

1. Publicação nº <i>INPE-3095-TDL/165</i>	2. Versão	3. Data <i>Maio, 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH-DTE</i>	Programa <i>FRH/ECO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>ESPECTRORRADIÔMETRO DETECTOR DO TIPO CCD</i>			
7. C.D.U.: <i>535.33.07/.08</i>			
8. Título <i>INPE-3095-TDL/165</i>		10. Páginas: 99	
<i>DESENVOLVIMENTO DE UM ESPECTRORRADIÔMETRO COM UMA REDE LINEAR DE DETECTORES DO TIPO CCD.</i>		11. Última página: D.6	
9. Autoria <i>Antonio Lopes Filho</i>		12. Revisada por <i>Dale Simonich</i> <i>Dale Martin Simonich</i>	
Assinatura responsável <i>Antonio Lopes Filho</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas  <i>Descreve-se o projeto de um instrumento para medida de reflexão espectral em bandas variáveis a critério do usuário dentro da faixa espectral de 400 a 900 nm. Tal instrumento deverá ser utilizado pelo INPE na determinação das bandas espectrais do satélite brasileiro de sensoriamento remoto.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de mestrado em Eletrônica e Telecomunicações, aprovado em 16 de dezembro de 1983.</i>			

Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Eletrônica e Telecomunicações

Dr. Plínio Tissi

Plínio Tissi

Presidente

Dr. Dale Martin Simonich

Dale M. Simonich

Orientador

Engº Marcus A. Andrade Siqueira, MSc.

M. A. Siqueira

Co-Orientador

Dr. César Celeste Ghizoni

César Ghizoni

Membro da Banca  
-convidado-

Candidato: Antonio Lopes Filho

São José dos Campos, 16 de dezembro de 1983

## AGRADECIMENTOS

A todos que possibilitaram o êxito deste trabalho e ao INPE que me propiciou a obtenção deste título.

ABSTRACT

*The design of an instrument for spectral reflectance measurements is described. The project provides a choice of detection bands in the spectral region from 400 to 900 nm. INPE is going to use such an instrument in the remote sensing Brazilian satellite spectral band determination.*

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>ix</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xi</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	<b>1</b>
1.1 - Apresentação .....	1
1.2 - Características do instrumento .....	3
1.2.1 - Características da eletrônica .....	3
1.2.2 - Características gerais .....	4
<u>CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA</u> .....	<b>7</b>
2.1 - Detectores CCD .....	7
2.2 - Funcionamento do instrumento .....	11
<u>CAPÍTULO 3 - ÓPTICA</u> .....	<b>15</b>
3.1 - Considerações iniciais .....	15
3.2 - Óptica coletora .....	15
3.3 - O monocromador .....	16
3.3.1 - A montagem de Ebert .....	18
3.3.2 - Dispersão .....	19
3.3.3 - Resolução espectral .....	22
3.4 - Lente redutora .....	23
3.5 - Iluminação .....	24
3.6 - Obtenção da reflectância espectral .....	25
<u>CAPÍTULO 4 - ELETRÔNICA</u> .....	<b>27</b>
4.1 - Descrição geral .....	27
4.2 - Circuito de acionamento do CCD .....	29
4.3 - Conversor A/D .....	32
4.4 - Memória intermediária .....	33
4.5 - Microprocessador e display/teclado .....	33

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 5 - SISTEMA DE CONTROLE E PROCESSAMENTO - "HARDWARE" E</u>	
<u>"SOFTWARE" .....</u>	37
5.1 - Funções do programa .....	37
5.2 - Aquisição dos dados .....	37
5.2.1 - Temporização do CCD e conversão A/D .....	38
5.2.2 - Memória intermediária .....	39
5.2.3 - Sincronização do microprocessador com o CCD e endereçamen to da escrita dos dados .....	40
5.3 - Análise do programa .....	43
5.3.1 - O programa .....	46
5.3.2 - Sub-rotina de divisão (DIV) .....	48
5.3.3 - Rotinas auxiliares .....	50
<u>CAPÍTULO 6 - RESULTADOS .....</u>	51
6.1 - Distribuição do espectro sobre os detectores .....	51
6.2 - Medidas de transmitâncias espectrais .....	52
6.3 - Medidas de reflectâncias espectrais .....	56
6.4 - Conclusão .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
APÊNDICE A - OPERAÇÃO DO INSTRUMENTO	
APÊNDICE B - GLOSSÁRIO	
APÊNDICE C - LISTAGEM DO PROGRAMA	
APÊNDICE D - DIAGRAMAS ELETRÔNICOS	

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Valores do Índice de refração ( $n$ ) com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) para vidro BK7, e os respectivos deslocamentos ( $dx$ ) na saída do monocromador .....	21
4.1 - Mapeamento dos endereços .....	34
5.1 - Mapeamento das memórias RAM .....	45

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Fotografia do protótipo .....	5
2.1 - Esquema simplificado de um sensor linear de imagem do tipo CCD .....	7
2.2 - Transferência unidirecional das cargas a três fases .....	8
2.3 - Curvas para o CCD TC-102: a) corrente de escuro - média em baixa frequência - em função do tempo de integração para diversas temperaturas; b) variação da sensibilidade com o comprimento de onda da radiação incidente .....	10
2.4 - Disposição dos diversos componentes no interior do módulo de detecção (corte horizontal) .....	12
2.5 - Detalhes do disco seletor de entrada: a) disco seletor; b) coleta da irradiância local (face reflectora); c) coleta da corrente de escuro (face opaca) .....	13
3.1 - Montagem básica de uma óptica dispersiva que utiliza prisma	17
3.2 - Montagem de Ebert com prisma .....	18
3.3 - Distribuição dos comprimentos de onda no plano focal do monocromador .....	21
3.4 - Posicionamento da lente redutora .....	23
3.5 - Direcionamento do tubo coletor da referência durante a medida .....	26
4.1 - Diagrama de blocos da eletrônica .....	28
4.2 - Diagrama de tempo dos sinais relativos ao CCD, TC-102, com $\phi_R = 500$ kHz, e suas funções .....	30
4.3 - Circuito de acionamento do CCD .....	32
4.4 - Diagrama de blocos do circuito de conversão .....	33
4.5 - Diagrama de blocos do circuito associado ao microprocessador	35
5.1 - Diagrama de blocos do circuito de acionamento do CCD e de conversão A/D .....	38
5.2 - Esquema da memória intermediária .....	40
5.3 - Diagrama de tempo do endereçamento de escrita na memória intermediária .....	41
5.4 - Circuito de sincronização $\mu P/CCD$ (a) e respectivo diagrama de tempo (b) .....	43
5.5 - Diagrama de blocos do programa de controle e processamento dos dados .....	44

	<u>Pág.</u>
5.6 - Distribuição dos dados nas memórias RAMs: a) memória intermediária e b) memória interna .....	45
6.1 - Comparação entre a distribuição espectral obtida e a esperada .....	52
6.2 - Curvas de transmitância de filtros faixa larga .....	53
6.3 - Curvas de transmitância de filtros de interferência com banda de 10 nm .....	55
6.4 - Curvas de reflectância de alvos naturais .....	56
6.5 - Reflectâncias médias esperadas para vegetação e solo .....	58
6.6 - Resposta do instrumento para um alvo padrão de reflectância unitária .....	58
6.7 - Variação da intensidade normalizada do sinal de referência no CCD com o ângulo entre o coletor óptico e um feixe de luz colimado .....	59

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - APRESENTAÇÃO

Instrumentos de Sensoriamento Remoto como, por exemplo, câmeras fotográficas, "scanners" de varredura mecânica, radares de visada lateral ou câmeras CCDs (Charge Coupled Devices) - instalados a bordo de satélites ou aeronaves são utilizados para a obtenção de imagens multiespectrais da superfície terrestre. Esses dados são coletados em diversas faixas espectrais, desde o ultravioleta (100 nm) até as microondas (100 mm). Porém é a estreita faixa do visível (400 a 700 nm) que tem tido maior utilização, devido à grande quantidade de informações nela contida e por ser nesta faixa que as imagens obtidas podem ser comprovadas no campo pela própria visão (Lintz et alii, 1978).

As imagens coletadas por estes sistemas, em bandas espectrais fixas e bem definidas, podem ser destinadas a uma variedade de aplicações em diversos campos, tais como: na Agricultura - previsão de safras, monitoramento do estado de saúde das plantações; na Geologia - prospecção de recursos minerais; na Cartografia - confecção de mapas; no Controle Ambiental - monitoramento de inundações, geadas, desmatamentos, poluição, etc.

Para a classificação temática destas imagens, com a utilização do computador por exemplo, é necessária a obtenção, no campo, dos dados de reflectância espectral ou Assinatura Espectral, dos diversos alvos de interesse. Instrumentos do tipo radiômetros ou espectrorradiômetros possibilitam a medida da radiância espectral do alvo e da irradiância solar incidente na cena, a partir das quais se obtém a reflectância espectral do alvo.

Estes radiômetros têm suas faixas espectrais de medição de finidas por filtros, o que restringe sua aplicação com relação às diversas bandas utilizadas atualmente. Os espectrorradiômetros possuem um monocromador com varredura automática do espectro, e os resultados são obtidos em função do comprimento de onda, sendo necessário integrá-los dentro das bandas desejadas, o que encarece o processo e adia os resultados.

Este trabalho descreve o projeto de um instrumento para medida da reflectância espectral em bandas variáveis, a critério dousoário, dentro da faixa de 400 a 900 nm. Tal instrumento será importante para o Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) na determinação das bandas espectrais do satélite brasileiro.

O instrumento constitui-se de uma óptica dispersiva que faz incidir o espectro da radiação de um alvo em uma linha de cerca de 1,6 mm de extensão, com 128 detectores de silício. Cada detector define uma banda de aproximadamente 4 nm de largura espectral. O mesmo sistema óptico, coleta a irradiância incidente na cena, através de um difusor. Os detectores, contidos em um único circuito integrado, são lidos serialmente pela técnica de dispositivos acoplados por carga (CCD), e os dados são digitalizados e processados por um microprocessador. O resultado, a reflectância média do alvo nas bandas escolhidas, é apresentado logo após a coleta dos dados.

Este é um sistema de grande utilidade em diversas aplicações, além do suporte ao Sensoriamento Remoto, entre as quais destacam-se: a realização de medidas experimentais de reflectância ou transmitância espectral, o monitoramento do particulado atmosférico, a pesquisa em energia solar, etc. O instrumento é ao mesmo tempo versátil com relação aos radiômetros de banda fixa, compacto, econômico e rápido com relação aos radiômetros espectrais de varredura. Isto graças à utilização da tecnologia dos CCDs, desenvolvida na última década, aliada ao forte apoio do microprocessador (micro), sem o qual um processamento em tempo real seria altamente dificultado.

## 1.2 - CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

O protótipo construído está distribuído em dois módulos alojados em caixas metálicas independentes, acopladas eletricamente por um cabo múltiplo de 2,5 m de comprimento. O Módulo de Detecção contém toda a óptica e a parte de detecção, incluindo a eletrônica de temporização do CCD. Neste módulo, existe ainda um circuito de acoplamento entre o microprocessador e um disco giratório que seleciona a entrada da óptica - disco seletor. O Módulo de Controle contém todos os circuitos eletrônicos de coleta, processamento e apresentação dos dados, até mesmo as fontes de alimentação. No painel deste módulo há um teclado que permite a comunicação com o micro, cujas respostas são apresentadas em um display hexadecimal.

### 1.2.1 - CARACTERÍSTICAS DA ELETRÔNICA

A seguir, apresentam-se as principais características da eletrônica:

- Detectores (Texas Instruments, 1982).
  - Tipo: TC 102 - Sensor linear de imagem com  $128 \times 1$  elementos, do tipo CCD.
  - Fabricante: Texas Instruments
  - Resposta espectral: 400 a 900 nm.
  - Exposição equivalente de ruído:  $0,35 \text{ nJ/cm}^2$ .
  - Gama dinâmica relativa ao ruído: 1000:1.
  - Dimensões de cada elemento sensor:  $12,7 \times 12,7 \text{ }\mu\text{m}$ .
- Microprocessador: 8085, 6,14 MHz (Intel).
- Conversor A/D: ADC 1103-003, 12 bits,  $3,5 \text{ }\mu\text{s}$  (Analog Devices).

- Consumo:

<u>Fonte (V)</u>	<u>Corrente Máxima (A)</u>
+ 5	1,0
+15	0,37
-15	0,16

- Alimentação: 110 V, 39 W.

### 1.2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

As características gerais do equipamento são:

- Ângulo de visada:  $< 1^{\circ}$ .
- Resolução espectral: 8 nm.
- Sensibilidade:  $20 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ .
- Gama dinâmica:  $2,5 \times 10^3$ .
- Tempo de medida: 5 segundos.
- Dimensões (cm):
  - Módulo de detecção:
    - largura: 21,5;
    - comprimento: 42,0;
    - altura: 21,5.
  - Módulo de controle:
    - largura: 17,0;
    - comprimento: 28,5;
    - altura: 15,0.

Na Figura 1.1 apresenta-se uma fotografia do protótipo, com o Módulo de Controle à direita.



Fig. 1.1 - Fotografia do protótipo.



## CAPÍTULO 2

### DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

Como já foi citado, pode-se dividir o sistema em estudo em duas partes principais: uma de detecção, com a óptica, e outra de controle, responsável pela aquisição e processamento dos dados. A seguir dá-se uma visão pouco detalhada, porém geral do funcionamento destas partes, com especial atenção aos detectores. Os detalhes são deixados para os capítulos posteriores.

#### 2.1 - DETECTORES CCD

O Módulo de Detecção baseia-se em um circuito integrado com 128 sensores de silício dispostos linearmente. O princípio de funcionamento deste circuito pode ser resumido como se segue.

A radiação incidente em cada detector é integrada durante um período de alguns milissegundos, resultando em uma quantidade de carga elétrica proporcional à energia coletada na área do detector. No final deste período, os "pacotes" de carga são transferidos, paralelamente, para um registrador de deslocamento analógico (Figura 2.1), onde serão transportados serialmente.

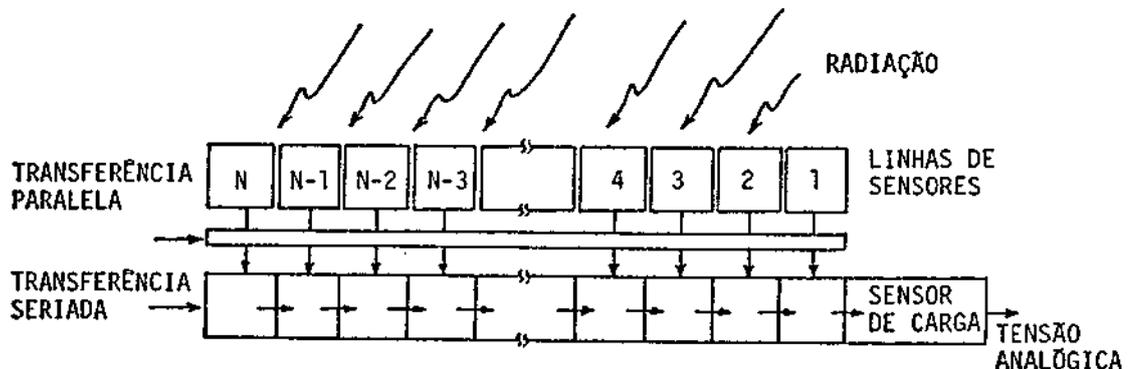


Fig. 2.1 - Esquema simplificado de um sensor linear de imagem do tipo CCD.

O transporte das cargas se dá através de "poços" de potencial no interior do semiconductor, gerados pela aplicação de tensões em eletrodos externos (Figura 2.2). Estes níveis de tensão são sequenciados de forma a manter as cargas isoladas (Beynon and Lamb, 1980). Na saída, os pacotes de carga são detectados individualmente por um sensor de carga, que os transforma em níveis analógicos de tensão (algumas centenas de milivolts).

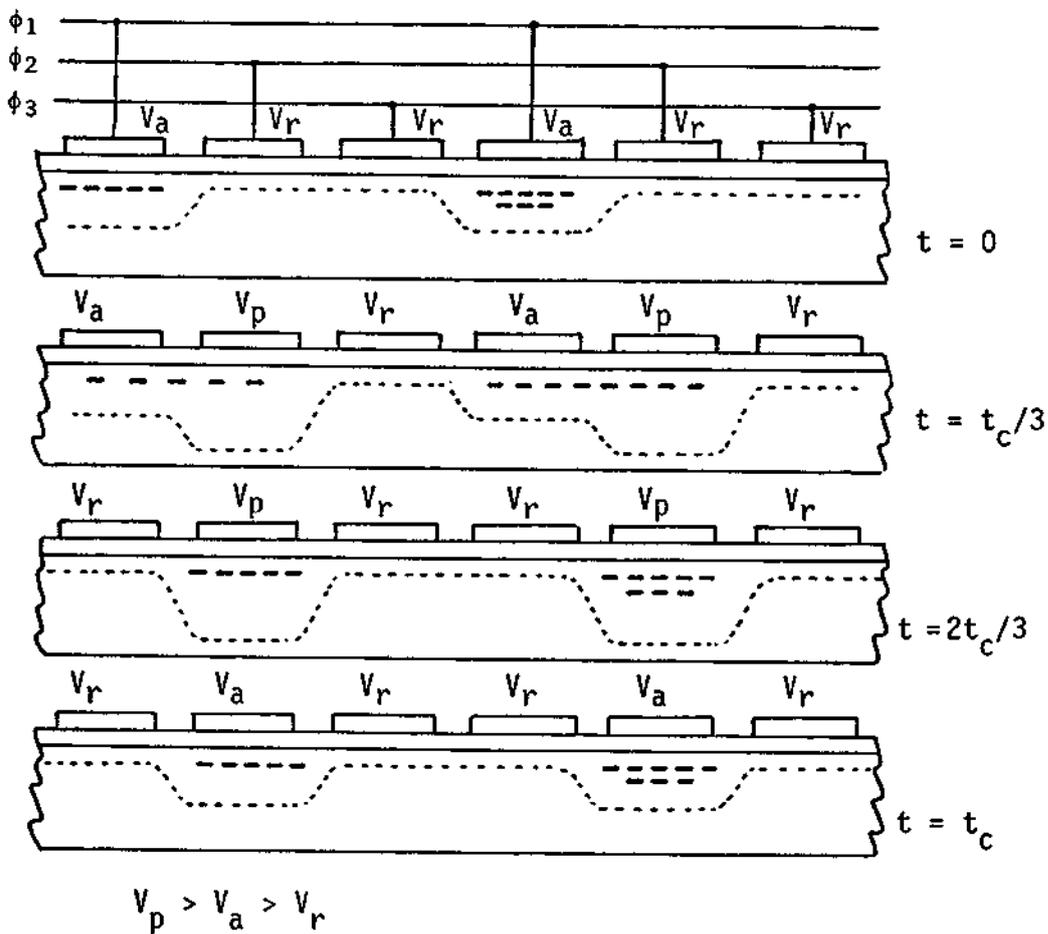


Fig. 2.2 - Transferência unidirecional das cargas a três fases.

Este processo de leitura utiliza a moderna tecnologia de dispositivos acoplados por carga, largamente utilizada atualmente no processamento de sinais, tanto analógicos como digitais.

Como todo dispositivo de detecção, os sensores de silício, juntamente com os dispositivos de leitura, estão sujeitos à geração de ruído. No caso, predomina o ruído térmico nos detectores, o qual gera a corrente de escuro (Beynon and Lamb, 1980). Este ruído tem um valor médio que cresce com a temperatura e com o tempo de integração (Figura 2.3a), introduzindo erros nos sinais obtidos. Portanto, quando há necessidade de precisão nos resultados, a corrente de escuro média deve ser medida para posterior correção dos dados.

Há ainda a limitação da resposta espectral dos detectores de silício (Figura 2.3b) que, por sua vez, limita a resposta do instrumento. Os gráficos da Figura 2.3 referem-se ao circuito integrado utilizado.

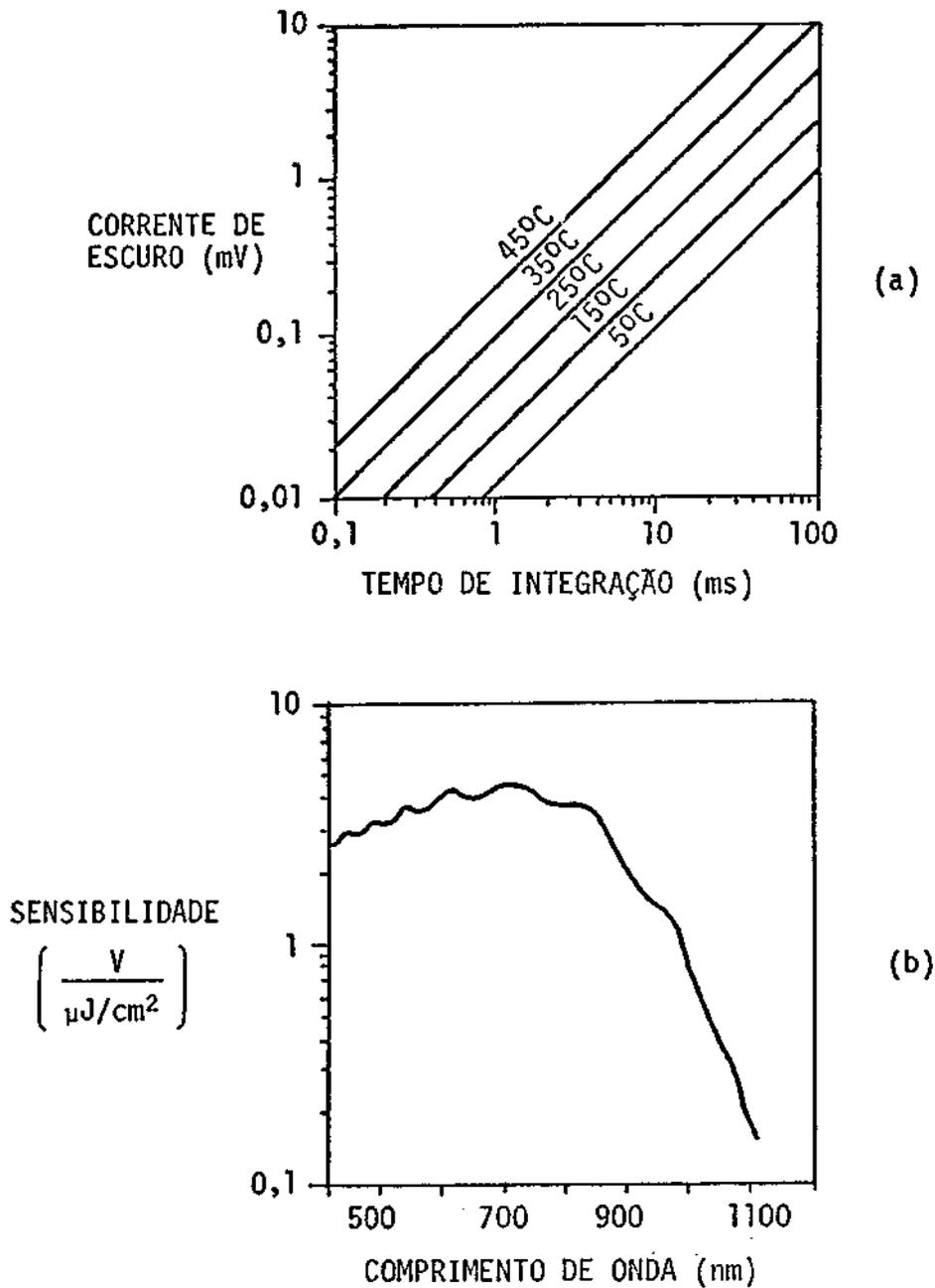


Fig. 2.3 - Curvas para o CCD TC-102: a) corrente de escuro - média em baixa frequência - em função do tempo de integração para diversas temperaturas; b) variação da sensibilidade com o comprimento de onda da radiação incidente.

