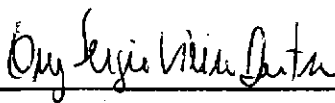
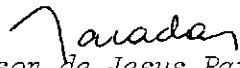


1. Publicação nº INPE-3165-TDL/171	2. Versão	3. Data Julho, 1984	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DRH-DGA	Programa FRH/ECO		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) AQUISIÇÃO DE DADOS MÉTODO MAGNETOTELÚRICO MT			
7. C.D.U.: 550.837.211			
8. Título DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE TRATAMENTO DE DADOS MAGNETOTELÚRICOS		10. Páginas: 201	
		11. Última página: C.62	
9. Autoria Luiz Sérgio Vieira Dutra		12. Revisada por Nalin Babulal Trivedi	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor Geral	
14. Resumo/Notas O método magnetotelúrico (MT) é uma técnica para determinar a distribuição da condutividade do interior da Terra através de medidas, na superfície, das variações dos campos magnético e elétrico naturais. Um sistema MT é constituído por sensores, filtros analógicos, amplificadores, circuitos para conversão analógico-digital e um computador para processamento de dados. O objetivo deste trabalho é propor e implementar, em parte, uma arquitetura de um sistema automático de aquisição de dados MT, a ser construído nos laboratórios do INPE. Serão montados os sensores e os circuitos analógicos, enquanto os subsistemas de aquisição e processamento terão sua operação especificada.			
15. Observações Dissertação de mestrado em Eletrônica e Telecomunicações, opção Sistemas Digitais e Analógicos, aprovada em 22 de março de 1984.			

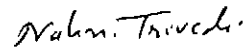
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Eletrônica e Telecomunicações

Dr. Gilberto F. Schleiniger



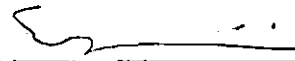
Presidente

Dr. Nalin Babulal Trivedi



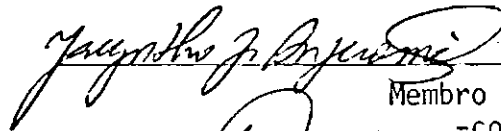
Orientador

Dr. Eduardo Whitaker Bergamini



Co-Orientador

Dr. Jacyntho José Angerami



Membro da Banca
-convidado-

Engº Mario Missawa, MSc.



Membro da Banca

Candidato: Luis Sérgio Vieira Dutra

São José dos Campos, 22 de março de 1984

ABSTRACT

The magnetotelluric method (MT) is a technique used to determine the conductivity distribution of the Earth interior through surface measurements of changes in the electric and magnetic natural fields. An MT system consists of: sensors, analog filters, amplifiers, analog-digital conversion circuits and a data processing computer. The main goal of this work is the proposal and partial implementation of an MT system to be assembled at INPE's laboratories. The sensors and the analog circuitry will be built, while the data acquisition and data analysis subsystems will have their operational specifications described.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Princípios do método magnetotelúrico	1
1.2 - Natureza dos sinais	5
1.3 - Estratégia de medida	8
1.4 - Equipamentos utilizados no método MT	10
<u>CAPÍTULO 2 - A PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO</u>	15
<u>CAPÍTULO 3 - O TRABALHO DA DISSERTAÇÃO</u>	21
<u>CAPÍTULO 4 - CONSTRUÇÃO DOS DETETORES</u>	23
4.1 - O magnetômetro de indução	23
4.1.1 - Princípios gerais	23
4.1.2 - Construção dos magnetômetros	26
4.1.3 - Testes e resultados dos magnetômetros	28
4.2 - Os eletrodos de campo elétrico	37
4.2.1 - Construção dos eletrodos	37
4.2.2 - Resultados dos eletrodos	39
<u>CAPÍTULO 5 - A INTERFACE ANALÓGICA</u>	41
5.1 - Canal telúrico	43
5.2 - Canal magnético	43
5.3 - Montagem da interface analógica	44
5.4 - Resultados da interface analógica	48
<u>CAPÍTULO 6 - A PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PPCD/ERI</u>	59
6.1 - A arquitetura da PPCD/ERI	59
6.2 - Descrição dos circuitos periféricos	61
6.3 - Especificação da operação da PPCD/ERI	64
6.3.1 - Objetivos do sistema	65
6.3.2 - Arquitetura do "software"	67

