que não possui mais a forma de divisor de tensão capacitivo.

De uma forma genérica o erro de assimetria nas bordas da mesa assume a forma mostrada na figura 6.3.

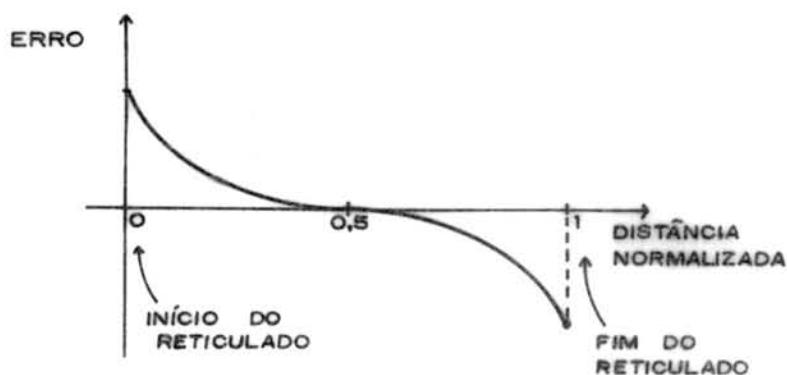


Figura 6.3 Forma da curva de erro de assimetria nas bordas

Não é possível eliminar-se totalmente o erro de assimetria nas bordas e este será tanto maior quanto menor for a distância que separa as linhas, visto que somente as linhas mais próximas contribuem efetivamente na formação do sinal captado. Porém, por este mesmo motivo, ao mover-se o sensor em direção ao centro do reticulado, mais rapidamente chega-se a uma condição aproximada de simetria. Isto vale dizer-se que, quanto menor a separação das linhas, mais rapidamente converge o erro de assimetria nas bordas, para um valor aceitável próximo a zero. Esta é uma das razões principais para se optar por reticulados com alta densidade de linhas.

Desta maneira, na prática, utiliza-se somente a parte central da mesa, sendo as zonas de maior erro desperdiçadas ou usadas como cardápio, visto que esta aplicação prescinde de maior resolução e, em consequência, os erros passam a ser de menor importância.

Este erro de linearidade assume valores máximos que, normalmente, não são maiores do que a distância que separa as linhas do reticulado. Estes são dados práticos obtidos através de medições e confirmados pelos programas de simulação rodados para diversas configurações de reticulados possíveis. Existem, no entanto, diversas medidas que podem ser adotadas para fazer com que ocorra uma convergência mais rápida, até que sua presença possa ser desconsiderada.

Uma primeira solução seria tentar-se a utilização de uma lei de acoplamento capacitiva cuja variação fosse mais brusca (ou seja, cujo módulo do expoente fosse maior). Assim, as linhas mais próximas do sensor teriam maior participação sobre o sinal captado, em detrimento das mais afastadas. Isto faria com que o erro convergisse mais rapidamente para zero à medida em que o sensor fosse levado em direção ao centro da mesa. No entanto, a lei de acoplamento depende largamente das características geométricas do elemen-

to sensor, não sendo facilmente manipulável. Por outro lado, não sendo inversamente proporcional à distância, ela irá introduzir erros no processo de interpolação linear que permitirá obter-se as coordenadas entre as linhas do reticulado, conforme será visto em capítulo subsequente.

Outra forma seria a atribuição de pesos maiores às linhas da borda na formação do sinal captado. Esta ponderação pode ser obtida diminuindo-se a distância entre as linhas nas bordas ou aplicando-se-lhes excitações de amplitude superior às demais. Algumas tentativas de simulação mostraram bons resultados com estas técnicas. Sabe-se também que existem mesas comerciais que utilizam até 3 linhas da borda interligadas com o intuito de maximizar sua influência.

Existe ainda uma solução alternativa muito interessante, que tende a linearizar a lei de acoplamento, ao mesmo tempo em que dá ênfase ao sinal captado das linhas mais próximas. Trata-se da construção do elemento sensor na forma de um cursor, conforme figura 6.4 /HET 78/.

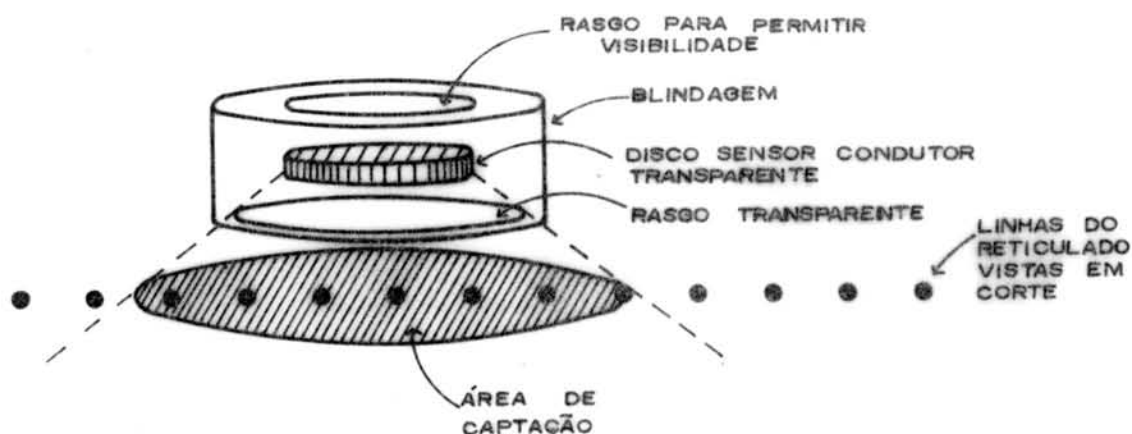


Figura 6.4 O cursor como elemento sensor

Devido à blindagem externa, o cursor capta somente o sinal proveniente das linhas que lhe estão imediatamente abaixo ou muito próximas. Assim, desde que ele esteja posicionado numa região do reticulado tal que as linhas cu-

bram toda a sua superfície de captação, pode-se afirmar que ele se encontra numa condição de simetria e, portanto, o erro devido à assimetria nas bordas é nulo.

O cursor circular possui ainda outras vantagens, que serão devidamente abordadas quando da discussão de outros tipos de erro.

#### 6.1.1.2 Erros devidos às condições de contorno das bordas

Além das dimensões finitas do reticulado, outros problemas associados com as bordas da mesa surgem com a introdução de componentes ativos nas terminações das linhas e com a inclusão de tampas de proteção de material condutor.

Devido a problemas mais ligados à engenharia de produção, é comum colocar-se os circuitos de excitação das linhas junto a estas, nas bordas da mesa. A presença destes componentes quebra a simetria proposta pelo reticulado, gerando alterações nos campos elétricos e sendo, portanto, causa de erros. Usualmente este inconveniente é combatido utilizando-se blindagens elétricas, feitas de material condutor e interligadas à massa comum do sistema. Estas blindagens, comumente, se constituem na própria tampa superior da mesa, e também distorcem o campo elétrico. No entanto, a simetria não é quebrada desde que levada em consideração a forma geométrica da blindagem e os erros assim introduzidos, via de regra, podem ser desprezados frente ao erro de linearidade devido à assimetria do reticulado nas bordas.

#### 6.1.1.3 Erro de linearidade entre linhas do reticulado devido à altura do sensor

O processo de interpolação linear do valor das coordenadas apontadas entre duas linhas quaisquer do reticulado pressupõe que, ao movimentar-se o elemento sensor, o somatório das distâncias que o separam de cada linha se mantenha constante. Na figura 6.5 apresenta-se um elemento sen-

sensor puntiforme colocado no mesmo plano do reticulado, cujas linhas aparecem de perfil (vista em corte de um eixo apenas), sendo consideradas unidimensionais.

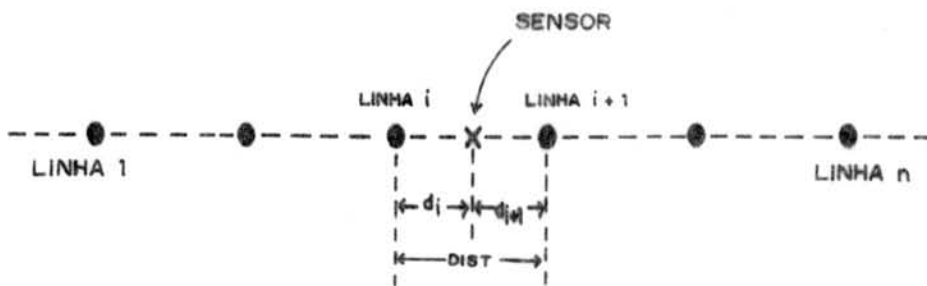


Figura 6.5 Caso particular em que o sensor repousa sobre o plano do reticulado

A distância que separa o sensor de uma linha genérica  $i$  é representada por  $d_i$ , podendo ser positiva ou negativa, de acordo com algum critério. Na figura 6.4 convencionou-se o valor  $d_i$  como sendo positivo e  $d_{i+1}$  como sendo negativo. Repare-se que, seja qual for a posição assumida pelo sensor, obter-se-á sempre a igualdade

$$\text{DIST} = d_i - d_{i+1}, \text{ onde}$$

DIST é a distância que separa as linhas.

Um raciocínio semelhante pode ser aplicado às demais linhas, de modo que fica assim evidenciada a linearidade da variação das distâncias em relação ao posicionamento do sensor. Obviamente, esta linearidade não é suficiente para eliminarem-se os erros de interpolação, tendo-se em vista que a lei que rege o acoplamento capacitivo não é linear.

Numa implementação real, porém, deve-se levar em conta tanto as dimensões físicas do sensor e linhas do reticulado, como a altura do sensor em relação ao plano da mesa. Todos estes fatores, em especial o último mencionado, contribuem para que o somatório das distâncias não permane

ça constante, gerando erros que são mostrados na figura 6.6.

O erro é fornecido como sendo um percentual da distância que separa as linhas. Seu valor tende a zero quando a altura do sensor é muito pequena ou muito grande em relação à distância de separação. Além disso, por questões de simetria, ele se anula sobre as linhas e a meio caminho entre estas. Os resultados foram obtidos através de simulação, onde o sensor foi sempre considerado puntiforme.

A amplitude dos erros é relativamente elevada, não podendo ser desprezada. Este é mais um dos motivos para se dar preferência a reticulados com alta densidade de linhas. É interessante, ainda, atentar-se para o fato de que o cursor, devido à sua forma geométrica e dimensões normalmente maiores do que a distância que separa as linhas, é muito menos propenso a introduzir este tipo de erro. Por este motivo, aliado ao fato de possuir um sistema de blindagem elétrica mais eficaz, deve ser escolhido em detrimento da ponteira sensora (caneta), nas aplicações que exijam baixos erros de linearidade.



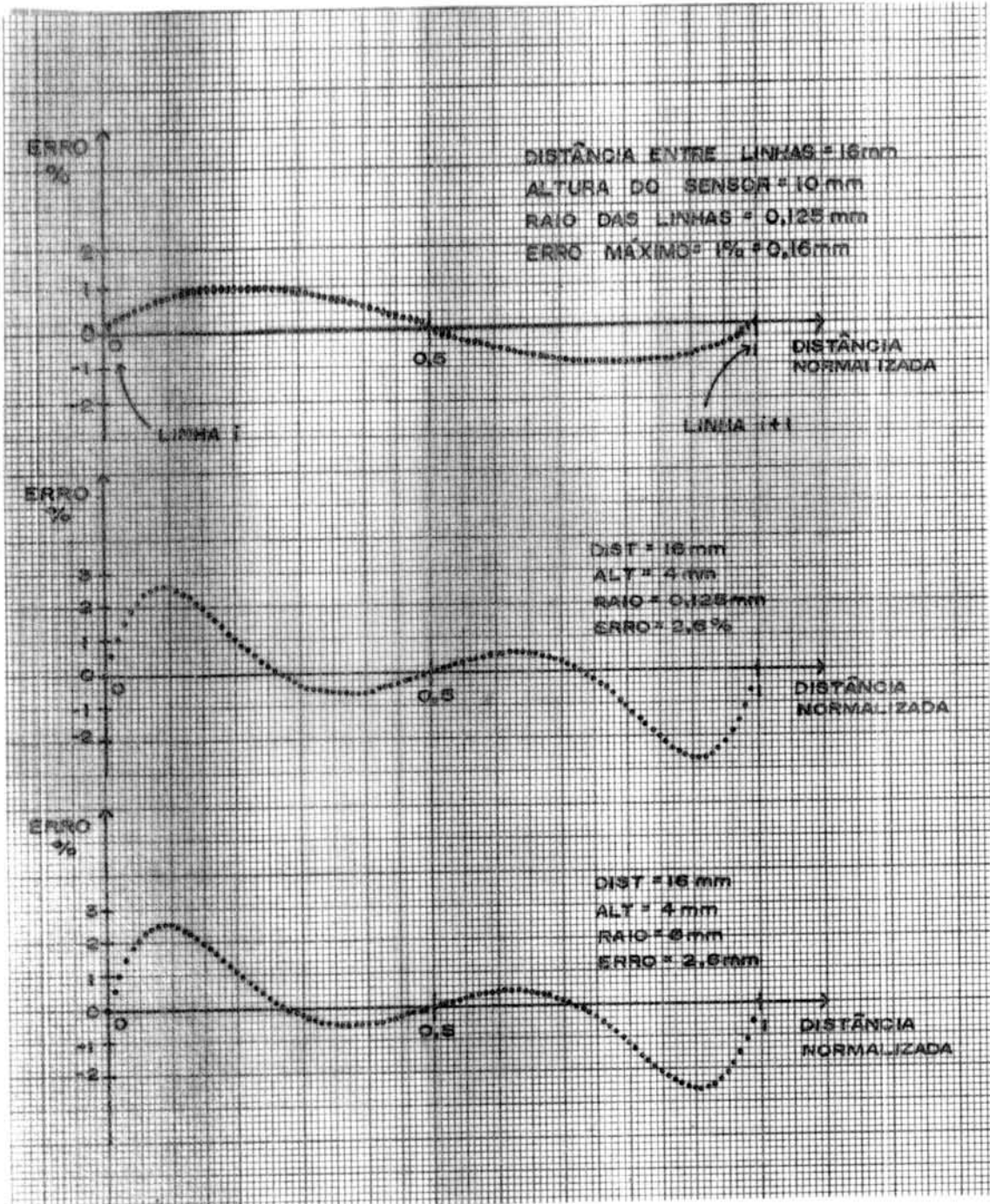


Figura 6.6 Curvas de erro devidas à altura do sensor em relação ao reticulado e às dimensões físicas do sistema

#### 6.1.1.4 Erro de linearidade entre linhas do reticulado devido à alinearidade da lei de acoplamento capacitivo

A interpolação linear das posições situadas entre duas linhas do reticulado pressupõe que a lei que regula o acoplamento entre o reticulado e o sensor seja inversamente proporcional à distância, a menos de pequenas discrepâncias, como a apresentada no subitem anterior. A prática tem demonstrado que as formas geométricas do elemento sensor são as maiores responsáveis pelas características de acoplamento. Assim, utilizando-se cursos circular, obtém-se uma boa aproximação para com o capacitor de placas paralelas, sendo, então, a capacitância de acoplamento inversamente proporcional à distância /HAL 70/. Na maioria dos casos, porém, a lei possui alguma componente cuja variação é logarítmica, o que implica que as linhas mais próximas exercem influência com maior peso ou ponderação do que as mais afastadas. Esta alinearidade provoca erros repetitivos de interpolação entre as linhas, cuja forma genérica aparece na figura 6.7.

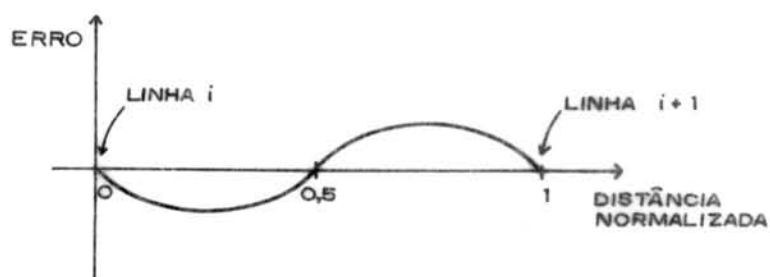


Figura 6.7 Erro de linearidade entre as linhas do reticulado devido à alinearidade da lei de acoplamento capacitivo



A forma da curva se aproxima de uma senóide, sendo oportuno frizar-se que, devido a condições de simetria, este erro se anula quando o sensor é colocado exatamente sobre uma linha ou a meio caminho, entre duas linhas quaisquer.

Neste raciocínio foi totalmente desprezado o erro presente nas bordas do sistema. Isto é importante porque, na medida em que os erros não repetitivos entre linhas possam ser desprezados e, portanto, não afetam a forma da curva de erro de linearidade, os demais erros repetitivos podem ser compensados através de um tratamento "a posteriori", efetuado pela unidade de controle ou pela própria máquina hospedeira à qual está vinculado o sistema.

Uma possibilidade interessante e ainda não totalmente explorada reside no fato de que o formato circular do cursor gera um erro aproximadamente senoidal e oposto ao causado pela alinearidade da lei de acoplamento, tendendo a cancelá-lo. As amplitudes podem ser feitas iguais mediante a escolha criteriosa (experimental) do diâmetro do sensor e da separação entre as linhas. De qualquer forma, este erro sempre vai tender a ser minimizado na medida em que a distância entre linhas decrescer.

#### 6.1.2 Erros devidos aos circuitos de medição

##### 6.1.2.1 Erros de varredura

De acordo com o exposto em capítulos anteriores, a geração correta da varredura irá permitir a captação de um sinal cuja fase será usada para medir-se a posição do sensor.

Os fatores importantes na varredura são a amplitude da excitação e a sua temporização.

A menos de eventuais distorções introduzidas intencionalmente nas bordas, com o intuito de minimizar erros, todas as excitações de linhas devem ser de mesma ampli

tude. Isto exclui a lógica TTL tipo "totem-pole" dos candidatos a acionador de linha. São indicados para esta tarefa os circuitos TTL tipo "open-collector" (coletor aberto), com a vantagem adicional de permitirem maiores excursões de tensão de saída em algumas versões. Quanto a este aspecto, ainda, especial atenção deve ser dada ao desacoplamento das fontes de alimentação, cuja ondulação ("ripple") irá fatalmente se manifestar sobre a tensão de excitação. Embora a amplitude dos erros assim introduzidos não possa ser matematicamente formulada, é possível combatê-los a ponto de se tornarem desprezíveis. Para isto, basta que o filtro utilizado para conformar os sinais captados seja do tipo passa-banda, com largura de banda estreita. Sugere-se a adoção de filtros de 3ª ou de 4ª ordem.

Por outro lado, a temporização dos sinais de varredura pressupõe sincronismo nas transições dos acionadores. Qualquer erro de sincronismo da ordem de grandeza do período do relógio do sistema poderá trazer consigo erros na contagem dos tempos de propagação da varredura. Isto impede a utilização, na maior parte das vezes, da tecnologia CMOS na função de excitação e restringe os circuitos combinacionais em TTL a um número limitado de portas lógicas em série.

#### 6.1.2.2 Erros no amplificador de entrada

O amplificador que recebe o sinal proveniente do sensor capacitivo normalmente é causador de erros por ser gerador de ruído de banda larga, por apresentar oscilações ("overshoot") na resposta a transitórios, por ser sensível à ondulação da fonte de alimentação e por apresentar alinearidades, ainda que pequenas, na sua função de transferência (ou seja, por distorcer o sinal que lhe é aplicado na entrada).

Quanto aos três primeiros problemas, via de regra, os filtros que seguem o amplificador de entrada os eli

minam a ponto de poderem ser desprezados. Além disso, a sensibilidade à ondulação da fonte e os níveis de distorção requerem o estudo de uma topologia de circuito adequada, bem como a correta filtragem das fontes. Visto que a amplitude dos sinais captados geralmente é pequena (algumas dezenas de milivolts), e que os ganhos dos estágios de entrada são próximos da unidade, a ailinearidade introduzida por estes circuitos não se constitui em maior fonte de problema. Porém, deve-se ter sempre bem em mente que amplificadores com elevados índices de distorção devem ser evitados.