## 2.2 - FUNCIONAMENTO DO INSTRUMENTO

Dentro do Módulo de Detecção, a radiação incidente nos detectores provém de uma óptica composta de uma parte de coleta da radiação e outra parte de dispersão e focalização do espectro (Figura 2.4). Toda esta óptica é descrita e analisada no próximo capítulo.

O espectro da radiação do alvo, incidente sobre os detectores, é lido e processado no Módulo de Controle. Porém, há necessidade de outros dois tipos de dados para possibilitar este processamento. Um é o valor da irradiância incidente no alvo, aqui chamado Referência, medido de forma análoga ao da radiação do alvo, mas através de um difusor. Este dado servirá de base para o cálculo da reflectância. O outro dado necessário é a corrente de escuro, chamado simplesmente Ruído, que deve ser subtraído, para cada detector, dos dados correspondentes obtidos do Alvo e da Referência. Este dado é coletado com a entrada da óptica obstruída.

Toda coleta e processamento dos dados é controlada por um microprocessador 8085. Inicialmente, a óptica está recebendo a radiação do alvo, o micro, acionado pelo operador do instrumento, inicia a leitura dos detectores e os dados são digitalizados e armazenados na memória. O disco seletor (Figura 2.5a) é acionado pelo micro e, em sua nova posição, provoca a reflexão da irradiância local sobre a óptica dispersiva (Figura 2.5b). Uma nova coleta é executada utilizando mais memória. Novamente o disco é acionado e, desta vez, passa a obstruir a incidência de luz sobre a óptica (Figura 2.5c). Nesta fase, o sinal coletado é o Ruído de cada detector. Com outro acionamento do disco, este volta à posição inicial para nova medição. Em cada uma destas três fases de coleta, os detectores são lidos quatro vezes seguidas e os dados adicionados na respectiva posição de memória, a fim de poder tirar uma média, o que minimiza a influência de sinais expúreos.

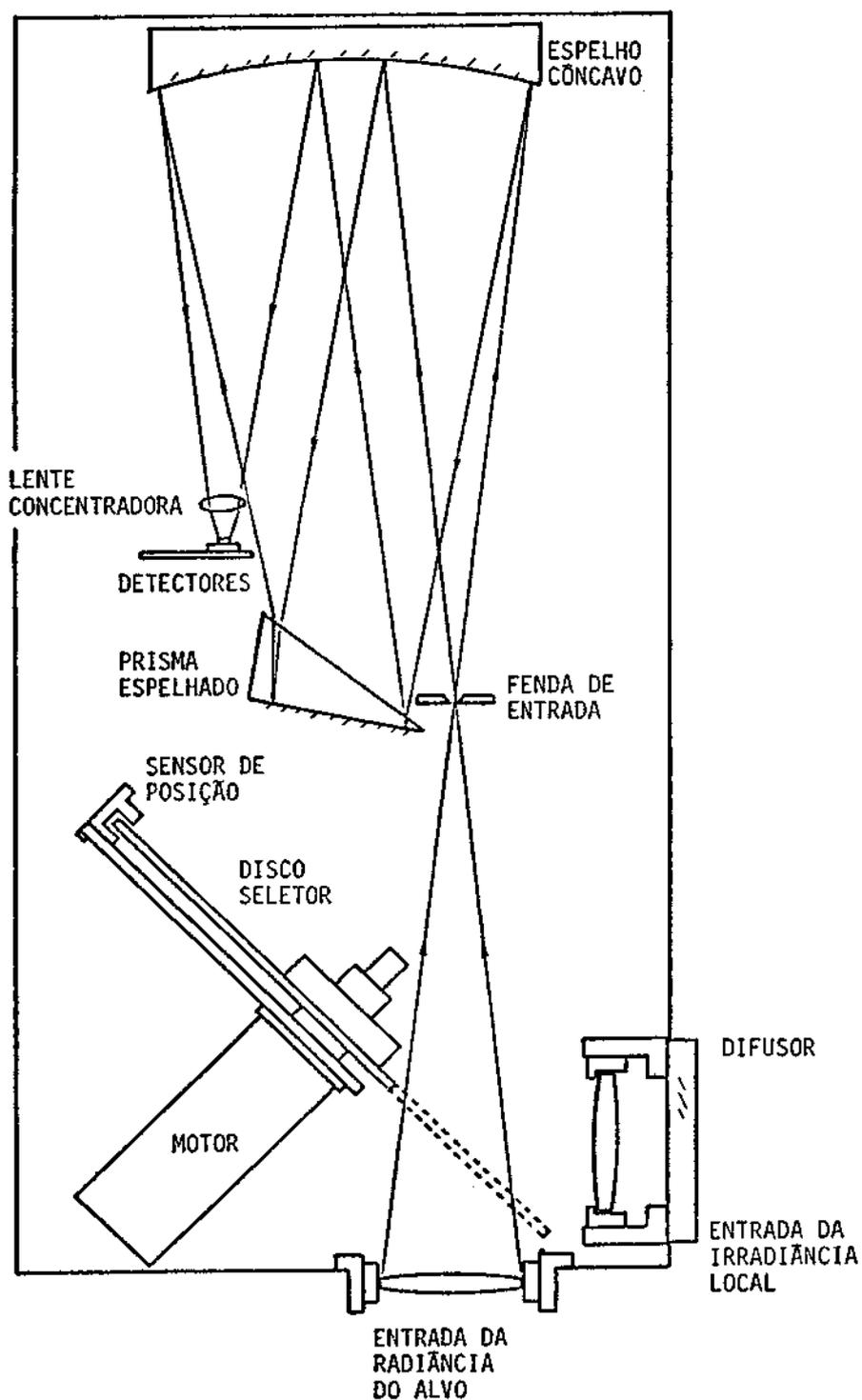


Fig. 2.4 - Disposição dos diversos componentes no interior do módulo de detecção (corte horizontal).

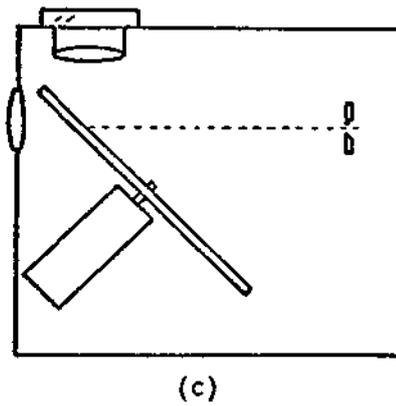
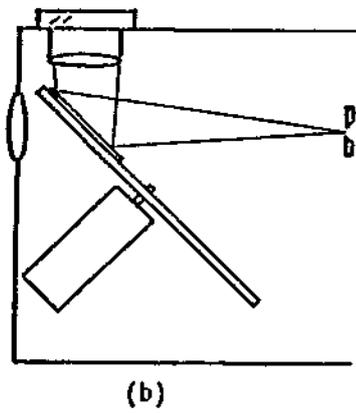
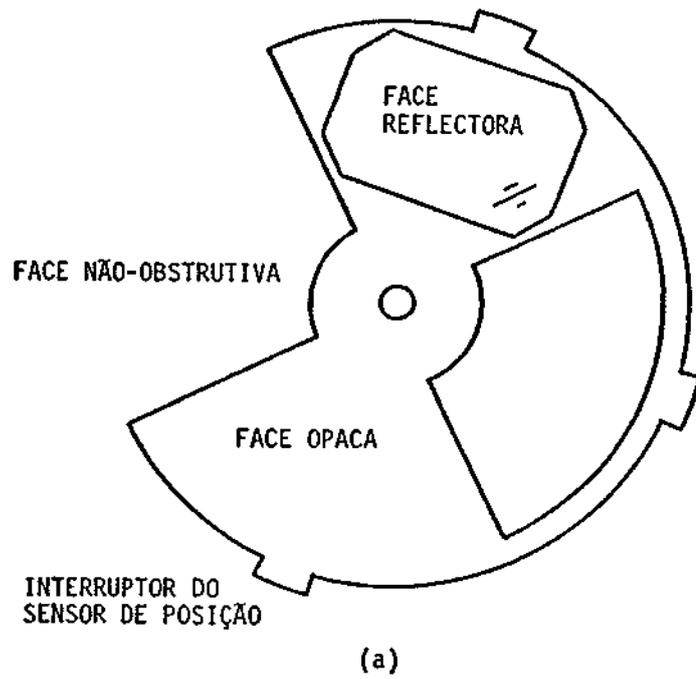


Fig. 2.5 - Detalhes do disco seletor de entrada: a) disco seletor; b) coleta da irradiância local (face reflectora); c) coleta da corrente de escuro (face opaca).

Uma vez adquiridos todos os dados, passa-se a fase de processamento. Primeiramente, cada dado é dividido por quatro, resultando em valores médios de quatro medidas. Em seguida, para cada um dos 128 pontos, ou detectores, o Ruído é subtraído dos outros dois tipos de dados. Os dados do Alvo são então divididos pelos respectivos valores da Referência, resultando em dados de reflectância espectral para cada ponto. Estes últimos ficam guardados na mesma memória onde estavam os dados do Alvo que são perdidos. Finalmente, os dados resultantes são transformados em valores de reflectância média dentro de bandas especificadas.

É interessante ressaltar que os valores obtidos de radiância e irradiância incluem a resposta espectral dos detectores, porém não há necessidade de levar este fato em conta, pois a resposta espectral do sistema e as variações de iluminação da cena são canceladas no quociente.

Note-se que, onde o texto se refere à reflectância, cabe também o conceito de transmitância, obtida de forma análoga. Vale observar que os valores da irradiância local ficam inalterados na memória, após cada medida, podendo ser acessados, ponto a ponto, caso seja necessário.

## CAPÍTULO 3

### ÓPTICA

#### 3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A óptica deste sistema foi idealizada tendo em vista a seguinte idéia básica: deseja-se projetar sobre uma linha, com 128 detectores, o espectro eletromagnético dispersado na faixa de 400 a 900 nm, proveniente de um alvo distante. É necessária uma resolução espectral em torno dos 4 nm, definida por um detector, e uma intensidade de radiação, ou iluminação, compatível com a sensibilidade dos detectores, da ordem de nanojoules por centímetro quadrado.

O sistema óptico que possibilita atingir este resultado compõe-se de três partes principais:

- Óptica coletora: define o ângulo de visada e a energia coletada, distribuindo-a uniformemente na entrada do monocromador.
- Óptica dispersiva ou monocromador: dispersa o espectro de radiação proveniente da óptica coletora, projetando-o em um plano de saída.
- Lente redutora: focaliza a imagem reduzida do espectro sobre os detectores.

A seguir, analisa-se cada uma dessas partes, separadamente, e avalia-se sua contribuição no resultado final.

#### 3.2 - ÓPTICA COLETORA

A óptica coletora consta de uma única lente com diâmetro  $D = 45$  mm e distância focal  $f = 50$  mm. A entrada do monocromador está localizada no plano focal desta lente, onde o fluxo de energia é dado por (Slater, 1980a):

$$E_f(\lambda) = \frac{\pi L_0(\lambda)}{4N^2} \quad (3.1)$$

onde:

$E_f(\lambda)$  é a irradiância espectral no foco da lente;

$N$  é o número  $f$  desta óptica;

$L_0(\lambda) = E(\lambda)/\pi$  é a radiância espectral do alvo na direção normal, sendo  $E(\lambda)$  a irradiância local.

Tal configuração tem a desvantagem do ângulo de visada ser definido pela fenda de entrada do monocromador. Esta fenda tem uma largura de 120  $\mu\text{m}$ , como será mostrado adiante, implicando um ângulo de visada muito pequeno ( $\sim 1$  mrd). O ideal seria uma óptica coletora com uma abertura circular (íris), definindo um ângulo de visada de  $10^\circ$  por exemplo, imageada sobre a entrada do monocromador.

### 3.3 - O MONOCROMADOR

O espectro de uma fonte de radiação pode ser obtido com a utilização de prismas ou de redes difratoras. Em um espectroscópio, este espectro é observado diretamente pelos olhos. O espectrógrafo registra o espectro em uma chapa fotográfica e, no caso de utilizar um detector para varrer e determinar a posição das raias espectrais, o instrumento é denominado espectrômetro. Se for possível a determinação da intensidade de cada raia, ter-se-á um espectrorradiômetro. Todos estes instrumentos são utilizados na análise espectral de uma fonte e têm como parte comum o monocromador, um sistema óptico que permite a obtenção de um fluxo de luz monocromático a partir de uma fonte de luz branca (Slater, 1980b).

Uma óptica dispersiva consiste basicamente nos seguintes elementos (Figura 3.1): uma fenda de entrada, ou "slit", na qual é focalizada a radiação da fonte a ser estudada; um elemento colimador, que projeta a radiação de entrada sobre o elemento dispersor em forma de raios paralelos; um elemento dispersor; e finalmente um elemento focalizador, que projeta o espectro resultante na saída. Esta saída, dependendo da aplicação, pode ou não conter outra fenda.

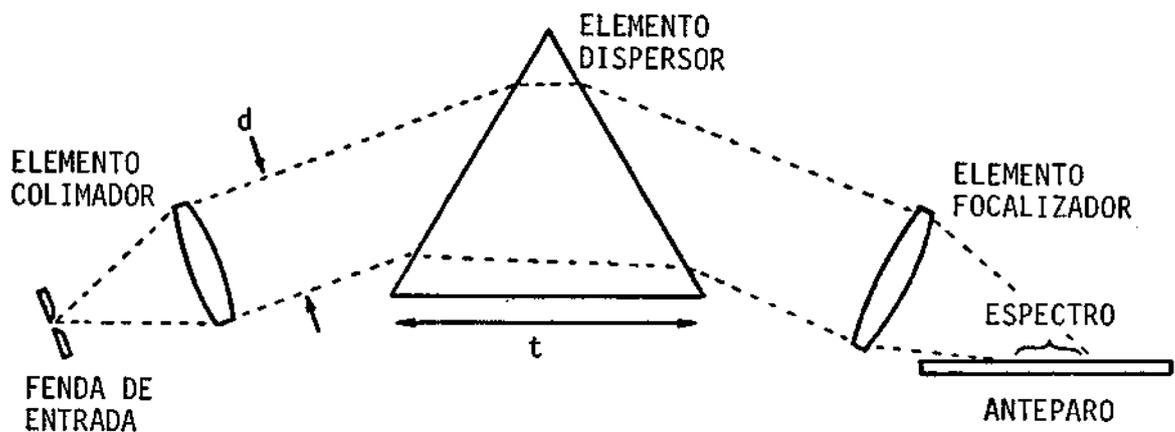


Fig. 3.1 - Montagem básica de uma óptica dispersiva que utiliza prisma.

Os principais parâmetros que caracterizam um monocromador, são a resolução espectral e a luminosidade. Resolução espectral é a razão  $\lambda/d\lambda$ , onde  $d\lambda$  é a diferença entre dois comprimentos de onda em torno de  $\lambda$  no limite da resolução. Este parâmetro relaciona-se com a dispersão e com a qualidade da óptica utilizada, de forma que quanto maior a dispersão e menores as aberrações, melhor será a resolução. Já a luminosidade está relacionada diretamente com o fluxo de energia na fenda de entrada e inversamente com a dispersão.

Como a resolução espectral não é um fator crítico para o instrumento aqui descrito, utilizou-se um prisma como elemento dispersor. Uma rede difratora seria interessante no caso em questão, mais por sua característica de dispersão linear do que pela melhor resolução espectral. Segundo Harrison (1948), nos prismas a dispersão diminui com o comprimento de onda dentro do espectro visível.

### 3.3.1 - A MONTAGEM DE EBERT

O tipo de óptica dispersiva escolhida foi a Montagem de Ebert (James and Sternberg, 1969), pela sua relativa simplicidade e boa resolução espectral. Nesta montagem, de acordo com a Figura 3.2, as fendas de entrada e de saída encontram-se no plano focal de um espelho côncavo. Um prisma espelhado localiza-se entre as duas fendas, sobre a normal ao centro do espelho. A função deste último é colimar a radiação proveniente da primeira fenda sobre o prisma e focalizar a radiação dispersada sobre um plano de saída.

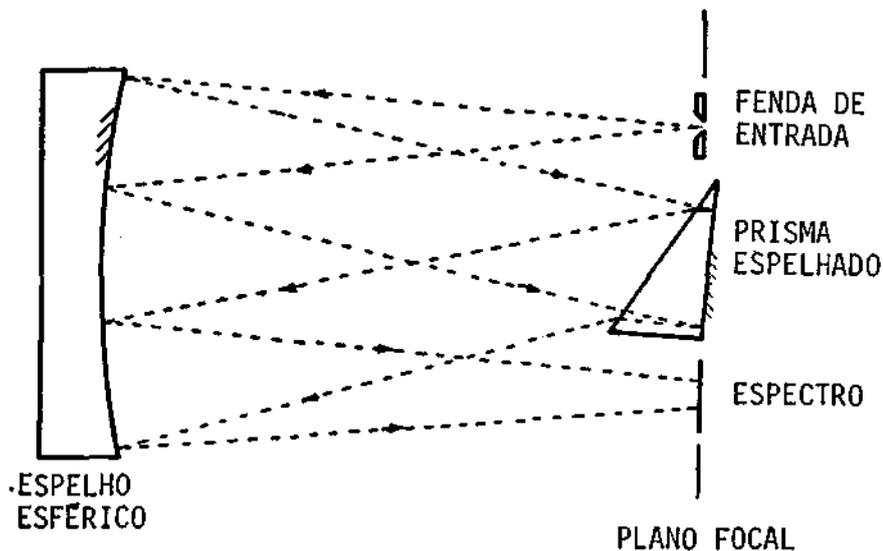


Fig. 3.2 - Montagem de Ebert com prisma.

Esta óptica tem a vantagem de que as distorções introduzidas pela primeira incidência fora do centro no espelho côncavo são compensadas, de certa forma, pela segunda incidência (James and Sternberg, 1969).

Os componentes do monocromador utilizado possuem as seguintes características:

- Espelho côncavo:
  - dimensões: 120 × 60 mm;
  - distância focal: 200 mm.
  
- Prisma espelhado:
  - dimensões da face espelhada: 50 × 50 mm;
  - ângulo: 30°;
  - tipo de vidro: Crown - BK7.

As análises da dispersão e da resolução espectral deste sistema são apresentadas nas próximas seções.

### 3.3.2 - DISPERSÃO

A equação que fornece a dispersão de um feixe de luz que passa através de um prisma é (Slater, 1980c):

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{t}{d} \frac{dn}{d\lambda}, \quad (3.2)$$

onde:

$\theta$  é o ângulo de desvio,

$d$  é a largura do feixe incidente (ver Figura 3.1),

$t$  é a largura da base do prisma,

$n$  é o índice de refração do vidro que compõe o prisma.

Segundo Melles Griot (1982), a relação  $n$  em função de  $\lambda$  pode ser sintetizada para o vidro óptico do prisma utilizado como:

$$n^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8} \quad , \quad (3.3)$$

com os coeficientes:

$$A_0 = 2,2718929;$$

$$A_1 = -1,0108077 \times 10^{-2};$$

$$A_2 = 1,0592509 \times 10^{-2};$$

$$A_3 = 2,0816965 \times 10^{-4};$$

$$A_4 = -7,6472538;$$

$$A_5 = 4,9240991 \times 10^{-7}.$$

Sabendo ainda que a cada variação ( $d\theta$ ) do ângulo de desvio corresponde uma variação ( $dx$ ) no foco do espelho e com base na relação  $\tan \theta = \theta$ , obtida da aproximação para pequenos ângulos, tem-se:

$$dx = f_e d\theta = f_e \frac{t}{d} dn \quad (3.4)$$

onde  $f_e$  é a distância focal do espelho.

Para  $t = 2 \times 30$  mm,  $d = 40$  mm e  $f_e = 200$  mm, obtém-se o resultado apresentado na Tabela 3.1, onde estão os valores de  $n$  calculados pela Expressão 3.3 e os  $dx$  obtidos da relação 3.4. No gráfico da Figura 3.3 tem-se a distribuição dos comprimentos de onda no plano focal do monocromador. Do somatório entre os  $dx$  de 400 e 900 nm, estima-se que esta faixa de espectro estará distribuída em uma extensão de 6,45 mm no plano de saída.