	<u>Pág.</u>
6.3.3 - Descrição do "software" básico	69
6.3.4 - Especificação do "software" aplicável	74
6.3.5 - Lista de entradas da PPCD/ERI	79
6.3.6 - Lista de saídas da PPCD/ERI	80
6.3.7 - Fluxo do sistema	83
<u>CAPÍTULO 7 - O COMPUTADOR DE PROCESSAMENTO DE DADOS</u>	89
7.1 - O protocolo	91
<u>CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES</u>	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APÊNDICE A - DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES DE CAGNIARD	
APÊNDICE B - MODELO DE COMPACTAÇÃO DE DADOS PROPOSTO PARA UTILI ZAÇÃO NA PPCD/ERI	
APÊNDICE C - ESPECIFICAÇÃO COMPLETA DO "SOFTWARE" DA PPCD/ERI	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Espectro típico de amplitude do campo magnetotelúrico ...	6
1.2 - Arquitetura típica de um sistema MT	10
2.1 - Diagrama de blocos do sistema MT/INPE proposto	16
4.1 - Circuito equivalente da bobina	24
4.2 - Diagrama de blocos do magnetômetro do tipo indução realimentado	26
4.3 - Sistema de calibração e resposta de frequência do magnetômetro do tipo indução	29
4.4 - Resposta em frequência do magnetômetro do tipo indução ..	30
4.5 - Sistema de medida de ruído dos magnetômetros do tipo indução	31
4.6 - Exemplo de medida de ruído do magnetômetro de indução ...	33
4.7 - Registro magnetotelúrico com magnetômetro de indução	36
4.8 - Esquema da implementação do eletrodo de campo elétrico não-polarizado	38
5.1 - Circuitos utilizados para tratamento dos sinais de campo telúrico (elétrico)	41
5.2 - Circuitos utilizados para tratamento dos sinais do campo magnético	42
5.3 - Esquema do circuito da primeira placa	45
5.4 - Esquema do circuito da segunda placa	47
5.5 - Sistema de teste de resposta de frequência das placas da interface analógica	49
5.6 - Resposta em frequência da primeira placa	50
5.7 - Resposta em frequência das diversas faixas implementadas com a segunda faixa	52
5.8 - Ruído em banda larga da interface analógica	54
6.1 - Diagrama de blocos da PPCP/ERI	60
6.2 - Diagrama de blocos dos circuitos periféricos	62
6.3 - Diagrama de blocos do teclado (a) e formato de transverso (b)	63
6.4 - Arquitetura do "software" da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE	68
6.5 - Esquema gráfico do processo armazenador	77
6.6 - Formatos de impressão	83

	<u>Pág.</u>
7.1 - Esquema geral do programa de análise do computador de pro- cessamento	90
7.2 - Esquema do protocolo de comunicação entre a PPCD/ERI e o computador	92
C.1 - Arquitetura do "software" da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE	C.2
C.2 - Representação gráfica dos processos aplicativos	C.3
C.3 - "Layouts" dos "buffers"	C.6
C.4 - "Layout" da área de controle do Processo Transmissor	C.9
C.5 - Diagrama de estado da sub-rotina cp	C.21
C.6 - Diagrama de estado da sub-rotina analisador	C.33

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Relação sinal-ruído e sinal mínimo mensurável dos magnetômetros do tipo indução	32
5.1 - Resposta em frequência da primeira placa	49
5.2 - Resposta em fase e em frequência das diversas faixas implementadas com a segunda placa	51
5.3 - Deriva térmica das placas da interface analógica	58
6.1 - Função de cada bit da unidade de controle da PPCD/ERI ...	64
6.2 - Tabela descritora inicial dos processos	85
8.1 - Valores mínimos observáveis com o sistema MT/INPE	98
C.1 - "Layout" da tabela de estado da sub-rotina Cp	C.22
C.2 - "Layouts"	C.23
C.3 - Erros detetados pela PPCD/ERI	C.30
C.4 - Estado da sub-rotina analisador	C.34
C.5 - "Layout" da tabela tabelaçãotcl	C.34
C.6 - Sequência de entrada de dados de identificação	C.37
C.7 - Conteúdo da área cad gerado pela sub-rotina iniciatimer..	C.40
C.8 - "Layout" da tabelacomando	C.42
C.9 - Tabela de valores limites de aquisição por faixa	C.44
C.10 - Tabela cruzada das rotinas do sistema MT/INPE	C.62

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Um sistema de aquisição e processamento de dados magnetotélúricos é proposto neste trabalho. Embora sistemas MTs similares ao aqui proposto sejam disponíveis para compra no exterior, o desenvolvimento e construção, no Brasil, de tal equipamento se impõe tanto pelo alto custo desses sistemas, como pela necessidade de desenvolver localmente esta tecnologia em virtude das crescentes dificuldades de importação.