#### 6.1.2.3 Erros no filtro

O filtro cumpre a dupla finalidade de conformar os sinais, para permitir a interpolação, e filtrá-los, para ajudar a eliminar eventuais ruídos e interferências (da rede elétrica e das fontes de alimentação, por exemplo) captados pelo sensor.

Já foram apresentadas no capítulo 4 as características ideais para o filtro. Nas implementações reais, porém, é difícil controlar-se as características de amplitude e fase ao mesmo tempo. A solução mais simples consiste em construir-se um filtro tipo passa-banda com a largura da banda de passagem muito estreita e entrada na frequência do sinal  $F_0$ . Desta maneira, é possível aproximar-se a característica ideal, filtrando-se todas as frequências exceto a fundamental. Neste caso, a forma de onda à saída do filtro seria sempre senoidal e o atraso introduzido seria constante, visto que aplicado sobre uma resultante de frequência única, sem harmônicas.

As características de fase são extremamente importantes durante a medida de referência. Devido às divergências do conteúdo harmônico das formas de onda quadrada (gerada na medida de referência) e em escala (gerada durante a varredura convencional), se o filtro não possuir banda de passagem extremamente estreita ou se não for linear em fa-

se, necessariamente estará comprometida a exatidão do referencial obtido. Além disso, em virtude das alterações na forma de onda captada introduzidas pelo erro de assimetria nas bordas, as características do filtro irão influir tanto sobre a amplitude deste erro como sobre a do erro de linearidade entre as linhas do reticulado, conforme figura 6.8.

A curva da figura 6.8 foi obtida através da simulação de uma mesa com as seguintes características:

- a) Distância entre linhas = 16mm.
- b) Altura do sensor em relação ao plano do reticulado = 4mm.
- c) Número de linhas = 17.
- d) Comprimento de onda de varredura = 512mm.
- e) Filtro tipo "Butterworth", passa-baixas de 4ª ordem, com frequência de corte igual à frequência do sinal  $F_0$ .

Repare-se que o erro não é nulo exatamente no centro da mesa (há uma ligeira assimetria da curva em relação ao eixo das abcissas). Isto é de se esperar sempre que a medida de referência apresente alguma incorreção. Por outro lado, o erro de linearidade entre as linhas aumenta à medida em que o cursor se aproxima das bordas. Além disso, o erro de linearidade devido à assimetria nas bordas é elevado. Estes são resultados obtidos através de uma simulação com dados específicos.

A simulação com outros tipos de filtros permitiu concluir-se que:

- a) O erro de linearidade entre as linhas tende a aumentar sempre que a largura da banda-passante do filtro é aumentada e não se tomam os devidos cuidados com suas características de fase.

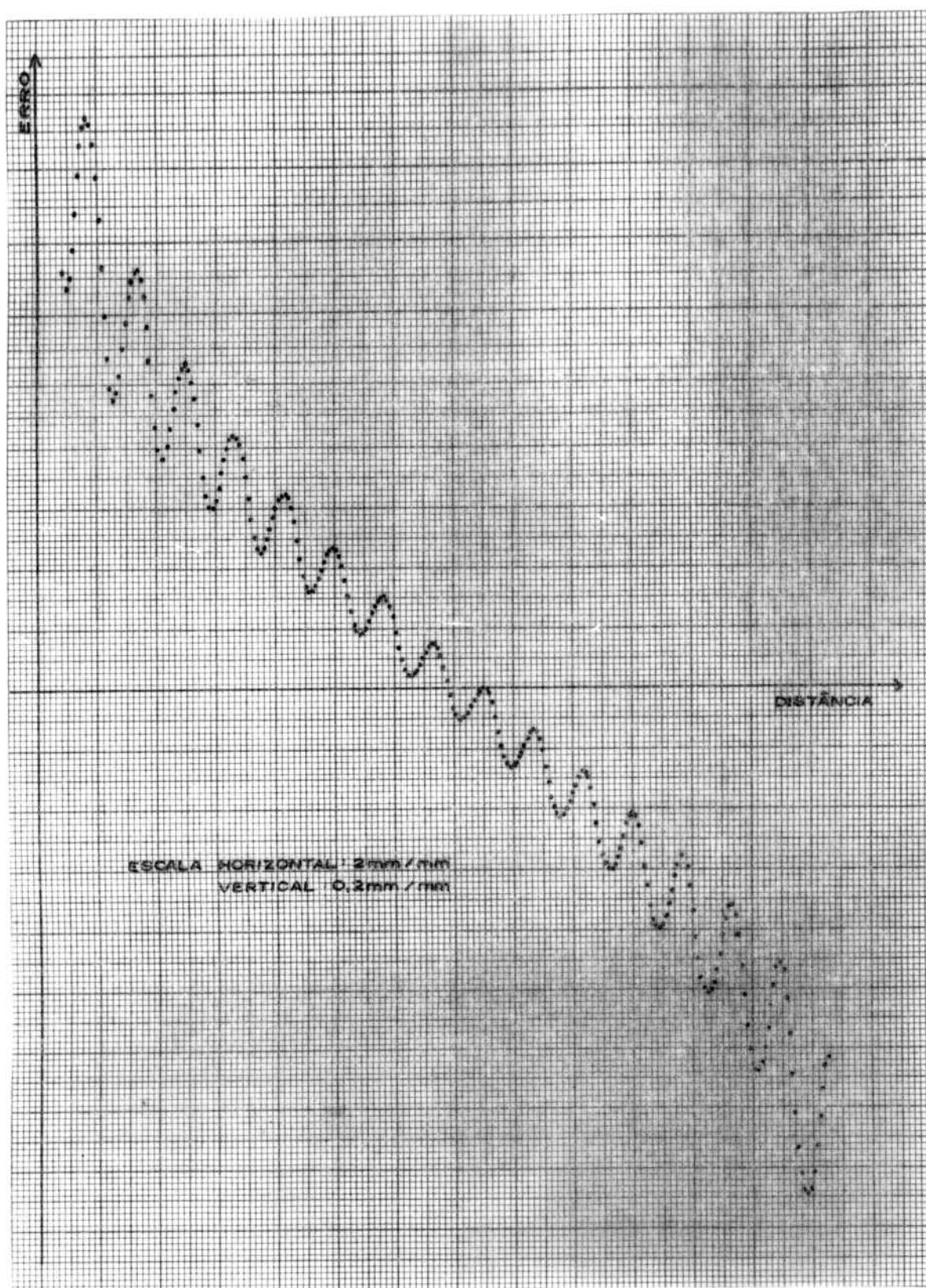


Figura 6.8 Influência do filtro sobre os erros de linearidade



b) O erro devido à assimetria nas bordas converge mais rapidamente para zero sempre que a largura de banda do filtro é aumentada.

c) A maior ou menor amplitude dos erros de linearidade entre linhas do reticulado nem sempre se concentra nas bordas. É possível obter-se erros com amplitudes máximas aproximadamente constantes ou com os valores máximos aglutinados num dos lados da mesa.

Esta última constatação é importante e reforça a idéia de que, na prática, a melhor solução é implementar-se um filtro com banda de passagem estreita. Uma vez que os erros afetam a forma de onda do sinal captado e, conseqüentemente, seu conteúdo harmônico, é extremamente interessante que o filtro seja o mais insensível possível a este conteúdo.

Deve-se ter sempre em mente, ainda, que cada vez que um parâmetro de varredura é alterado, ou na passagem de varredura de um eixo para outro, ocorre uma transição de fase no sinal captado. Em conseqüência disso, deve-se esperar pela estabilização do sinal de saída do filtro. O tempo de estabilização ou de assentamento varia de acordo com as características do filtro escolhido e é um tanto difícil de ser calculado. A literatura pertinente ao assunto é extremamente escassa e incompleta, razão pela qual sugere-se a sua medição para cada configuração em particular, o que garante a sua não participação nos resultados das medições de posição.

Por último, resta salientar-se ainda que os filtros ativos construídos com amplificadores operacionais estão sempre sujeitos aos efeitos nocivos da ondulação da fonte de alimentação, requerendo-se, portanto, especial atenção na sua confecção.

#### 6.1.2.4 Erros no comparador

Via de regra, os circuitos comparadores ou detectores de cruzamento por zero apresentam dois problemas ligados à forma de onda de entrada.

Um deles é a histerese, normalmente empregada para impedir o surgimento de oscilações espúrias, mas que, ao mesmo tempo, impede o reconhecimento de sinais de amplitude muito pequena. Isto significa dizer-se que, ao invés de detectarem o cruzamento por zero, detectam um entorno ou vizinhança que pode comprometer a exatidão da medição.

O outro refere-se ao tempo de propagação dos circuitos. Geralmente, sinais com maior amplitude e com maior taxa de variação são detectados em menor tempo do que sinais com estas características menos acentuadas, e isto independentemente da histerese aplicada ao circuito. Utilizando-se na sua implementação os melhores componentes comerciais disponíveis, pode-se negligenciar estes erros.

É importante reparar-se ainda que, devido ao fato de desejar-se reconhecer o ponto de cruzamento com boa exatidão, é necessário eliminar-se a influência de ruídos e interferências ao máximo, principalmente levando-se em conta que o comparador é colocado após o filtro e, por conseguinte, não usufrui de suas vantagens.

#### 6.1.3 Outros tipos de erro

Existem diversas outras fontes de erros que poderiam ser enquadradas nas duas categorias citadas anteriormente, mas que não o serão por tratarem-se de causas secundárias, geralmente de pouca importância e por possuírem um tratamento um tanto complexo.

##### 6.1.3.1 Assimetria introduzida pelo elemento sensor

O elemento sensor é construído utilizando-se diversos materiais heterogêneos, tais como vidro, plástico,

metais, etc... A presença do sensor sobre a mesa altera a configuração do campo elétrico sendo, portanto, uma fonte em potencial de erros. A melhor solução a adotar nestas situações consiste em construir-se o elemento sensor com o máximo de simetria possível em relação ao seu eixo central.

#### 6.1.3.2 Espaçamento desigual entre as linhas do reticulado

O erro de espaçamento entre as linhas é equivalente a ponderar-se o sinal emitido pela linha proporcionalmente ao erro de posição, levando-se em conta a lei de acoplamento linhas/sensor.

O erro assim introduzido fica ainda atenuado, devido ao fato de o sinal recebido ser um somatório do sinal gerado por todas as linhas. Na prática, pode ser usado com vantagem para diminuir-se o erro devido à assimetria das bordas do reticulado.

#### 6.1.3.3 Erros devidos à introdução de materiais sobre a superfície da mesa

Qualquer material colocado sobre a mesa é capaz de afetar o campo elétrico proveniente da varredura e, por conseguinte, alterar a lei de acoplamento sensor/reticulado.

Em especial, deve-se evitar os materiais condutores elétricos, mesmo que de baixa condutividade, tais como grafite, tintas condutoras e papel umedecido. A mão que manipula o sensor deve sempre provir do lado oposto à direção da varredura.

Por outro lado, a introdução de materiais dielétricos também altera as capacitâncias de acoplamento, razão pela qual deve ser evitada, a menos que seja homogênea sobre toda a superfície da mesa.

Estas restrições, principalmente no que diz respeito à manipulação do sensor, podem gerar certas limita-



ções no processo interativo de aquisição de coordenadas, sendo sua extensão normalmente imprevisível e difícil de ser tratada metodicamente.

#### 6.1.3.4 Influência da temperatura

A temperatura altera as características dielétricas dos meios e afeta o funcionamento dos circuitos eletrônicos. Além disso, pode provocar alterações nas dimensões do reticulado, devido ao seu coeficiente de dilatação com a temperatura. Por este motivo é comum construírem-se os reticulados solidários a lâminas de vidro ou fibras de vidro, que lhes servem ainda como elemento de proteção em relação ao meio ambiente.

#### 6.1.3.5 Erros devidos ao movimento do sensor

Uma vez que as medidas de posição em cada eixo são feitas em tempos distintos, pode ocorrer o caso de que entre uma e outra medição o sensor tenha se movimentado mais do que a unidade de resolução do sistema, gerando um erro. Normalmente, porém, este erro é desprezado, pois quando se deseja grande exatidão o posicionamento do sensor é feito de forma lenta. Em /CAR 78/, entretanto, apresenta-se um método de correção engenhoso, que leva em conta a variação (derivada) das coordenadas através do tempo para calcular a velocidade de manipulação do elemento cursor e compensá-la automaticamente.

O contínuo atrito entre o sensor e a superfície da mesa é capaz de gerar cargas estáticas que, durante a sua formação ou ao serem descarregadas através do sensor, podem influir na forma de onda do sinal captado.

Outro fator a ser levado ainda em conta é a variação de amplitude que sofre o sinal captado ao movimentar-se o sensor. A amplitude do sinal recebido é máxima quando o sensor está sobre uma linha e é mínima quando está entre duas linhas. O movimento provoca, portanto, uma modulação

em amplitude no sinal captado, o que, pode-se demonstrar matematicamente, introduz no sinal as frequências de modulação, capazes de alterar a forma de onda e gerar erros.

#### 6.1.3.6 Ruídos externos

Visto que são as variações no campo elétrico que são captadas pelo sensor capacitivo, é imprescindível que a mesa digitalizadora funcione afastada de quaisquer dispositivos que possam afetá-lo. As causas de erro podem ser ruídos ou interferência da rede elétrica, devendo-se tomar cuidado com transformadores e motores elétricos, lâmpadas fluorescentes, fontes de alimentação comutadas e eletrodomésticos em geral. A prática, no entanto, tem demonstrado que distâncias algumas dezenas de vezes maiores do que a que se para o sensor do reticulado podem ser consideradas seguras.

## 7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica aqui apresentada é adequada para a implementação de mesas digitalizadoras de elevada resolução, tipicamente melhor do que a precisão alcançada num processo manual de posicionamento. Por outro lado, mantendo-se alguns parâmetros físicos sob estrito controle, é possível atingir-se erros de linearidade da mesma ordem de grandeza da resolução adotada.

Na escolha de um tipo de mesa digitalizadora deve-se considerar com atenção suas características físicas e interativas, ponderadas de acordo com as finalidades específicas a que se destina. Em especial, pode-se citar os seguintes fatores:

- a) Resolução.
- b) Erro de linearidade.
- c) Repetibilidade, necessidade de ajustes e complexidade mecânica e elétrica.
- d) Durabilidade e resistência aos processos interativos ao longo do tempo.
- e) Sensibilidade a ruídos e interferências externas.
- f) Características de maneabilidade do cursor ou caneta apontadora utilizada.
- g) Velocidade de aquisição de dados.
- h) Facilidade de comunicação com a máquina hospedeira.
- i) Funções auto-contidas.
- j) Tipo de materiais que podem ser introduzidos sobre o reticulado.
  - l) Tamanho.
  - m) Peso.
  - n) Custo.

Em relação a todos estes fatores, o desempenho da mesa digitalizadora capacitiva é bom, sendo superado apenas

pelas mesas eletromagnéticas. Estas levam vantagem no que diz respeito à complexidade dos circuitos internos e por serem menos sensíveis quanto a introdução de materiais condutores sobre sua superfície. A principal diferença entre os dois sistemas consiste na forma como é feita a varredura e, em consequência, na forma de se captar os sinais. Tendo-se em vista a pouca literatura disponível sobre o assunto, julga-se interessante que futuras pesquisas se atenham ao método eletromagnético, no sentido de padronizar uma tecnologia.

Por outro lado, seria extremamente interessante a disponibilidade de recursos de micro-eletrônica para a construção dos blocos principais introduzidos quando da discussão do sistema controlado por microprocessador, apresentado no capítulo 5. A construção de blocos acionadores para um grande número de linhas em um único circuito integrado permitiria uma economia de número de componentes da ordem de quatro vezes, se comparada com uma implementação utilizando tecnologia TTL convencional. Além disso, esta seria uma solução barata, podendo ser desenvolvida a partir dos recursos deste próprio Curso de Pós-Graduação. Da mesma forma, em se adotando o princípio de captação eletromagnética, é possível integrar-se um grande número de chaves analógicas, utilizadas na varredura, muito embora, quanto a este aspecto, sejam disponíveis comercialmente circuitos com até 16 chaves. Esta integração traz também, como vantagem adicional, uma redução proporcional na complexidade das interligações entre os blocos.

Os resultados apresentados neste trabalho foram, em parte, obtidos através de programas de simulação. Outros são provenientes de medições diretas efetuadas sobre uma mesa protótipo.

O protótipo foi construído com duas finalidades:

- a) Verificar o correto funcionamento do princípio capacitivo, principalmente na parte referente a erros e
- b) Ser integrado aos demais recursos de Computa-

ção Gráfica disponíveis no "Laboratório de Software" deste Curso de Pós-Graduação.

Ambos os objetivos foram alcançados. A mesa está atualmente disponível aos usuários, interligada ao mini-computador HP2100, através de uma placa de interfaceamento com a sua extensão de barramento (descrita no Anexo 8). A mesa, bem como seu protocolo de transferência de dados é apresentada no Anexo 7. Além disso, no Anexo 6 são introduzidos alguns programas (exemplo) de utilização, escritos em linguagem ALGOL, bem como programas de apoio básico para o controle direto dos recursos disponíveis, incluindo a execução do protocolo de entrada e saída e habilitação do protótipo, escritos em linguagem "Assembly" do HP2100.

A construção de um dispositivo inicial de testes e a conseqüente medição de sua curva de erro de linearidade serviu de apoio fundamental na fase de modelagem e validação dos programas de simulação. A figura 7.1(a) apresenta a curva de erro medida até o centro do protótipo, enquanto que a figura 7.1(b) apresenta o resultado total fornecido pelo simulador. Note-se que o resultado simulado é sempre pior do que o real, porém, as tendências de ambos, em termos de erros de assimetria nas bordas e erro de linearidade entre linhas são sempre as mesmas. As divergências são justificáveis, devido às dificuldades de se simular as condições de contorno do reticulado. Além disso, no protótipo colocou-se uma linha adicional em cada borda e à pequena distância destas, com o intuito de fazer-se o erro convergir mais rapidamente, tendo sido obtido o êxito desejado. Outros fatores que não se levaram em conta foram as dimensões do elemento sensor (considerado puntiforme), pequenas divergências entre a implementação do filtro e seu modelo matemático e entre a lei de acoplamento capacitivo e a real. Uma limitação imposta, ainda, pela falta de recursos de modelagem é a ausência de erros causados pelos circuitos de medição. Contudo, e apesar destes pequenos inconvenientes, os programas de simulação foram validados, podendo-se afirmar

que seus resultados refletem fielmente a ordem de grandeza dos dados obtidos na prática. Sua principal vantagem consiste na fácil alteração dos parâmetros principais, permitindo assim a rápida visualização das tendências das curvas de erro em função de modificações nas principais características do reticulado e do filtro.