TABELA 3.1

VALORES DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO ( $n$ ) COM O COMPRIMENTO DE ONDA ( $\lambda$ ) PARA VIDRO BK7, E OS RESPECTIVOS DESLOCAMENTOS ( $dx$ ) NA SAÍDA DO MONOCROMADOR

$\lambda$ (nm)	$n$	$dx$ (mm)
400	1,53083	1,65
450	1,52533	1,18
500	1,52140	0,86
550	1,51853	0,67
600	1,51630	0,53
650	1,51453	0,44
700	1,51307	0,37
750	1,51183	0,32
800	1,51077	0,28
850	1,50983	0,15
900	1,50933	

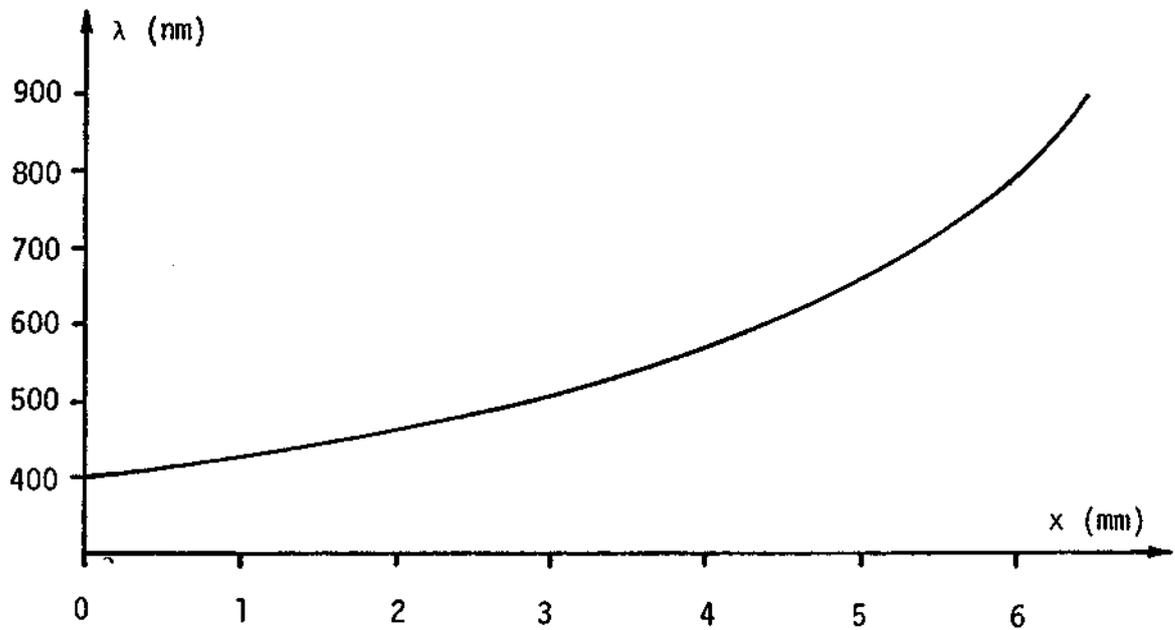


Fig. 3.3 - Distribuição dos comprimentos de onda no plano focal do monocromador

### 3.3.3 - RESOLUÇÃO ESPECTRAL

A resolução espectral máxima obtível com esta óptica pode ser avaliada pela expressão (Slater, 1980c):

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = t \frac{dn}{d\lambda} \quad (3.5)$$

que, tomando um valor médio de  $dn/d\lambda = 0,06 \mu\text{m}^{-1}$  para  $\lambda = 650 \text{ nm}$ , resulta em uma resolução  $\lambda/d\lambda = 3,6 \times 10^3$ , ou 0,2 nm em 650 nm.

Esta resolução espectral somente será atingida se a fenda de entrada tiver sua abertura ( $\ell$ ) satisfazendo a relação:

$$\ell = \frac{\Delta x \, d\lambda}{\Delta \lambda} \quad (3.6)$$

onde:

$\Delta x$  é a largura física total do espectro (6,45 mm),

$\Delta \lambda$  é a extensão espectral total (500 nm),

$d\lambda$  é a menor banda resolvível.

A Expressão 3.6 é obtida supondo a dispersão linear e sabendo que o espectro resultante corresponde a uma superposição de imagens monocromáticas da fenda de entrada.

Uma resolução de 0,2 nm é exagerada para a aplicação em Sensoriamento Remoto, além de ser muito menor do que a resolução de 4 nm definida pelos detectores. Como a resolução espectral relaciona-se com a quantidade de energia que atinge cada detector (até 4 nm, quanto melhor a resolução, menor a energia incidente, pois está havendo maior distribuição espectral), limitou-se a resolução final em 8 nm fixando a abertura da fenda de entrada em 120  $\mu\text{m}$ .

### 3.4 - LENTE REDUTORA

Como o espectro obtido na saída do monocromador tem sua largura física ( $\Delta x$ ) maior do que os 1,63 mm ( $128 \times 12,7 \mu\text{m}$ ) cobertos pelos detectores, houve necessidade de reduzir esta imagem com a utilização de uma lente convergente (Figura 3.4).

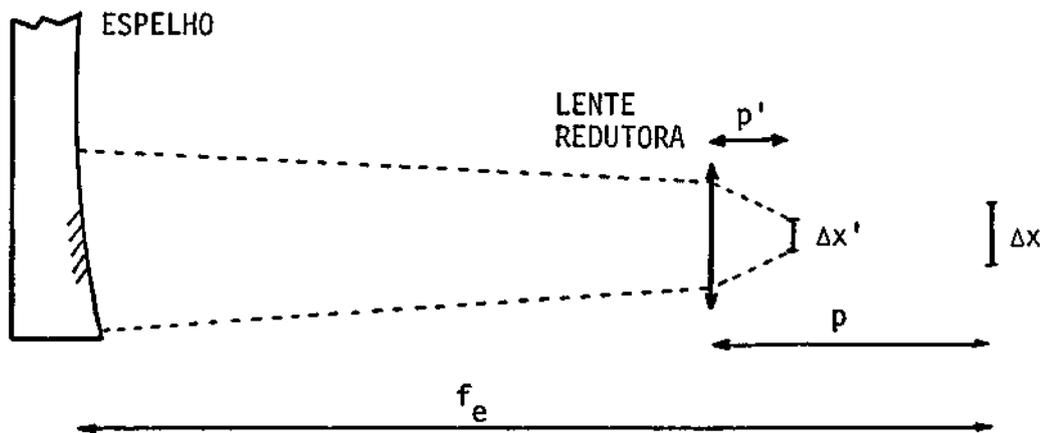


Fig. 3.4 - Posicionamento da lente redutora.

Aplicando a equação geral para lentes a este caso, obtêm-se a relação:

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f} \quad , \quad (3.7)$$

que para uma lente com  $f = 22 \text{ mm}$  (25 mm de diâmetro), colocada a distância  $p = 65,1 \text{ mm}$  do plano focal do espelho, produz uma imagem a uma distância  $p' = 16,4 \text{ mm}$ , reduzida 3,96 vezes. Desta forma, o espectro de 400 a 900 nm passa a incidir sobre os 128 detectores.

Esta lente tem o inconveniente de introduzir aberrações cromáticas, dificultando a focalização simultânea de todo o espectro desejado sobre os detectores.

### 3.5 - ILUMINAÇÃO

O fluxo de energia que atinge os detectores pode ser estimado com base na Expressão 3.1. Supondo que o fluxo de energia ( $E_d$ ) sobre os detectores seja o fluxo na fenda de entrada, submetido ao efeito da dispersão e da atenuação da óptica, obtém-se no plano focal do monocromador:

$$E_d = E_f(\lambda) \rho d\lambda \quad , \quad (3.8)$$

onde:

$\rho$  é o coeficiente de atenuação da óptica, estimado em 50%;

$d\lambda$  é a resolução espectral (8 nm).

A lente redutora, por sua vez, aumenta este fluxo de  $(1/a)^2$ , onde  $a = p'/p$  é o aumento linear relativo à montagem. Este fator na Expressão 3.8, com  $E_f(\lambda)$  substituído pela Expressão 3.1, resulta em:

$$E_d' = \left( \frac{1}{a} \right)^2 \frac{\pi L_0(\lambda)}{4N^2} \rho d\lambda \quad (3.9)$$

A mínima iluminação detectável por este sistema é obtida substituindo  $E_d'$  na Expressão 3.9, pela exposição equivalente de ruído dos detectores que, segundo o fabricante, vale  $0,35 \text{ nJ} \cdot \text{cm}^{-2}$  ou  $35 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2}$  para um tempo de integração de 10ms. Este valor, juntamente com os dados já fixados, leva a uma radiância equivalente de ruído,  $L_{0r}(\lambda) \approx 20 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ . Sendo o valor máximo de  $L_0(\lambda)$  estimado em  $50 \text{ } \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ , para um alvo com reflectância unitária iluminado diretamente pelo Sol, a gama dinâmica do instrumento será  $2,5 \times 10^3$ . Deve-se tomar o cuidado de atenuar o fluxo sobre os detectores para radiancias maiores do que  $10^3 \times L_{0r}(\lambda)$ , de forma a evitar a saturação destes.

Esta sensibilidade foi considerada satisfatória, mas pode ser melhorada com a redução do tempo de integração ou mesmo com a diminuição do número  $f$  da óptica coletora.

### 3.6 - OBTENÇÃO DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL

Levando em consideração a reflectância espectral ( $\rho(\lambda)$ ), do alvo, que foi considerada igual a um na Expressão 3.1, obtêm-se o fluxo de energia na entrada do monocromador como:

$$E_A(\lambda) = \frac{\rho(\lambda)E(\lambda)}{4N^2} \quad . \quad (3.10)$$

No caso deste fluxo ser proveniente do difusor, a expressão é análoga à expressão acima, com a reflectância do alvo substituída pela transmitância ( $\tau(\lambda)$ ) do difusor, ou seja:

$$E_R(\lambda) = \frac{\tau(\lambda)E(\lambda)}{4N^2} \quad (3.11)$$

Do quociente entre estas duas expressões resulta a reflectância espectral:

$$\frac{\rho(\lambda)}{\tau(\lambda)} = \frac{E_A(\lambda)}{E_R(\lambda)} \quad (3.12)$$

Nestes cálculos supõe-se que o difusor seja lambertiano e esteja recebendo a radiância local no mesmo ângulo que o alvo. O difusor, parte de um tubo giratório coletor da radiação de referência, deverá estar apontado para o zênite (vertical), segundo a Figura 3.5.

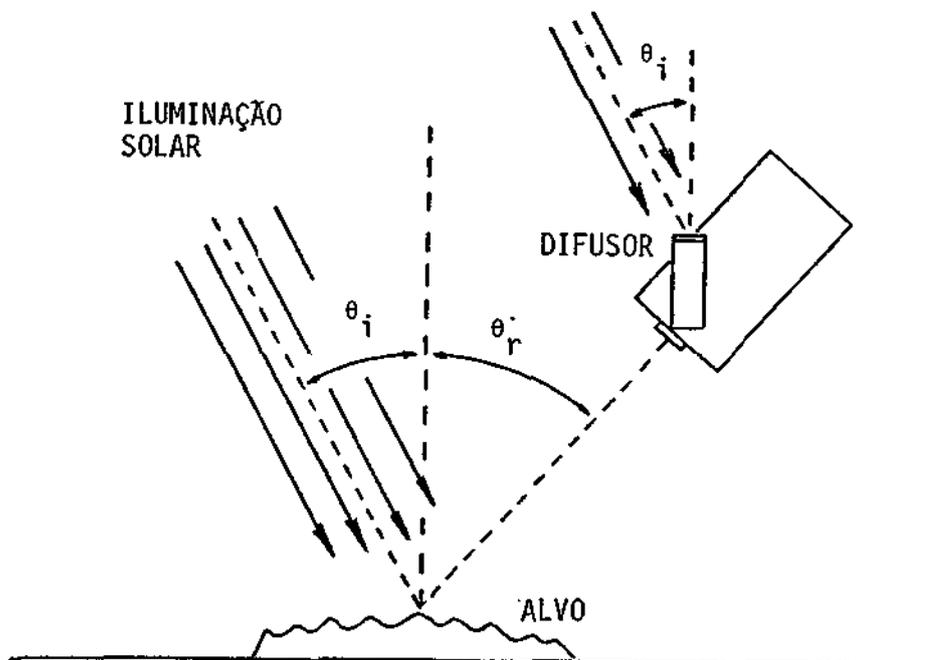


Fig. 3.5 - Direcionamento do tubo coletor da referência durante a medida.

A função  $1/\tau(\lambda)$  pode ser obtida utilizando um alvo padrão de reflectância unitária (padrão branco). Ao efetuar a medida de reflectância deste alvo com o instrumento a ser calibrado, obtém-se a função esperada, a qual permite a correção dos resultados obtidos de outros alvos.

## CAPÍTULO 4

### ELETRÔNICA

#### 4.1 - DESCRIÇÃO GERAL

A eletrônica do sistema consiste em seis circuitos montados em placas de circuito impresso distintas, relacionados a seguir:

- Circuito digital de acionamento do CCD: com cinco circuitos integrados em lógica CMOS e três transistores, suficientes para gerar e acoplar a temporização para acionamento do CCD e sincronização dos demais circuitos.
- Conversor A/D: esta placa contém dois circuitos híbridos: um SHA-2A para amostragem e retenção, 500 ns, e um ADC 1103-003, conversor A/D, 12 bits e 3,5  $\mu$ s. Esta placa possui ainda dois CIs em lógica TTL e um amplificador operacional. O sinal analógico proveniente do CCD é digitalizado nesta placa e armazenado, em tempo real, na placa da Memória Intermediária.
- Memória Intermediária: com três RAM 2101-2, 4  $\times$  256 bits e 450ns; um 8282, "octal latch"; e um TTL para decodificação de endereço.
- Microprocessador: nesta placa encontra-se uma CPU 8085; uma memória 8355, 2K de ROM mais duas portas de I/O; uma memória 8755, 2K de EPROM mais duas portas de I/O; uma memória 8185, 1K de RAM; um conversor D/A AD 562, 12 bits; um decodificador de endereços 8205; dois CIs TTL; e um amplificador operacional.
- Display e teclado: esta placa permite a comunicação operador/microprocessador através do CI controlador, 8279, auxiliado por um multiplex, 74156. O operador tem acesso a 22 teclas de programação e controle do monitor, e obtém as informações em seis displays hexadecimais acionados por treze transistores.

#### 4.2 - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DO CCD

A função deste circuito é gerar os diversos sinais digitais necessários para operar o CCD (Texas Instruments, 1982). Estes sinais são mostrados no diagrama de tempo da Figura 4.2 juntamente com seus valores de tensão e suas funções. Utilizou-se a lógica CMOS, alimentada com  $V_{SS} = -15$  V e  $V_{DD} = 0$  V, de forma que os sinais gerados, com exceção de  $\phi_{\omega R}$ , fossem compatíveis com o componente.

Na Figura 4.3 tem-se o diagrama simplificado do circuito. O astável oscila no dobro da frequência de pontos, e  $FF_1$  e  $FF_2$  formam um contador em anel, do qual é obtido  $\phi_R$ . O primeiro mono-estável juntamente com  $FF_4$  determina o tempo de integração gerando  $\phi_{\omega R}$  e  $\phi_X$ . O inversor "A" na entrada  $\phi_{\omega R}$  desloca o sinal para os níveis exigidos de +7 e +15 volts.

À saída do CCD, OS, está acoplado um transistor na configuração seguidor de emissor, que a protege de uma sobrecarga, além de reduzir a incidência de ruído no acoplamento com o próximo circuito.

BOS é um sinal idêntico ao  $\phi_{\omega R}$ , porém com níveis compatíveis com a lógica TTL. Analogamente, RCK é um sinal TTL correspondente a  $\phi_R$ . Estes sinais permitem a sincronização dos demais circuitos com o CCD.

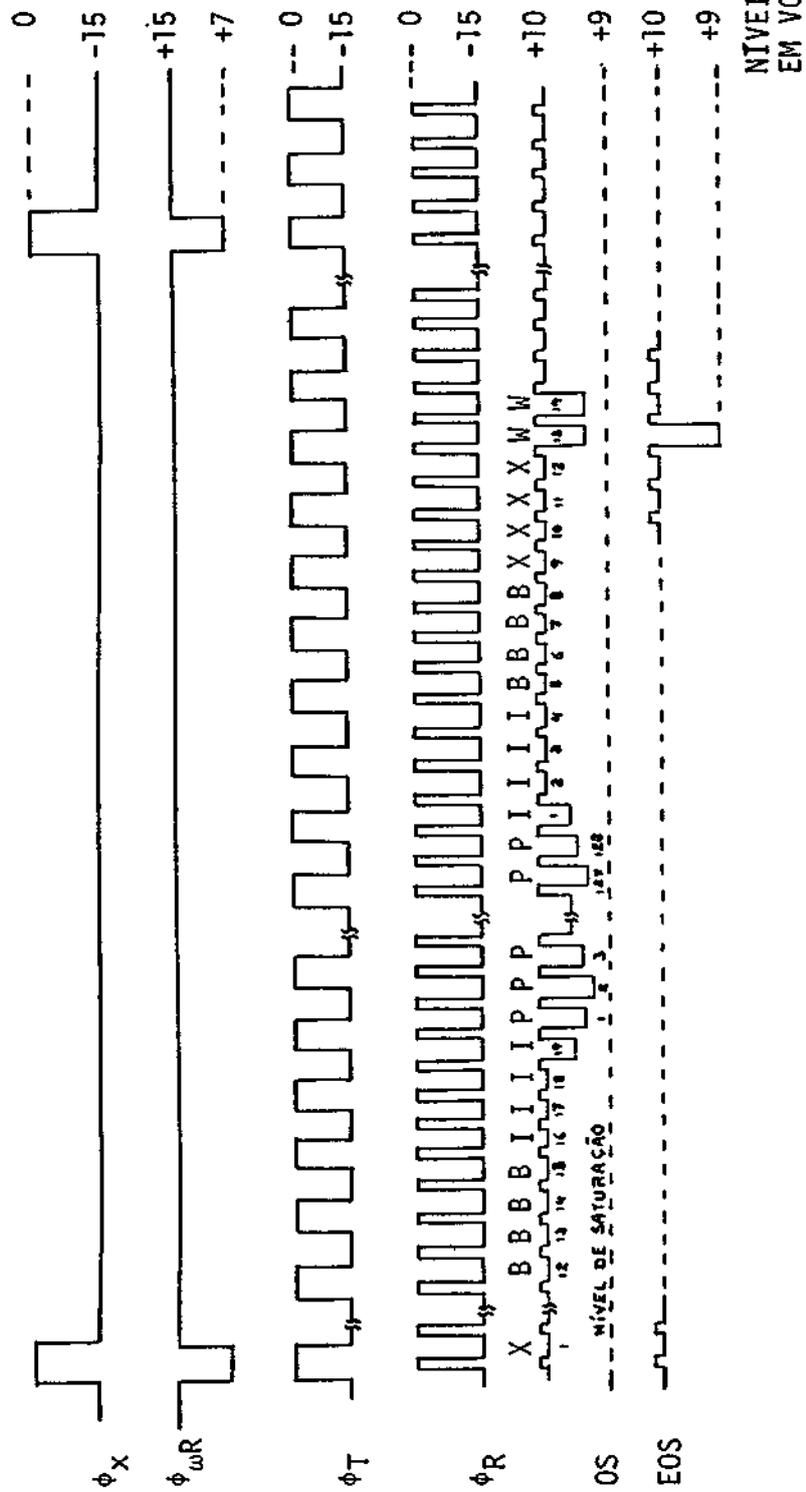


Fig. 4.2 - Diagrama de tempo dos sinais relativos ao CCD, TC-102, com  $\phi_R = 500$  kHz, e suas funções.

(continua)

$\phi_X$  e  $\phi_{\omega R}$ : Determinam o tempo de integração, transferindo a carga acumulada nos detectores para o registrador de deslocamento.

$\phi_T$ : Transporta as cargas pelo registrador de deslocamento analógico.

$\phi_R$ : Limpa o amplificador de saída do CCD e representa a frequência de saída dos pontos.

OS: Sinal de saída, cujos índices representam: X - sem informação, B - nível preto, I - pontos de isolamento, P - pontos de sinal dos detectores, W - nível vel branco (~75% da saturação).

EOS: Saída auxiliar indicadora do final de varredura, ou seja, esvaziamento do registrador de deslocamento.

Fig. 4.2 - Conclusão.

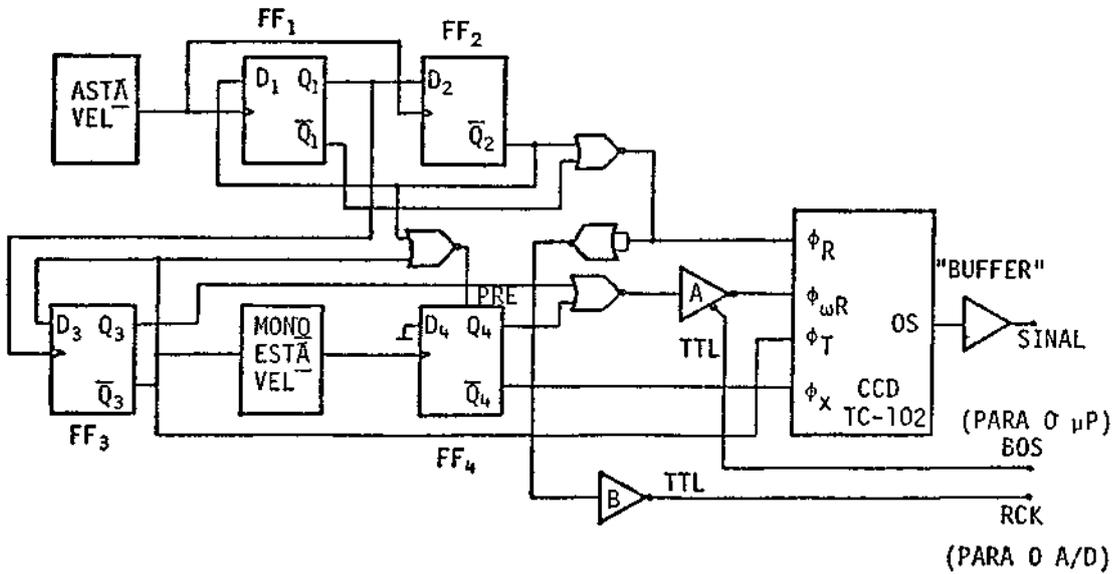


Fig. 4.3 - Circuito de acionamento do CCD.

#### 4.3 - CONVERSOR A/D

Segundo o diagrama de blocos da Figura 4.4, o sinal proveniente do CCD é ampliado em um circuito analógico, onde o seu nível DC é subtraído. O sinal de cada sensor é então amostrado com um atraso referente ao RCK, definido pelo mono-estável 2. O terceiro mono-estável garante que a conversão se inicie com a saída do circuito de amostragem e retenção, S/H, estabilizada. A saída STATUS do conversor analógico/digital, A/D, permanece alta até o fim da conversão e é utilizada para acionar a escrita na Memória Intermediária através do microprocessador.

Um detector de nível, FF, monitora constantemente a saída do circuito de amostragem e aciona um indicador (LED) no painel, sempre que houver saturação do sinal analógico. A saturação ocorre quando há excesso de iluminação sobre os detectores.