O desenvolvimento de um sistema MT faz parte do programa de pesquisa e desenvolvimento da Divisão de Geomagnetismo e Geofísica Nuclear do Departamento de Geofísica e Aeronomia do INPE e será utilizado em estudos de geofísica pura e aplicada desta divisão.

1.1 - PRINCÍPIOS DO MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

O método magnetotélúrico (MT) é uma técnica para determinar a distribuição da condutividade elétrica da crosta e do manto superior terrestre. A metodologia empregada consiste na interpretação de medidas simultâneas, num dado local, das variações temporais dos campos geoeletrico e geomagnético.

A origem destas variações do campo magnético estão na magnetosfera e ionosfera terrestre, onde são geradas ondas eletromagnéticas que se propagam para a superfície. Quando essas ondas alcançam a superfície, ocorrem tanto reflexão como refração. Embora a maior parte da energia incidente seja refletida, uma pequena parte é transmitida para o interior da terra e nela se propaga verticalmente. Para uma rocha condutora, esta energia age como um campo magnético que varia no tempo (induzindo um campo elétrico) de modo que correntes, chamadas correntes telúricas, possam fluir.

A existência de correntes telúricas foi primeiramente estabelecida por Barlow em 1847 e registrada, desde então, em vários observatórios. Assim, há muito tempo é do conhecimento dos geofísicos que as variações naturais, no tempo, dos campos geomagnético e geoeletrico se acham intimamente relacionadas. Tal similaridade se evidencia quando estes dois eventos são medidos em um mesmo local: ambos são, juntos, calmos ou perturbados e apresentam flutuações rápidas ou lentas, etc., o que indica que as variações geomagnéticas e geoeletricas não são fenômenos independentes.

Cagniard (1953) desenvolveu a teoria para o método MT partindo das equações de Maxwell que relacionam campo magnético e elétrico:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

onde $\vec{J}$ = densidade de corrente (A/m^2), $\vec{E}$ = intensidade de campo elétrico (V/m), $\vec{B}$ = densidade de fluxo magnético ($weber/m^2$), $\vec{H}$ = intensidade de campo magnético ($ampère-voltas/m$); $\vec{D}$ = deslocamento elétrico (C/m^2).

A primeira equação é a expressão matemática da lei de Faraday em que um campo elétrico existe numa região de um campo magnético variável no tempo. A segunda é a expressão da lei de Ampère em que um campo magnético é gerado no espaço por um fluxo de correntes, sendo este campo proporcional à corrente total (condução mais deslocamento) na região.

Para a utilização destas equações as seguintes suposições foram feitas:

- a) a energia incidente sobre a superfície é uma onda eletromagnética plana;

- b) as correntes de deslocamento no interior da terra são desprezíveis;
- c) para a onda plana utilizada no método as variações horizontais de E e H são pequenas, comparadas com as variações verticais;
- d) Apenas variações periódicas de frequência são consideradas.

Utilizando estas simplificações, Cagniard (1953) obteve as equações que formaram a base do método MT, as quais estão descritas abaixo:

$$\rho = 0.2 \cdot T \cdot \left[\frac{E}{H} \right]^2 ,$$

$$h = \frac{\sqrt{\rho \cdot 10 \cdot T}}{8}$$

onde:

ρ é resistividade (ohm.m);

h é a profundidade na qual a energia da onda incidente cai para 1/e (m);

T é o período da onda de campo elétrico e magnético (segundos);

E é intensidade de campo elétrico (mV/km);

H é intensidade de campo magnético (nT).

Estas equações foram deduzidas para o caso em que o interior da Terra é considerado estratificado, ou seja, composto por uma série de camadas horizontais cujas variações de resistividade ocorrem apenas na direção vertical (condição acima). Este modelo do interior da Terra é chamado unidimensional.

O desenvolvimento das equações de Cagniard a partir das equações de Maxwell para o caso unidimensional é mostrado no Apêndice A.