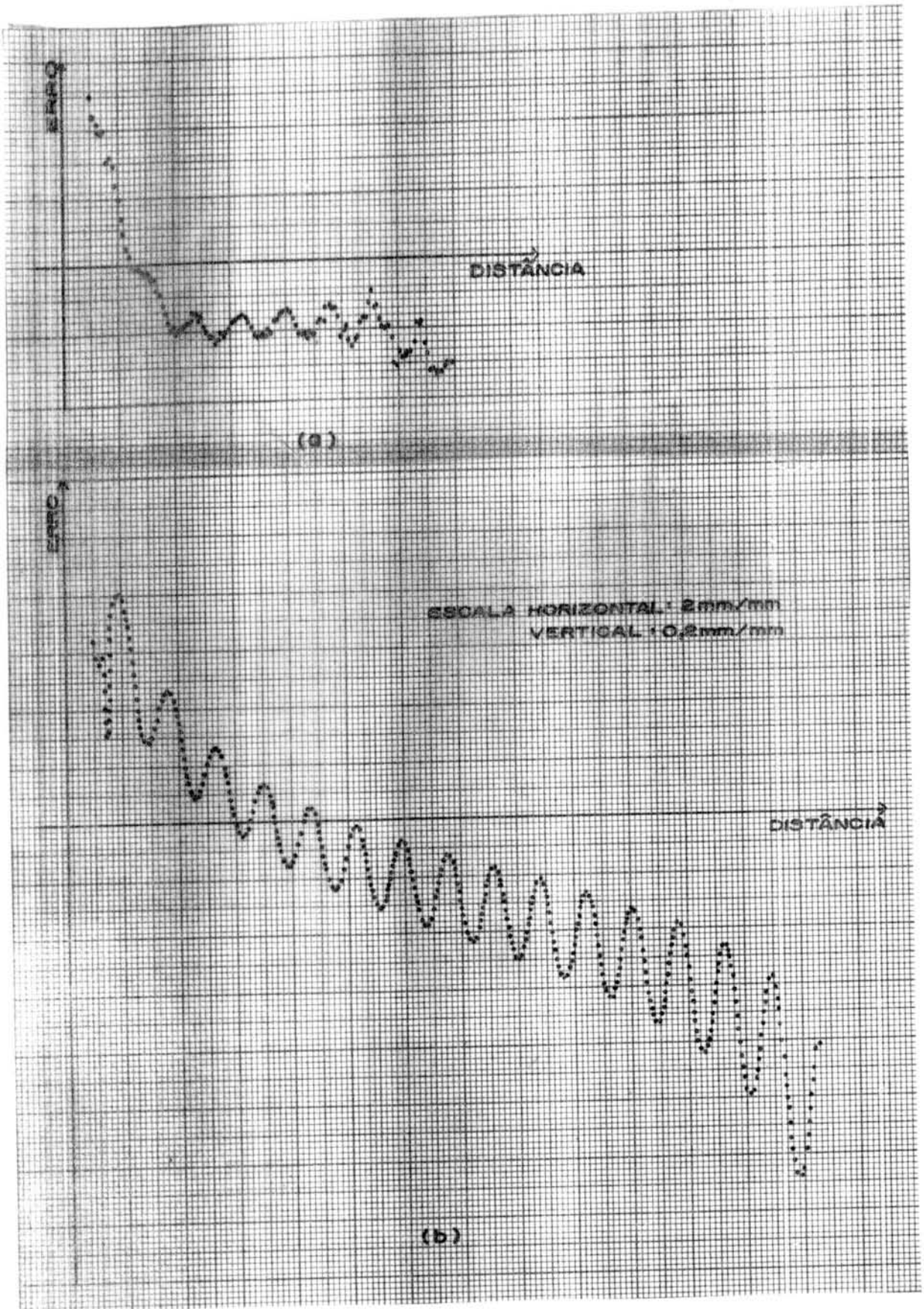


Figura 7.1 Curva de erro (a) medida no protótipo e (b) obtida através de simulação

O simulador implementado no mini-computador HP2100 foi segmentado em três partes, denominadas "SIM", "SIM1" e "SIM2". Este particionamento deveu-se à pouca disponibilidade de memória e para permitir a fácil alteração de parâmetros de entrada. O blocodiagrama que descreve as funções de cada subprograma aparece na figura 7.2.

Este particionamento permite que o programa SIM2 seja rodado sobre os resultados dos programas SIM e SIM1, sendo que estes podem ser rodados separadamente e sem uma estafante repetição de parâmetros de entrada.

As principais dificuldades que podem ser apontadas para a fabricação comercial de uma mesa digitalizadora usando a técnica capacitiva concentram-se principalmente na confecção do reticulado e do elemento cursor. O reticulado deve ser preciso, resistente e repetitivo. Os erros cometidos na separação das linhas devem ser da mesma ordem de grandeza dos erros de linearidade admitidos. Infelizmente ainda não se dispõe de uma tecnologia nacional de baixo custo para resolver este problema. Contudo, como as perspectivas de colocação deste produto no mercado parecem ser promissoras, espera-se que este impasse venha a ser brevemente solucionado pela indústria local.

Por outro lado, o elemento sensor na forma de um cursor exige que a parte sensora propriamente dita seja transparente, para permitir a visibilidade. Afortunadamente, já é dominada no Brasil a técnica de deposição de filmes condutores transparentes sobre vidro. Assim, espera-se que esta dificuldade seja superada com a absorção desta técnica pela indústria. É interessante lembrar-se, ainda, que o sistema eletromagnético apresenta dificuldades semelhantes para a construção destes mesmos elementos.

Outro fator que pode vir a se tornar um inconveniente grave é o tamanho da mesa, o que pode exigir um número elevado de linhas no reticulado, aumentando com isto o número de acionadores e diminuindo a velocidade de aquisi-



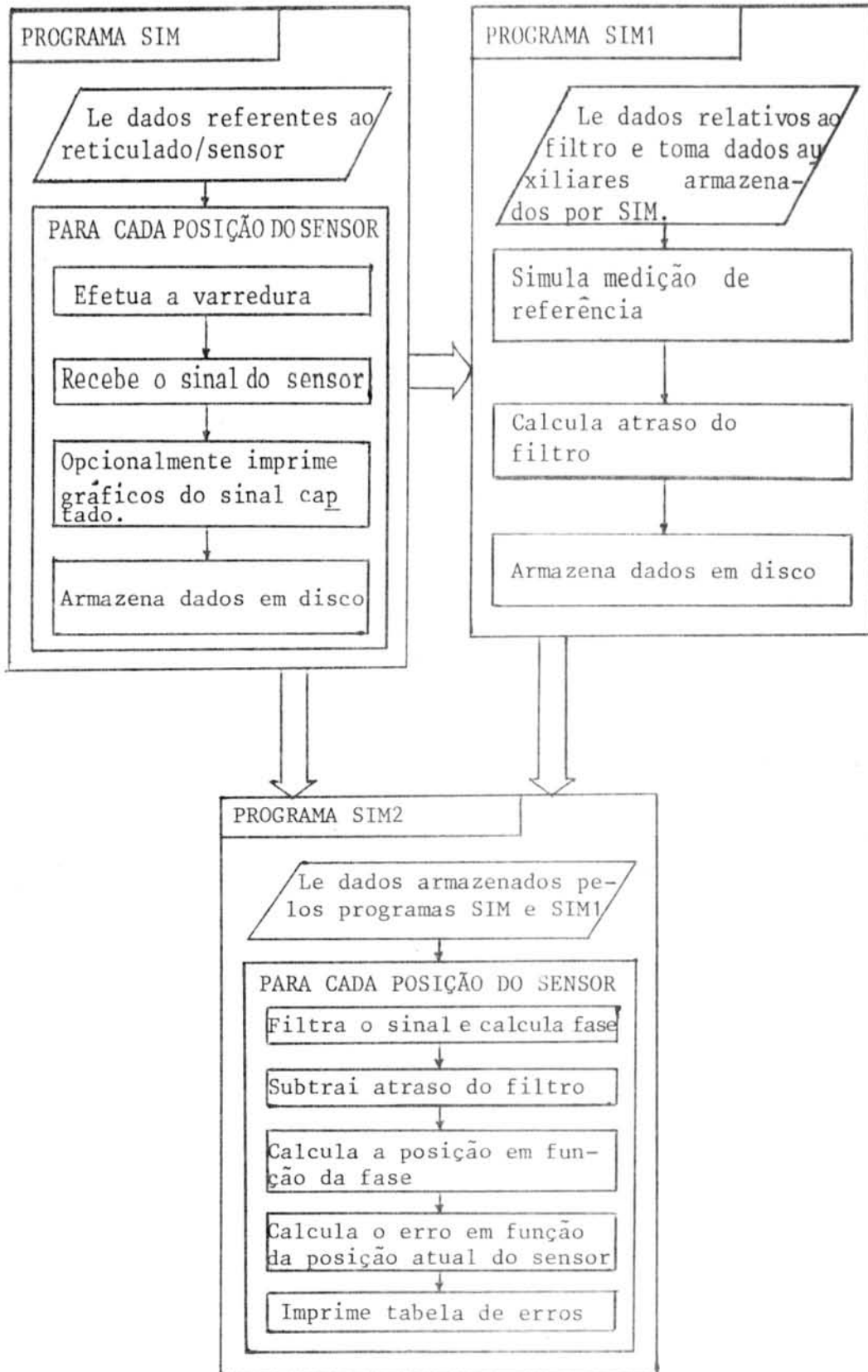


Figura 7.2 Blocodiagrama dos programas de simulação

ção de coordenadas. Recomenda-se, apenas como sugestão, que o número de linhas (por plano) do reticulado não ultrapasse 150, sob pena dos custos de material e de montagem tornarem-se proibitivos.

A utilização desta técnica não se limita às medições bidimensionais. Muito embora existam outras técnicas para a confecção de transdutores unidimensionais (lineares e angulares), nada impede que o sistema capacitivo seja utilizado em um eixo apenas. Da mesma forma, nada impede que as linhas sejam dispostas radialmente e que o cursor efetue um movimento tangencial sobre estas (solidário a um eixo, por exemplo). Assim, a indicação obtida passará a ser diretamente proporcional ao ângulo que o cursor forma com a linha pela qual a varredura é iniciada. Tem-se então um transdutor angular, com uma capacidade inata de interpolação de ângulos. Além disso, diversos fatores de erro citados anteriormente deixam de existir. Fazendo-se a primeira e a última linha coincidirem exatamente em posição, pode-se utilizar um comprimento de onda de varredura exatamente igual ao comprimento do círculo descrito pelo movimento do sensor. Devido, ainda, à simetria apresentada pelo conjunto, não existe o erro de assimetria nas bordas (não há bordas, pois o reticulado é contínuo). E, uma vez que o cursor mantém uma direção fixa em relação às linhas, através de sua geometria, que não necessita mais ser circular, pode-se compensar em parte o erro de linearidade entre as linhas. Estas possibilidades estão atualmente sendo investigadas com vistas à colocação no mercado de um transdutor angular com resolução de um grau ou melhor.

ANEXO 1 Programa "SIM"









```

BEGIN
  IF LINHA[1]=0 THEN BEGIN
    LINHA[1]:=1;
    SINAL:=1;
  END
  ELSE BEGIN
    LINHA[1]:=0;
    SINAL:=-1;
  END;

  IND:=1;
  X:=D[IND];
  ATRIBUIVALOR(X,YY,SINAL);
  SAIDA[J]:=SAIDA[J]+YY;
  IF I=1 THEN I:=2;
  CONT:=0;
END;
IF I<NUMLIN THEN
IF LINHA[I]#LINHA[I+1]
THEN BEGIN
  IND:=I+1;
  IF LINHA[I]=0 THEN SINAL:=-1
  ELSE SINAL:=1;
  LINHA[I+1]:=LINHA[I];
  X:=D[IND];
  ATRIBUIVALOR(X,YY,SINAL);
  SAIDA[J]:=SAIDA[J]+YY;
  IF I < NUMLIN THEN I:=I+1;
END;
END;
CONT:=CONT+1;
END;
MAX:=SAIDA[1];
MIN:=SAIDA[1];
FOR J:=2 TO (MEIOLAMBDA*2) DO
  SAIDA[J]:=SAIDA[J]+SAIDA[J-1];
FOR J:=1 TO (MEIOLAMBDA*2) DO
  BEGIN
    IF SAIDA[J]>MAX THEN MAX:=SAIDA[J]; &CALCULA MAX. E
    IF SAIDA[J]<MIN THEN MIN:=SAIDA[J]; & MIN. PARA
    & AJUSTE DE ESCALA
  END;
FOR J:=1 TO (MEIOLAMBDA*2) DO
  SAIDA[J]:=SAIDA[J]-MIN;
MAX:=MAX-MIN;
MIN:=0;
IF GRAF = "SS" THEN EXIBIR;
SAIDA[201]:=XSSENS;
SAIDA[202]:=HSSENS;
SAIDA[203]:=DIST;
SAIDA[204]:=NPOS;
SAIDA[205]:=NUMLIN;
SAIDA[206]:=MEIOLAMBDA;
SAIDA[207]:=MAX;
SAIDA[208]:=MIN;
SAIDA[209]:=w;
FOR I:=CONTSETOR TO (CONTSETOR+2) DO
  BEGIN
    SETOR:=I;
    IND:=((I MOD 4)*64)+1;
    BUFL:=128;

```





ANEXO 2 Programa "SIM1"

```

HPAL,L,"SIM1"
&
&
&
&*****
&
& AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
&
& ULTIMA VERSAO: 16/11/82
&
& PROGRAMA: SIM1
&
& ARQUIVO FONTE: FSIM1 (DISCO 12)
&
& RELOCAVEL: RSIM1
&
& ARQUIVOS PARA O LOADR: RSIM1,RCFR1,RFASE,RCGX,
& RINT,RPARAM,/E
&
& ASSUNTO: ESTE PROGRAMA LE DO TECLADO OS DADOS
& DO FILTRO A SER SIMULADO. A SEGUIR,CON-
& SIDERANDO A SERIE DE FOURIER DE UMA ON-
& DA QUADRADA, CALCULA O ATRASO DEVIDO A
& SUA PASSAGEM ARAVES DO FILTRO. OS RE-
& SULTADOS SAO ARMazenADOS EM DISCO PARA
& POSTERIOR UTILIZACAO PELO PROGRAMA SIM2.
& SAO PERMITIDAS ATE 800 HARMONICAS NA
& SERIE DE FOURIER, SENDO O NUMERO LIDO DE
& TECLADO. DEVIDO AO TEMPO DE EXECUCAO ES-
& PERADO, ACONSELHA-SE A NAO UTILIZAR-SE
& MAIS DO QUE 100 HARMONICAS.
&
&*****
&
&
&
&
& BEGIN
& INTEGER IND,SETOR,BUFFL,I,N,VHARM,NEST,
& F,M,J;
& REAL ARRAY ENT[1:209],A[1:800],B[1:800],GA[1:800],
& ROT[1:800],PAREST[1:5,1:6],SAIDA[1:33];
& REAL FX,A0,W,MAX,MIN,XSENS,GANHO,TRANS,DEL,X,XMEST,YFEST,
& SINAL,VAL;
& INTEGER ARRAY ARG[1:3];
& BOOLEAN SOBE;
&
&
& PROCEDURE EXALG(P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7); & ROTINA INTRIN-
& VALUE P1,P2; & SECA DO SISTEMA
& INTEGER P1,P2,P3,P5,P6,P7;
& REAL P4;
& CODE;
&
&
&
&
&
&
&

```

















```
      NI:=N+1;
      PARAM(I,J,VAL,PAREST);
      SAIDA[N]:=VAL;
    END;
  A0:=ENT[209];
  FOR I:=1 TO NHARM DO
    BEGIN
      W:=A0*I;
      CFR(PAREST,W,NEST,YFEST);
      ROT[I]:=YFEST; & FASE DE CADA HARMONICA
      CGX(PAREST,W,NEST,XMEST);
      GA[I]:=XMEST; & GANHO DE CADA HARMONICA
    END;
  ATRASO;
  &
  END.
```

ANEXO 3 Programa "SIM2"

```

HPAL,L,"SIM2"
&
&
&
&*****
&
& AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
&
& ULTIMA VERSAO: 16/11/82
&
& PROGRAMA: SIM2
&
& ARQUIVO FONTE: FSIM2 (DISCO 12)
&
& RELOCAVEL: RSIM2
&
& ARQUIVOS PARA O LOADR: RSIM2,RCFR1,RFASE,RCGX,
& RINPT,RPLO,RINT,RPAR,/E
&
& ASSUNTO: ESTE PROGRAMA LE DE DISCO OS RESULTA-
& DOS DOS PROGRAMAS (SIM-->FORMAS DE ON-
& DA RECEBIDAS PELO SENSOR) E (SIM1-->
& ATRASO DO FILTRO). SOBRE CADA FORMA DE
& ONDA RECEBIDA, VIA SERIE DE FOURIER, E'
& APLICADO O FILTRO CALCULANDO-SE O GANHO
& E A ROTACAO DE FASE EM CADA HARMONICA. O
& ATRASO DO FILTRO (SIM1) E' DESCONTADO PA-
& SIMULAR A MEDIDA DE REFERENCIA DA MESA.
& A ROTACAO DE FASE E' ENTAO CONVERTIDA EM
& POSICAO E E' GERADA UMA TABELA DE ERRO
& EM RELACAO AS POSICOES ASSUMIDAS PELO
& SENSOR.
& SAO PERMITIDAS ATE 800 HARMONICAS NA
& SERIE DE FOURIER (O NUMERO E' LIDO VIA
& TECLADO).
&*****
&
&
&
& BEGIN
& INTEGER IND,SETOR,BUFFL,I,N,NHARM,NEST,TIPO,NGRAF,NLIN,
& LDB,F,M,J,IP1,IP2;
& REAL ARRAY ENT[1:209],A[1:800],B[1:800],GA[1:800],
& ROT[1:800],PAREST[1:5,1:6];
& REAL FX,ERRO,A0,W,MAX,MIN,XSENS,GANHO,TRANS,DEL,X,XMEST,YFEST,
& SINAL,AUX,T0,TEMPO,VTRANS;
& INTEGER ARRAY ARQ[1:3],KZ[1:5],KP[1:6],IP[1:6];
& BOOLEAN SOBE;
&
&
& PROCEDURE EXALG(P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7); &ROTINA INTRIN-
& VALUE P1,P2; & SECA DO SISTEMA
& INTEGER P1,P2,P3,P5,P6,P7;
& REAL P4;
& CODE;
&
&
& PROCEDURE LEARRAYDISCO(SETOR,BUFFL,IND,VECTOR,ARQ);
&&

```

















```

FOR J:=1 TO 6 DO & DO FILTRO PARA AS ROTINAS S ALGOLI
  BEGIN
    N:=N+1;
    AUX:=ENT[N];
    PAR(PAREST,I,J,AUX);
  END;
T0:=ENT[31];
TEMPO:=ENT[32];
NEST:=ENT[33];
N:=1;
&N:=208;
LERN(N);
WRITE(1, #("NUM. HARM.?")); & ATE 800 HARMONICAS
READ(1,*,NHARM);
FOR I:=1 TO NHARM DO AB(I); & CALCULA OS TERMO A E B
& FOR I:=1 TO NHARM DO      & DA SERIE DO SINAL CON-
&                               & TIDO NO VETOR ENT.
&
XSENS:=ENT[201];
WRITE(11, #(" SENS=",E10.8),XSENS);
WRITE(1, #(" SENS=",E10.8),XSENS);
w:=ENT[209];
AUX:=w;
FOR I:=1 TO NHARM DO & PARA CADA HARMONICA CALCULA A
  BEGIN                                & ROTACAO DE FASE E O GANHO.
    w:=AUX*I;
    CFR(PAREST,w,NEST,YFEST);
    ROT[I]:=YFEST;
    CGX(PAREST,w,NEST,XMEST);
    GA[I]:=XMEST;
  END;
FILT;      & FILTRA E DETERMINA O
CRUZ;      & TEMPO DE PROPAGACAO.
DELTA;
FOR N:=2 TO ENT[204] DO & REPETE O PROCEDIMENTO PARA
                        & O RESTO DOS SINAIS RECEBIDOS
  BEGIN
    LERN(N);
    XSENS:=ENT[201];
    WRITE(11, #(" SENS=",E10.8),XSENS);
    WRITE(1, #(" SENS=",E10.8),XSENS);
    FOR I:=1 TO NHARM DO AB(I);
    w:=ENT[209];
    FILT;
    CRUZ;
    DELTA;
  END;
&
&
&
END.