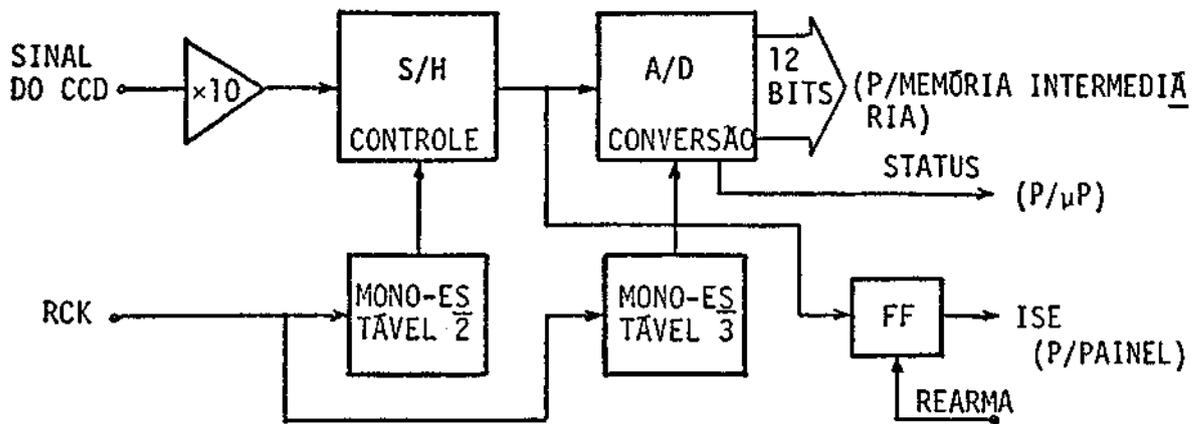


Fig. 4.4 - Diagrama de blocos do circuito de conversão.

#### 4.4 - MEMÓRIA INTERMEDIÁRIA

Este circuito é analisado no próximo capítulo juntamente com o programa (Seção 5.2.2).

#### 4.5 - MICROPROCESSADOR E DISPLAY/TECLADO

Os diversos componentes acoplados ao microprocessador (Figura 4.5) são selecionados pelo decodificador de endereços (8205). A distribuição destes endereços está relacionada na Tabela 4.1.

As alterações com relação ao sistema básico que utiliza o microprocessador 8085 (fornecido em forma de kit, SDK-85) são o acoplamento da Memória Intermediária no barramento, a troca da RAM 8155 pela 8185 e o acréscimo da EPROM 8755. Foi utilizado o mesmo monitor do SDK-85, que é suficiente para a aplicação e permite a verificação e a alteração dos conteúdos de memória e de registradores, assim como a geração e a execução de programas. Da mesma forma que não é objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um monitor para o 8085, também não cabe aqui entrar em detalhes a respeito do funcionamento do  $\mu P$  e de seus componentes associados. Para isto, sugere-se a consulta do Intel Corporation (1978 e 1979).

TABELA 4.1

MAPEAMENTO DOS ENDEREÇOS

COMPONENTE	ENDEREÇOS LIMITES A <sub>15</sub> ————— A <sub>0</sub>	CONTEÚDO
ROM (8355)	0000 0000 0000 0000 0000 0111 1111 1111	Monitor
EPROM (8755)	0001 0000 0000 0000 0001 0111 1111 1111	Programa
Display/Teclado (8279)	0001 1XX0 0000 0000 0001 1XX1 1111 1111	Dados do 8279
RAM Interna (8185)	0010 0X00 0000 0000 0010 0X11 1111 1111	Dados Processados
RAM Intermediária (2101)	0011 0XX0 0000 0000 0011 0XX1 1111 1111	Dados Recém-coletados

O diagrama da Figura 4.5 fornece uma rápida idéia de como estão acoplados os diversos componentes em torno do  $\mu P$ . O programa armazenado na EPROM é chamado pelo operador, via teclado, com o auxílio do monitor. Uma vez iniciado o programa, o micro vai efetuando sucessivas aquisições de dados, sempre em sincronismo com a saída de pontos do CCD, o que é garantido pelas linhas SOD, S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub> e RST 6.5 do 8085. A Memória Intermediária permite o registro destes dados em tempo real e, simultaneamente, isola as saídas do conversor A/D que, por atuar continuamente, não pode estar ligado ao barramento de dados.

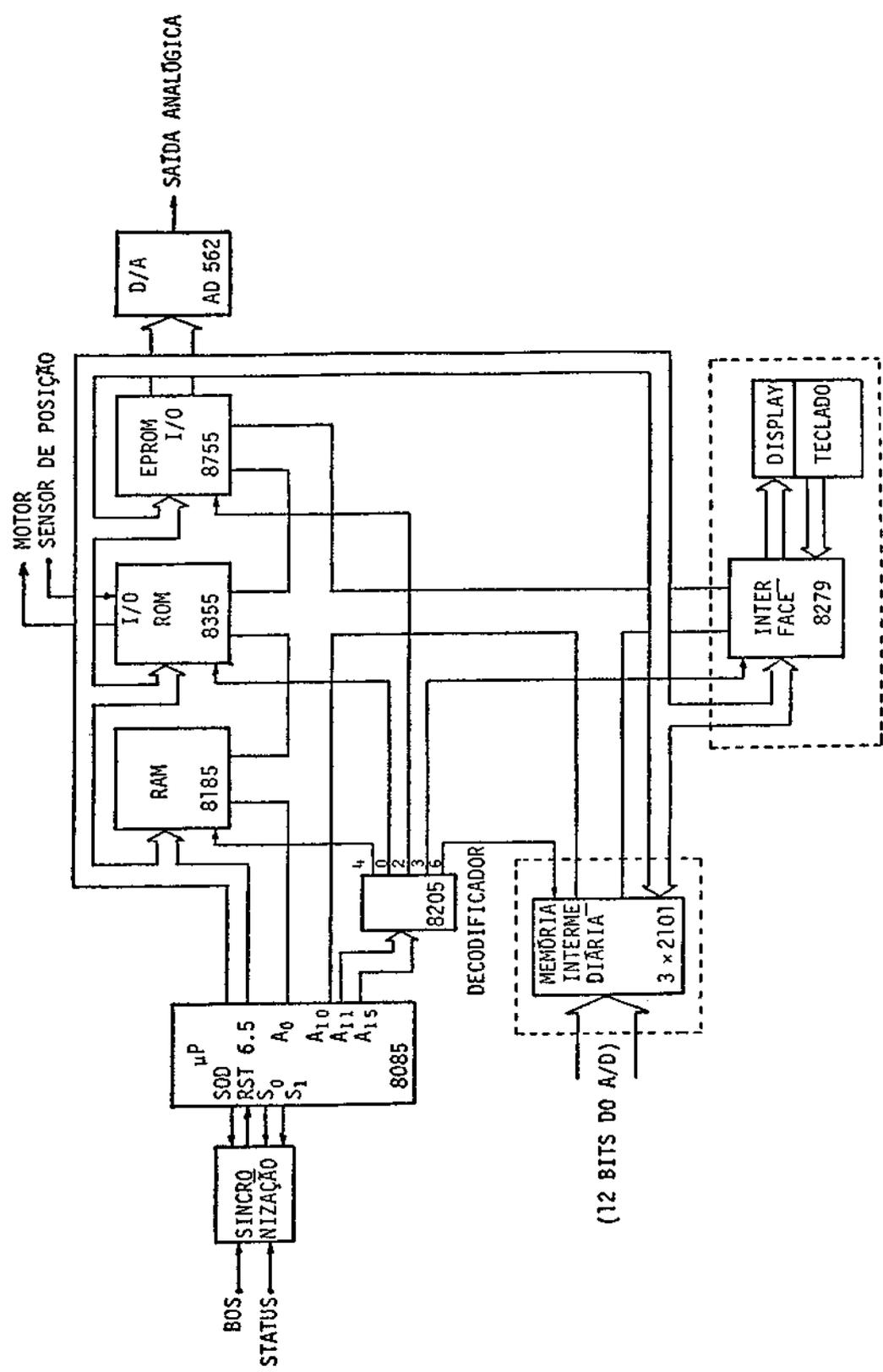


Fig. 4.5 - Diagrama de blocos do circuito associado ao microprocessador.

Após cada coleta, os dados são transferidos "byte" por "byte", para a Memória Interna, onde são processados. Note-se que a Memória Intermediária guarda os 12 bits do conversor A/D, simultaneamente, enquanto no barramento estes 12 bits são divididos em dois "bytes".

Terminada cada fase de coleta de dados, o programa aciona o disco seletor através de uma porta de I/O do micro, sendo a nova posição detectada em outra porta. Uma vez adquiridos os três tipos de dados, estes são processados, e o resultado de 12 bits é apresentado em duas portas do sistema, onde o conversor D/A o converte em tensão analógica. Este resultado também pode ser obtido nos registradores BC através do display.

Detalhes de "hardware" relacionados com o endereçamento da Memória Intermediária e com o sincronismo  $\mu$ P/CCD são fornecidos no próximo capítulo.

## CAPÍTULO 5

### SISTEMA DE CONTROLE E PROCESSAMENTO - "HARDWARE" E "SOFTWARE"

#### 5.1 - FUNÇÕES DO PROGRAMA

O programa de controle e processamento tem as seguintes funções:

- Aquisição de dados: em três ciclos semelhantes são obtidos dados do Alvo, da Referência e do Ruído.
- Cálculo de valor médio: dentro de cada um dos três ciclos, são feitas quatro aquisições com acumulação. Uma posterior divisão por quatro resulta em um valor médio, com a redução da influência de sinais espúreos.
- Correção dos dados: os dados do Ruído são subtraídos dos respectivos dados do Alvo e da Referência. Do quociente entre estes dois últimos resultam os valores de reflectância em cada ponto.
- Apresentação do resultado: a reflectância média, na faixa do espectro especificada pelo usuário, é obtida e o resultado é apresentado na saída.

#### 5.2 - AQUISIÇÃO DOS DADOS

O programa trabalha com dados provenientes de 128 sensores. Estes dados, inicialmente analógicos, são digitalizados em 12 bits ou 4096 níveis, suficientes para amostrar o ruído dos sensores. Ruído este que, para um tempo de integração de 10 ms a 25°C, terá um valor médio de 0,5 mV ou 1/2000 do sinal máximo de 1 V na saída do CCD.

Independentemente do microprocessador, o CCD assim como o conversor A/D são acionados constantemente por um circuito de temporização. Uma memória, Memória Intermediária, - com entradas e saídas separadas permite a escrita dos dados em velocidade compatível com o CCD e o interfaceamento do A/D com o micro. Esta memória é endereçada pelo micro, tem suas entradas ligadas ao conversor A/D e suas saídas ligadas ao barramento de dados.

A seguir são detalhados os circuitos da parte de coleta dos dados.

### 5.2.1 - TEMPORIZAÇÃO DO CCD E CONVERSÃO A/D

O circuito de temporização (Figura 5.1) fornece os sinais necessários para acionar o CCD (ver Seção 4.2) e para a conversão.

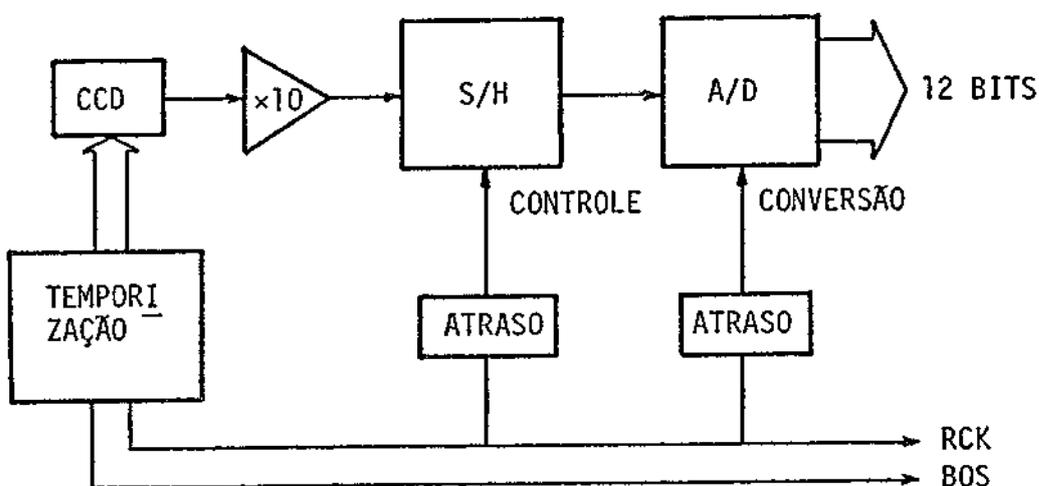


Fig. 5.1 - Diagrama de blocos do circuito de acionamento do CCD e de conversão A/D.

Os 161 pontos de cada linha (128 dos detectores mais 33 pontos auxiliares) saem do CCD em forma seriada, são ampliados e amostrados, e o nível de cada ponto é convertido pelo A/D. O sinal BOS indica o começo da linha.

O tempo de integração da radiação sobre os sensores está relacionado com a resposta destes (ver Seção 2.1), porém o tempo de leitura dos dados está limitado pelo microprocessador que estará endereçando a Memória Intermediária, supondo-se que a conversão não seja a etapa limitante. No caso em questão, a limitação da frequência de pontos (RCK) em 52 kHz é imposta pelo micro. Este valor é dez vezes menor que o recomendado pelo fabricante (Seção 4.2), mas o CCD ainda opera satisfatoriamente.

### 5.2.2 - MEMÓRIA INTERMEDIÁRIA

Esta memória é composta por três RAM 2101 de  $4 \times 256$  bits, com entradas e saídas independentes. Duas destas guardam os oito bits menos significativos e uma guarda os quatro bits mais significativos do conversor A/D.

As memórias são controladas pelo micro (Figura 5.2). Na escrita todas são acionadas simultaneamente ( $\overline{RD} = 1$ ), o  $\mu P$  solta o endereço no barramento com a instrução "MOV M, A" e o que vai para a memória não é o conteúdo do acumulador, mas sim a saída do A/D.

Na leitura ( $\overline{RD} = 0$ ), "A<sub>8</sub>" seleciona a memória a ser acessada (MI<sup>-</sup> ou MI<sup>+</sup> na Figura 5.2) e o dado lido vai para o micro, que o transfere para a Memória Interna. Portanto, para cada dado, são feitas duas transferências, primeiro os quatro bits mais significativos, e este "byte" tem seus bits superiores zerados por "software".

Quando a Memória Intermediária não está sendo lida (OE=1), suas saídas permanecem em alta impedância não influenciando no barramento. A "latch" é acionada pelo pulso ALE e retém o "byte" menos significativo do endereço, que transita pelo mesmo barramento dos dados, segundo Intel (1979).



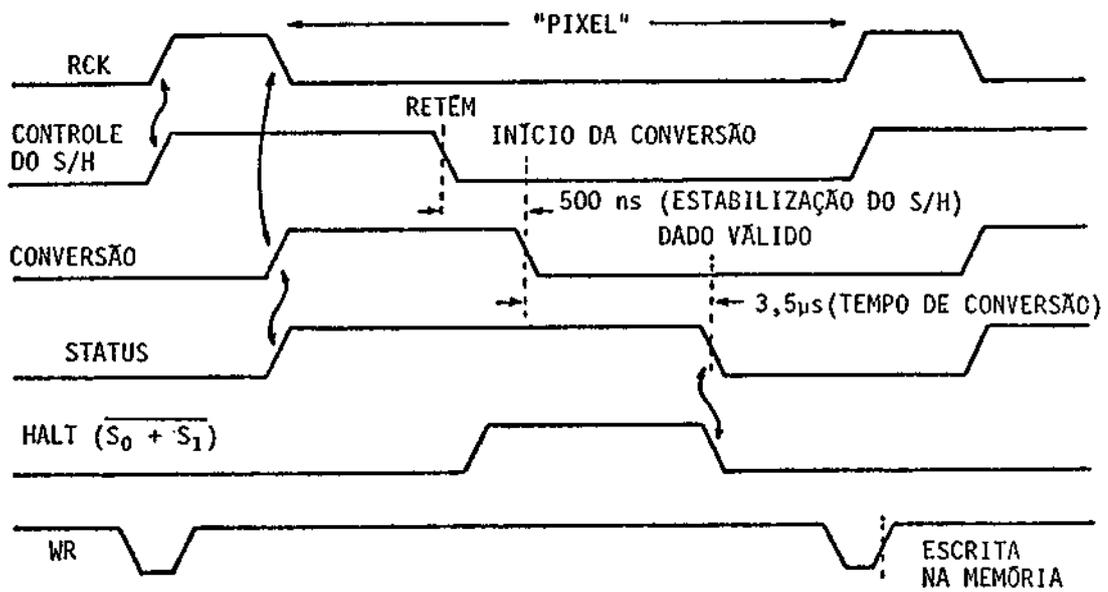


Fig. 5.3 - Diagrama de tempo do endereçamento de escrita na memória intermediária.

O ciclo de endereçamento no "assembler" do  $\mu P$  8085 é:

Instrução	Comentário	End.	Instr.
LXI H, 30A1 <sub>H</sub>	Inicializa endereço.		
(4) EI	Habilita interrupção.		
(7) HLT	Espera conversão. — RST 6.5 →	0034	JMP 20C8 (10)
(4) DCR H	Decrementa endereço.	20C8	RET (10)
(7) MOV M, A	Solta endereço.		
(10) JNZ EI	Se não terminou, repete.		

Note-se que o registrador H começa com o valor  $A1_H = 161$  (número total de pontos) e o "loop" termina com  $H = 0$ . No endereço  $20C8_H$ , onde o micro busca a sub-rotina referente à interrupção RST 6.5, há uma instrução de retorno (RET) que faz com que o programa recomece na próxima instrução, após o HALT.

O tempo gasto em cada ciclo, ou  $t_{\ell}$ , é obtido pela relação seguinte:

$$t_{\ell} = S_c \times t_c \quad (5.1)$$

Nesta expressão,  $S_c$  é a soma dos ciclos de máquina gastos em cada instrução (números entre parênteses) e  $t_c$  é a duração de cada ciclo de máquina ( $0,32 \mu s$ , para um "clock" de  $6,14 \text{ MHz}$ ). Desta forma, o resultado é  $t_{\ell} = 15,6 \mu s$  e, fixando o período de RCK em  $19 \mu s$  ( $\sim 52 \text{ kHz}$ ), sobram  $3,4 \mu s$  de espera no estado de HALT, margem de segurança contra flutuações nas frequências.

Além do endereçamento ser síncrono com os pontos, ele tem que ser iniciado com o começo da linha (BOS), isto é conseguido com um circuito de bloqueio acionado pela saída SOD do micro. O circuito e a respectiva temporização estão na Figura 5.4.

Para iniciar a escrita dos dados, o microprocessador faz  $SOD = 1$  e entra em HALT, o que implica em nível zero nos seus terminais  $S_0$  e  $S_1$ . No primeiro pulso do BOS que ocorrer, o micro começará a endereçar a Memória Intermediária, como já foi visto. O  $FF_B$  na Figura 5.4 garante que a memória comece a ser endereçada somente após a conversão do primeiro dado.

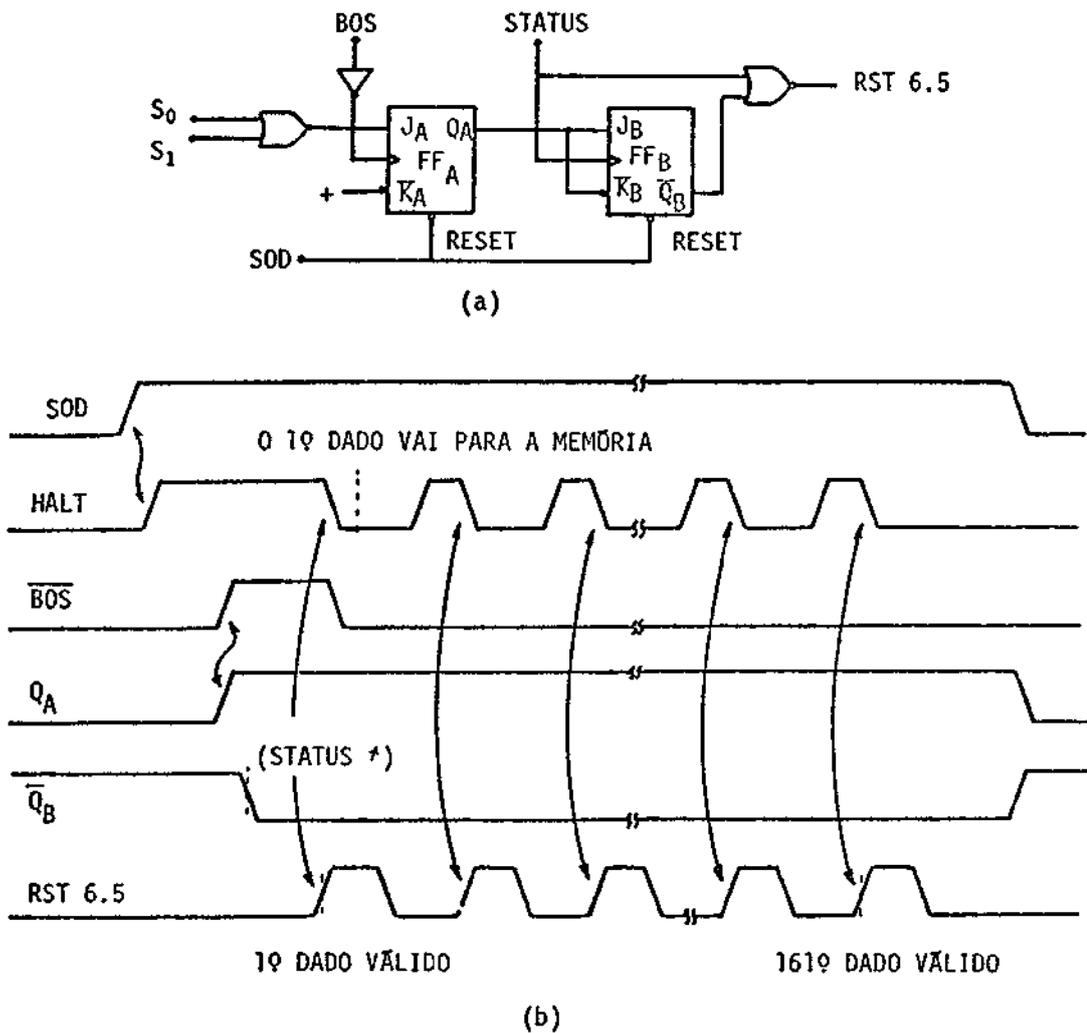


Fig. 5.4 - Circuito de sincronização  $\mu$ P/CCD (a) e respectivo diagrama de tempo (b).

### 5.3 - ANÁLISE DO PROGRAMA

Após a análise específica da coleta de dados, com atenção especial ao "hardware", passa-se a análise do "software" propriamente dito. Na Figura 5.5 tem-se o diagrama de blocos do programa, e na Tabela 5.1 tem-se um mapeamento dos endereços das memórias RAM, de forma a facilitar seu acompanhamento. Para complementar, apresenta-se na Figura 5.6 a distribuição dos dados na Memória Intermediária (a) e na Memória Interna (b).