Aos casos mais gerais (e reais) nos quais a resistividade de varia em mais de uma direção estas equações não mais se aplicam. Diz-se que uma estrutura é bidimensional quando sua resistividade varia ao longo de uma das direções horizontais e com a profundidade ($\rho(x,z)$). A outra direção horizontal é chamada "strike" da estrutura. Diz-se que uma estrutura é tridimensional quando sua resistividade varia em todas as direções ($\rho(x,y,z)$); nesse caso, ela não possui "strike".

Nessas situações a impedância, definida originalmente como a razão de E sobre H, não é mais escalar e assume a forma mostrada abaixo (para o caso bidimensional):

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y ,$$

$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y ,$$

onde Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} e Z_{yy} são componentes do tensor Z (impedância).

A obtenção das curvas de resistividade versus profundidade para estas situações torna-se assim uma tarefa bem mais complexa que para o caso unidimensional e constitui, ainda hoje, a linha de frente do trabalho dos pesquisadores envolvidos com o método MT.

Pode-se em resumo dizer que o método MT consiste na dedução das propriedades elétricas do subsolo, através de correlações existentes entre registros efetuados simultaneamente e em um mesmo lugar das variações dos campos geomagnético e geoeletrico. Uma introdução geral sobre o método pode ser encontrada em Vozoff (1972) e Keller e Frischknecht (1966).

O método MT, por suas características, é portanto de grande interesse e importância tanto na Geofísica Pura como na Aplicada, pois oferece um meio de determinação da estrutura da terra em profundidades muito maiores que as que são possíveis com os métodos eletromagnéticos convencionais. Além disso, pelo menos em seu conceito básico, uma única estação de medida é suficiente para a sua aplicação.

1.2 - NATUREZA DOS SINAIS

O campo magnetotelúrico pode ser definido genericamente como a parte variável no tempo do campo magnético terrestre que induz correntes no interior da terra.

Essas flutuações ocorrem em períodos desde milissegundos até séculos. As variações com períodos menores que um milissegundo não são usadas pelo método MT, já que estas variações rápidas não penetram muito no interior do solo. Variações com período maior que um dia também são usualmente excluídas da faixa de interesse, em vista do tempo necessário para obter dados utilizáveis e das dificuldades em medir os sinais telúricos (de amplitude muito pequena nesta faixa de frequência). Dentro da faixa de frequência que interessa ao método, as fontes principais de variações são: atividade de tempestades elétricas, ruídos industriais de sistemas de distribuição de energia elétrica, correntes elétricas na ionosfera e o sol.

Um espectro típico de amplitude de campo magnetotelúrico versus frequência é mostrado na Figura 1.1. As variações têm um mínimo de amplitude próximo a um hertz e crescem em baixas e altas frequências.

Para frequências acima de um hertz, o campo magnetotelúrico é gerado quase inteiramente por eletricidade atmosférica (relâmpagos ou raios). Localmente, campos induzidos por sistemas de distribuição de energia podem ser uma fonte de ruído importante, mas este ruído magnético é restrito a 60 Hz e seus harmônicos.