```

ANEXO 4 Programa "SIMUL"







ANEXO 5 Rotinas de uso geral

```

FTN4,L
SUBROUTINE INPT (JTIPO,XMAX,XMIN,XSENS)
DIMENSION LINHA(101),XVAL(11)

C
C
C
C*****
C
C ROTINA PERTENCENTE AO PROGRAMA SIPLO E ALTERADA *
C      POR PAULO ROBERTO PRONZYSKI. *
C *
C ULTIMA VERSAO: 16/11/82 *
C *
C PROGRAMA: INPT *
C *
C ARQUIVO FONTE: FINPT (DISCO 12) *
C *
C RELOCAVEL: RINPT *
C *
C ARQUIVOS PARA O LOADR: RINPT *
C *
C ROTINAS CHAMADAS: NENHUMA *
C *
C ASSUNTO: ESTE PROGRAMA PREENCHE O CABECALHO DAS *
C          LISTAGENS DE SAIDA GRAFICAS DOS PROGRA- *
C          MAS "SIM" E "SIM2". *
C*****
C
C
C
C
C          JBLANK=20000B
C          JI      =44400B
C          JN      =26400B
C          JP      =25400B

C**
C**
C** JTIPO= 0 - GRAFICO DA SAIDA DO SENSOR
C**      1 - GRAFICO DA SAIDA DO FILTRO
C**
C**

XINC=(XMAX-XMIN)/10.
XVAL(1)=XMIN
XVAL(11)=XMAX
DO 51 I=2,10,1
XVAL(I)=XVAL(I-1)+XINC
51 CONTINUE
WRITE(11,82)
82 FORMAT("1")
IF (JTIPO) 53,52,53
52 CONTINUE
WRITE(11,83) XSENS
83 FORMAT(31X,"G R A F I C O   D A   S A I D A   D O   ",
C      "S E N S O R           @ XSENS=",E10.6,/,
C31X,"= = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = =",
C////)
GO TO 55
53 CONTINUE
IF (JTIPO=1) 55,54,55

```



FTN4.L

SUBROUTINE INTER(N,PAREST)

```

C/
C ///////////////////////////////////////////////////////////////////
C
C ROTINA INTER - (INTERACAO)
C -----
C
C FONTE: FINT          RELOC: RINT          DISCO: 12
C
C ULTIMA VERSAO: JULHO/82
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPL0 E FOI ALTERADA POR
C PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
C
C -----
C
C FUNCAO:      ESTA ROTINA INTERAGE COM O USUARIO, INTERPRE-
C              TANDO O QUE O USUARIO DESEJA E ATRIBUINDO VALORES
C              ADEQUADOS AS VARIAVEIS INTERNAS DO SISTEMA (PAS-
C              SADAS COMO PARAMETROS), PARA O CUMPRIMENTO DAS TA-
C              REFAS ESPECIFICADAS.
C              ESTA ROTINA RECEBE O PARAMETRO IBMP, E DEVEL-
C              OS DEMAIS PARAMETROS. IBMP INDICA SE O USUARIO ESTA
C              INICIANDO OS TRABALHOS, OU SE ESTA EM FASE DE MODI-
C              FICACAO DE PARAMETROS. ISTO PARA EVITAR QUE O USUA-
C              RIO, QUANDO QUIZER ALTERAR APENAS UM PARAMETRO, TENHA
C              QUE ENTRAR COM TODOS OS DEMAIS NOVAMENTE.
C              A DESCRICAO DO SIGNIFICADO DE CADA PARAMETRO
C              DA INTER E FEITA NO PROGRAMA PRINCIPAL (SIPL0). A
C              ROTINA INTER INICIALMENTE IMPRIME UM TEXTO EXPLICA-
C              TIVO NO VIDEO, QUANDO IBMP=0. A SEGUIR PASSA A PEDIR
C              OS PARAMETROS DO USUARIO.
C              PARA CADA GRUPO DE PARAMETROS RECEBIDOS, VIA
C              DE REGRA, A ROTINA INTER EXECUTA O SEGUINTE PROCE-
C              DIMENTO:
C
C              SE (IBMP=0)
C              ENTAO
C                  - COLOCA MENSAGEM PEDINDO PARAMETROS
C                  - LE PARAMETROS FORNECIDOS
C              SENAO
C                  - COLOCA MENSAGEM PERGUNTANDO SE USUA-
C                    RIO QUER ALTERAR GRUPO DE PARAMETROS
C                  - LE RESPOSTA FORNECIDA
C                  SE (USUARIO QUER ALTERAR)
C                  ENTAO
C                      - LE NOVOS VALORES
C                  SENAO
C                      - DEIXA VALORES ANTERIORES
C
C              NO RECEBIMENTO DE CADA PARAMETRO E FEITO TES-
C              TE DE CONSISTENCIA. DEPOIS DE RECEBIDOS TODOS OS
C              PARAMETROS, A ROTINA INTER FORNECE UM RELATORIO DE
C              PARAMETROS NO VIDEO PARA O USUARIO CONFERIR OS VA-
C              LORES DADOS. APOS O USUARIO CONFERIR OS VALORES, O
C              MESMO PODE VOLTAR A INTERAGIR ALTERANDO ALGUM PARA-
C              METRO QUE TENHA FORNECIDO ERRADO, ANTES DE DISPARAR
C              A PLOTAGEM E/OU IMPRESSAO. SE OS PARAMETROS ESTIVE-
C              REM CORRETOS, A ROTINA FORNECE UM RELATORIO DE PARA-

```

```

C      METROS NA IMPRESSORA, PARA DOCUMENTACAO DO USUARIO, /
C      E RETORNA PARA O PROGRAMA PRINCIPAL, O QUAL VAI EXE- /
C      CUTAR AS TAREFAS PEDIDAS. /
C      OS PARAMETROS PEDIDOS PARA O USUARIO SAO: /
C      * NUMERO DE ESTAGIOS (N) /
C      * PARAMETROS DE CADA ESTAGIO (RETORNA NA /
C      MATRIZ PAREST) /
C      /
C      ALEM DISSO E' PEDIDO PARA O USUARIO UMA LINHA /
C      ESPECIAL PARA COMENTARIO DE DOCUMENTACAO, ONDE O /
C      MESMO PODE DESCREVER SUA FUNCAO. ESTE COMENTARIO /
C      E' IMPRESSO COM O RELATORIO DA IMPRESSORA. /
C      /
C-----/
C
C ROTINAS CHAMADAS - NENHUMA /
C /
C))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))/
C/
C/

DIMENSION PAREST(5,6)
DIMENSION IRPTA(1)
DIMENSION RASC(6)
DIMENSION MENS(16),KOMEN(40)

C*
C*
C* INICIALIZACAO DO VETOR MENS COM O TEXTO (EM LETRAS MINUSCULAS):
C*
C* " CONFIRA OS PARAMETROS FORNECIDOS "
C*

MENS(1)=61557B
MENS(2)=67146B
MENS(3)=64562B
MENS(4)=60440B
MENS(5)=67563B
MENS(6)=20160B
MENS(7)=60562B
MENS(8)=60555B
MENS(9)=62564B
MENS(10)=71157B
MENS(11)=71440B
MENS(12)=63157B
MENS(13)=71156B
MENS(14)=62543B
MENS(15)=64544B
MENS(16)=67563B
IS=51440B
WRITE(1,40)
40 FORMAT(" ")
IBEL=3400B

C*
C* LEITURA DO NUMERO DE ESTAGIOS (N)
C*
85 WRITE(1,45)IBEL
45 FORMAT("NUMERO DE ESTAGIOS: ",A1,"_")
READ(1,*)N
IF (5-N)50,55,55
50 WRITE(1,40)
WRITE(1,60)
60 FORMAT("----> SE VOCE REALMENTE PRECISA N>5, ENTAO ALTERE ")

```

```

C"O PROGRAMA FONTE."
GO TO 85
55 IF (N-1)75,90,90
75 WRITE(1,40)
WRITE(1,80)
80 FORMAT("----> O NUMERO DE ESTAGIOS DEVE SER MAIOR QUE ",
C"ZERO.",/,," REPITA.")
WRITE(1,40)
GO TO 85
90 CONTINUE

C*
C* LEITURA DOS PARAMETROS DE CADA ESTAGIO, QUANDO IBMP=0
C*
IF (IBMP)695,690,695
690 WRITE(1,95)
95 FORMAT(" ",/,,"PARAMETROS DE CADA ESTAGIO")
WRITE(1,100)
100 FORMAT("=====")
WRITE(1,40)
WRITE(1,105)
105 FORMAT("ESTAGIO -      M      C      D      N      A
C      B")
WRITE(1,40)
IF (IBMP)810,805,810
805 CONTINUE
DO 840 I=1,N,1
390 WRITE(1,115)I,IBEL
115 FORMAT(4H<<< ,I2,6H >>> ,A1,1H_)
READ(1,*)(PAREST(I,J),J=1,5,1)
830 CONTINUE
A=0
DO 355 K=1,3,1
A=A+ABS(PAREST(I,K))
355 CONTINUE
IF (A)360,360,365
360 WRITE(1,370)
370 FORMAT(" ",/,,"----> O NUMERADOR DEVE SER DIFERENTE DE ",
C"ZERO.",/,," ENTRE COM OS PARAMETROS CORRETOS.",/,," ")
GO TO 390
365 A=0
DO 375 K=4,6,1
A=A+ABS(PAREST(I,K))
375 CONTINUE
IF (A)380,380,840
380 WRITE(1,395)
395 FORMAT(" ",/,,"----> O DENOMINADOR DEVE SER DIFERENTE DE ",
C"ZERO.",/,," ENTRE COM OS PARAMETROS CORRETOS.",/,," ")
GO TO 390
840 CONTINUE

C*
2530 CONTINUE
700 CONTINUE
IF (4-N)730,735,730
735 WRITE(1,40)
730 CONTINUE
IF (3-N)740,745,740
745 WRITE(1,40)
WRITE(1,40)
740 CONTINUE
IF (2-N)750,755,750

```

```

755 WRITE(1,760)
760 FORMAT(1X,/,1X,/,1X)
750 CONTINUE
    IF(1=N)765,770,765
770 WRITE(1,775)
775 FORMAT(1X,/,1X,/,1X,/,1X)
C*
C* IMPRESSAO NO VIDEO DE RELATORIO DE PARAMETROS FORNECIDOS,
C* PARA O USUARIO CONFERIR VALORES.
C*
765 WRITE(1,535)
535 FORMAT(" ",/,14X,"RELATORIO DE PARAMETROS FORNECIDOS",/,14X,
C"===== ",/, " ",/,"ESTAGIOS DO ",
C"TIPO: F(S)=M*S**2+C*S+D)/(N*S**2+A*S+B)",/," ")
    WRITE(1,540)N
540 FORMAT("NUMERO DE ESTAGIOS = ",I2,/, " ")
    WRITE(1,105)
    DO 546 I=1,N,1
    WRITE(1,545)I,(PAREST(I,J),J=1,6,1)
545 FORMAT(4H<<< ,I2,6H >>> ,6(E9.6,1X))
546 CONTINUE
C*
C* VERIFICACAO SE O USUARIO QUER MODIFICAR ALGUM PARAMETRO,
C* DEPOIS DE CONFERIR RELATORIO NO VIDEO.
C*
    WRITE(1,655)IBEL
655 FORMAT("QUER MODIFICAR ALGUM PARAMETRO? ",A1,"_")
    IBMP=0
    READ(1,470)IRPTA
470 FORMAT(A1)
    IF(IRPTA(1)=IS)785,665,785
665 IBMP=1
    IF (IBMP)670,785,670
660 CONTINUE
670 WRITE(1,680)
680 FORMAT(" ",//,"ESTAGIOS DO TIPO: F(S)=M*S**2+C*S+D)/(N*S",
C"*2+A*S+B",/" ")
    NA=N
    GO TO 85
695 CONTINUE
    IF(N=NA)910,910,940
940 CONTINUE
    DO 945 I=NA+1,N,1
    CONTINUE
    DO 950 J=1,6,1
    PAREST(I,J)=1
950 CONTINUE
945 CONTINUE
    GO TO 790
C*
C* INICIO DAS PERGUNTAS NA FASE DE ALTERACAO OU MODIFICACAO
C* DE PARAMETROS, QUANDO IBMP=1.
C*
910 WRITE(1,780)IBEL
780 FORMAT(" ",/,"ALTERAR PARAMETROS DOS ESTAGIOS? ",A1,"_")
    READ(1,470)IRPTA
    IF(IRPTA(1)=IS)785,790,785
790 CONTINUE
    GO TO 690
810 CONTINUE

```



```

DO 815 I=1,N,1
WRITE(1,545)I,(PAREST(I,J),J=1,6,1)
WRITE(1,115)I,IBEL
DO 850 L=1,6,1
RASC(L)=0
850 CONTINUE
READ(1,*) (RASC(L),L=1,6,1)
IF (RASC(1)+RASC(2)+RASC(3)+RASC(4)+RASC(5)+RASC(6)) 820,815,820
820 CONTINUE
DO 825 K=1,6,1
PAREST(I,K)=RASC(K)
825 CONTINUE
GO TO 830
835 CONTINUE
815 CONTINUE
785 CONTINUE

C*
C*****
C*
C* BLOCO DE IMPRESSAO DE RELATORIO NA IMPRESSORA
C*
C*****
C*
WRITE(11,3010)
3010 FORMAT("1")
WRITE(11,4)
4 FORMAT( 50X,"=====",/,50X,"= S I M # 1 =",/,
C50X,"=====")
WRITE(11,2)
2 FORMAT(" ",// ,10X,"R E L A T O R I O D E "
C"P A R A M E T R O S F O R N E C I D O S
C//,10X,"=====")
C"=====")
WRITE(11,7)N
7 FORMAT(1X,///,23X,"ESTAGIOS DO TIPO: F(S) = ( M*S**2+C*S+D ) /
C N*S**2+A*S+B )",//,23X,"NUMERO DE ESTAGIOS= ",I2,1X,///,23X,"P
CMETROS DE CADA ESTAGIO",/,23X,"=====",/,2
C"ESTAGIO -",7X,"M",11X,"C",11X,"D",11X,"N",11X,"A",11X,"B")
DO 12 I=1,N,1
WRITE(11,17)I,(PAREST(I,J),J=1,6,1)
17 FORMAT(1X,/,23X,4H<<< ,I2,8H >>> ,6(E9.6,3X))
12 CONTINUE

C*
C*****
RETURN
END
END$

```

```

FTN4,L
C*
C*
C*
C*****
C
C SUBROTINA :          FASE
C                      ====
C
C PARAMETROS:
C   DE ENTRADA:
C           W = FREQUENCIA ANGULAR ATUAL
C           M = COEFICIENTE DO TERMO DE GRAU 2
C           C = COEFICIENTE DO TERMO DE GRAU 1
C           D = COEFICIENTE DO TERMO DE GRAU 0
C
C   DE SAIDA : A = FASE DA EXPRESSAO COMPLEXA DE SE
C                 GUNDO GRAU
C                 -PI<= A => PI RADIANS
C
C FUNCAO :   ESTA SUBROTINA, EM FUNCAO DOS PARAMETROS DE EN-
C             TRADA, CALCULA A FASE EM RAD CORRESPONDENTE A
C             EXPRESSAO COMPLEXA DE SEGUNDO GRAU DO TIPO:
C
C             M*S**2 + C*S + D ONDE S=J*W, J=SQRT(-1).
C
C ARQ. FONTE :   FFASE
C ARQ. RELOC.:   RFASE
C DISCO :        12
C
C SUBROTINAS CHAMADAS: NENHUMA
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPLO E FOI MODIFICADA POR
C PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
C*****
C*
C*
C*
C SUBROUTINE FASE(W,M,C,D,A)
C REAL M
C
C
C XREAL=D-(M*(W**2))
C XIMAG=C*W
C
C
C IF (XREAL) 100,1000,100
100 CONTINUE
B=ABS(XIMAG/XREAL)
BRD=ATAN(B)
IF (XREAL) 401,1000,201
C*
201 CONTINUE
IF (XIMAG) 301,302,300
300 CONTINUE
C*
C* PRIMEIRO QUADRANTE, XREAL>0 E XIMAG>0

```

```

C*
  A=BRD
  GO TO 4000
301 CONTINUE
C*
C*   QUARTO QUADRANTE, XREAL>0 E XIMAG<0
C*
  A=-BRD
  GO TO 4000
302 CONTINUE
C*
C*   SEMI-EIXO POSITIVO REAL, XREAL>0 E XIMAG=0
C*
  A=0
  GO TO 4000
401 CONTINUE
  IF (XIMAG) 501,502,500
500 CONTINUE
C*
C*   SEGUNDO QUADRANTE, XREAL<0 E XIMAG>0
C*
  A=PI-BRD
  GO TO 4000
501 CONTINUE
C*
C*   TERCEIRO QUADRANTE, XREAL<0 E XIMAG<0
C*
  A=PI+BRD
  GO TO 4000
502 CONTINUE
C*
C*
C*   SEMI-EIXO NEGATIVO REAL, XREAL<0 E XIMAG=0
C*
  A=PI
  GO TO 4000
1000 CONTINUE
  IF (XIMAG) 1002,2000,1001
1001 CONTINUE
C*
C*   SEMI-EIXO POSITIVO IMAGINARIO, XREAL=0 E XIMAG>0
C*
  A=PI/2
  GO TO 4000
1002 CONTINUE
C*
C*   SEMI-EIXO NEGATIVO IMAGINARIO, XREAL=0 E XIMAG<0
  A=-PI/2
  GO TO 4000
2000 CONTINUE
C**
C**
C**** LEVANTAMENTO DE INDETERMINACAO
C**
C**
  IF (W) 2500,2100,2500
2100 CONTINUE
  IF (D) 2200,2300,2200
2200 CONTINUE
C*

```

```

C*   W=0, D#0, XREAL=0 E XIMAG=0 - NAO ACONTECERA!!!!!!
C*   POR CONVENCAO ANGULO<--0
C*
      A=0
      GO TO 4000
2300 CONTINUE
C*
C*   W=0, D=0, XREAL=0 E XIMAG=0, A<--ATAN(JC/-WM) E COMO W=0
C*   O VETOR DO ANG DEVERA' ESTAR SOBRE O EIXO IMAGINARIO
C*
      IF (C) 2401,2402,2400
2400 CONTINUE
C*
C*   W=0, D=0, C>0, XREAL=0 E XIMAG=0, SEMI-EIXO POSITIVO
C*   IMAGINARIO.
C*
      A=PI/2
      GO TO 4000
2401 CONTINUE
C*
C*   W=0, D=0, C<0, XREAL=0 E XIMAG=0, SEMI-EIXO NEGATIVO
C*   IMAGINARIO.
C*
      A=-PI/2
      GO TO 4000
2402 CONTINUE
C*
C**** W=0, D=0, C=0, XREAL=0 E XIMAG=0, MAIS UM NIVEL DE INDETER-
C**** MINACAO A SER LEVANTADO, O ANGULO RESULTANTE SERA' (SEMPRE)
C**** 0 OU 180 DEPENDENDO DO SINAL DE M!
C*
      IF (M) 2450,2450,2451
2450 CONTINUE
C*
C*   W=0, D=0, C=0, M<0, XREAL=0 E XIMAG=0, SEMI-EIXO POSITIVO REAL
C*
      A=0
      GO TO 4000
2451 CONTINUE
C*
C*   W=0, D=0, C=0, M>0, XREAL=0 E XIMAG=0, SEMI-EIXO NEGATIVO REAL
C*
      A=PI
      GO TO 4000
2500 CONTINUE
C*
C*   W#0, XREAL=0 E XIMAG=0, ENTAO OBRIGATORIAMENTE C DEVE SER
C*   IGUAL A ZERO, SENDO ENTAO, O ANGULO GOVERNADO PELA EXPRESSAO,
C*   D=M*W**2, QUE DARA' ANGULOS SOBRE O EIXO REAL, SENDO (SEMPRE)
C*   0 OU 180. NO CASO ATUAL D=M*W**2, LOGO O ANGULO SERA' DADO
C*   PELO SINAL DE M.
C*
      IF (M) 2501,2501,2502
C*
C*   W#0, XREAL=0 E XIMAG=0, M<0
C*   SEMI-EIXO POSITIVO REAL
C*
2501 CONTINUE
      A=0
      GO TO 4000

```

2502 CONTINUE

C\*

C\* W#0, XREAL=0 E XIMAG=0, M>0  
A=PI

4000 CONTINUE

C\*\*\*\*

C\*\*\*\* FIM

C\*\*\*\*

RETURN

END

END\$

```

FTN4,L
C*
C*
C*
C*****
C
C SUBROTINA :          CFR
C                      ==
C
C PARAMETROS:
C      DE ENTRADA:
C          PAREST - MATRIZ DE PARAMETROS DE CA-
C                  DA ESTAGIO
C          FREQ   - FREQUENCIA ANG. ATUAL
C          NEST   - NUMERO DE ESTAGIOS QUE ES =
C                  TAO SENDO CONSIDERADOS
C
C      DE SAIDA : YFEST - FASE RESULTANTE
C
C FUNCAO   : ESTA SUBROTINA, EM FUNCAO DOS PARAMETROS DE EN-
C             TRADA, CALCULA A FASE RESULTANTE YFEST DOS ESTA-
C             GIOS.
C
C          PAREST(I,1)=M   PAREST(I,2)=C   PAREST(I,3)=D
C          PAREST(I,4)=N   PAREST(I,5)=A   PAREST(I,6)=B
C
C          S=JW           J=SQRT(-1)       W=FREQ. ANG.
C
C          F(S)= (M*S**2 + C*S +D) / (N*S**2 + A*S +B)
C
C          FASE(F(W))= ATAN(C*W / (D - M*W**2))
C                    -ATAN(A*W / (B - N*W**2))=
C                    =ATAN(XINUM/XRNUM) - ATAN(XIDEN/XRDEN)
C
C ARQ. FONTE : FCFR1
C ARQ. RELOC.: RCFR1
C DISCO      : 12
C
C SUBROTINAS CHAMADAS: FASE
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPLO E FOI ALTERADA POR
C PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI.
C*****
C*
C*
C*
C
C SUBROUTINE CFR(PAREST,W,NEST,YFEST)
C DIMENSION PAREST(5,6)
C REAL M
C
C YFEST=0
C DO 1000 I=1,NEST,1
C M=PAREST(I,1)
C C=PAREST(I,2)
C D=PAREST(I,3)
C CALL FASE(W,M,C,D,FNUM)
C M=PAREST(I,4)