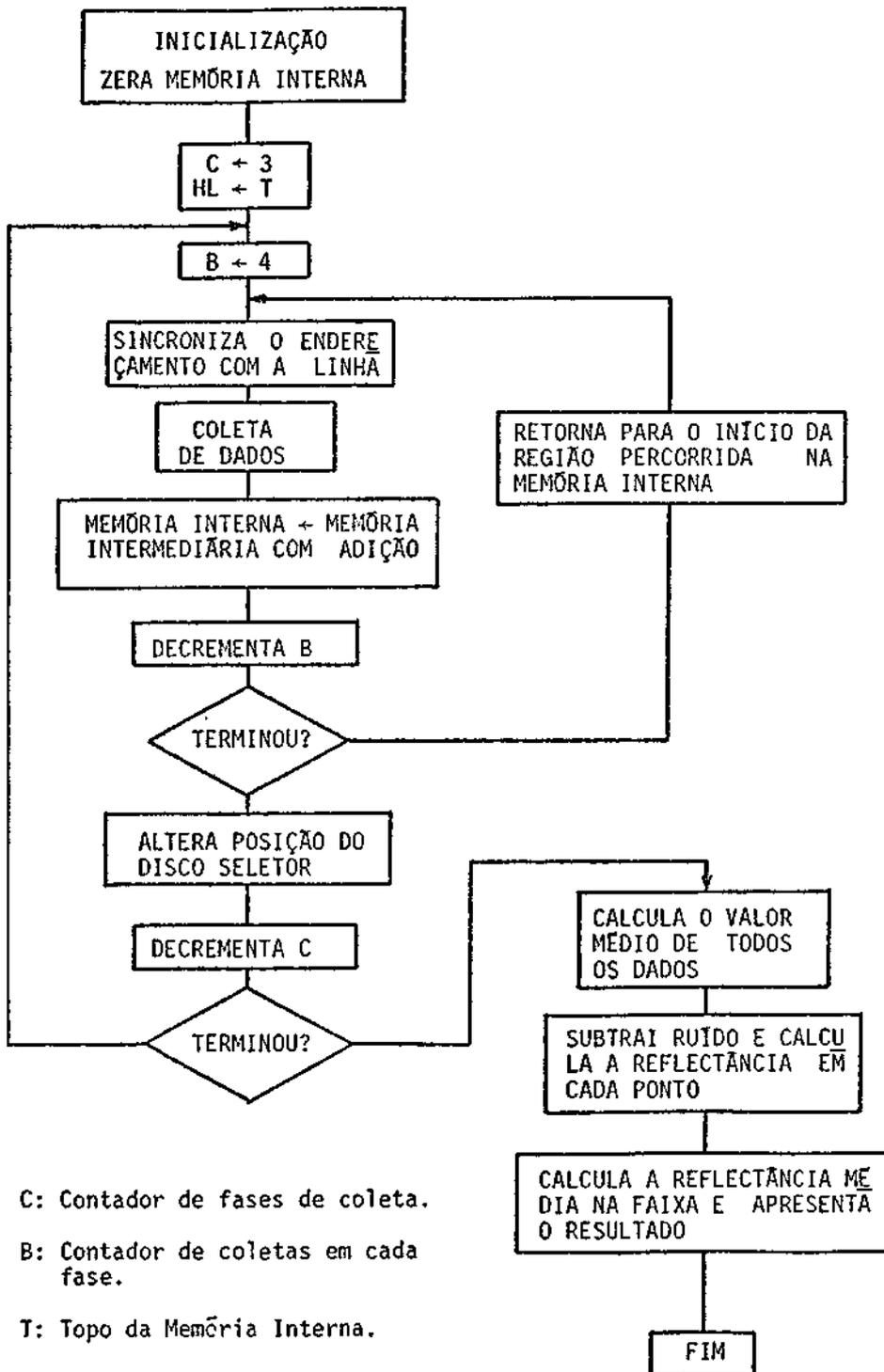
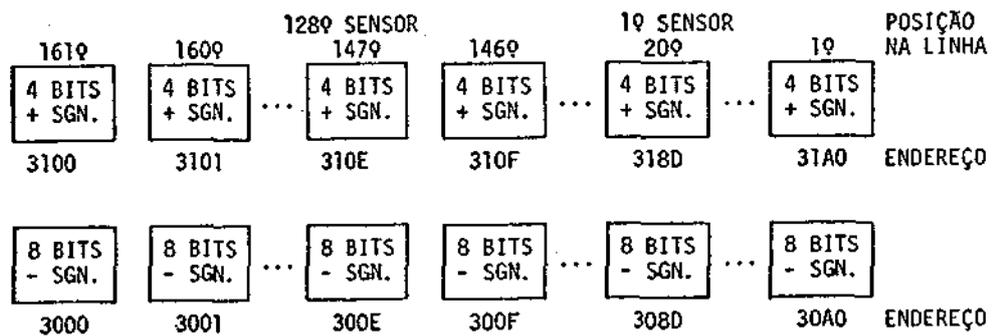


Fig. 5.5 - Diagrama de blocos do programa de controle e processamento dos dados.

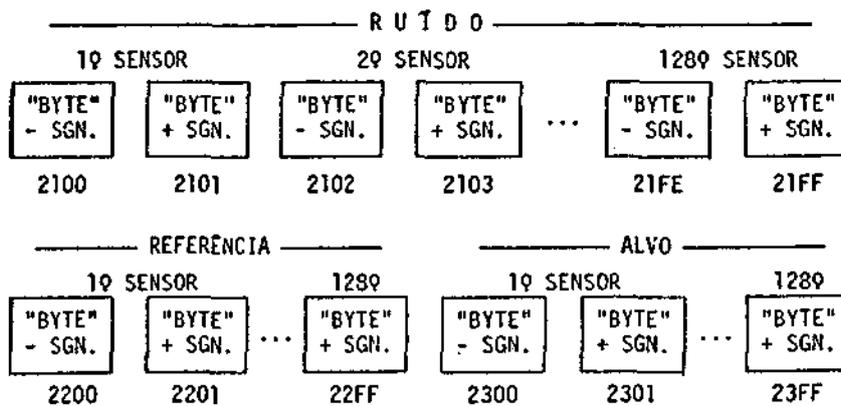
TABELA 5.1

MAPEAMENTO DAS MEMÓRIAS RAM

MEMÓRIA	ENDEREÇOS UTILIZADOS (HEXADECIMAL)	CONTEÚDO
Interna	2000 a 20FF	Apoio ao monitor
	2100 a 21FF	Dados do Ruído
	2200 a 22FF	Dados da Referência
	2300 a 23FF	Dados do Alvo
Intermediária	3000 a 30A0	Registro provisório dos dados coletados
	3100 a 31A0	



(a)



(b)

Fig. 5.6 - Distribuição dos dados nas memórias RAMs: a) memória intermediária e b) memória interna.

Na Memória Intermediária, o endereço dos quatro bits mais significativos está deslocado de  $0100_H$  do endereço dos bits menos significativos, para cada dado. Na Memória Interna, o "byte" mais significativo está localizado no endereço imediatamente superior ao "byte" menos significativo. Ainda na Memória Interna, os três tipos de dados, relativos a cada um dos sensores, estão separados de  $0100_H$ .

### 5.3.1 - O PROGRAMA

A inicialização do programa se dá com as seguintes operações (ver listagem no Apêndice C):

- O "ponteiro do STACK" é carregado com o endereço  $20C8_H$ .
- Todos os 768 ( $3 \times 2 \times 128$ ) endereços de dados na Memória Interna são zerados.
- O registrador C recebe o número de fases de coleta de dados, a instrução de retorno da interrupção RST 6.5 é carregada no endereço e as portas de saída são definidas.

Começa a primeira fase de coleta de dados. Os registradores de endereçamento (HL) entram nesta fase apontando para o topo da memória do Alvo. O registrador B recebe o número de aquisições para obter a média e o programa entra no "loop" de coleta de dados já analisado. Nesta fase são coletados dados do Alvo.

O programa passa à transferência dos dados da Memória Intermediária para a Memória Interna. As duas memórias são percorridas e cada dado lido na primeira é adicionado no endereço relativo da segunda. Note-se que a leitura é realizada apenas nos endereços onde estão os dados dos sensores.

Feita a transferência, o registrador B é decrementado e testado. Se este não foi zerado, os registradores HL são incrementados de  $0100_H$  para nova aquisição do mesmo tipo de dado. Se o registrador B chegou a zero, o disco seletor é acionado, o registrador C é decrementado e, se não chegou a zero, o programa entra em nova fase de coleta de dados. Como os registradores HL não são renovados, o programa passa a percorrer outra região da memória, Referência para  $C = 2$ , ou Ruído para  $C = 1$ .

Após as três fases de coleta de dados, o disco seletor retorna à posição inicial e o programa passa ao processamento dos dados obtidos. As memórias são percorridas e os dados de cada par de endereços são deslocados duas vezes para a direita, o que equivale a uma divisão por quatro. Em seguida, para cada ponto, o Ruído é subtraído dos dados da Referência e do Alvo. Do quociente entre os valores resultantes, vem os dados de reflectância para cada ponto. A operação Alvo/Referência é obtida através de uma sub-rotina de divisão (DIV), analisada mais adiante.

Note-se que a maioria das operações são executadas em precisão dupla (pares de "bytes"), o que dificulta a "manipulação" dos dados e torna indispensável a utilização do "STACK", devido à sobrecarga dos registradores. Deve ser observado também que certas operações em precisão dupla não alteram todos os "FLAGS", sendo necessários testes não-triviais para verificar se, por exemplo, um par de registradores foi zerado.

Na última fase do processamento, o programa obtém e apresenta o valor da reflectância média dentro de faixas espectrais preestabelecidas. Essa média é obtida dividindo cada dado pelo número de pontos, ou extensão da faixa, e somando os resultados - a sub-rotina DIV é novamente utilizada. Este procedimento permite que se trabalhe com máxima precisão (12 bits), sem causar "overflow" nos registradores (16 bits), o que certamente ocorreria se os dados fossem primeiramente somados e posteriormente divididos pela extensão da faixa. O resultado é apresentado em um par de portas de I/O do sistema e pode ser lido nos registradores BC através do display.

O usuário pode especificar até quatro faixas dentro do espectro detectado, o que é feito em endereços de RAM reservados para este fim. Para isto, é necessário que o primeiro dado desta região da memória seja zero; caso contrário, o programa gera automaticamente quatro faixas preestabelecidas. Os resultados de cada faixa são obtidos com chamadas sucessivas do final do programa, após o término de cada medida. Maiores detalhes sobre a operação do instrumento são apresentados no Apêndice A.

### 5.3.2 - SUB-ROTINA DE DIVISÃO (DIV)

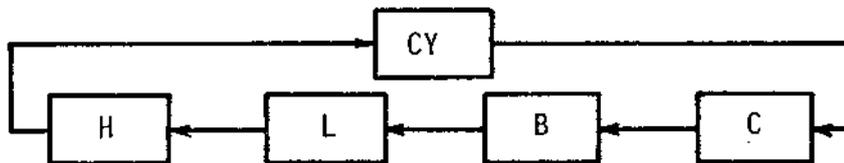
Esta sub-rotina executa a divisão entre o conteúdo dos registradores BC (dividendo) e o conteúdo dos registradores DE (divisor), supondo-se que HL é igual a zero. Inicialmente, o divisor é complementado e incrementado (troca de sinal). A seguir, a sub-rotina entra em "loop" com o número de ciclos definido pelo acumulador. Dentro do ciclo  $n + 1$  ocorrem os seguintes passos:

-  $HL_{n+1} \leftarrow HL_n - DE$ , que resulta em  $HL_{n+1}$  e no "carry" (CY).

Se  $CY = 0$ , então  $HL_{n+1} \leftarrow HL_n$ .

Se  $CY = 1$ , então fica  $HL_{n+1}$ .

- Em seguida, são executados deslocamentos para a esquerda através dos registradores e do "carry", na seqüência:



Como consequência, o resultado (CY) vai sendo introduzido em BC e o conteúdo de BC vai passando para HL. O número de deslocamentos para a esquerda é definido pelo acumulador. Uma divisão normal é iniciada com o valor 17 no acumulador.

No cálculo Alvo/Referência, a sub-rotina é propositalmente operada para trabalhar com resultados entre zero e um - faixa de variação dos valores de reflectância. Neste caso, o dividendo já vem em HL com BC = 0, pois sabe-se a priori que o dado do Alvo é no máximo igual ao da Referência. Para aproveitar toda a gama de valores possíveis em 12 bits, este quociente é calculado com 13 bits fazendo  $A = 13$ , e a operação é evitada quando se tem Alvo = Referência, o que resultaria em  $1000_H$ , ou seja, zero nos 12 bits menos significativos. Desta forma, o resultado máximo, reflectância unitária, é  $FFF_H$ . Caso fosse utilizado  $A = 12$ , o resultado máximo seria duas vezes menor.

No cálculo Dado/Extensão da Faixa, a sub-rotina é chamada normalmente, mas o resultado ainda será lido com a vírgula à esquerda dos 12 bits.

Com relação a esta sub-rotina existem proteções contra a entrada de dados negativos ou nulos. Suponha-se que, em baixas condições de iluminação, o dado de Ruído fique, devido a flutuações, maior que o dado do Alvo ou da Referência. Neste caso, a diferença será negativa, o que não está previsto. No caso de este resultado ser nulo, certas providências também devem ser tomadas.

Quando a diferença Alvo menos Ruído é negativa, o programa considera o resultado nulo e evita a divisão. O mesmo ocorre se esta diferença for nula. Caso a diferença Referência menos Ruído seja negativa ou nula, a iluminação está insuficiente. Neste caso, o programa emite a mensagem ILI (iluminação insuficiente) no display e termina o processamento.

Existe ainda a possibilidade de que, para valores próximos dos sinais do Alvo e da Referência, a influência do ruído implique valores maiores para os dados do Alvo. Se a diferença for pequena,  $<40_H$ , o programa evita a divisão, forçando o resultado a ser um. Se a diferença for muito grande, maior do que o extremo de flutuação do ruído de  $40_H$ , a iluminação coletada como referência estará abaixo da que atinge o alvo. Aqui, o programa também é interrompido com a mensagem ILI.

### 5.3.3 - ROTINAS AUXILIARES

Existem duas rotinas, além do que já foi descrito. A primeira tem como função escrever a mensagem de iluminação insuficiente no display. Esta rotina utiliza a sub-rotina "OUTPUT", do monitor (Intel Corporation, 1978). A segunda rotina é interessante quando se deseja visualizar a reflectância espectral em um display gráfico. A memória com os resultados é varrida continuamente e os dados saem através do conversor D/A. Para facilitar o sincronismo, a varredura é iniciada com um pulso de máxima amplitude. Como a memória é lida de cima para baixo, o espectro é apresentado com os comprimentos de onda maiores à esquerda da tela, ver Tabela A.2, do Apêndice A.

Estas duas rotinas são "loops" sem final e somente é possível terminá-las com o acionamento da tecla de "reset" no painel de controle.

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS

A avaliação dos resultados foi inicialmente feita em laboratório e o primeiro teste relacionou-se com a focalização do espectro sobre os detectores e com a faixa espectral neles incidente. Em seguida, foram realizadas algumas medidas de transmitância espectral em filtros de cores diferentes, a fim de confirmar a atuação do "software". Finalmente, foram realizadas medidas de reflectância em alvos sob iluminação solar. O procedimento utilizado e o resultado destes testes são apresentados a seguir.

#### 6.1 - DISTRIBUIÇÃO DO ESPECTRO SOBRE OS DETECTORES

Esta medida foi realizada com auxílio de um monocromador de precisão (Monospek 1000 da Hilger & Watts), iluminado por uma lâmpada de xenônio de alta intensidade (modelo 6140 da Oriel Corporation). Desta forma foi possível obter um fluxo de radiação praticamente monocromático com relação ao instrumento em teste.

Incidindo a radiação monocromática na entrada do instrumento, com um osciloscópio ligado à saída dos detectores, observou-se uma raia que se movia com a variação do comprimento de onda. De imediato foi percebida a aberração cromática introduzida pela lente redutora, ou seja, a raia focalizada em uma certa região do espectro ia se desfocalizando com a alteração do comprimento de onda. Procurou-se então um ponto de focalização que resultasse em uma resolução espectral média máxima. Esta resolução variou em torno de 20 nm ao longo da faixa, chegando a 30 nm na região de 450 nm, onde a desfocalização foi maior.

Com esta mesma montagem obteve-se a distribuição do espectro sobre os detectores, mostrada no gráfico da Figura 6.1, juntamente com o resultado esperado (Seção 3.3.2). A faixa espectral inci

dente sobre os dectores vai de 460 a 900 nm, ou seja, 10% a menos do que o esperado, o que não chega a invalidar a estimativa.

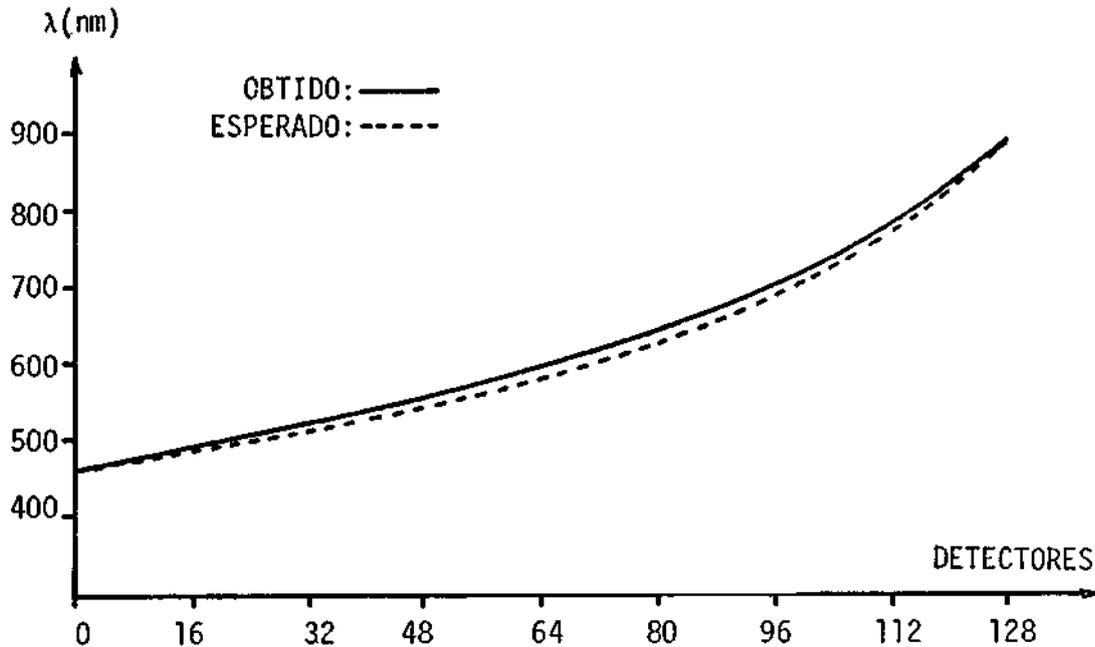


Fig. 6.1 - Comparação entre a distribuição espectral obtida e a esperada.

## 6.2 - MEDIDAS DE TRANSMITÂNCIAS ESPECTRAIS

A partir de uma fonte de luz colimada que incidia sobre o instrumento, sem o disco seletor, foi possível a obtenção das curvas de transmitância de vários filtros. Três curvas de filtros faixa larga são apresentadas na Figura 6.2 e, como se pode observar, são largas de mais para permitir uma melhor avaliação. As curvas foram obtidas na tela do osciloscópio, com a utilização da rotina de varredura da memória. Os pequenos pulsos observados sobre as curvas são devidos ao carregamento assíncrono dos dois "bytes" de cada dado nas portas de saída e devem ser ignorados.

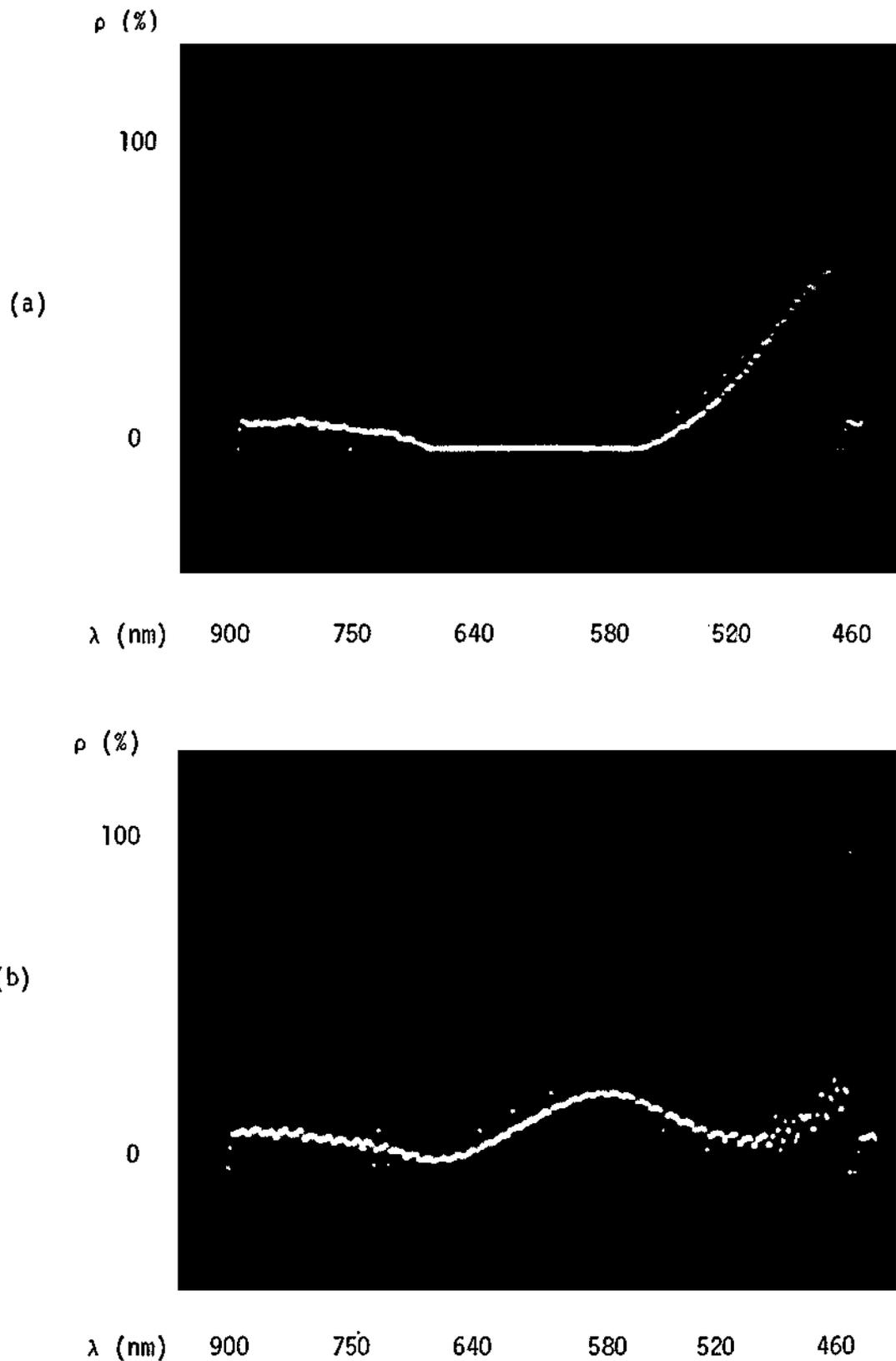


Fig. 6.2 - Curvas de transmitância de filtros faixa larga.  
- (a) Filtro azul; (b) Filtro verde; (c) Filtro vermelho.