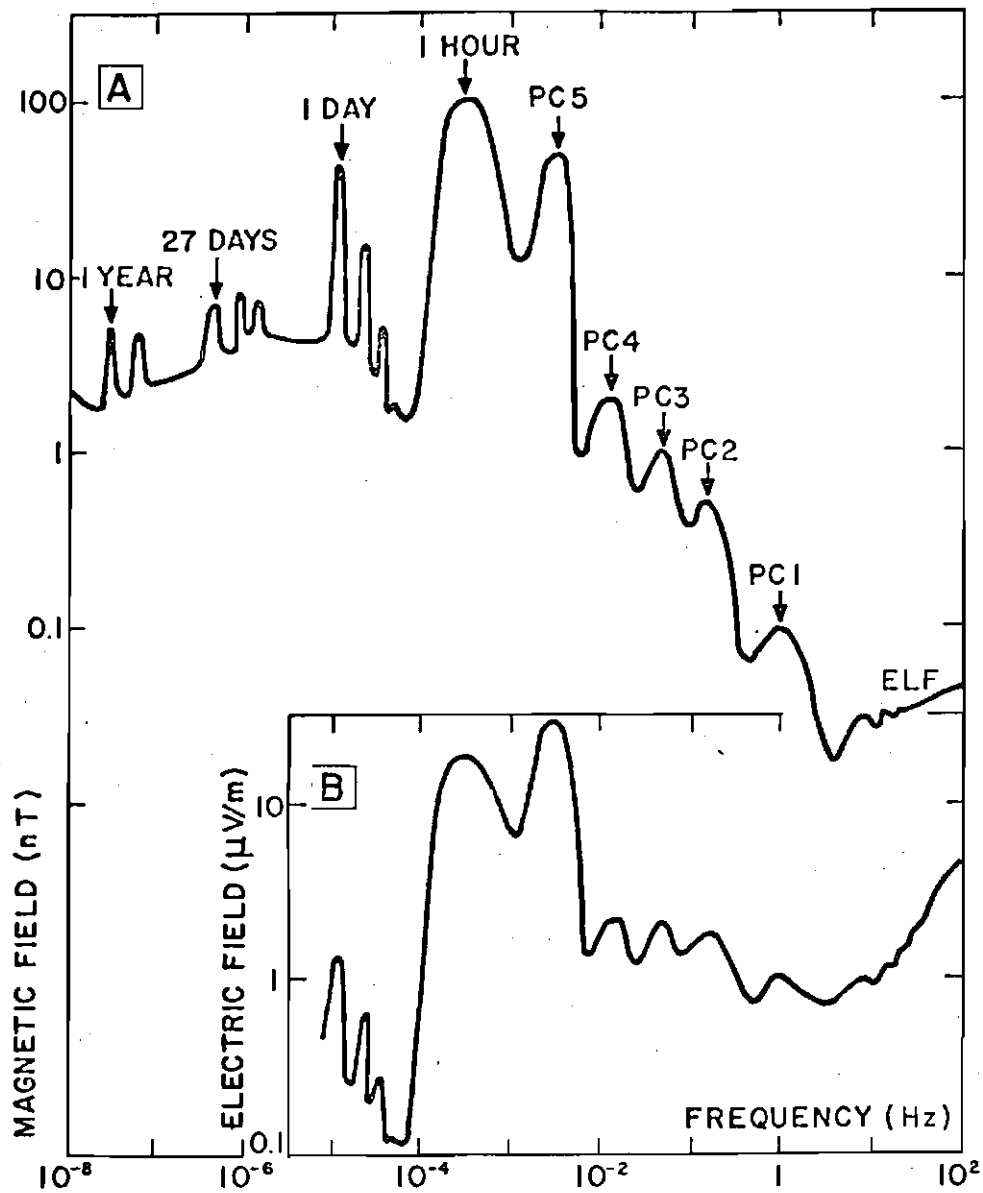


Fig. 1.1 - Espectro típico de amplitude do campo magnetotelúrico.

FONTE: Serson (1973).

A amplitude dos campos elétricos e magnéticos gerados por raios dependem fortemente da distância do local da tempestade do ponto de observação. No caso de uma tempestade próxima, raios individuais podem ser observados, enquanto tempestades distantes constituem

uma fonte de variações praticamente constante. Há três centros principais em regiões equatoriais que possuem uma média de 100 dias com tempestade elétrica por ano, com pequenas áreas dentro destes centros com médias superiores a 200 dias tempestuosos por ano. Estes centros estão localizados no Brasil, África Central e Malásia, distribuídos de tal maneira que, durante qualquer hora do dia, há a possibilidade de uma tempestade estar em andamento em um destes centros, constituindo portanto uma fonte quase constante de variações.

As variações do campo magnético com períodos maiores que um segundo são causadas por uma variedade de fenômenos, mas todos têm como causa primeira a interação entre o plasma solar com o campo magnético terrestre.

Para estas baixas frequências o campo magnetotélúrico apresenta variações periódicas ou quase periódicas. Vê-se pela Figura 1.1 a presença destacada dessas variações, denominadas Pc1 a Pc5. Essas variações preponderantes receberam o nome de micropulsações contínuas ou Pc, e possuem períodos que variam de 1 a 600 segundos.

Além desta atividade de micropulsações constantes, existem variações aleatórias que são particularmente evidentes durante tempestades magnéticas.

Tempestades magnéticas são causadas por material emitido pelo sol durante explosões ocorridas em sua superfície. Uma tempestade magnética pode ter seu desenvolvimento separado em fases. Durante a primeira, que dura de duas a quatro horas, a componente horizontal do campo magnético aumenta subitamente (denominado "sudden commencement"). Na fase seguinte, ou fase principal, a componente horizontal decresce a um mínimo por um período de várias horas, o qual depende da intensidade da tempestade. Superpostas a este padrão geral das tempestades existem variações aleatórias na intensidade do campo magnético.