```

```
D=PAREST(I,6)
CALL FASE(W,M,C,D,FDEN)
FRES=FNUM-FDEN
YFEST=YFEST+FRES
1000 CONTINUE
RETURN
END
END$
```

FTN4.L

```

C*
C*
C*
C*****
C
C SUBROTINA :          CGX
C                    ===
C
C PARAMETROS:
C   DE ENTRADA:
C           PAREST - MATRIZ DE PARAMETROS DE CA-
C                   DA ESTAGIO
C           FREQ   - FREQUENCIA ATUAL
C           NEST   - NUMERO DE ESTAGIOS QUE ES -
C                   TAO SENDO CONSIDERADOS
C
C   DE SAIDA : XMEST - GANHO RESULTANTE
C
C FUNCAO   :  ESTA SUBROTINA, EM FUNCAO DOS PARAMETROS DE EN-
C             TRADA, CALCULA O GANHO 'X' RESULTANTE DOS ESTA-
C             GIOS XMET.
C
C           PAREST(I,1)=M   PAREST(I,2)=C   PAREST(I,3)=D
C           PAREST(I,4)=N   PAREST(I,5)=A   PAREST(I,6)=B
C
C           W= FREQ. ANG.
C
C           F(W)= (M*W**2 + C*W + D) / (N*W**2 + A*W + B)
C
C                   SQRT([D - M*W**2]**2 + (C*W)**2])
C GANHO 'X' (F(W)) =-----
C                   SQRT([B - N*W**2]**2 + (A*W)**2])
C                   SQRT(XRNUM**2 + XINUM**2)
C                   =-----
C                   SQRT(XRDEN**2 + XIDEN**2)
C                   =XMNUM/XMDEN
C
C ARQ. FONTE   : FCGX
C ARQ. RELOC.  : RCGX
C DISCO       : 12
C
C SUBROTINAS CHAMADAS: NENHUMA
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPLO E FOI ALTERADA POR
C PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI.
C*****
C*
C*
C*
C SUBROUTINE CGX(PAREST,#,NEST, XMEST)
C DIMENSION PAREST(5,6)
C XRNUM : PARTE REAL DO NUMERADOR
C XRDEN : PARTE REAL DO DENOMINADOR
C XINUM : PARTE IMAGINARIA DO NUMERADOR
C XIDEN : PARTE IMAGINARIA DO DENOMINADOR
C XMNUM : MODULO DO NUMERADOR
C XMDEN : MODULO DO DENOMINADOR
C XMOD  : MODULO RESULTANTE DO ESTAGIO (=XMNUM/XMDEN)

```



```

C*      I      : INDICE DE ESTAGIO
C      *
C      **      INICIALIZACAO
C      *
C      XMEST=1
C      I=2
C      *
C      **
C      *
C      *
C      *
C      **      CALCULO DAS PARTES
C      *
1100  XRNUM=PAREST(I-1,3) - PAREST(I-1,1)*W**2
      XRDEN=PAREST(I-1,6) - PAREST(I-1,4)*W**2
      XINUM=PAREST(I-1,2)*W
      XIDEN=PAREST(I-1,5)*W
      XMNUM=SQRT(XRNUM**2 + XINUM**2)
      XMDEN=SQRT(XRDEN**2 + XIDEN**2)
C      *
C      **
C      *
C      *
C      *
C      *
C      *****VERIFICACAO DE OCORRENCIA DE EVENTOS ESPECIAIS
C      *
C      IF (XMNUM) 1105,1104,1105
C          XMNUM=0, NOTIFICA JM ZERO
1104  CONTINUE
1105  CONTINUE
C      IF (XMDEN) 1110,1109,1110
C          XMDEN=0, NOTIFICA JM POLO
1109  CONTINUE
      GO TO 1150
C      *
C      **
C      *
C      *
C      *
C      **      TUDO NORMAL, ENTAO CALCULA GANHO 'X'
C      *
1110  CONTINUE
      XMOD=XMNUM/XMDEN
      XMEST=XMEST*XMOD
C      *
C      **
C      *
1150  CONTINUE
      I=I+1
      IF (I-(NEST+1)) 1100,1100,1120
1120  CONTINUE
      RETURN
      END
      END$

```

```

FTN4.L
C*
C*
C*
C*****
C
C SUBROTINA :          PLOT
C                      ====
C
C PARAMETROS:
C      DE ENTRADA:
C      IP              - VETOR DE DESLOCAMENTOS
C                      IP(1) - GRAFICO RESULTANTE
C                      IP(2 A 6) - CORRESPONDEM ,
C                      RESPECTIVAMENTE AO PRIMEI
C                      -RO, SEGUNDO, ..., QUINTO
C                      ESTAGIO.
C                      OBS.: IP(I)<0 - UNDERFLOW
C                      IP(I)>100 - OVERFLOW
C                      IP(I)->COLUNA(IP(I)+1)
C      NGRAF          - NUMERO DE GRAFICOS A SEREM
C                      PLOTADOS. SE <= 2, E' IM-
C                      PRESSO SO' O GRAFICO RESUL-
C                      TANTE, CASO CONTRARIO, SAO
C                      IMPRESSOS, TAMBEM OS GRAFI-
C                      COS DE CADA ESTAGIO.
C      NLIN           - NUMERO DA LINHA QUE ESTA
C                      SENDO IMPRESSA. SE MULTIPLO
C                      DE 10, E' IMPRESSA LINHA DE
C                      -MARCATORIA.
C      FI             - VALOR DA ABCISSA (FREQUENCIA)
C      VR             - VALOR DA ORDENADA RESULTANTE
C      KZ             - VETOR DE ZEROS
C      KP             - VETOR DE POLOS
C      LDB            - VARIVEL QUE INDICA, QUANDO
C                      IGUAL A 1, QUE O GRAFICO E'
C                      DE GANHO 'DB'.
C
C FUNCAO : ESTA SUBROTINA, EM FUNCAO DOS PARAMETROS DE EN -
C          TRADA, FAZ A PLOTAGEM DOS GRAFICOS DE ATÉ 5 VA-
C          RIAVEIS INDEPENDENTES (CADA UM DOS 5 CINCO ESTA-
C          GIOS), E DE JMA DEPENDENTE, A RESULTANTE.
C          QUANDO HOVER OCORRIDO EVENTO ESPECIAL, E' IMPRE-
C          SSA MENSAGEM NOTIFICADORA.
C          QUANDO HOVER COINCIDENCIA DE GRAFICOS, E' COLOCA-
C          -DA A MARCA DO ESTAGIO DE INDICE MAIS SIGNIFICA-
C          TIVO. QUANDO A COINCIDENCIA FOR COM O RESULTANTE
C          E' COLOCADA NA COLUNA QUE OCORREU A COINCIDENCIA
C          A MARCA DO GRAFICO RESULTANTE.
C
C ARQ. FONTE : FPLOT
C ARQ. RELOC. : RPLOT
C DISCO      : 12
C
C SUBROTINAS CHAMADAS: NENHUMA
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPLO E FOI ALTERADA POR
C PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI.
C
C*****

```



```

112 CONTINUE
    GO TO 130
    20 CONTINUE
120 DO 121 I=1,101
    LINHA(I)=JN
121 CONTINUE
    DO 122 I=1,101,10
    LINHA(I)=JP
122 CONTINUE
C
C
C
    *
    *****
    *
130 CONTINUE
    IF (NGRAF-3) 210,500,500
500 CONTINUE
C
C
C
    *****NGRAF>2, ENTAO, PRIMEIRAMENTE, TRATA DE CADA
    ESTAGIO PARA APOS TRATAR O GRAFICO RESULTANTE
C
    *
    I=2
198 CONTINUE
C
C
C
    TESTE DE OCORRENCIA DE EVENTOS ESPECIAIS NO ESTAGIO
C
    IF (KZ(I)+KP(I)) 201,200,201
200 CONTINUE
C**
C**
C** NORMAL
C**
C**
    IF (IP(I)) 141,145,142
141 CONTINUE
    LINHA(1)=JOVF
    GO TO 199
142 CONTINUE
    IF (IP(I)-100) 145,145,143
143 CONTINUE
    LINHA(101)=JOVF
    GO TO 199
145 CONTINUE
    K=IP(I)+1
    LINHA(K)=JSIMB(I)
    GO TO 199
201 CONTINUE
    IF (KZ(I)+KP(I)-2) 203,202,203
202 CONTINUE
C**
C**
C** INDETERMINACAO
C**
C**
    NIVI=NIVI+1
    NIVZ=NIVZ+1
    NIVP=NIVP+1
    IVI(NIVI)=JSIMB(I)
    IVZ(NIVZ)=JSIMB(I)
    IVP(NIVP)=JSIMB(I)
    IVI(1)=JSIMB(1)
    IVZ(1)=JSIMB(1)

```

```

      IVP(1)=JSIMB(1)
C*
      GO TO 199
      203 CONTINUE
      IF (KZ(I)) 205,205,204
      204 CONTINUE
C**
C**
C** ZERO
C**
C**
      IF (IP(I)) 251,255,252
      251 CONTINUE
      LINHA(1)=JOVF
      GO TO 260
      252 CONTINUE
      IF (IP(I)-100) 255,255,253
      253 CONTINUE
      LINHA(101)=JOVF
      GO TO 260
      255 CONTINUE
      K=IP(I)+1
      LINHA(K)=JSIMB(I)
      260 CONTINUE
      NIVZ=NIVZ+1
      IVZ(NIVZ)=JSIMB(I)
      IVZ(1)=JSIMB(1)
C*
      GO TO 199
      205 CONTINUE
C**
C**
C** POLO
C**
C**
      LINHA(101)=JOVF
      NIVP=NIVP+1
      IVP(NIVP)=JSIMB(I)
      IVP(1)=JSIMB(1)
C*
      199 CONTINUE
      I=I+1
      IF (I-NGRAF) 198,198,210
C
C FIM DO TESTE DE EVENTOS ESPECIAIS NO ESTAGIO
C
      210 CONTINUE
C
C TESTE DE OCORRENCIA DE EVENTO ESPECIAL NO RESULTANTE
C
      IF (KZ(1)+KP(1)) 350,300,350
C**
C**
C** RESULTANTE NORMAL
C**
C**
      300 CONTINUE
      IF (IP(1)) 301,305,302
      301 CONTINUE
      LINHA(1)=JOVF

```

```

GO TO 350
302 CONTINUE
  IF (IP(1)-100) 305,305,303
303 CONTINUE
  LINHA(101)=JOVF
  GO TO 350
305 CONTINUE
  K=IP(1)+1
  LINHA(K)=JSIMB(1)
350 CONTINUE
C
C TESTA SE NAO OCORREU EVENTO ESPECIAL, IMPRIME LINHA NORMAL
C OU DEMARCATORIA,
C
  IF (KZ(1)+KP(1))167,400,167
400 CONTINUE
C**
C**
C** IMPRESSAO DE LINHA NORMAL OU DEMARCATORIA
C**
C**
  IF (N/10-(N-1)/10) 161,161,165
161 CONTINUE
  WRITE(11,162) F,LINHA,VR
162 FORMAT(1X,I10,2X,101A1,2X,E10.5)
  GO TO 169
165 CONTINUE
  WRITE(11,166) F,LINHA,VR
166 FORMAT(1X,I10,"->",101A1,2X,E10.5)
  GO TO 169
167 CONTINUE
C**
C**
C** VERIFICA QUE EVENTO OCORREU PARA COLOCAR MENSAGEM DEVIDA,
C** ALEM DE IMPRIMIR A LINHA DE IMPRESSAO COM OS GRAFICOS POSSIVEIS,
C** E APOS IMPRESSA NOTIFICACAO DO EVENTO ESPECIAL
C**
C**
  IF (KZ(1)+KP(1)-2)402,401,402
401 CONTINUE
  IVP(1)=JSIMB(1)
  IVZ(1)=JSIMB(1)
  IVP(1)=JSIMB(1)
  WRITE(11,501)F,LINHA
501 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<=INDETERMINADO")
  GO TO 450
402 CONTINUE
  IF (KP(1)-1)404,403,404
403 CONTINUE
  IVP(1)=JSIMB(1)
  WRITE(11,503)F,LINHA
503 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<= INFINITO")
  GO TO 450
404 CONTINUE
  IVZ(1)=JSIMB(1)
  IF (LDB)450,450,405
405 CONTINUE
  WRITE(11,505)F,LINHA
505 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<= -INFINITO")
450 CONTINUE

```

```
WRITE(11,170)IVZ,IVP,IVI,F
170 FORMAT(1X,"==> ZEROS NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " POLOS NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " INDETERMINACAO NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " NA FREQ. --> ",I10)
169 CONTINUE
RETURN
END
END$
```

```

FTN4.L
C*
C*
C*
C*****
C
C SUBROTINA :          PLOT
C                      ====
C
C PARAMETROS:
C      DE ENTRADA:
C      IP      - VETOR DE DESLOCAMENTOS
C                IP(1) - GRAFICO RESULTANTE
C                IP(2 A 6) - CORRESPONDEM ,
C                RESPECTIVAMENTE AO PRIMEI
C                -RO, SEGUNDO, ... , QUINTO
C                ESTAGIO.
C                OBS.: IP(I)<0 - UNDERFLOW
C                       IP(I)>100 - OVERFLOW
C                       IP(I)->COLUNA(IP(I)+1)
C      NGRAF - NUMERO DE GRAFICOS A SEREM
C                PLOTADOS. SE <= 2, E' IM-
C                PRESSO SO' O GRAFICO RESUL-
C                TANTE, CASO CONTRARIO, SAO
C                IMPRESSOS, TAMBEM OS GRAFI-
C                COS DE CADA ESTAGIO.
C      NLIN  - NUMERO DA LINHA QUE ESTA
C                SENDO IMPRESSA. SE MULTIPLO
C                DE 10, E' IMPRESSA LINHA DE
C                -MARCATORIA.
C      FI    - VALOR DA ABCISSA(FREQUENCIA)
C      VR    - VALOR DA ORDENADA RESULTANTE
C      KZ    - VETOR DE ZEROS
C      KP    - VETOR DE POLOS
C      LDB   - VARIVEL QUE INDICA, QUANDO
C                IGUAL A 1, QUE O GRAFICO E'
C                DE GANHO 'DB'.
C
C FUNCAO      :  ESTA SUBROTINA, EM FUNCAO DOS PARAMETROS DE EN -
C                TRADA, FAZ A PLOTAGEM DOS GRAFICOS DE ATE' 5 VA-
C                RIAVEIS INDEPENDENTES (CADA UM DOS 5 CINCO ESTA-
C                GIOS), E DE JMA DEPENDENTE, A RESULTANTE.
C                QUANDO HOVER OCORRIDO EVENTO ESPECIAL, E' IMPRE-
C                SSA MENSAGEM NOTIFICADORA.
C                QUANDO HOVER COINCIDENCIA DE GRAFICOS, E' COLOCA
C                -DA A MARCA DO ESTAGIO DE INDICE MAIS SIGNIFICA-
C                TIVO. QUANDO A COINCIDENCIA FOR COM O RESULTANTE
C                E' COLOCADA NA COLUNA QUE OCORREU A COINCIDENCIA
C                A MARCA DO GRAFICO RESULTANTE.
C
C ARQ. FONTE   : FPLO
C ARQ. RELOC.  : RPLO
C DISCO       : 12
C
C SUBROTINAS CHAMADAS: NENHUMA
C
C ESTA ROTINA FAZ PARTE DO PROGRAMA SIPLO E FOI ALTERADA POR
C PAJLO ROBERTO PRONDZYNSKI.
C*****

```





```

LINHA(I)=JBLANK
111 CONTINUE
DO 112 I=1,101,10
LINHA(I)=JI
112 CONTINUE
LINHA(51)=JOVF
GO TO 130
20 CONTINUE
120 DO 121 I=1,101
LINHA(I)=JN
121 CONTINUE
DO 122 I=1,101,10
LINHA(I)=JP
122 CONTINUE
C *
C *****
C *
130 CONTINUE
IF (NGRAF-2) 210,500,500
500 CONTINUE
C *
C *****NGRAF>2, ENTAO, PRIMEIRAMENTE, TRATA DE CADA
C ESTAGIO PARA APOS TRATAR O GRAFICO RESULTANTE
C *
I=2
198 CONTINUE
C
C TESTE DE OCORRENCIA DE EVENTOS ESPECIAIS NO ESTAGIO
C
IF (KZ(I)+KP(I)) 201,200,201
200 CONTINUE
C**
C**
C** NORMAL
C**
C**
IF (IP(I)) 141,145,142
141 CONTINUE
LINHA(1)=JOVF
GO TO 199
142 CONTINUE
IF (IP(I)-100) 145,145,143
143 CONTINUE
LINHA(101)=JOVF
GO TO 199
145 CONTINUE
K=IP(I)+1
LINHA(K)=JSIMB(I)
GO TO 199
201 CONTINUE
IF (KZ(I)+KP(I)-2) 203,202,203
202 CONTINUE
C**
C**
C** INDETERMINACAO
C**
C**
NIVI=NIVI+1
NIVZ=NIVZ+1

```

```

NIVP=NIVP+1
IVI(NIVI)=JSIMB(I)
IVZ(NIVZ)=JSIMB(I)
IVP(NIVP)=JSIMB(I)
IVI(1)=JSIMB(1)
IVZ(1)=JSIMB(1)
IVP(1)=JSIMB(1)
C#
GO TO 199
203 CONTINUE
IF (KZ(I)) 205,205,204
204 CONTINUE
C**
C**
C** ZERO
C**
C**
IF (IP(I)) 251,255,252
251 CONTINUE
LINHA(1)=JOVF
GO TO 260
252 CONTINUE
IF (IP(I)-100) 255,255,253
253 CONTINUE
LINHA(101)=JOVF
GO TO 260
255 CONTINUE
K=IP(I)+1
LINHA(K)=JSIMB(I)
260 CONTINUE
NIVZ=NIVZ+1
IVZ(NIVZ)=JSIMB(I)
IVZ(1)=JSIMB(1)
C#
GO TO 199
205 CONTINUE
C**
C**
C** POLO
C**
C**
LINHA(101)=JOVF
NIVP=NIVP+1
IVP(NIVP)=JSIMB(I)
IVP(1)=JSIMB(1)
C#
199 CONTINUE
I=I+1
IF (I-NGRAF) 198,198,210
C
C FIM DO TESTE DE EVENTOS ESPECIAIS NO ESTAGIO
C
210 CONTINUE
C
C TESTE DE OCORRENCIA DE EVENTO ESPECIAL NO RESULTANTE
C
IF (KZ(1)+KP(1)) 350,300,350
C**
C**
C** RESULTANTE NORMAL