(Continua)

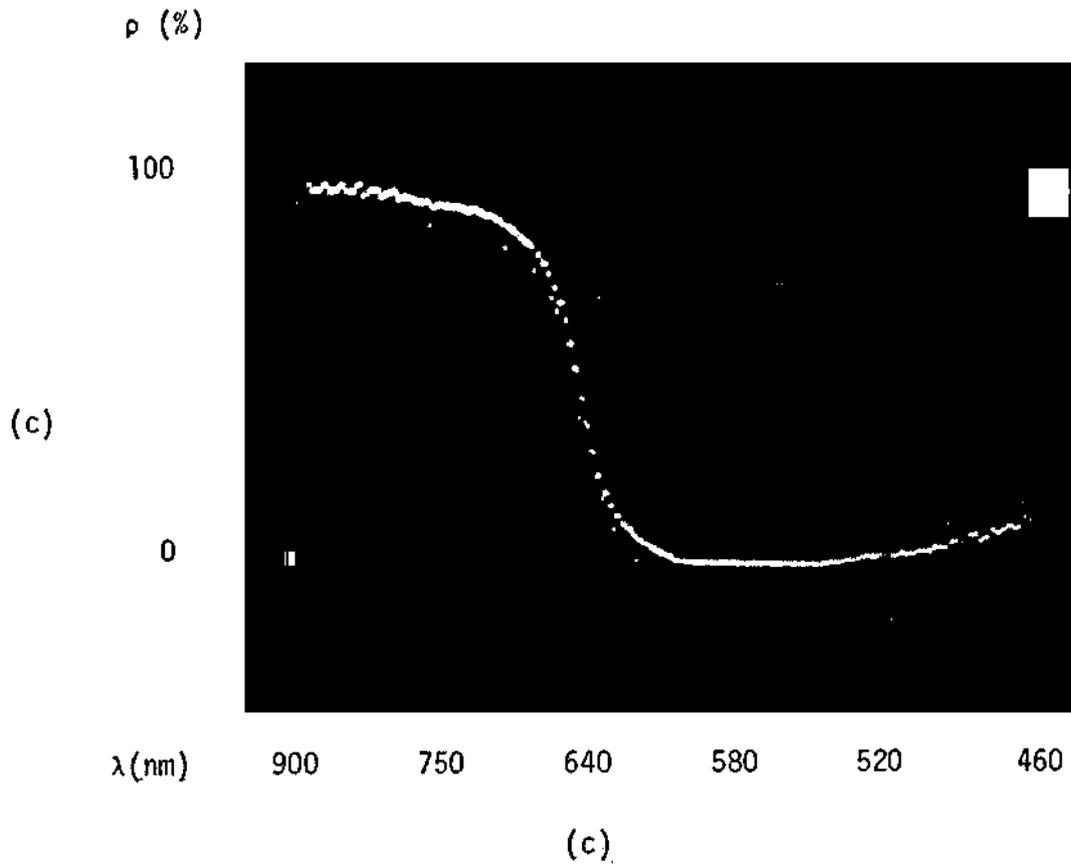


Fig. 6.2 - Conclusão

Uma avaliação mais precisa somente foi possível com a medição da faixa de transmitância em filtros de interferência com banda de 10 nm. Os resultados, considerados satisfatórios, são apresentados na Figura 6.3. A resposta do primeiro filtro foi conferida em um espectrógrafo (modelo 450 da Perkin-Elmer) e resultou em um pico de transmitância de 40%, com uma largura de banda de 20 nm na região de 540 nm.

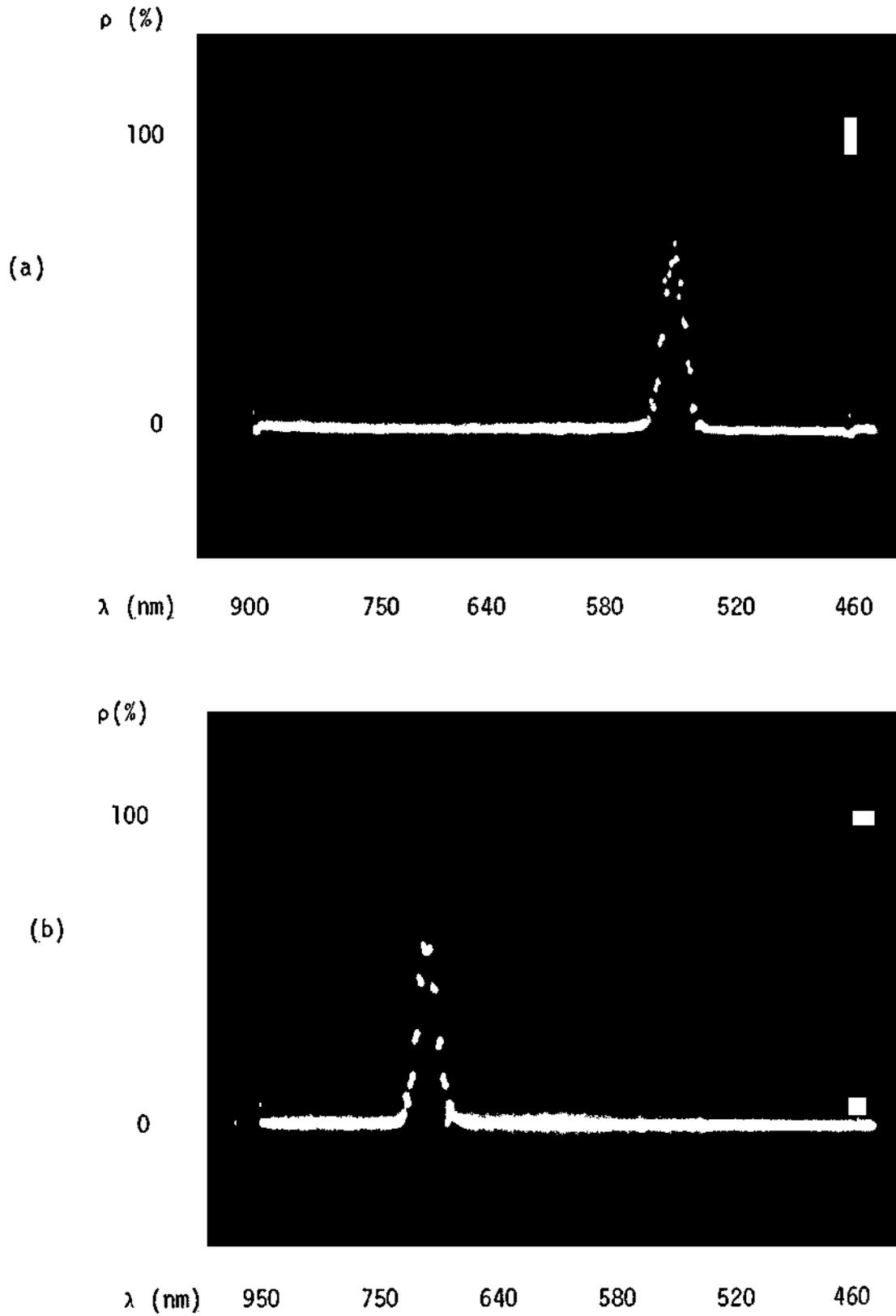


Fig. 6.3 - Curvas de transmitância de filtros de inteferência com Banda de 10 nm.

- (a) Filtro verde em 540 nm, (b) Filtro vermelho em 700 nm.

### 6.3 - MEDIDAS DE REFLECTÂNCIAS ESPECTRAIS

O espectro das reflectâncias de três tipos de alvos es tão representados na Figura 6.4. Estas medidas foram realizadas com il minação natural, em dia claro, com o instrumento apontado a cerca de  $45^\circ$  em relação ã normal ao alvo.

Na Figura 6.5 são apresentados, a título de com paração, os gráficos das reflectâncias espectrais médias de vegetação e de so lo, segundo Hoffer, 1978. Os resultados obtidos com o instrumento tes tado são coerentes em termos qualitativos. Uma avaliação quantitativa é possível com a calibração sugerida na Seção 3.6 levando em considera ção a transmitância do difusor e sua dependência espectral. Esta depen dência, mostrada na Figura 6.6, é a resposta do instrumento para um al vo padrão de reflectância unitária. Tais valores podem ser armazenados em memória e utilizados para corrigir os resultados de cada medida.

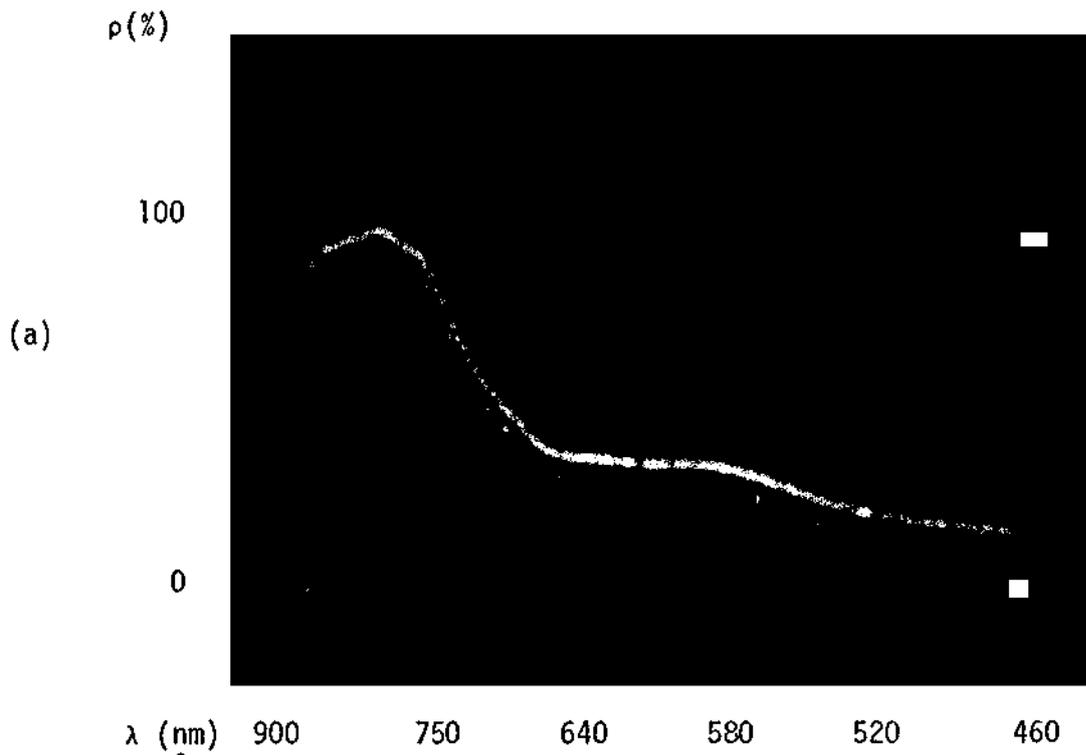


Fig. 6.4 - Curvas de reflectância de alvos naturais.

- (a) Gramado; (b) Piso de pedra; (c) Fo  
lha de plástico azul.

(Continua)

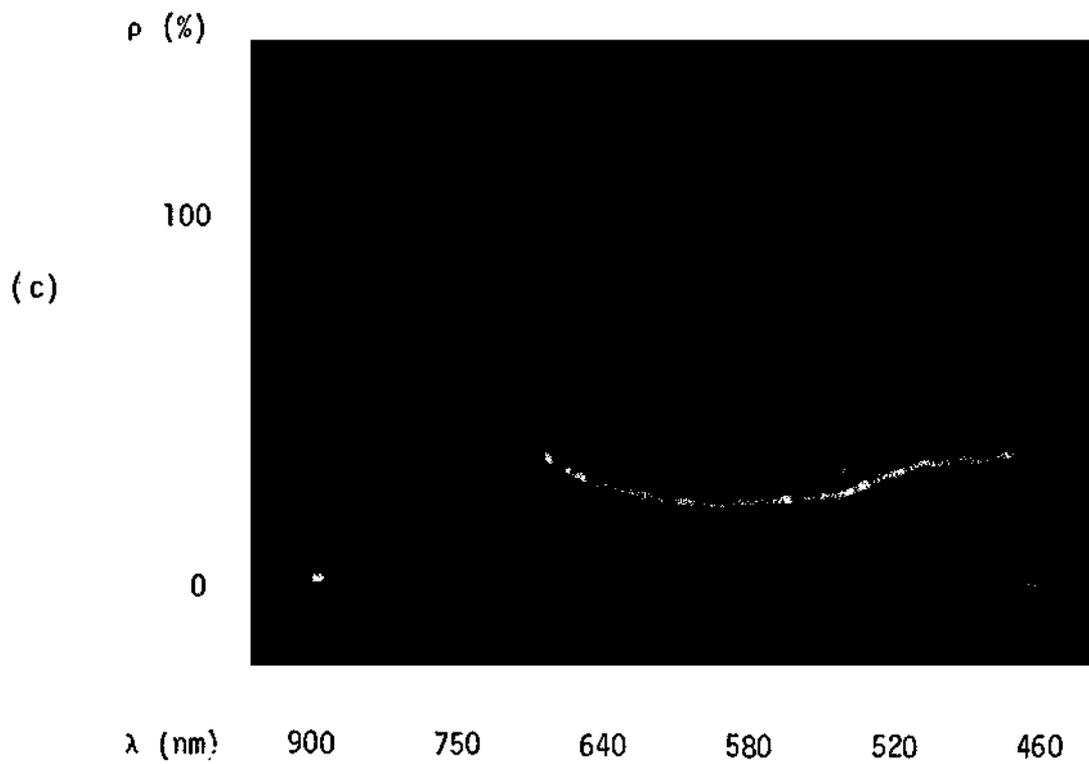
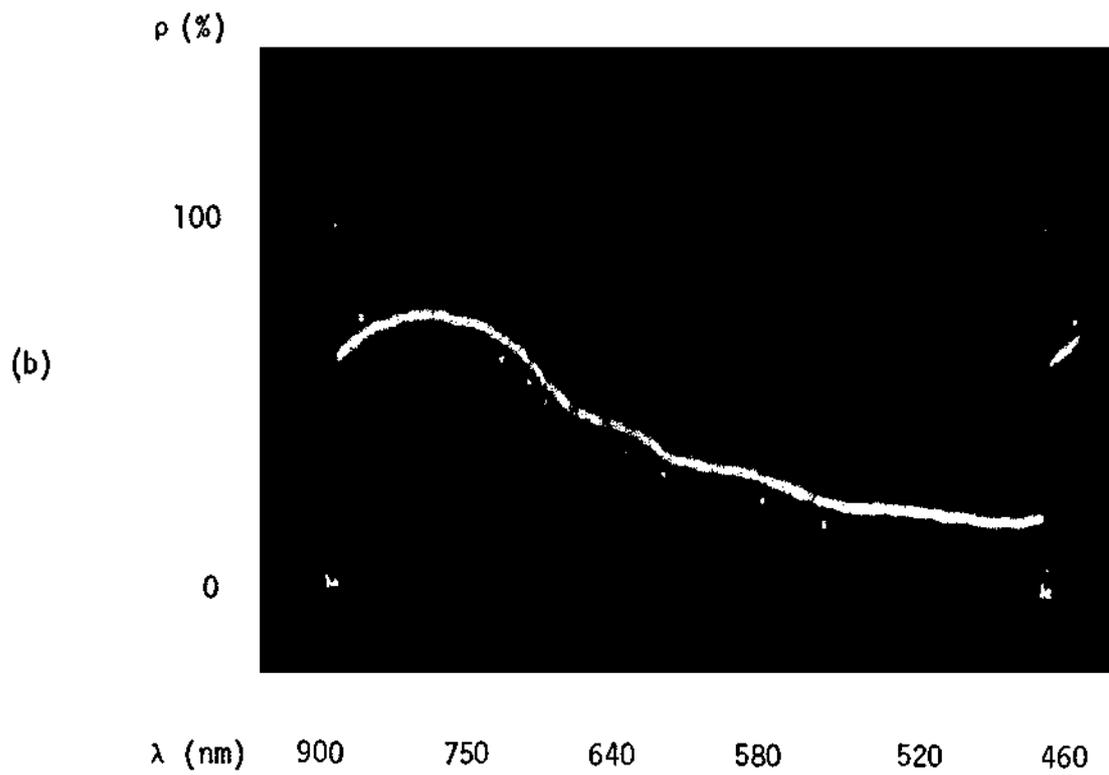


Fig. 6.4 - Conclusão.

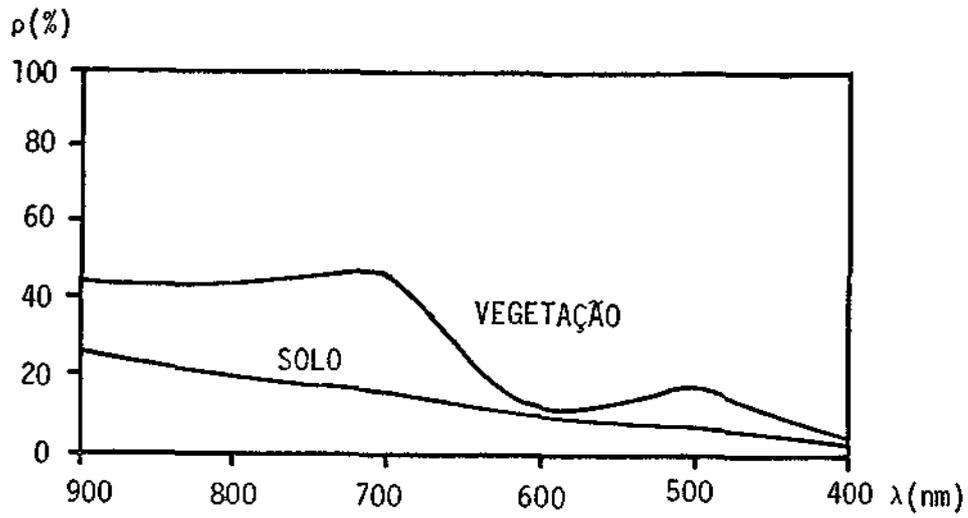


Fig. 6.5 - Reflectâncias médias esperadas para vegetação e solo.

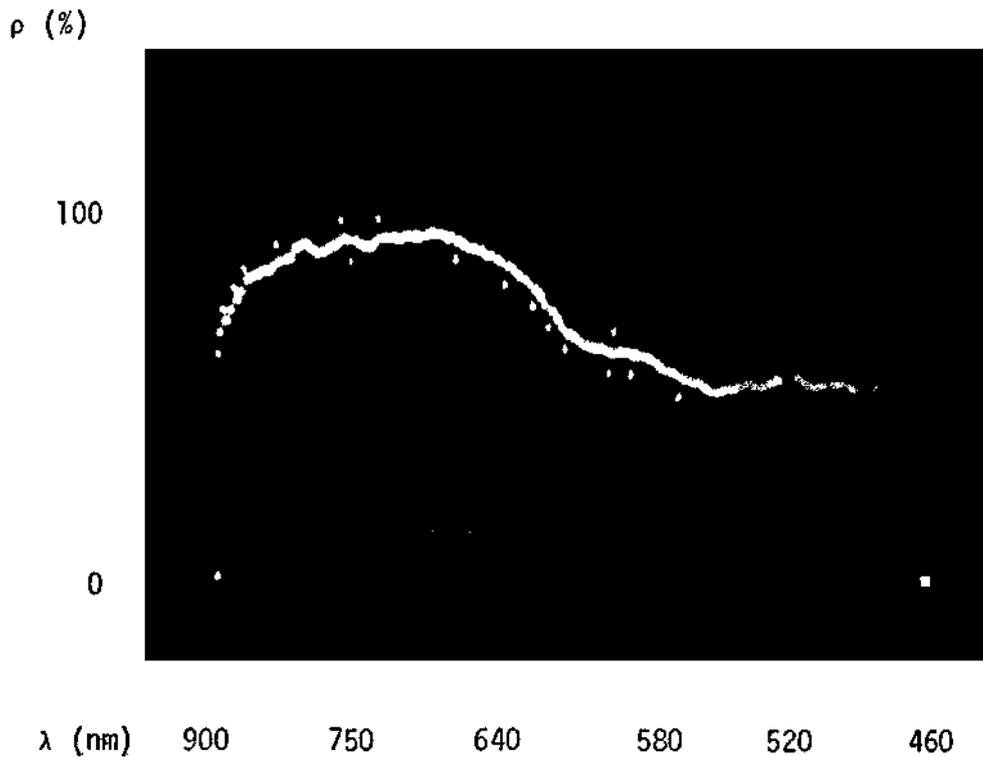


Fig. 6.6 - Resposta do instrumento para um alvo padrão de reflectância unitária.

Conforme citado na Seção 3.6, o difusor deve ser apontado na direção vertical e sua resposta deve ser co-senoidal. Na Figura 6.7 tem-se a variação da intensidade do sinal no CCD com o ângulo de direcionamento do difusor utilizado em relação a um feixe colimado. Nota-se que as características do difusor são satisfatórias.