Ao fim da tempestade, o campo retorna aos valores normais por um período de vários dias. Tempestades ocorrem aproximadamente

te em cada mês, sendo este o período de rotação das regiões equatoriais do sol. A rotação traz os centros das explosões para a direção da Terra com esta periodicidade. Este tempo pode se alongar se o centro de atividade das explosões se desloca para longe do equador, já que as regiões polares do sol não giram tão rapidamente como as equatoriais.

Além das micropulsações contínuas e aleatórias, o campo magnetotelúrico possui uma variação diurna bem estabelecida, com uma amplitude média de algumas dezenas de nT. Estas variações diurnas são relativas à hora local e são devidas a um sistema de correntes que fluem na ionosfera.

Em resumo, os diferentes tipos de interações eletromagnéticas, hidromagnéticas e nucleares geram, na atmosfera eletricamente não-condutora, um vasto espectro de variações eletromagnéticas que são medidas e utilizadas pelo método MT. Para frequências acima de um hertz a atividade de tempestades elétricas em torno do mundo é a causa principal. Abaixo de um hertz fenômenos físicos causadas por correntes ionosféricas e a interação destas com o sol são as causas do campo magnetotelúrico.

1.3 - ESTRATÉGIA DE MEDIDA

Como citado anteriormente, a resistividade do solo pode, e geralmente o faz, variar não só verticalmente, mas também horizontalmente. Assim o campo elétrico induzido por um dado campo magnético depende de sua direção relativa ao "strike" da estrutura observada. Para que estes efeitos possam ser detetados nas medidas MT, é necessário registrar completamente os campos magnético e elétrico horizontais (duas componentes perpendiculares de cada um) a cada medida em determinado local. Adicionalmente a componente vertical do campo magnético também é registrada, com o propósito de auxiliar a interpretação dos resultados gerados pelas informações das componentes horizontais.

Desse modo, são registrados basicamente cinco sinais. Dos quais três são de campo magnético e dois de campo elétrico:

- a) *CAMPO MAGNÉTICO* - são medidas as variações do campo magnético em três eixos ortogonais orientados e usualmente denominados H_x (N-S magnético), H_y (L-O) e H_z (vertical).
- b) *CAMPO ELÉTRICO* - são medidos dois eixos ortogonais orientados e usualmente denominados E_x (N-S) e E_y (L-O).

Como pode ser visto na Figura 1.1 a faixa de frequência é bastante extensa (10^{-8} a 100 Hz) e a energia do campo eletromagnético é distribuída de modo não-homogêneo ao longo desta. Assim, para variações do campo magnético horizontal com período de uma hora, a amplitude média atinge 100 nT (nT é a unidade normalmente utilizada para medir a intensidade de campo magnético), enquanto para sinais com período de um segundo, tem-se uma amplitude de 0,1 nT. Além disso, os valores absolutos dos sinais podem variar bruscamente de 30 db ou mais no advento de uma tempestade magnética. Em consequência destes fatores, para medir os sinais com a precisão necessária (e não perder dados com uma saturação dos equipamentos por excesso de variação dos sinais) usualmente adotam-se as seguintes estratégias adicionais: divide-se o espectro dos sinais fornecidos pelos sensores em várias faixas de frequência, de modo a adequar os ganhos dos circuitos analógicos a cada caso; utiliza-se geralmente mais de um tipo de sensor magnético, já que alguns tipos são sensíveis apenas a determinadas faixas; utilizam-se circuitos de aquisição e registro de dados com a maior faixa dinâmica possível (alguns sistemas utilizam adicionalmente amplificadores com ganhos automáticos para estendê-la ainda mais).

Um sistema típico de aquisição e registro de dados MT é mostrado na Figura 1.2. Possui sensores, banco de filtros para separação das várias faixas de frequência e um sistema de registro de dados.