```

```

C**
C**
300 CONTINUE
    IF (IP(1)) 301,305,302
301 CONTINUE
    LINHA(1)=JOVF
    GO TO 350
302 CONTINUE
    IF (IP(1)-100) 305,305,303
303 CONTINUE
    LINHA(101)=JOVF
    GO TO 350
305 CONTINUE
    K=IP(1)+1
    LINHA(K)=JSIMB(1)
350 CONTINUE
C
C TESTA SE NAO OCORREU EVENTO ESPECIAL, IMPRIME LINHA NORMAL OU
C DEMARCATORIA.
C
    IF (KZ(1)+KP(1))167,400,167
400 CONTINUE
C**
C**
C** IMPRESSAO DE LINHA NORMAL OU DEMARCATORIA
C**
C**
    IF (N/10-(N-1)/10) 161,161,165
161 CONTINUE
    WRITE(11,162) F,LINHA,VR
162 FORMAT(1X,I10,2X,101A1,2X,E10.5)
    GO TO 169
165 CONTINUE
    WRITE(11,166) F,LINHA,VR
166 FORMAT(1X,I10,"->",101A1,2X,E10.5)
    GO TO 169
167 CONTINUE
C**
C**
C** VERIFICA QUE EVENTO OCORREU PARA COLOCAR MENSAGEM DEVIDA,
C** ALEM DE IMPRIMIR A LINHA DE IMPRESSAO COM OS GRAFICOS POSSIVEIS,
C** E' APOS IMPRESSA NOTIFICACAO DO EVENTO ESPECIAL
C**
C**
    IF (KZ(1)+KP(1)-2)402,401,402
401 CONTINUE
    IVI(1)=JSIMB(1)
    IVZ(1)=JSIMB(1)
    IVP(1)=JSIMB(1)
    WRITE(11,501)F,LINHA
501 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<=INDETERMINADO")
    GO TO 450
402 CONTINUE
    IF (KP(1)-1)404,403,404
403 CONTINUE
    IVP(1)=JSIMB(1)
    WRITE(11,503)F,LINHA
503 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<= INFINITO")
    GO TO 450
404 CONTINUE

```

```
IVZ(1)=JSIMB(1)
IF(LDB)450,450,405
405 CONTINUE
WRITE(11,505)F,LINHA
505 FORMAT(1X,I10,"=>",101A1,"<= -INFINITO")
450 CONTINUE
WRITE(11,170)IVZ,IVP,IVI,F
170 FORMAT(1X,"==> ZEROS NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " POLOS NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " INDETERMINACAO NOS EST.= ",6(A1,1X),
C          " NA FREQ. --> ",I10)
169 CONTINUE
RETURN
END
END$
```









NOMES DOS ARQUIVOS RELOCAVEIS A SEREM FORNECIDOS PARA  
O LOADR, EM ORDEM (SIM, SIM1, SIM2):

RSIM, RPLOT, RINPT, /E

RSIM1, RCFR1, RFASE, RCGX, RINT, RPARAM, /E

RSIM2, RCFR1, RFASE, RCGX, RINPT, RPLO, RINT, RPAR, /E

ANEXO 6 Programas de apoio para utilização do protótipo  
junto ao minicomputador HP2100

```
HPAL,L,"GAT"
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
&*****
```

```
& AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
```

```
&
```

```
& ULTIMA VERSAO: 16/11/82
```

```
&
```

```
& PROGRAMA: GAT
```

```
&
```

```
& ARQUIVO FONTE: FGAT (DISCO 12)
```

```
&
```

```
& RELOCAVEL: RGAT
```

```
&
```

```
& ARQUIVOS PARA O LOADR: RRESO,RHABD,RGAT,RGATD,/E
```

```
&
```

```
& ROTINAS CHAMADAS: RESO,HABD,GATD
```

```
&
```

```
& ASSUNTO: ESTE PROGRAMA HABILITA A MESA DIGITA-
& LIZADORA NA EXTENSAO DE BARRAMENTO DO
& HP 2100 E FICA INDEFINIDAMENTE EFETUAN-
& DO TRANSICOES NO SINAL DE GATILHO.UTILI-
& ZADO PARA EFEITOS DE DEPURACAO E MANU-
& TENCAO.
```

```
&
```

```
&*****
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
BEGIN
```

```
LABEL LOOP;
```

```
PROCEDURE GATD:CODE; & RGATD
```

```
PROCEDURE RESD:CODE; & RRESO
```

```
PROCEDURE HABD:CODE; & RHABD
```

```
BEGIN
```

```
HABD; & HABILITA A MESA
```

```
LOOP: GATD; & GATILHA A MESA
```

```
GO TO LOOP; & LOOP INDEFINIDO
```

```
END;
```

```
END.
```

```
HPAL,L,"RES"
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
&*****
```

```
&
```

```
& AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
```

```
&
```

```
& ULTIMA VERSAO: 16/11/82
```

```
&
```

```
& PROGRAMA: RES
```

```
&
```

```
& ARQUIVO FONTE: FRES (DISCO 12)
```

```
&
```

```
& RELOCAVEL: RRES
```

```
&
```

```
& ARQUIVOS PARA O LOADR: RRES0,RHAB0,RRES,/E
```

```
&
```

```
& ROTINAS CHAMADAS: RES0,HAB0
```

```
&
```

```
& ASSUNTO: ESTE PROGRAMA HABILITA A MESA DIGITA-
&          LIZADORA NA EXTENSAO DE BARRAMENTO DO
&          HP 2100 E FICA INDEFINIDAMENTE EFETUAN-
&          DO TRANSICOES NO SINAL DE RESET. UTILI-
&          ZADO PARA EFEITOS DE DEPURACAO E MANU-
&          TENCAO.
```

```
&
```

```
&*****
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
&
```

```
BEGIN
```

```
LABEL LOOP;
```

```
PROCEDURE RES0;CODE; & RRES0
```

```
PROCEDURE HAB0;CODE; & RHAB0
```

```
HAB0; & HABILITA A MESA
```

```
LOOP: RES0; & RESETA A MESA
```

```
GO TO LOOP; & LOOP INDEFINIDO
```

```
END.
```



ASMB L,R,C,T  
NAM HABD,7

\*

\*

\*

\*\*\*\*\*

\*

\* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI

\*

\* ULTIMA VERSAO: 16/11/82

\*

\* PROGRAMA: HABD

\*

\* ARQUIVO FONTE: FHABD (DISCO 12)

\*

\* RELOCAVEL: RHABD

\*

\* ARQUIVOS PARA O LOADR: RRESO,RHABD,/E

\*

\* ROTINAS CHAMADAS: RESD,ENTR

\*

\* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA HABILITA A MESA DIGITA-  
\* LIZADORA NA EXTENSAO DE BARRAMENTO DO  
\* HP 2100. O ENDERECO E SELECIONAVEL POR  
\* CHAVES E ATUALMENTE E 0100(4 OCT). O  
\* PROTOCOLO DE SELECAO ESTA COMENTADO NO  
\* PROPRIO PROGRAMA, SENDO SEMPRE EFETUADO  
\* COM O BIT 15 DO BARRAMENTO LIGADO. A SE-  
\* GUIR AS MAQUINAS DE ESTADO SAO RESETA-  
\* DAS.

\*

\*\*\*\*\*

\*

\*

\*

\*

```

ENT HABD
EXT RESD,ENTR
HABD  NOP
      JSB .ENTR
      DEF HABD
      LDA =B100004      ** ENDERECO 0100 NA PLACA
                        * DE INTERFACE.
      OTA 24B          * COLOCA CONTEUDO NO BARRAMENTO
      STC 24B,C        * LIGA COMANDO E DESLIGA PRONTO
      CLC 24B          * DESLIGA COMANDO
      CLA
      OTA 24B          * LIMPA O BARRAMENTO (PREENCHE-O
                        * COM 0).
      JSB RESD          ** RESETA AS MAQUINAS DE ESTADO
      DEF *+1
      JMP HABD,I
      END

```

ASMB L,R,C,T  
NAM RESD,7

```

*
*
*
*****
*
* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
*
* ULTIMA VERSAO: 16/11/82
*
* PROGRAMA: RESD
*
* ARQUIVO FONTE: FRESO (DISCO 12)
*
* RELOCAVEL: RRESO
*
* ARQUIVOS PARA O LOADR: RRESO,/E
*
* ROTINAS CHAMADAS: .ENTR
*
* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA ENDERECA O FLIP-FLOP DE
*          RESET NA PLACA DE INTERFACE DA MESA DI-
*          GITALIZADORA NA EXTENSAO DE BARRAMENTO
*          DO HP 2100 E O PREENCHE COM "1" (RESET).
*          A SEGUIR O PREENCHE COM "0" (RESET/).
*          ISTO FAZ COM QUE AS MAQUINAS DE ESTADO
*          DA MESA SEJAM LEVADAS AO SEU ESTADO INI-
*          CIAL.
*****
*
*
*
*          ENT RESD
*          EXT .ENTR
RESO      NOP
*          JSB .ENTR
*          DEF RESO
*          LDA =B030001 * ENDERECA O FF DE RESET E O
*                    * PREENCHE COM 1. O ENDERECO
*                    * E O 011 X X X X.
*
*          OTA 24B      * COLOCA CONTEUDO NO BARRAMENTO
*          STC 24B,C    * LIGA COMANDO E DESLIGA PRONTO
*          CLC 24B
*          LDA =B030000 * ENDERECA O FF DE RESET E O
*                    * PREENCHE COM 0.
*
*          OTA 24B
*          STC 24B,C
*          CLC 24B
*          CLA
*          OTA 24B      * LIMPA O BARRAMENTO. (PREENCHE
*                    * COM 0).
*
*          JMP RESO,I
*          END

```

ASMB L,R,C,T  
NAM DADD,7

```

*
*
*
*****
*
* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
*
* ULTIMA VERSAO: 16/11/82
*
* PROGRAMA: DADD
*
* ARQUIVO FONTE: FDADD (DISCO 12)
*
* RELOCAVEL: RDADD
*
* ARQUIVOS PARA O LOADR: RDADD,FE
*
* ROTINAS CHAMADAS: .ENTR
*
* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA ENDERECA O FF DE DADOS
*          NA PLACA DE INTERFACE DA MESA DIGITALI-
*          ZADORA JUNTO A EXTENSAO DE BARRAMENTO
*          DO HP 2100 E O PREENCHE COM "1". ISTO
*          SIGNIFICA QUE A MESA PASSA A OPERAR NO
*          MODO DADOS, OU SEJA, ENVIA COORDENADAS
*          AO INVES DE SUA PALAVRA DE ESTADO.
*
*****

```

```

*
*
*
*
DADD      ENT DADD
          EXT .ENTR
          NOP
          JSB .ENTR
          DEF DADD
          LDA =8020001 * ENDERECA O FF DE DADOS E O
*                  * PREENCHE COM 1. O ENDERECO
*                  * E O 010 X X X X.
          OTA 24B      * COLOCA CONTEUDO NO BARRAMENTO
          STC 24B,C    * LIGA COMANDO E DESLIGA PRONTO
          CLC 24B
          CLA
          OTA 24B      * LIMPA O BARRAMENTO(PREENCHE-O
*                  * COM 0).
          JMP DADD,I
          END

```



ASMB L,R,C,T  
NAM ESTD,7

\*

\*

\*\*\*\*\*

\*

\* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI

\*

\* ULTIMA VERSAO: 16/11/82

\*

\* PROGRAMA: ESTD

\*

\* ARQUIVO FONTE: FESTD (DISCO 12)

\*

\* RELOCAVEL: RESTD

\*

\* ARQUIVOS PARA O LOADR: RGATD,RESTD,7E

\*

\* ROTINAS CHAMADAS: .ENTR,GATD

\*

\* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA ENDERECA O FF DE DADOS

\* NA PLACA DE INTERFACE DA MESA DIGITALI-

\* ZADORA JUNTO AO HP 2100 E PREENCHE-O

\* COM "0". ISTO SIGNIFICA QUE A MESA PASSA

\* A OPERAR NO MODO PALAVRA DE ESTADO, OU

\* SEJA, OS RESULTADOS FORNECIDOS SAO PALA-

\* VRAS DE ESTADO AO INVES DE COORDENADAS.

\* PARA OBTEN UM RESULTADO A MESA E GATI-

\* LHADA (GATD) E A PALAVRA E ENTAO ARMAZE-

\* NADA EM DSW (DIGITIZER STATUS WORD).

\*

\*\*\*\*\*

\*

\*

ENT ESTD

EXT GATD,.ENTR

JSW  
ESTD

NOP

NOP

JSB .ENTR

DEF DSW

LDA =B020000 \*ENDERECA O FF DE DADOS E O

\*PREENCHE COM 0. O ENDERECO

\*E O 010 X X X X.

OTA 24B \*A SEGUIR PROCEDIMENTO PADRAO

\*DE COMUNICACAO VIA BARRAMENTO

STC 24B,C

CLC 24B

CLA

OTA 24B,C \*LIMPA O BARRAMENTO (PREENCHE-O

\*COM 0).

JSB GATD \*GATILHA A MESA PARA RECEBER A

\*PALAVRA DE ESTADO.

SFS 24B \*ESPERA PRONTO

JMP \*-1

LIA 24B,C \*GUARDA EM "A" O RESULTADO

\*GUARDA EM DSW O RESULTADO.

CLA

OTA 24B,C \*LIMPA O BARRAMENTO (BAIXA GATILHO)

JMP ESTD,I

END

ASMB L,R,C,T  
NAM GATD,7

```

*
*
*
*****
*
* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
*
* ULTIMA VERSAO: 16/11/82
*
* PROGRAMA: GATD
*
* ARQUIVO FONTE: FGATD (DISCO 12)
*
* RELOCAVEL: RGATD
*
* ARQUIVOS PARA O LOADR: RGATD,7E
*
* ROTINAS CHAMADAS: NENHUMA
*
* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA COLOCA EM "1" O BIT 14
*          DO BARRAMENTO DE DADOS, QUE CORRESPONDE
*          AO SINAL DE GATILHO. ESTA LINHA PERMA-
*          NECE EM "1" ATE SER NOVAMENTE EXECUTADA
*          UMA INSTRUCAO QUE ALTERE O CONTEUDO DO
*          BARRAMENTO, DE ACORDO COM O PROTOCOLO
*          ADOTADO PARA TRANSFERIR DADOS DA MESA
*          DIGITALIZADORA.

```

```

*****
*
*
*
*
GATD      ENT GATD
          NOP
          ISZ GATD
          CLA
          OTA 248,C
          LDA =8040000 * COLOCA EM 1 O BIT DE GATILHO
*                                     * (14) NO REGISTRADOR "A".
          OTA 248,C   * DEIXA O BIT 14 DO BARRAMENTO
*                                     * EM 1 INDEFINIDAMENTE.
          JMP GATD,I
          END

```

ASMB L,R,C,T  
NAM LERD,7

```

*
*
*
*****
*
* AUTOR: PAULO ROBERTO PRONDZYNSKI
*
* ULTIMA VERSAO: 16/11/82
*
* PROGRAMA: LERD
*
* ARQUIVO FONTE: FLERD (DISCO 12)
*
* RELOCAVEL: RLERD
*
* ARQUIVOS PARA O LOADR: RLERD,7E
*
* ROTINAS CHAMADAS: GATD,.ENTR
*
* ASSUNTO: ESTE PROGRAMA GATILHA A MESA PARA RE-
*          CEBER UMA ABCISSA E A SEGUIR GATILHA
*          NOVAMENTE PARA RECEBER A ORDENADA COR-
*          RESPONDENTE, CONFORME O PROTOCOLO ADO-
*          TADO PARA A TRANSFERENCIA DE DADOS DA
*          MESA DIGITALIZADORA. ESTE PROCESSO E RE-
*          PETIDO POR 16 VEZES E OS DADOS PARCIAIS
*          VAO SENDO SOMADOS. NO FIM E FEITA A ME-
*          DIA E DEVOLVIDOS OS VALORES DE X E Y
*          RESPECTIVAMENTE.
*
*****
*
*
*
*
*          ENT LERD
*          EXT GATD,.ENTR
X          NOP
Y          NOP
LERD      NOP
*          JSB .ENTR
*          DEF X
*          CLB          * ZERA O REG. B
*          STB X,I      * ZERA X
*          STB Y,I      * ZERA Y
*          CMB          * B= 1111...111111
*
*          * CONTADOR DE DESLOCAMENTOS
LOOP      SZB,RSS      * TESTA SE EXISTE ALGUM 1 EM B
*          JMP FIM      * NAO. EXECUTOJ 16 VEZES.
*          BLR          * SIM. DESLOCA DENOVO.
*          JSB GATD      * GATILHA A MESA.
*          SFS 24B      * PRNTO?
*          JMP *-1      * NAO. FICA ESPERANDO.
*          NOP          * SIM. PODE RECEBER DADO.
*          LIA 24B,C    * CARREGA DADO NO REG. A
*
*          * (PRIMEIRO VEM A ABCISSA).
*          AND MASC     * MASCARA BYTE SUPERIOR.

```

*	ADA X,I	* A TRANSFERENCIA E EM 8 BITS.
	STA X,I	* SOMA COM X ATUAL.
	CLA	* ARMAZENA EM X DE NOVO.
*	OTA 248,C	* LIMPA O BARRAMENTO (BAIXA O
		* SINAL DE GATILHO).
*	JSB GATD	* GATILHA E REPETE TODO O PRO-
		CESSO PARA RECEBER A ORDENADA.
	SFS 248	
	JMP *-1	
	NOP	
	LIA 248,C	* CARREGA ORDENADA NO REG. A.
	AND MASC	
	ADA Y,I	
	STA Y,I	
	CLA	
	OTA 248,C	
	JMP LOOP	* VOLTA AO LACO ATE COMPLETAR
*		* 16 LEITURAS DE COORDENADAS.
FIM	LDA X,I	
	ARS,ARS	* DIVIDE X POR 16 PARA FAZER
	ARS,ARS	* A MEDIA.
	STA X,I	
	LDA Y,I	
	ARS,ARS	* DIVIDE Y POR 16 PARA FAZER
	ARS,ARS	* A MEDIA.
	STA Y,I	
	JMP LERD,I	
MASC	OCT 377	
	END	







```
ASMB,L,R,C,T
NAM SCURS,7
```

```
#
```

```
# *****
# * ROTINA PARA LIGAR O CURSOR DO VIDEO TEKTRONIX *
# *****
#
```

```

CURS      ENT CURS
          NOP
          ISZ CURS
          LDA =D50 * CARREGA O CODIGO DE CONTROLE
          OTA 24B * ENVIA O CODIGO E ESPERA RESPOSTA
          STC 24B,C
          SFS 24B
          JMP *-1
          LDA =D64 * CARREGA O CODIGO DE LIGAR CURSOR
          OTA 24B * ENVIA O CODIGO E ESPERA RESPOSTA
          STC 24B,C
          SFS 24B
          JMP CURS,I
          END
```



```
ASMB,L,R,C,T
```

```
NAM SDEG,7
```

```
*
```

```
* *****
* * ROTINA PARA ENVIAR AO DEG OS PARAMETROS (I,X,Y). *
* * I SIGNIFICA UM TIPO DE VETOR (VAI,VRV,VRI) E X E *
* * Y SAO AS COORDENADAS. *
* *****
*
```

```
EXT ,ENTR
```

```
ENT AODEG
```

```
TIPO BSS 1
```

```
X BSS 1
```

```
Y BSS 1
```

```
AODEG NOP
```

```
JSB ,ENTR
```

```
DEF TIPO
```

```
LDA TIPO,I * ENVIA TIPO DE VETOR
```

```
OTA 24B
```

```
STC 24B,C
```

```
SFS 24B
```

```
JMP *-1
```

```
LDA X,I * ENVIA ORDENADA
```

```
OTA 24B
```

```
STC 24B,C
```

```
SFS 24B
```

```
JMP *-1
```

```
LDA Y,I * ENVIA ABCISSA
```

```
OTA 24B
```

```
STC 24B,C
```

```
SFS 24B
```

```
JMP *-1
```

```
JMP AODEG,I
```

```
END
```

ANEXO 7 Descrição do protótipo de mesa digitalizadora im-  
plementado

O protótipo de mesa digitalizadora construído foi inicialmente idealizado para mapear uma tela de vídeo de baixa resolução. Dentre as características desejáveis para tal aplicação pode-se citar:

- a) Área efetiva de apontamento translúcida.
- b) Dimensões não inferiores a 25cm x 25cm.
- d) Facilidade de manipulação do elemento apontador.
- e) Velocidade de aquisição de dados relativamente elevada.

Devido ao fato de não se pretender embutir nenhuma função adicional na unidade de controle, esta foi sintetizada através de um sistema seqüencial síncrono. Suas funções principais são:

- a) Executar o protocolo de comunicações com a máquina hospedeira.
- b) Efetuar o correto seqüenciamento das medidas nos dois eixos e da medida de referência.
- c) Enviar os sinais para o bloco operacional da mesa de modo que cada item de uma medição seja efetuado.