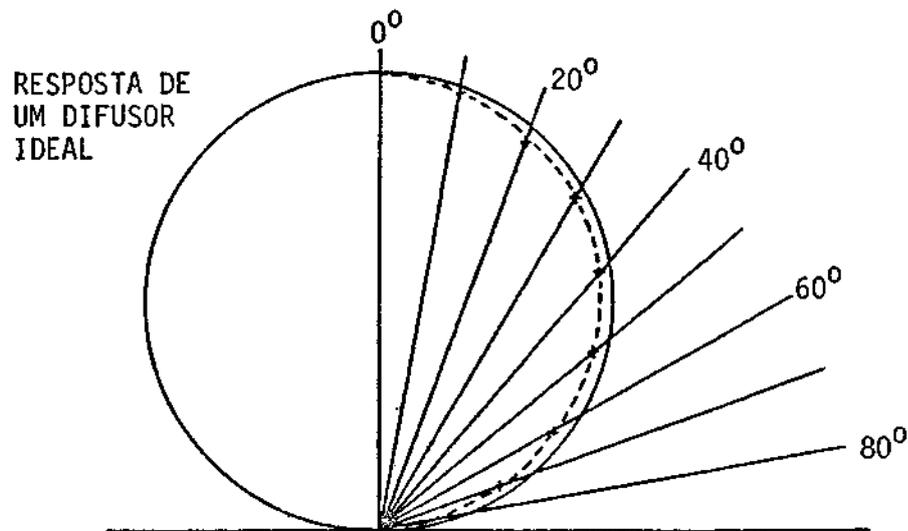


Fig. 6.7 - Variação da intensidade normalizada do sinal de referência no CCD com o ângulo entre o coletor óptico e um feixe de luz colimado.

#### 6.4 - CONCLUSÃO

Considerando que o instrumento testado é um protótipo construído em cerca de um ano, com uma óptica bastante simplificada, pode-se afirmar que os resultados são satisfatórios.

O pequeno ângulo de visada desta óptica permite que se analise a reflectância de pequenos detalhes de um alvo, porém isto não satisfaz todas aplicações em Sensoriamento Remoto. O ideal será uma óptica com ângulo de visada selecionável de  $1^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , segundo a Seção 3.2.

É importante obter uma forma de ajustar mecanicamente a posição dos detectores e, assim, controlar a faixa espectral incidente sobre eles. As aberrações da lente redutora seriam minimizadas com a utilização de uma lente acromática.

Com relação à eletrônica e ao processamento, existem pequenos erros no "software", corrigidos na listagem do Apêndice C, que não afetaram os resultados. Os pulsos citados na Seção 6.2 podem ser evitados com a inclusão de uma "latch" entre as portas de saída e o conversor D/A.

Seria interessante que as amostras para tirar a média fossem obtidas a intervalos de tempo mais espaçados como, por exemplo, a cada volta do disco seletor, de forma a torná-las mais independentes. Isto seria possível com pequenas alterações no programa de controle.

As mudanças necessárias para efetuar a correção dos dados, segundo a Seção 3.6, são mínimas, e no próprio sistema já desenvolvido existe memória disponível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEYNON, J.D.; LAMB, D.R. Technology and limitations of charge coupled devices. In: ——— *Charge coupled devices and their applications*. London, McGraw-Hill, 1980. cap. 2, p. 30-66.
- HARRISON, G.R.; LORD, R.C.; LOOFBOUROW, J.R. Selection of spectroscopic instruments. In: ——— *Practical spectroscopy*. Englenwood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1948. cap. 2, p. 27-50.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M., ed. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978. cap. 5, p. 227-289.
- INTEL. *MCS-80/85 family user's manual*. Santa Clara, CA, Oct., 1979.
- *SDK-85 system design kit user's manual*. Santa Clara, CA. 1978.
- JAMES, J.F.; STERNBERG, R.S. Prism spectrometers. In: ——— *The design of optical spectrometers*. London, Chapman and Hall, 1969. cap. 4, p. 41-50.
- LINTZ Jr. J.; BRENNAN, P.A.; CHAPMAN, P.E. Ground-thruth and mission operations. In: LINTZ Jr., J.; SIMONETT, D.S., ed. *Remote sensing of environment*. 2. ed. Reading, 1978. cap. 12, p. 412-437.
- MELLES GRIOT. Optical Components Division. Materials and antireflections coatings. In: ——— *Optics guide 2*. Irvine, CA, 1982. p.66.
- SLATER, P.N. Radiometric concepts, definitions, and laws. In: ——— *Remote sensing optics and optical systems*. Reading, 1980c. cap. 5 p. 80-110.
- The spectroradiometry of imaging systems. In: ——— *Remote sensing optics and optical systems*. Reading, 1980a. cap. 6, p. 111-136.

SLATER, P.N. Theoretical principles of spectroradiometric instruments; color theory and specification. In: ——— *Remote sensing optics and optical systems*. Reading, 1980b. cap. 7, p. 137-192.

TEXAS INSTRUMENTS. *Type TC-102, 128 × 1, CCD line image sensor*; Data sheet, D2663. Dallas, Apr., 1982.

## APÊNDICE A

### OPERAÇÃO DO INSTRUMENTO

#### A.1 - INTRODUÇÃO

Quando o aparelho é ligado, o display deve apresentar o código "- 80 85", o que indica que o sistema está sob controle do monitor aguardando comandos. Antes de iniciar as medidas, o operador deve decidir se aceita as faixas espectrais definidas pelo programa, ou se entrará com suas próprias faixas na memória RAM. Caso o dado do primeiro endereço desta região da memória seja diferente de zero, serão utilizadas as bandas definidas pelo programa, que são as quatro primeiras do instrumento TM instalado no LANDSAT D, ou seja, 450 a 520 nm, 520 a 600 nm, 630 a 690 nm e 760 a 900 nm. Se o usuário entrar com suas bandas, estas permanecerão inalteradas até que se decida mudá-las ou até que o aparelho seja desligado - ver procedimento IV no final deste apêndice.

Durante as medidas, é importante verificar se o Indicador de Sobre-Exposição (ISE) permanece apagado. Este indicador encontra-se no painel de controle, entre o display e o teclado, e é rearmado pela tecla ISR. Se o indicador acender, é porque há demasiada iluminação na cena e um filtro neutro deve ser colocado na entrada do monocromador. Este filtro será dispensado quando não houver necessidade, pois o erro de digitalização é mais significativo para pequenos sinais.

O coletor da Referência - tubo lateral - deve ser direcionado em relação à vertical. Cada medida é executada com o comando "GOTO, 1000, EXEC"(procedimento III). Após o ruído de movimento do disco seletor, a medida estará terminada. O resultado, apresentado em forma analógica na saída do Módulo de Controle, é a reflectância média na primeira faixa. A escala é linear com um máximo de dez volts - reflectância unitária. Este mesmo resultado pode ser lido nos registradores BC (Procedimento II). Comandos "GOTO, 111F, EXEC" consecutivos resultam em reflectâncias médias nas faixas seguintes.

Se, durante a medida, o display apresentar a mensagem "ILI", isto indica que a iluminação recebida pelo coletor é insuficiente. Neste caso, deve-se "resetar" o micro e efetuar nova medida com um melhor posicionamento. Se a mensagem persistir, a iluminação estará abaixo da sensibilidade do instrumento.

A reflectância espectral do alvo poderá ser visualizada em um osciloscópio ligado à saída analógica. O comando para este fim é "GOTO, 118D, EXEC". A tela mostra um pulso de sincronismo seguido da curva de reflectância do alvo, com os comprimentos de onda distribuídos segundo as figuras do Capítulo 6. A escala vertical continua linear, distribuída de zero a dez volts. Para terminar esta rotina, é necessário "resetar" o micro, o que desativa suas portas de saída. Estas somente serão reativadas com uma nova medida. Portanto, após o "reset", a saída analógica deixa de atuar, apresentando um nível DC de 10 volts.

## A.2 - EXECUÇÃO DE COMANDOS (INTEL CORPORATION, 1978)

### 1) *Esclarecimentos*

O display deste sistema é composto de seis dígitos hexadecimais divididos em dois campos: os quatro primeiros dígitos formam o campo de endereços e os dois últimos formam o campo de dados. No campo de endereços também são apresentados códigos de registradores, mensagem de erro, indicação de execução de programa e outras mensagens. O campo de dados geralmente é utilizado na apresentação dos dados.

- a) Procedimento I: substituição ou verificação de conteúdo de memória.

TECLAS.

SUBT MEM
-------------

DISPLAY.

--	--	--	--	--	--

ENDEREÇO.

Ex.: 2, 0, 0 e 1.

2	0	0	1.		
---	---	---	----	--	--

NEXT
------

2	0	0	1	A	7.
---	---	---	---	---	----

Conteúdo atual.

DADO.

Ex.: 3 e 0

2	0	0	1	3	0.
---	---	---	---	---	----

Novo conteúdo.

EXEC
------

-					
---	--	--	--	--	--

Se, ao invés de teclar "EXEC", que termina o comando, for teclado "NEXT", o conteúdo do campo de dados será escrito no endereço, este último será incrementado e apresentado juntamente com seu conteúdo. O acionamento sequencial da tecla "NEXT", neste comando, permite examinar o conteúdo de qualquer memória.

b) Procedimento II: substituição ou verificação de conteúdo de registrador.

TECLAS.

EXAM REG
-------------

DISPLAY.

			.		
--	--	--	---	--	--

REGISTRADOR.

	S	P	H	8	0.
--	---	---	---	---	----

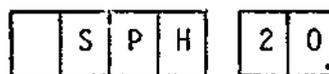
Conteúdo atual.

Ex.: 

4 SPH
----------

 (ver Tabela A.1).

DADO.  
Ex.: 2 e 0.



Novo Conteúdo.



Analogamente ao procedimento I, o comando "NEXT" no lugar de "EXEC" faz com que o dado seja escrito no registrador e o próximo registrador, na sequência da Tabela A.1, seja apresentado com seu conteúdo.

TABELA A.1

SEQUÊNCIA DE REGISTRADORES NO 8085

A		
B		
C		Registradores da CPU.
D		
E		
F		"FLAGS".
I		Máscara de interrupções.
H		
L		Registradores da CPU.
SPH		Ponteiro da pilha ("STACK").
SPL		
PCH		Contador do programa.
PCL		

c) Procedimento III: Execução de Programa.

TECLAS.	DISPLAY.							
<table border="1"><tr><td>GO</td></tr></table>	GO	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>F</td><td>5</td></tr></table> Conteúdo atual do PC.	0	1	0	0	F	5
GO								
0	1	0	0	F	5			
ENDEREÇO INICIAL DO PROGRAMA. Ex.: 1, 0, 0 e 0.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0.</td><td></td><td></td></tr></table>	1	0	0	0.			
1	0	0	0.					
<table border="1"><tr><td>EXEC</td></tr></table>	EXEC	<table border="1"><tr><td>-</td><td></td><td>8</td><td>5</td><td>8</td><td>5</td></tr></table>	-		8	5	8	5
EXEC								
-		8	5	8	5			

Durante a execução de um programa, a mensagem "E" permanece do display. O "- 80 85" indica que o programa foi executado.

O acionamento incorreto das teclas pode resultar em mensagem de erro "Err" do display, o que pode ser corrigido com um novo acionamento das teclas na sequência correta. A tecla "RST" também pode ser utilizada, mas esta irá alterar o conteúdo dos registradores e desativar as portas de saída.

A tecla "SING STEP" não tem nenhuma utilidade na operação do instrumento e somente foi utilizada durante os testes de "software".

d) Procedimento IV: definição das faixas espectrais pelo usuário.

A região da RAM reservada para o usuário começa no endereço  $2000_H$ , cujo conteúdo deve ser zero para que as faixas registradas nesta região sejam utilizadas. Nos endereços seguintes, o usuário escreve o início e o fim de até quatro faixas, segundo a Tabela A.2. Os valores podem variar de "00" até "7F", e as faixas podem distribuir-se aleatoriamente, desde que o final seja maior do que o começo, ou igual ao começo.

Como exemplo, apresenta-se a seguir o conteúdo da RAM para a obtenção da reflectância média nas bandas 4, 5 e 6 do LANDSAT MSS: 500 a 600 nm, 600 a 700 nm e 700 a 800 nm, respectivamente.

ENDEREÇO. CONTEÚDO.		ENDEREÇO. CONTEÚDO.	
2000	00	2003	3E
2001	12	2004	5D
2002	3E	2005	5D
		2006	72

TABELA A.2

CONVERSÃO DOS COMPRIMENTOS DE ONDA (nm) EM POSIÇÕES DE MEMÓRIA (HEXADECIMAL)

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
00	460	10	495	20	533	30	567	40	605	50	650	60	715	70	791
01	464	11	497	21	535	31	569	41	607	51	654	61	720	71	796
02	467	12	499	22	537	32	572	42	609	52	657	62	725	72	802
03	469	13	502	23	539	33	574	43	612	53	660	63	730	73	809
04	471	14	505	24	541	34	576	44	615	54	664	64	733	74	815
05	473	15	507	25	543	35	579	45	617	55	667	66	737	75	821
06	475	16	509	26	545	36	581	46	620	56	671	66	742	76	829
07	477	17	512	27	547	37	583	47	622	57	676	67	747	77	835
08	479	18	514	28	550	38	585	48	625	58	680	68	751	78	844
09	481	19	517	29	553	39	587	49	628	59	685	69	756	79	850
0A	483	1A	519	2A	555	3A	590	4A	631	5A	689	6A	761	7A	856
0B	485	1B	522	2B	557	3B	592	4B	634	5B	693	6B	765	7B	864
0C	487	1C	524	2C	559	3C	595	4C	637	5C	697	6C	770	7C	870
0D	489	1D	526	2D	561	3D	597	4D	640	5D	701	6D	775	7D	880
0E	491	1E	529	2E	563	3E	600	4E	643	5E	707	6E	780	7E	890
0F	493	1F	531	2F	565	3F	602	4F	646	5F	711	6F	786	7F	900

A - Posição de Memória em hexadecimal

B - Comprimento de onda (nm)

## APÊNDICE B

### GLOSSÁRIO

Explica-se o significado de alguns termos técnicos utilizados neste trabalho.

CCD: Do inglês, "Charge Coupled Device" (ver Seção 2.1).

Exposição Equivalente de Ruído (EER): Exposição é o produto intensidade x tempo e, neste caso, equivale à energia necessária para produzir um sinal na saída do CCD, igual ao sinal gerado pelo ruído. Portanto, corresponde ao limite de sensibilidade dos detectores.

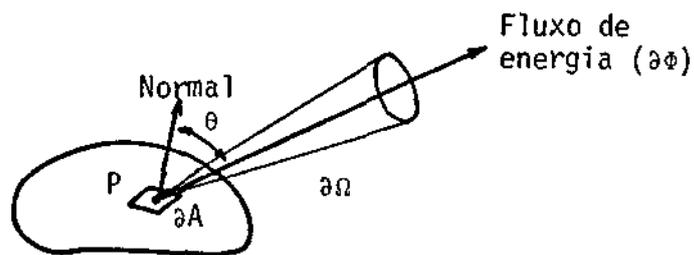
Filtro Neutro: É utilizado para atenuar a incidência de radiação sem alterar o conteúdo espectral.

Número F ( $N = f/D$ ): É o quociente entre a distância focal da óptica e o diâmetro da pupila de entrada. Relaciona-se com a densidade de energia incidente no plano focal, que será tanto maior quanto menor for o N.

Irradiância ( $E = \partial\Phi/\partial A$ ): É o quociente entre o fluxo de energia, ou potência, incidente em uma superfície, e a área da superfície (Slater, 1980d).

Monocromador: É um instrumento para produzir um fluxo de radiação quase-monocromático (em torno de um comprimento de onda), geralmente a partir de uma fonte de espectro uniforme.

*Radiância* ( $L = \partial^2\Phi/\partial\Omega \partial A \cos\theta$ ): Em uma dada direção ( $\theta$ ), a partir de um ponto (P) sobre uma superfície emissora,  $\bar{e}$  o quociente entre o fluxo de energia que parte da vizinhança ( $\partial A$ ) deste ponto, dentro de um cone ( $\partial\Omega$ ) com a direção dada, e o produto entre o ângulo sólido do cone e a área de projeção ortogonal do elemento de superfície, sobre um plano normal à direção dada (Slater, 1980d).



*Rede Difratora* ("Grating"): São elementos utilizados na decomposição espectral de radiação, que aplica o princípio da interferência. Eles são obtidos com a gravação de linhas paralelas e equidistantes, com uma ponta de diamante, em uma película de alumínio depositada sobre vidro.

*Radiômetro*: É um instrumento que coleta radiação em uma dada faixa espectral determinando sua intensidade.

*Superfície Lambertina*: É uma superfície na qual a radiância independe do ângulo  $\theta$  com relação à normal.

## APÊNDICE C

### LISTAGEM DO PROGRAMA

ENDEREÇO	CONTEÚDO	COMENTÁRIOS
INICIALIZAÇÃO		
1000	31 C8 20 LXI SP	
03	01 00 03 LXI B	Nº de endereços a serem zerados.
06	21 FF 23 LXI H	Topo da Memória Interna.
<div style="border-left: 1px solid black; border-top: 1px solid black; padding-left: 20px; margin-top: 10px;"> <p>"Loop" para zerar memórias.</p> </div>		
09	36 00 MVI M	
0B	2B DCX H	
0C	0B DCX B	
0D	78 MOV A,B	} Verifica se todos endereços foram zerados.
0E	B1 ORA C	
0F	C2 09 10 JNZ	
12	0E 03 MVI C	Nº de fases de aquisição.
14	21 C8 20 LXI H	
17	36 C9 MVI M	Carrega retorno do RST 6.6 na mem.
19	3E 80 MVI A	} Ativa portas de saída.
1B	D3 02 OUT	
1D	3E FF MVI A	
1F	D3 12 OUT	
21	3E 0F MVI A	
23	D3 13 OUT	
25	21 00 24 LXI H	Topo da Mem. Interna + 1.
AQUISIÇÃO DE DADOS.		
28	06 04 MVI B	Nº de aquisições para tirar a média.
2A	C5 PUSH B	STACK ← Contadores B e C.
2B	E5 PUSH H	STACK ← End. Mem. Interna.
2C	3E C8 MVI A	

102E	21	A1	30	LXI H	Topo da Mem. Intermediária.
31	30			SIM	Ativa sincronismo com CCD.
32	FB			EI	"Loop" de endereçamento.
33	76			HLT	
34	2D			DCR L	
35	77			MOV M,A	
36	C2	32	10	JNZ	
39	3E	40		MVI A	
3B	30			SIM	Desativa sincronismo.

TRANSFERÊNCIA MEM. INTERNA ← MEM. INTERMED. COM ADIÇÃO.

3C	21	8D	31	LXI H	End. do 1º dado na Mem. Intermed.
----	----	----	----	-------	-----------------------------------

"Loop" de transferência e adição.

3F	3E	0F		MVI A	
41	A6			ANA M	Lê "byte" mais significativo, zerando 4 bits superiores.
42	47			MOV B,A	
43	25			DCR H	
44	4E			MOV C,M	"byte" menos significativo.
45	24			INR H	
46	2D			DCR L	
47	E3			XTHL	STACK ← End. Mem. Intermed. HL ← End. Mem. Interna.
48	2B			DCX H	
49	56			MOV D,M	DE ← Dado da Memória Interna.
4A	2D			DCR L	
4B	5E			MOV E,M	
4C	EB			XCHG	
4D	09			DAD B	
4E	EB			XCHG	Soma e guarda no mesmo end. na Mem. Interna.
4F	2C			INR L	
50	72			MOV M,D	
51	2D			DCRL	
52	73			MOV M,E	
53	E3			XTHL	STACK ← End. Mem. Interna. HL ← End. Mem. Intermediária.

1054	C2 3F 10	JNZ	Verifica se foram transferidos todos os dados.
57	E1	POP H	Verifica se foram feitas 4 aquisições sucessivas.
58	C1	POP B	
59	05	DCR B	
5A	CA 64 10	JZ	
5D	11 00 01	LXI D	Caso contrário, retorna end. e faz mais uma.
60	19	DAD D	
61	C3 2A 10	JMP	
Posiciona os disco seletor para a próxima fase de aquisição.			
64	3E 80	MVI A	
66	D3 00	OUT	Ativa motor.
68	DB 00	IN	Lê o estado do sensor de posição.
6A	5F	MOV E,A	
6B	DB 00	IN	
6D	93	SUB E	
6E	CA 6B 10	JZ	Detecta transição.
71	D2 7D 10	JNC	Verifica se é a 2ª transição.
74	11 00 01	LXI D	
77	CD F1 05	CALL DELAY	Caso contrário, atrasa e volta.
7A	C3 68 10	JMP	
7D	3E 00	MVI A	
7F	D3 00	OUT	Desativa motor.
81	0D	DCR C	
82	C2 28 10	JNZ	Verifica se ocorreram 3 fases de aquisição.

"LOOP" PARA TIRAR A MÉDIA.

85	21 FF 23	LXI H	Topo da Memória Interna.
88	01 80 01	LXI B	Nº de dados.
8B	16 02	MVI D	Nº de deslocamentos para direita.
8D	7E	MOV A,M	
8E	2B	DCX H	

108F	37		STC	] "Loop" de deslocamento.
90	3F		CMC	
91	1F		RAR	
92	F5		PUSH PSW	
93	7E		MOV A,M	
94	1F		RAR	
95	77		MOV M,A	
96	F1		POP PSW	
97	15		DCR D	
98	C2	8F 10	JNZ	
9B	23		INX H	] Verifica se todos os dados fo ram divididos.
9C	77		MOV M,A	
9D	2B		DCX H	
9E	2B		DCX H	
9F	0B		DCX B	
A0	78		MOV A,B	
A1	B1		ORA C	
A2	C2	8B 10	JNZ	

"LOOP" DE CORREÇÃO DOS DADOS E CÁLCULO DAS REFLECTÂNCIAS.