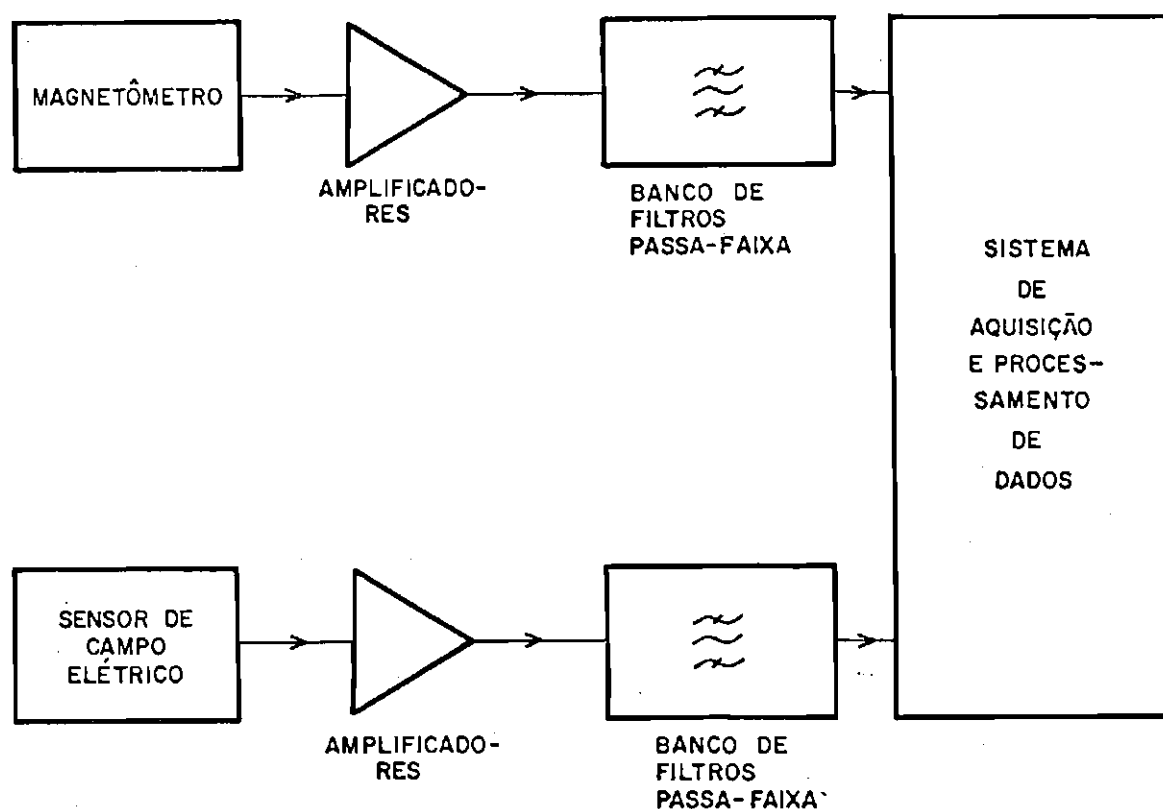


Fig. 1.2 - Arquitetura típica de um sistema MT.

1.4 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO MÉTODO MT

Os equipamentos utilizados para medida das variações do campo magnético são chamados magnetômetros, e como citado anteriormente, dependendo da tecnologia empregada para construí-los, esses aparelhos são sensíveis a determinadas faixas de frequência. Os magnetômetros do tipo "fluxgate" são empregados nas faixas de frequência mais lentas, de zero a alguns décimos de hertz (Trigg e Serson, 1971). Os magnetômetros do tipo indução são utilizados para medir variações com frequência entre 0,001 a 10000 Hz (Clerc, 1971). Os magnetômetros do tipo "SQUID" são os mais sofisticados e complexos, apresentando uma resposta plana desde zero até algumas centenas de Hz. Sua grande vantagem é a necessidade de refrigerar o sensor com hélio líquido, o que causa sérios problemas logísticos para sua utilização (Clarke and Goldstein, 1981). Devido a estes problemas do "SQUID", aliado a seu al

to preço, uma boa parte dos sistemas que pretendem medir uma faixa de frequência extensa (10-5 até 250 Hz) empregam dois tipos de magnetômetros (normalmente "fluxgate" e indução). Sistemas deste tipo são descritos por Muller et al. (1981) e Jones e Hutton (1979). Existem outros tipos de magnetômetros que não são utilizados para medidas magnetotélúricas, seja devido ao seu alto custo, seja pela sua fragilidade ou pouca mobilidade.

Nas baixas frequências em que são realizadas as medidas magnetotélúricas, o único modo no qual o campo elétrico pode ser medido é detectar a diferença de potencial entre pares de eletrodos em contato com o solo. A distância normalmente empregada entre pares de eletrodos é de 100 a 1000m.