Embora o bloco de controle possa ser encarado como uma única máquina seqüencial, ele foi subdividido em 3 sistemas, um para cada uma das funções citadas acima, aninhados de acordo com a figura A7.1.

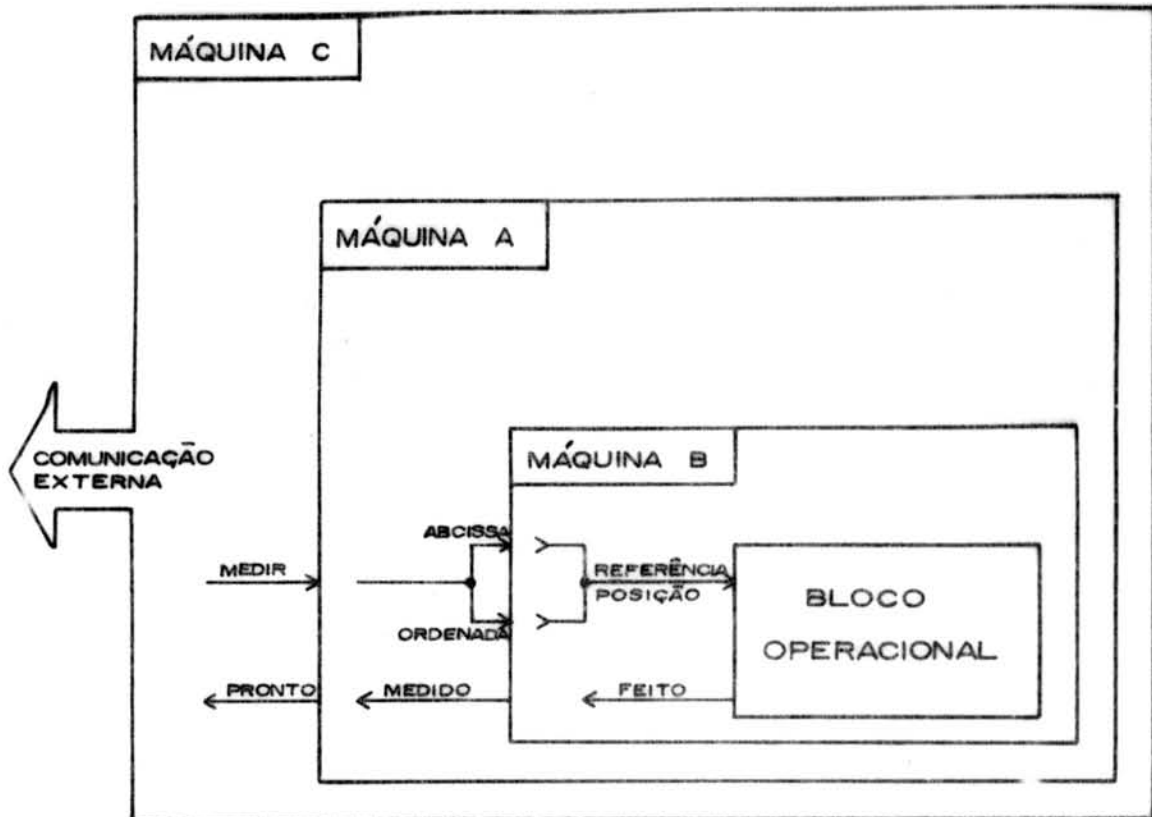


Figura A7.1 Bloco de controle da mesa protótipo

Os diagramas de estado destas máquinas aparecem nas figuras A7.2, A7.3 e A7.4, respectivamente.

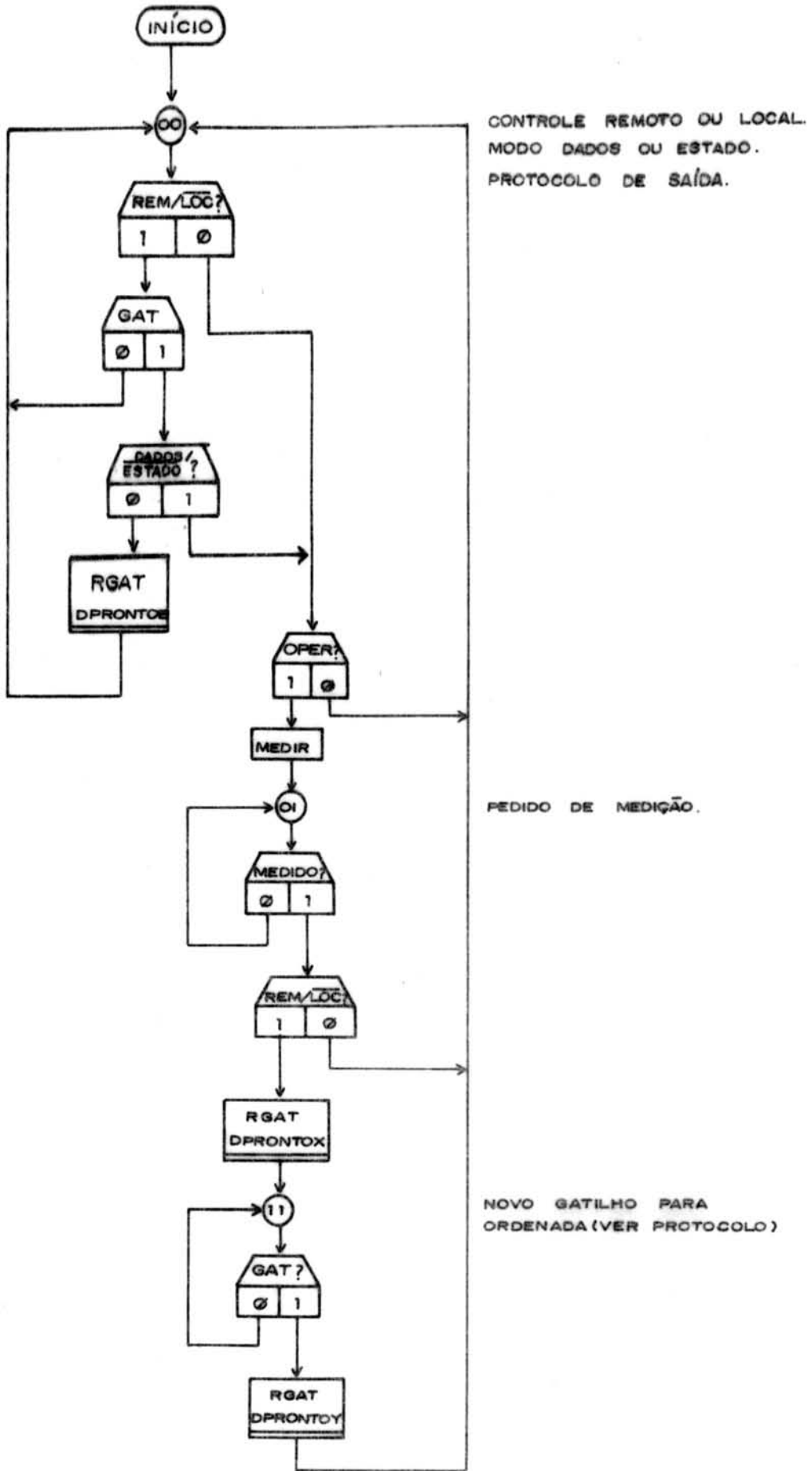


Figura A7.2 Diagrama de estados da máquina C

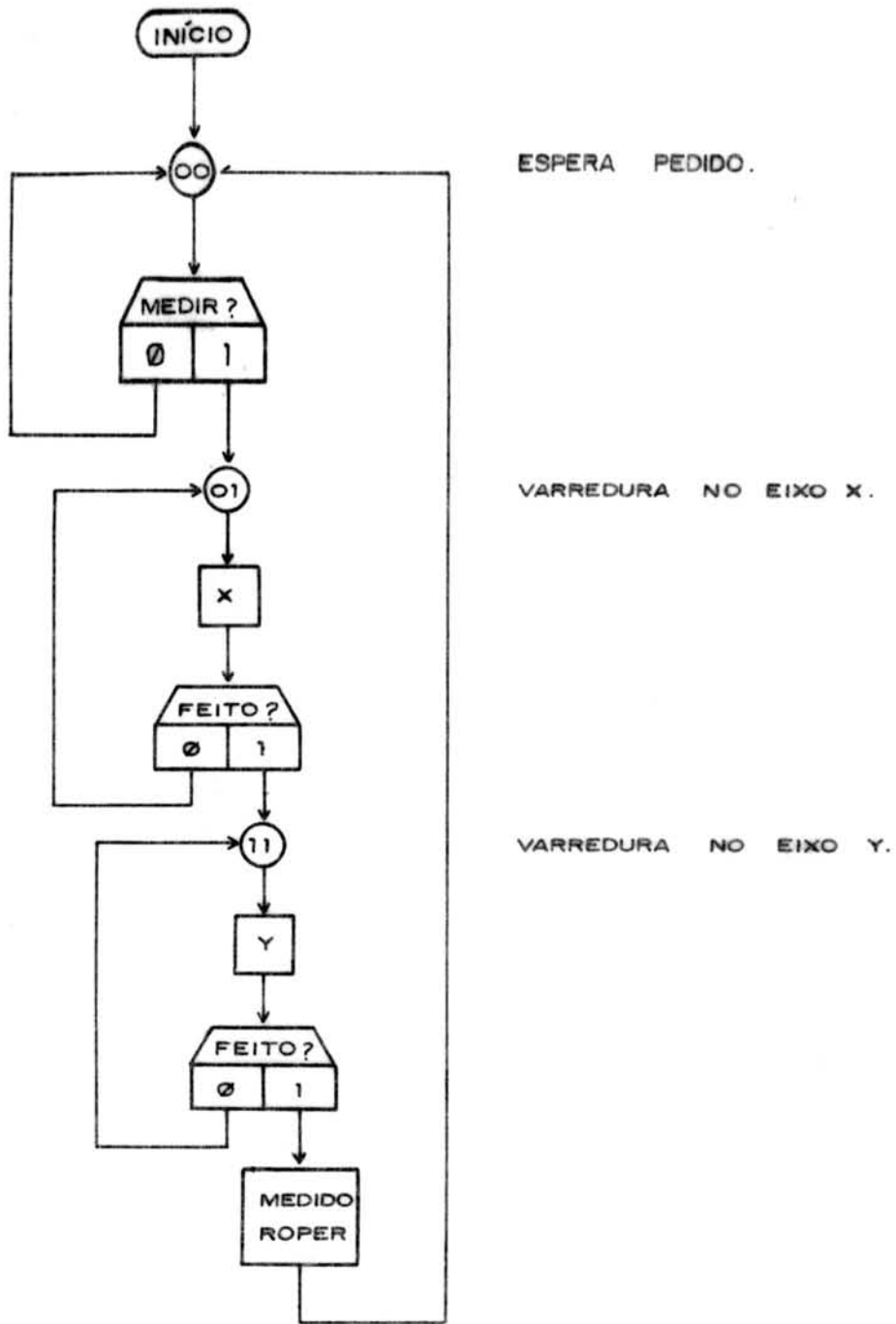


Figura A7.3 Diagrama de estados da máquina A

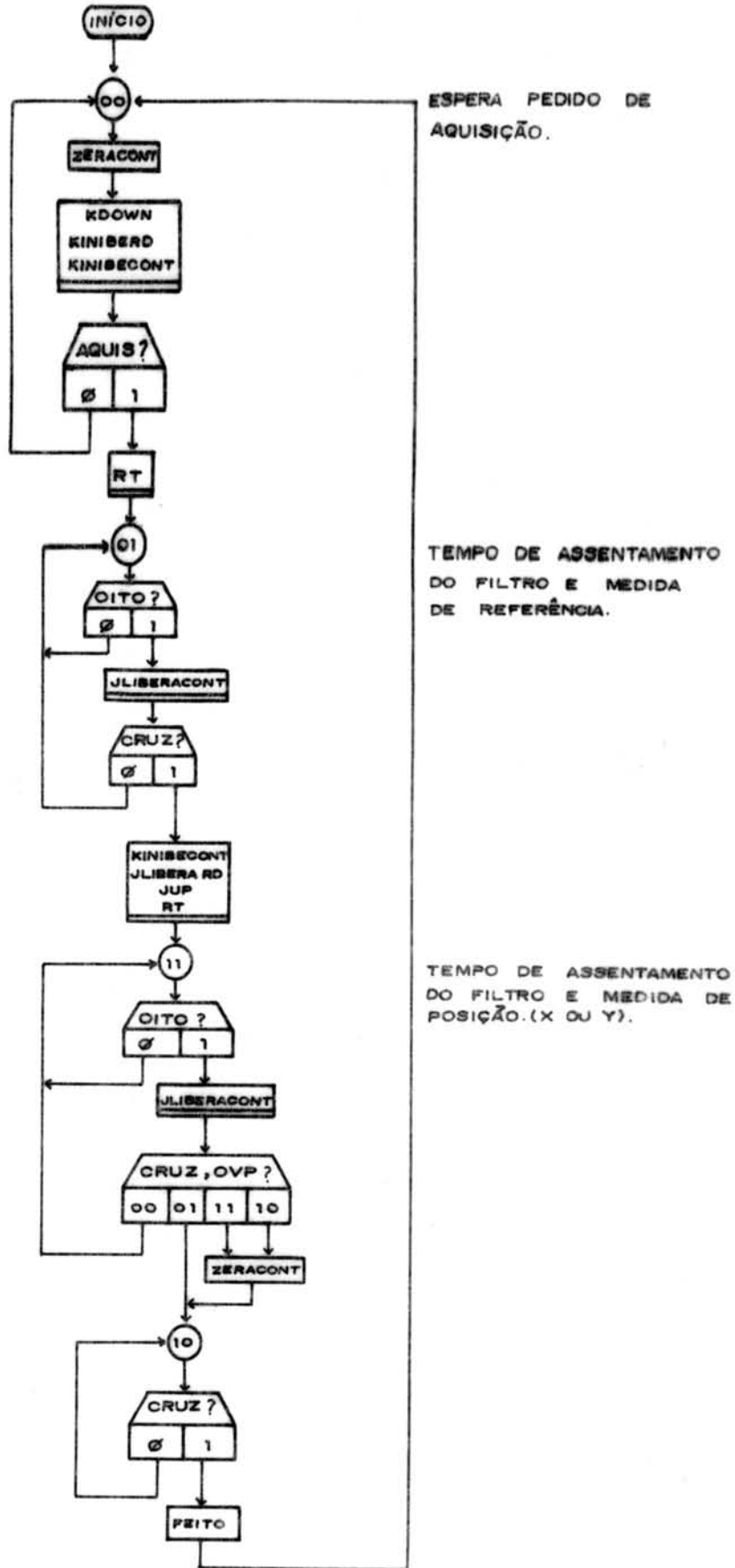


Figura A7.4 Diagrama de estados da máquina B

É interessante ressaltar-se o protocolo de comunicações efetuado pela máquina C. A mesa pode funcionar em controle local ou remoto (REM/LOC). Quando no modo remoto, um computador hospedeiro deve fornecer-lhe sinais de habilitação (HAB), gatilho (GAT) e "reset" (EXTRESET), além de selecionar o tipo dos dados de saída (modo DADOS ou modo ESTADO). Esta seleção faz com que seja enviada para a saída um par de coordenadas ou a palavra de estado da mesa, respectivamente.

O modo de operação (local ou remoto) pode ser selecionado através da respectiva chave, situada no lado esquerdo da mesa. Quando o controle é feito localmente, todas as funções de medição são realizadas, porém não há necessidade dos sinais de habilitação e gatilho. Neste caso, o sinal "EXTRESET" deve ser levado ao estado lógico "0", e a saída sempre permanece em estado de alta impedância, nunca se apoderando do barramento de dados.

Em modo de operação remota os sinais de controle externos possuem o seguinte significado:

a) HAB: habilita a mesa para ser gatilhada para executar sua função, que pode ser obter um par de coordenadas ou fornecer sua palavra de estado. Sem este sinal o gatilhamento é ignorado.

b) EXRESET: é o "reset" geral da mesa. Leva as máquinas de estado internas a seu estado inicial.

OBS.: Existe um sinal de "reset" interno, gerado sempre que a fonte de alimentação da mesa é ligada.

c) DADOS (ESTADO = DADOS/): indica que, quando em modo de controle remoto, o conteúdo de saída é uma coordenada (DADOS) ou a palavra de estado (DADOS/).

d) GATILHO: este sinal, ao contrário dos outros, atua na transição de subida ( $\bar{F}$ ) e indica, satisfeitas as demais condições apresentadas no diagrama de estados da figura A7.2, que a mesa deve executar sua função.



No diagrama da figura A7.2 foi introduzida uma nova variável de entrada, denominada OPER. Sempre que a mesa recebe um sinal de gatilho, a medição só é iniciada se o operador interagir informando que também está preparado (colocou o dispositivo apontador na posição desejada). Esta interação é feita através da chave de resposta do operador, colocada no canto interior esquerdo do protótipo. Quando acionada, e se a caneta sensora estiver pressionada sobre a mesa, é gerado o sinal OPER.

OBS.: O sensor de pressão na ponta da caneta não está atualmente implementado, sendo o bit correspondente na palavra de estado fixado no valor lógico "1".

Os dados de saída são fornecidos sempre em oito bits. No caso de coordenadas, primeiro é fornecida a abcissa (X) e após a coordenada (Y). A multiplexação é feita através de programação. Ao se enviar um sinal de gatilho pedindo dados, é feita a medição tanto da abcissa como da ordenada. No entanto, somente a abcissa é colocada no barramento de dados, sendo então gerado o sinal PRONTO. Para se receber a ordenada é necessário enviar-se outro sinal de gatilho, o que faz com que o valor Y seja colocado no barramento e novamente gerado o sinal PRONTO. O diagrama de tempos do protocolo de saída aparece na figura A7.5.

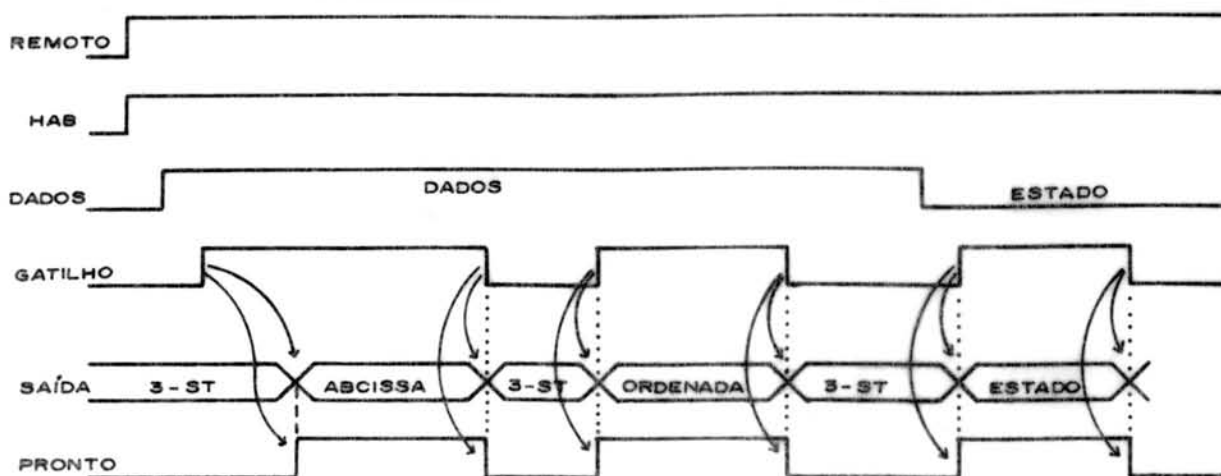


Figura A7.5 Diagrama de tempos do protocolo de saída da mesa protótipo

OBS.: Como o seqüenciamento da multiplexação das coordenadas é feito por programação (geração de dois sinais de gatilhamento consecutivos), no caso de acontecer algum erro, as máquinas de estado devem ser trazidas para seu estado inicial aplicando-se o sinal EXTREST por programação ou manualmente através da chave RESET, colocada no lado esquerdo da mesa.