A5	21	00 24	LXI H	Topo da memória do Alvo + 1.
A8	2B		DCX H	] DE ← dado do Alvo.
A9	56		MOV D,M	
AA	2D		DCR L	
AB	5E		MOV E,M	] STACK ← End. mem. do Alvo.
AC	E5		PUSH H	
AD	01	01 FE	LXI B	] Desloca o end. para a mem. do Ruído.
B0	09		DAD B	
B1	7E		MOV A,M	] BC ← Negativo do dado de Ruído.
B2	2F		CMA	
B3	47		MOV B,A	
B4	2D		DCR L	
B5	7E		MOV A,M	
B6	2F		CMA	
B7	4F		MOV C,A	
B8	03		INX B	

10B9	C5			PUSH B	STACK ← Ruído negativo.
BA	EB			XCHG	DE ← End. mem. do Ruído.
BB	09			DAD B	HL ← Dado do Alvo.
BC	D2	C4	10	JNC	Subtrai Ruído do Alvo.
BF	7C			MOV A,H	
C0	B5			ORA L	Se deu negativo ou nulo, salta zerando o resultado.
C1	C2	CB	10	JNZ	
C4	C1			POP B	
C5	01	00	00	LXI B	
C8	C3	0B	11	JMP	
CB	EB			XCHG	DE ← Alvo corrigido.
CC	01	01	01	LXI B	HL ← End. mem. Ruído.
CF	09			DAD B	Desloca end. para mem. da Referência.
D0	46			MOV B,M	
D1	2D			DCR L	BC ← Dado da Referência.
D2	4E			MOV C,M	
D3	E1			POP H	HL ← Negativo do dado Ruído.
D4	09			DAD B	Subtrai Ruído da Referência.
D5	D2	80	11	JNC	Se deu negativo ou nulo, termina com a mensagem ILLI.
D8	7C			MOV A,H	
D9	B5			ORA L	
DA	CA	80	11	JZ	HL ← Alvo corrigido.
DD	EB			XCHG	
DE	E5			PUSH H	BC ← Negativo do dado da Referência.
DF	7A			MOV A,D	
E0	2F			CMA	
E1	47			MOV B,A	
E2	7B			MOV A,E	
E3	2F			CMA	
E4	4F			MOV C,A	
E5	03			INX B	
E6	09			DAD B	Subtrai Referência do Alvo.
E7	D2	02	11	JNC	Se Ref. > Alvo efetua a divisão.
EA	7C			MOV A,H	
EB	B5			ORA L	

10EC	CA	FB	10	JZ	Referência = Alvo.
EF	3E	00		MVI A	
F1	BC			CMP H	
F2	DA	80	11	JC	Ref. << Alvo, termina, com a mensagem ILI.
F5	3E	40		MVI A	
F7	BD			CMP L	
F8	DA	80	11	JC	Ref. << Alvo, termina com a mensagem ILI.
FB	E1			POP H	
FC	01	FF	0F	LXI B	] Ref. << Alvo, salta divisão, fazendo resultado igual a 1.
FF	C3	0B	11	JMP	
1102	E1			POP H	Alvo corrigido.
03	01	00	00	LXI B	Prepara a divisão.
06	3E	0D		MVI A	Nº de bits do resultado.
08	CD	59	11	CALL DIV	
0B	E1			POP H	Endereço da memória do Alvo.
0C	2C			INR L	] Dado da reflectância vai para a memória do Alvo.
0D	70			MOV M,B	
0E	2D			DCR L	
0F	71			MOV M,C	
10	C2	A8	10	JNZ	Verifica se foram processados todos os dados.

CÁLCULO DA REFLECTÂNCIA MÉDIA E APRESENTAÇÃO DO RESULTADO.

13	21	00	20	LXI H	End. da região do usuário na RAM.
16	3E	00		MVI A	
18	B6			ORA M	Se 1º dado = 0, o usuário entra con suas faixas.
19	CA	1F	11	JZ	
1C	21	AF	11	LXI H	Caso contrário, HL ← End. da ROM.
1F	23			INX H	

Calcula extensão da faixa e guarda em DE.

20	7E			MOV A,M	Início da faixa.
21	2F			CMA	
22	3C			INR A	
23	3C			INR A	
24	23			INX H	
25	46			MOV B,M	Final da faixa.

1126	80		ADD B	Calcula extensão da faixa.
27	E5		PUSH H	STACK ← End. para próxima faixa.
28	5F		MOV E,A	
29	16	00	MVI D	
2B	7E		MOV A,M	Final da faixa.
2C	07		RLC	
2D	3C		INR A	A ← 2A + 1 (cada dado ocupa 2 "bytes").
2E	6F		MOV L,A	HL ← End. do "byte" + signif., no final da faixa.
2F	26	23	MVI H	
31	7B		MOV A,E	Extensão da faixa.
32	01	00 00	LXI B	Somatório.

"Loop" para obter reflectância média.

35	D5		PUSH D	STACK ← Extensão da faixa.
36	F5		PUSH PSW	STACK ← Contador de dados.
37	C5		PUSH B	STACK ← Somatório.
38	46		MOV B,M	] BC ← Dado.
39	2D		DCR L	
3A	4E		MOV C,M	
3B	E5		PUSH H	STACK ← Endereço do dado.
3C	3E	11	MVI A	Nº de bits do resultado.
3E	21	00 00	LXI H	Prepara a divisão.
41	CD	59 11	CALL DIV	
44	E1		POP H	HL ← Endereço.
45	E3		XTHL	STACK ← Endereço.
46	09		DAD B	HL ← Somatório
47	44		MOV B,H	Adiciona resultado ao somatório.
48	4D		MOV C,L	] BC ← Somatório.
49	E1		POP H	HL ← Endereço do dado.
4A	2D		DCR L	Apointa para próximo dado.
4B	F1		POP PSW	A ← Contador de dados.
4C	D1		POP DE	DE ← Extensão da faixa.

114D	3D	DCR A	Verifica se toda a faixa foi percorrida.
4E	C2 35 11	JNZ	

Solta resultado e termina.

51	78	MOV A,B	
52	D3 11	OUT	
54	79	MOV A,C	
55	D3 10	OUT	
57	E1	POP H	HL ← End. para a próxima faixa.
58	CF	RST L	

SUB-ROTINA DE DIVISÃO (DIV).

1159	F5	PUSH PSW	
5A	7A	MOV A,D	
5B	2F	CMA	
5C	57	MOV D,A	
5D	7B	MOV A,E	Complementa DE.
5E	2F	CMA	
5F	5F	MOV E,A	
60	13	INX D	
61	F1	POP PSW	
62	F5	PUSH PSW	
63	E5	PUSH H	
64	19	DAD D	
65	D2 69 11	JNC	"Loop" de teste e deslocamentos.
68	E3	XTHL	
69	E1	POP H	
6A	79	MOV A,C	
6B	17	RAL	
6C	4F	MOV C,A	
6D	78	MOV A,B	
6E	17	RAL	
6F	47	MOV B,A	

1170	7D		MOV A,L	] "Loop" de teste e deslocamentos.
71	17		RAL	
72	6F		MOV L,A	
73	7C		MOV A,H	
74	17		RAL	
75	67		MOV H,A	
76	F1		POP PSW	
77	3D		DCR A	
78	C2	62 11	JNZ	
7B	C9		RET	

ROTINA DE MENSAGEM ILI.

117C	13		"I"	
7D	11		"L"	
7E	13		"I"	
7F	15		" "	
1180	3E	00	MVI A	Utiliza região de endereços.
82	06	00	MVI B	Não utiliza ponto decimal.
84	21	7C 11	LXI H	HL ← End. do 1º carectere.
87	CD	B7 02	CALL OUTPUT	
8A	C3	80 11	JMP	Repete.

ROTINA DE VARREDURA E APRESENTAÇÃO.

118D	3E	00	MVI A	] Solta pulso de sincronismo.
8F	D3	11	OUT	
91	D3	10	OUT	
93	3E	FF	MVI A	
95	D3	11	OUT	
97	D3	10	OUT	
99	3E	00	MVI A	
9B	D3	11	OUT	
9D	D3	10	OUT	] Topo da mem. de dados + 1.
9F	21	00 24	LXI H	

"Loop" para percorrer a memória de reflectância.

A2	2B			DCX H	
A3	7E			MOV A,M	
A4	D3	11		OUT	
A6	2D			DCR L	Solta dado.
A7	7E			MOV A,M	
A8	D3	10		OUT	
AA	C2	A2	11	JNZ	Verifica se toda memória foi percorrida.
AD	C3	8D	11	JMP	Repete.

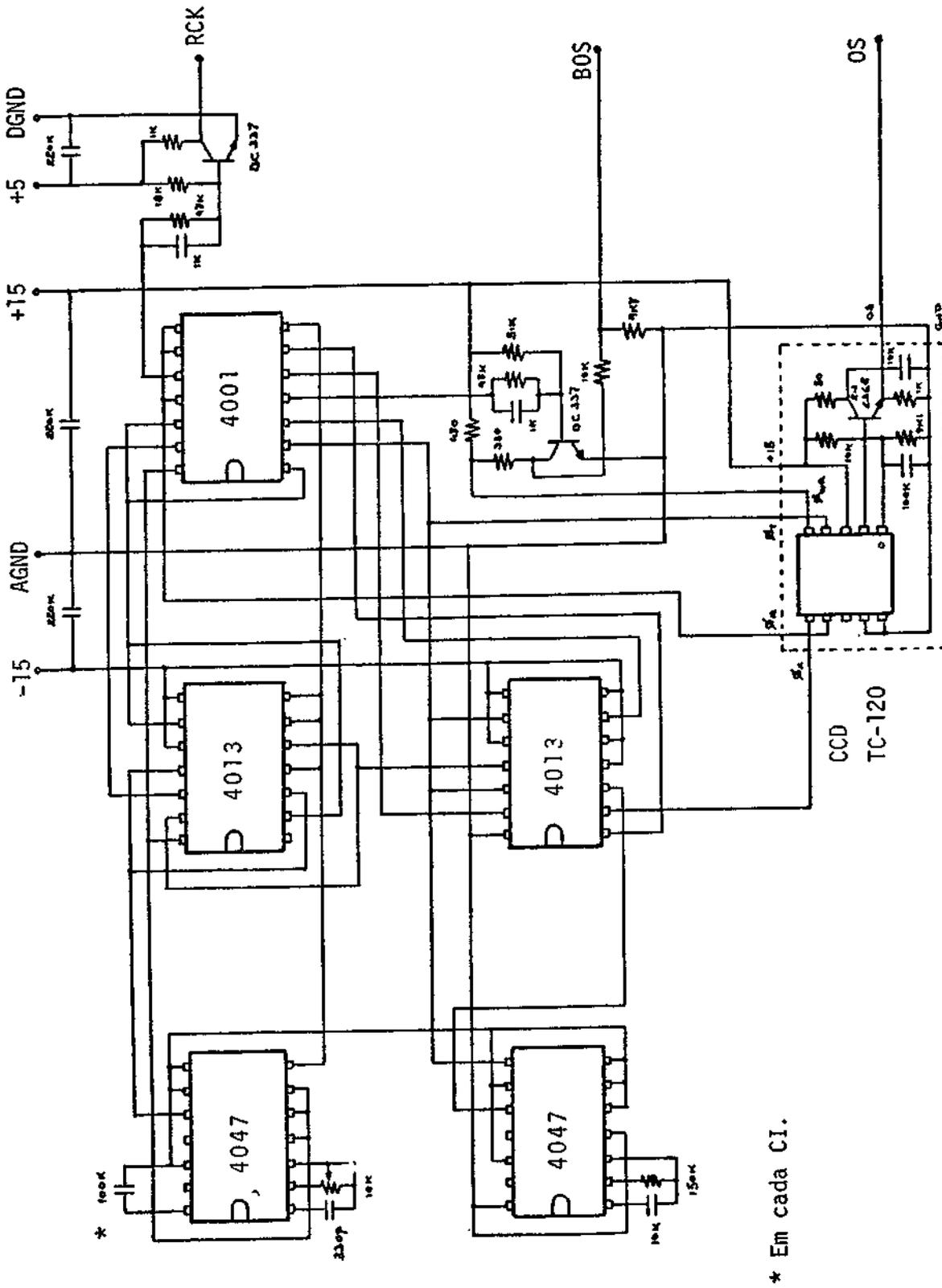
FAIXAS FIXAS.

11B0	00
B1	1B
B2	1B
B3	3E
B4	49
B5	5A
B6	70
B7	7F

## APÊNDICE D

### DIAGRAMAS ELETRÔNICOS

- 1) Temporização do CCD.
- 2) Conversor A/D.
- 3) Memória Intermediária.
- 4) Display e Teclado.
- 5) Microprocessador, Memórias e Conversor D/A.



\* Em cada CI.

Fig. D.1 - Temporização do CCD.



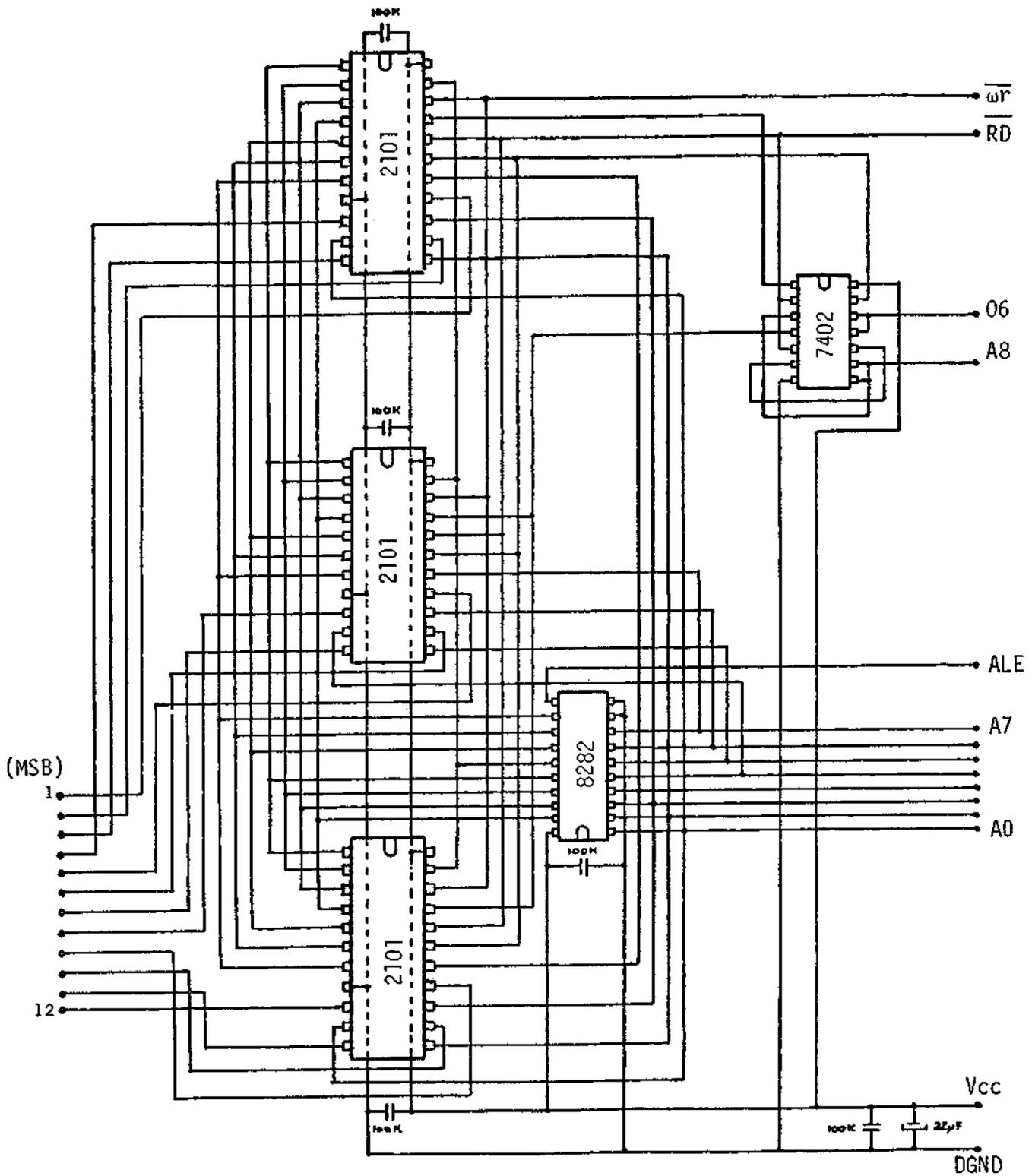


Fig. D.3 - Memória intermediária.

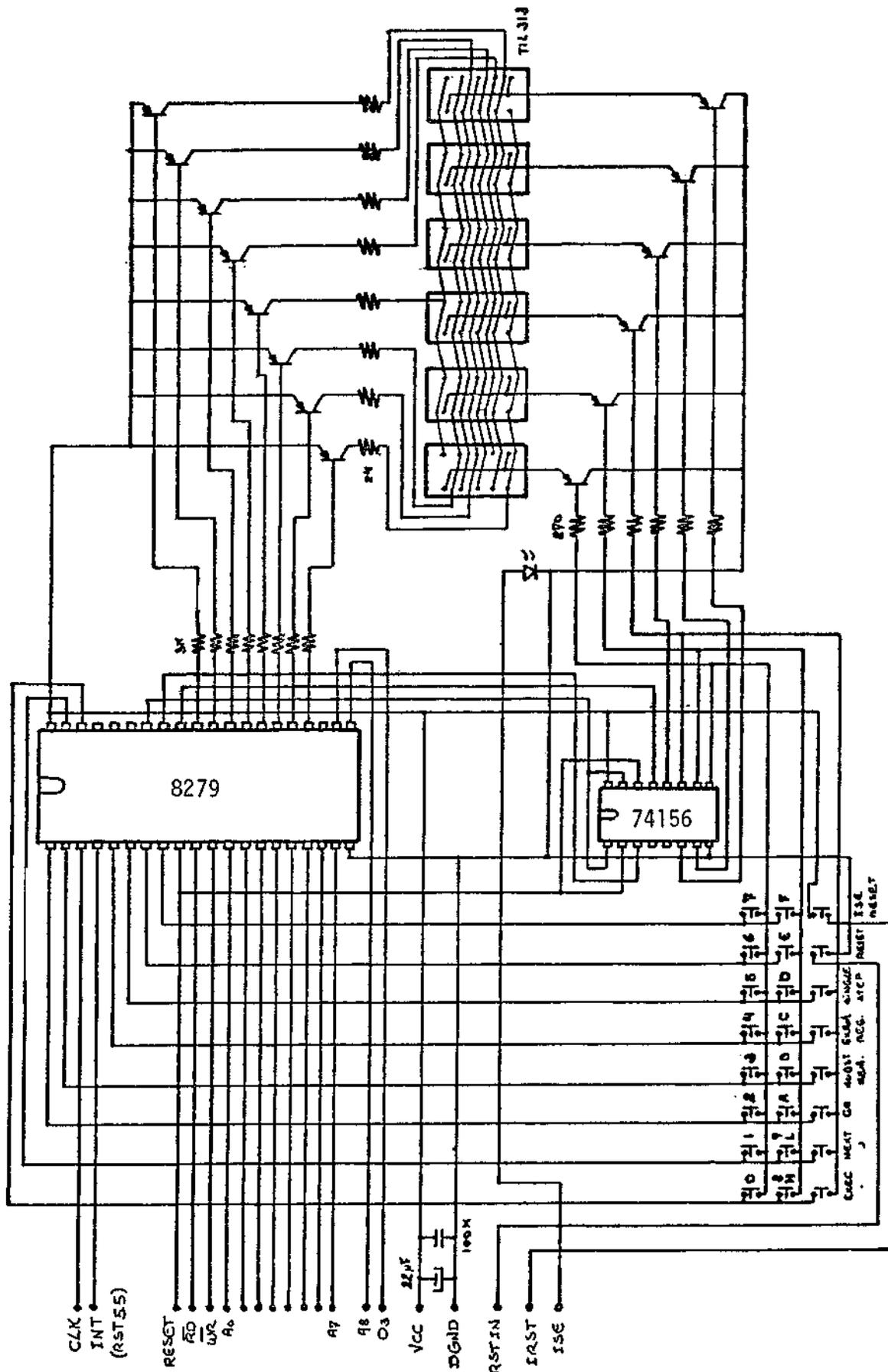


Fig. D.4 - Display e teclado.

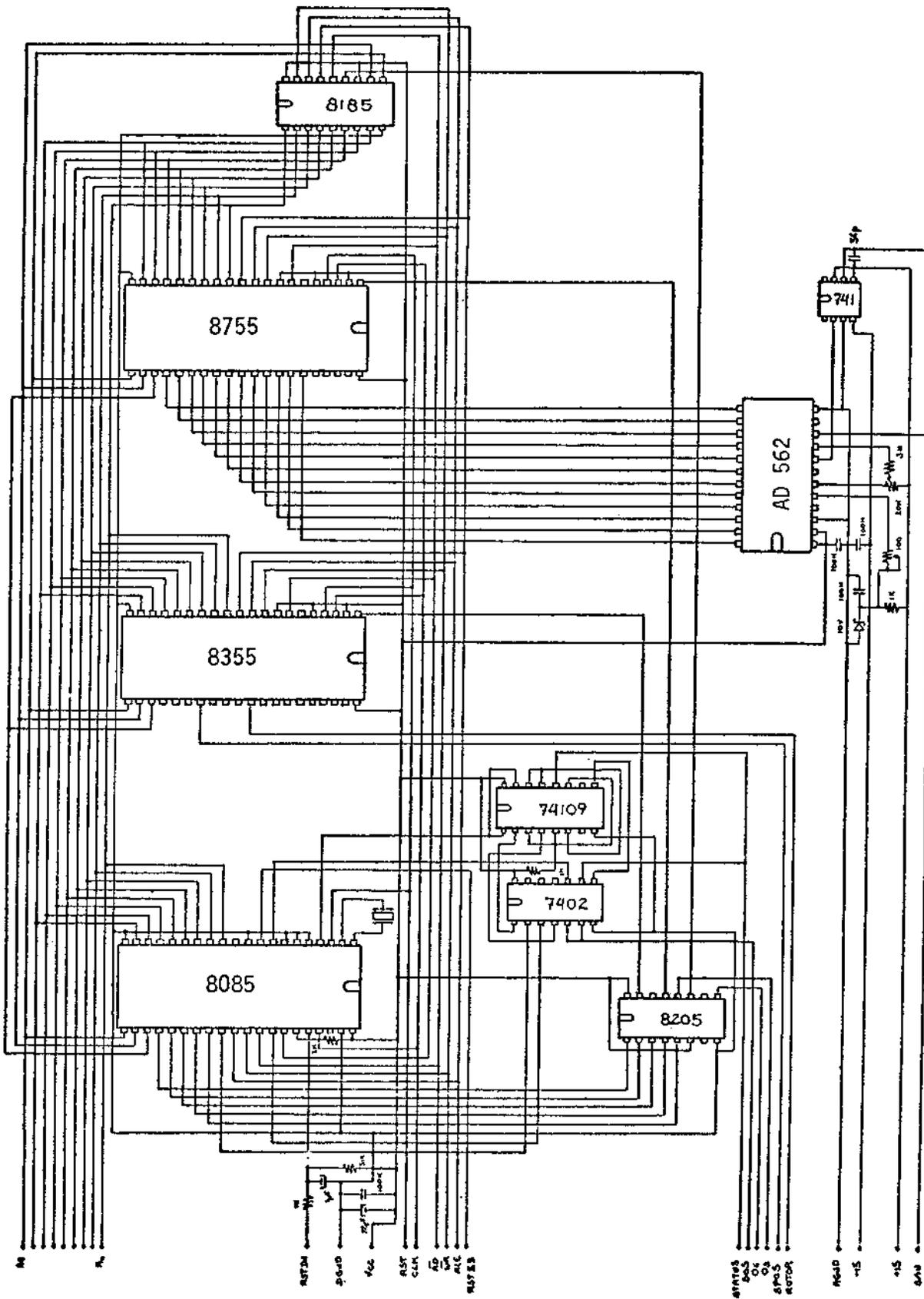


Fig. D.5 - Microprocessador, memórias e conversor D/A.