O barramento de saída é do tipo de alta impedância ("three-state"), fornecendo coordenadas em 8 bits. A palavra de estado sai pelo mesmo barramento (multiplexado), possuindo o significado dado na tabela A7.1.

Tabela A7.1 Significado dos bits da palavra de estado do protótipo

BIT	NOME	SIGNIFICADO (LÓGICA POSITIVA)
0	EPROX	Indica que a ponta do sensor está pressionada sobre a mesa
1	INT	Pedido de interrupção (manual)
2	REM(LOC/)	Modo de controle remoto ou local
3	RESET	"Reset" geral da mesa
4	HAB	Indica se a mesa está habilitada
5		Permanece indefinidamente no estado lógico "1"
6		Não conectado
7		Não conectado

Além do barramento de dados a mesa fornece como saída um sinal de PRONTO (como resposta ao GATILHO) e um sinal INT, com o significado de pedido de interrupção.

Convém salientar-se que o sinal PRONTO não é gerado como resposta a qualquer sinal de entrada, mas sim, unicamente para o GATILHO. Os demais sinais devem ser mantidos

estáveis durante o funcionamento através de registradores externos.

A mesa não gera pedido de interrupção para enviar dados, sendo completamente passiva. Assim, sempre que desejar, o computador hospedeiro deve enviar um sinal de GATILHO para disparar a execução das funções da mesa digitalizadora, sendo respondido com um PRONTO.

Existem 3 formas básicas de que se dispõe para indicar que não se deseja mais utilizar a mesa, ao término de uma seção de digitalização:

a) Apontando-se uma coordenada ou região que seja reconhecida pelo programa de aplicação como significando fim de operação.

b) Pressionando-se a chave de pedido de interrupção (INT) e testando-se o valor do bit correspondente na palavra de estado.

c) Utilizando-se a saída INT para gerar uma interrupção.

OBS.: Tanto o sinal PRONTO como o INT foram implementados utilizando-se portas TTL padrão. Dependendo da aplicação, deverão ser alterados para dispositivos do tipo coletor aberto.

A chave de pedido de interrupção (INT) colocada na lateral da mesa carrega diretamente um registrador, que gera o sinal do mesmo nome. Para desativá-lo é necessário enviar-se um sinal de "reset" à mesa (EXTRESET ou através da chave RESET, se desejar-se resposta manual). O sinal INT não possui nenhuma implicação sobre o funcionamento da mesa, podendo-se utilizá-lo com o significado que melhor convier.

O protótipo de mesa digitalizadora construído apresenta as seguintes características principais:

- a) Resolução: 8 bits (1mm).
- b) Erro de linearidade:  $\pm 1\text{mm}$ , exceto nas bordas,

onde é maior.

c) Velocidade de aquisição: ajustável, de 0 até 500 pares de coordenadas por segundo.

d) Dimensões da zona efetiva de apontamento: 512mm x 256mm.

e) Tipo de elemento apontador: caneta apontadora.

f) Distância entre linhas do reticulado: 16mm.

g) Número de linhas por eixo: 17.

h) Espessura da isolação do reticulado: 4mm, vidro.

i) Comprimento de onda gerado na varredura: 256mm.

j) Freqüência fundamental da varredura: 10 KHz.

As demais características físicas necessárias para interligar-se o protótipo a um computador hospedeiro são fornecidas no ANEXO 8, e os diagramas esquemáticos da mesa estão contidos no ANEXO 9.

ANEXO 8 Interface da mesa digitalizadora junto à extensão  
de barramento do minicomputador HP2100

As seguintes convenções foram adotadas na confecção dos diagramas esquemáticos da interface da mesa digitalizadora com o mini-computador HP2100:

- ▷ - Indica um pino do conector superior da placa de interface (lado da mesa digitalizadora). O conector é de 44 pinos. As letras correspondem ao lado dos componentes na placa e os números correspondem ao lado da fiação. Neste caso, os números são seguidos da letra F.
- - Indica um pino do conector inferior da placa de interface (lado da extensão de barramento do HP2100). A nomenclatura é a mesa adotada para o conector superior.
- PLN - Aponta para a origem ou destino de algum sinal em outra página. O código de apontamento é do tipo PLN, onde:
  - P = página de origem ou destino
  - L = letra indicativa do setor onde se encontra o sinal
  - N = número indicativo do setor onde se encontra o sinal.

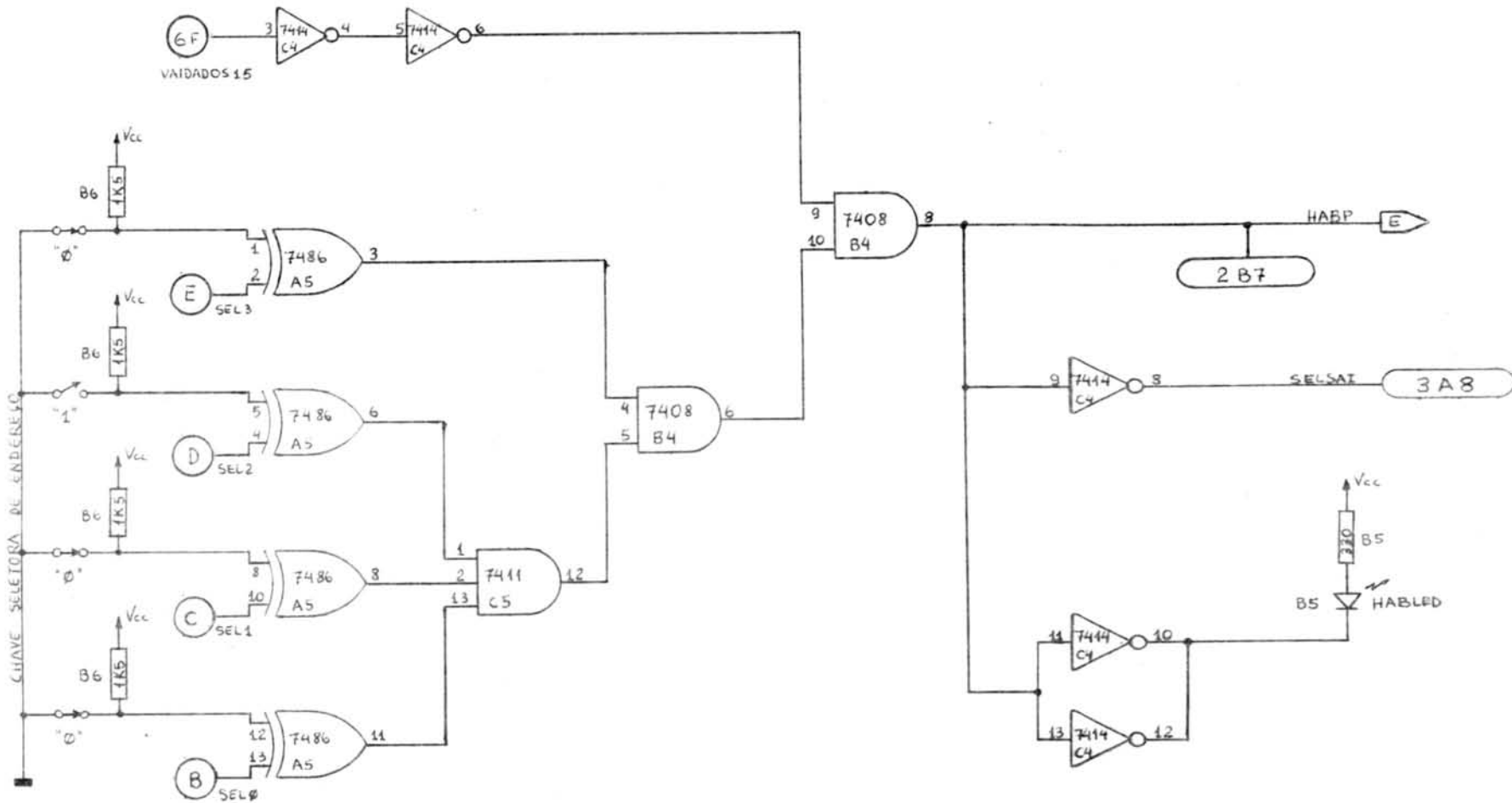
Cada componente ou porta lógica leva junto a si um indicativo de seu tipo ou valor, bem como a posição que ocupa dentro da placa de interface. Além disso, os circuitos integrados possuem a numeração dos pinos associada.

Descrição do cabo de interconexão do protótipo de mesa digitalizadora com a placa de interfaceamento junto à extensão de barramento do minicomputador HP2100.

CONECTOR SUPERIOR DA PLACA DE INTERFACE		CONECTOR DA MESA DIGITALIZADORA	
A -	MASSA	A -	MASSA
B -		B -	"
C -		C -	"
D -		D -	"
E -	HABP (vermelho)	E -	"
F -		F -	"
H -		H -	"
J -		J -	"
K -		K -	"
L -		L -	"
M -		M -	"
N -		N -	"
P -		P -	"
R -	VEMDADOS7 (vermelho)	R -	"
S -	VEMDADOS6 (marrom)	S -	"
T -	VEMDADOS5 (azul)	T -	"
U -	VEMDADOS4 (preto)	U -	"
V -	VEMDADOS3 (verde)	V -	"
W -	VEMDADOS2 (amarelo)	W -	"
X -	VEMDADOS1 (branco)	X -	"
Y -	VEMDADOS0 (cinza)	Y -	"
Z -		Z -	"
1-	MASSA	1-	MASSA
2-	RESETP (amarelo)	2-	MASSA
3-	DADOS/ $\overline{\text{ESTADOP}}$ (verde)	3-	Vdd (+12V)
4-	GATILHOP (preto)	4-	Vss (-12V)
5-	PRONTO (azul)	5-	SAI0
6-		6-	SAI1
7-		7-	SAI2
8-		8-	SAI3
9-		9-	SAI4
10-		10-	SAI5
11-		11-	SAI6
12-		12-	SAI7
13-		13-	EXTRESET
14-		14-	HAB
15-		15-	DADOS/ $\overline{\text{ESTADO}}$
16-		16-	GATILHO
17-		17-	
18-		18-	
19-		19-	
20-		20-	
21-		21-	Vcc (+5V)
22-		22-	Vcc

A B C D E F G H J K L M N P Q R

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



195

OBV: ENDEREÇO SELECIONADO = 0100

CPGCC - UFRGS

CÓDIGO: SELEÇÃO DE ENDEREÇO E HABILITAÇÃO

PROJ.: Paulo

Data:

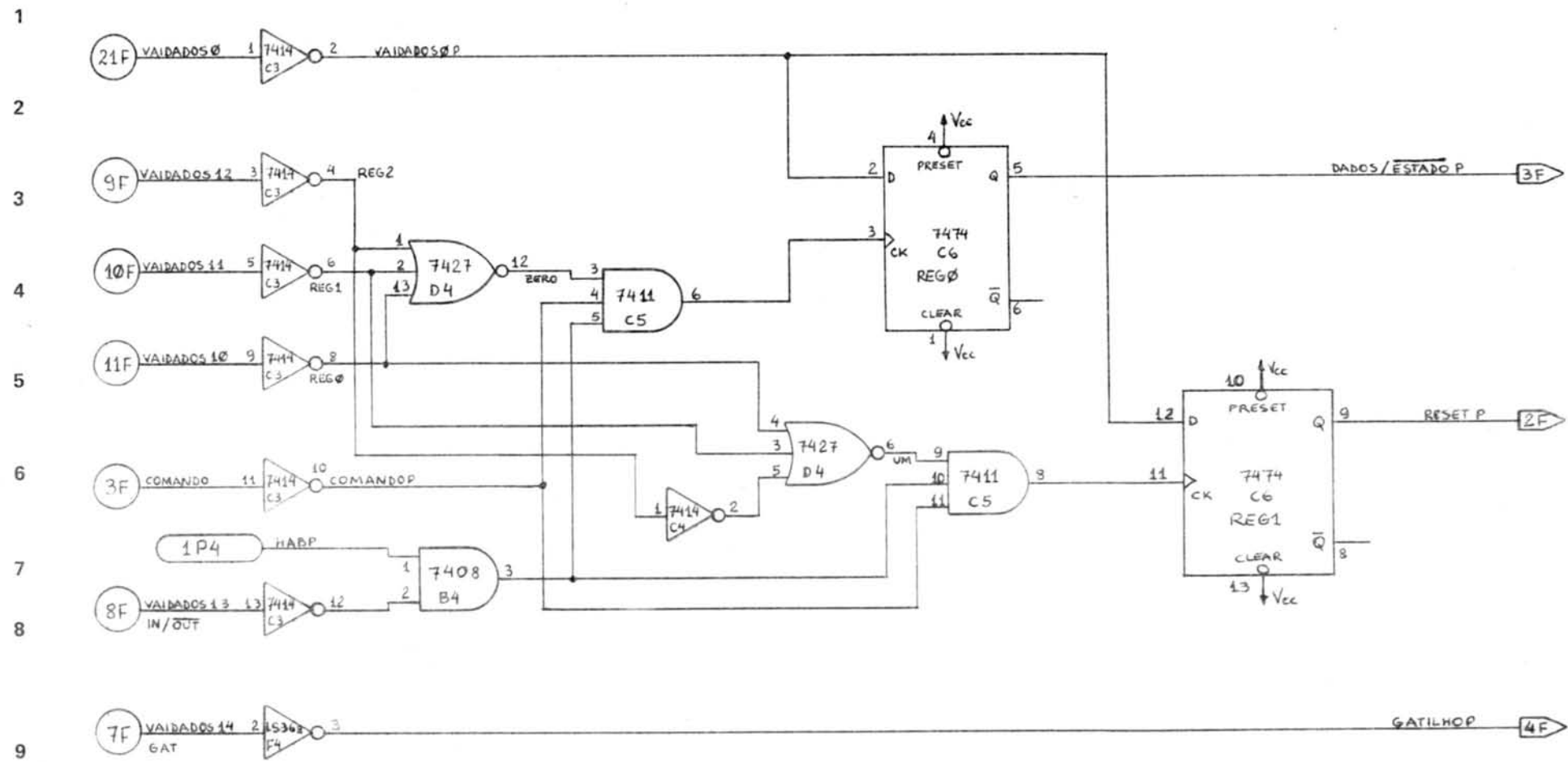
DEPUR.: Paulo

Data:

Folha: 1 DE 3



A B C D E F G H J K L M N P Q R



196

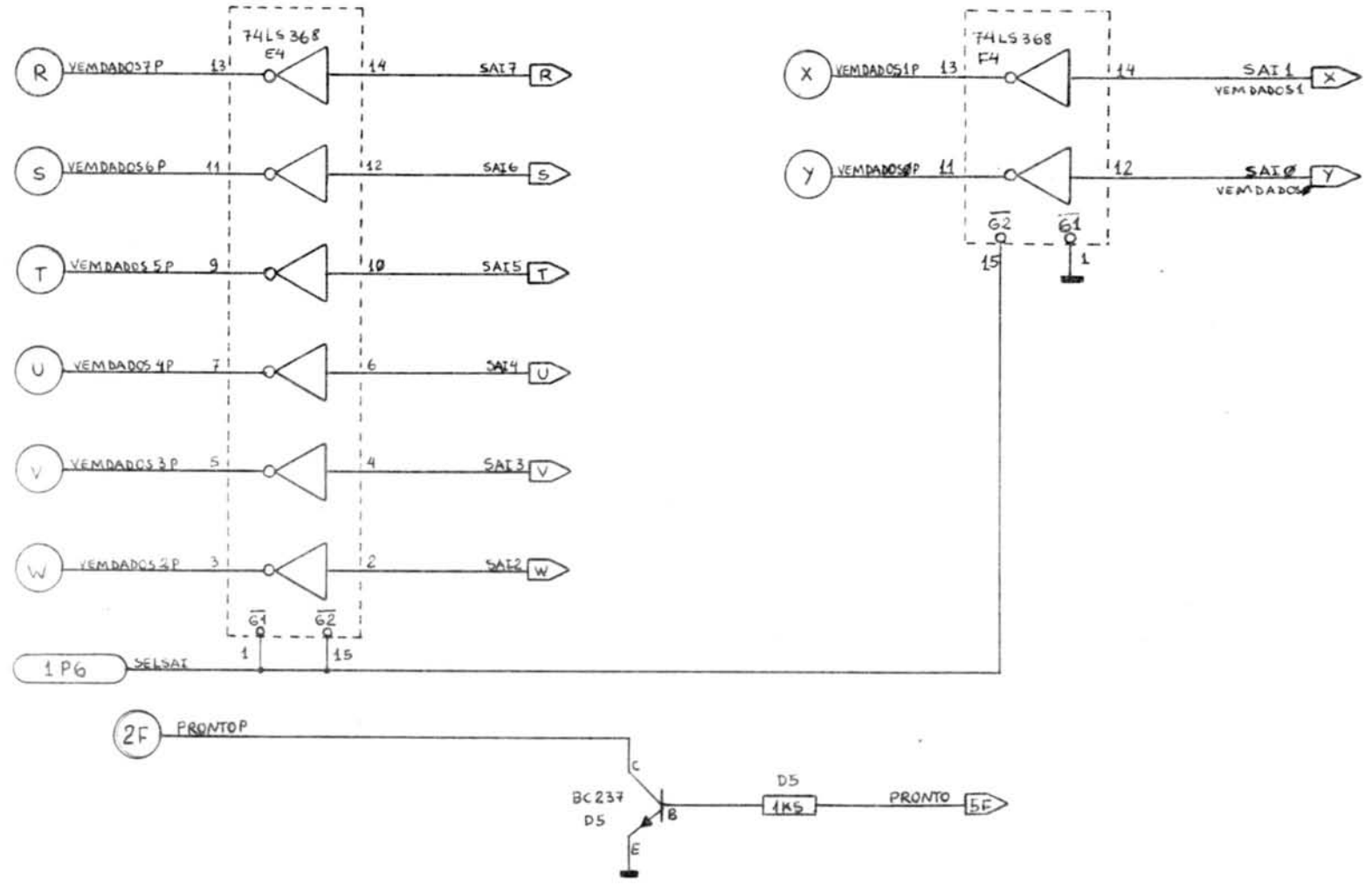
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	GAT	IN/OUT	R <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	G <sub>0</sub>	D	A	D	O	S	D	A	D	O	S

OBS: O BIT #15 DEVE SER MANTIDO EM ZERO.

CODIFICAÇÃO DOS DADOS DO BARRAMENTO

A B C D E F G H J K L M N P Q R

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



197

## BIBLIOGRAFIA

- /CAR 78/ CARAU, Frank P. Easy-to-Use, High Resolution Digitizer Increases Operator Efficiency. Hewlett-Packard Journal, Palo Alto, 29(16):2, Dec.1978.
- /DIG 80/ DIGITIZING OFFLINE. Computer Aided Design, New York, 12(5):272, Sept. 1980.
- /FUC 78/ FUCHS, Henry & KEDEM, Zvi M. The "Highly Intelligent" Tablet as an Efficient Pointing Device for Interactive Graphics. In: ACM ANNUAL CONFERENCE, Washington, Dec. 4-6, 1978. Proceedings, New York, ACM, 1978. v.2, p.765-69.
- /HAL 70/ HALLIDAY, David & RESNICK, Robert. Capacitores e dielétricos. In: \_\_\_\_\_. Física. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1970. pt.2, cap.30.
- /HET 78/ HETZEL, Henry T. Cursor Technology. Hewlett-Packard Journal, Palo Alto, 29(16):4, Dec. 1978.
- /OHL 78/ OHLSON, Mark. System Design Considerations for Graphics Input Devices. Computer, 11(11):9, Nov. 1978.
- /PRO 82/ PRONDZYNSKI, Paulo R. Um Estudo Sobre Formas de Aquisição de Informação Posicional Planar; trabalho individual. Porto Alegre, PCCC da UFRGS, 1982.
- /RON 81/ RONY, Peter R. Interfacing Fundamentals: 3-Wire Handshake Using Two Microcomputers. Computer Design, 20(8):154. Aug. 1981.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Pós-Graduação em Ciência da Computação

Mesa digitalizadora de  
alta resolução

Dissertação apresentada aos Srs.

Giuseppe Casanovella Siqueira

Marcelo Peres

Luiz M. B.

[Signature]

Leandro F. S.

Vista e permitida a impressão.

Porto Alegre, .23../.03../.83...

Helipe Mery

Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Ciência da Computação