Estas distâncias são geralmente utilizadas para que se obtenha uma média, em um dado local, do campo elétrico. Se a distância utilizada fosse pequena, variações ponto a ponto do campo elétrico associadas com a resistividade superficial irregular do solo comprometeriam a medida. Admite-se ainda que o campo elétrico é constante ao longo do comprimento do fio, isto é,

$$E = V/L ,$$

sendo a unidade prática utilizada para o campo elétrico dada em milivolts por quilômetro (mv/km).

Os eletrodos transferem o potencial do solo para fios que levam os sinais a amplificadores de alta impedância de entrada, que os amplificam de modo que estes possam ser utilizados pelo resto dos circuitos de tratamento analógico e registro. Estes amplificadores são geralmente construídos especialmente para este fim, utilizam configuração diferencial em sua entrada e possuem características de baixo ruído e baixa deriva com temperatura e tempo. O sinal esperado entre pares de eletrodos varia, dependendo do local da medida, de algumas dezenas de microvolts a um milivolt por quilômetro.

Nos sistemas de aquisição de dados comerciais ou feitos internamente às universidades e centros de pesquisa há uma forte tendência para que o registro e o armazenamento dos dados se façam de maneira digital (Vozoff, 1982). Esta é uma consequência tanto do grande esforço necessário para processar e utilizar dados analógicos, quanto da melhora considerável na qualidade obtida com a aquisição digital. Conversores analógico-digitais de dez a dezesseis bits são extensivamente utilizados e já se encontram sistemas que utilizam amplificadores de "ponto flutuante" (Geotronics, modelo PROMT).

Em muitos sistemas, os dados são gravados para processamento posterior (Geometrics, 1978; Medford et al., 1981; Towle et al., 1979; Kroger, 1977; Vozoff, 1972; Serson, 1973), sendo os meios utilizados variados: fitas cassette, fitas magnéticas convencionais (9 pistas), discos flexíveis ("diskettes") e disco rígido ou "winchester". Embora estes sistemas não tenham a capacidade para processar os dados no local, todos eles têm algum tipo de inteligência, possível graças à intensa proliferação de sistemas baseados em microprocessadores baratos e confiáveis. O sistema descrito por Medford, por exemplo, emprega um microprocessador para compactar os dados coletados, aumentando assim a capacidade de armazenamento da fita magnética empregada. Além disso o processador executa várias funções de teste de funcionamento do sistema de aquisição.

Com a crescente capacidade dos microprocessadores, alguns sistemas já processam os dados no próprio campo, tanto em tempo real como "quase real". Tais sistemas permitem a verificação imediata da qualidade dos sinais e os resultados da sondagem, o que aumenta a eficiência das missões, pois erros podem ser corrigidos imediatamente, dados podem ser coletados novamente, a aquisição pode ser interrompida antes do fim previsto (caso os dados coletados já apresentem resultados satisfatórios), etc.

Um exemplo de um sistema que permite tratamento dos dados no local é o PROMT, fabricado pela firma americana Geotronics. Este

sistema é constituído de, além dos sensores e sistema analógico (filtros, amplificadores, etc.), um computador PDP11/23 com 256 K "bytes" de memória RAM, 17 MBytes de memória secundária (disco "winchester") e extensa biblioteca de programas para a completa adição e tratamento dos dados. O PROMT conta ainda com um display gráfico, impressora e terminal para interação com o usuário (Geotronics, 1982).

Stanley e Frederick (1981) descrevem um sistema construído em torno de um PDP11/23 com 32 K "bytes" de memória principal e 2 M "bytes" de memória secundária (discos flexíveis), no qual apenas os resultados obtidos da redução e tratamento dos dados é armazenado, não se guardando os dados coletados dos sensores. Neste sistema (e em todos os outros citados), o processador trata tanto do processamento dos dados quanto do controle da aquisição.

Finalmente, Dawes (1981) apresenta um sistema, também baseado num PDP11, no qual o processador não processa os dados no sentido de obter os resultados finais, mas analisa os dados adquiridos quanto a critérios de ruído, coerência, etc., de modo a só gravar em fita magnética dados que realmente sejam utilizáveis do ponto de vista do método. Os dados assim obtidos são posteriormente processados em um computador de maior porte.

CAPÍTULO 2

A PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO

O diagrama de blocos da Figura 2.1 mostra o sistema MT/INPE proposto com sensores, tratamento analógico dos sinais, plataforma de aquisição de dados, aparelhos para registro de sinais (gravadores cassete e registrador analógico) e computador de processamento de dados.

Pelas razões citadas anteriormente, serão utilizados dois tipos de magnetômetros: o do tipo indução para períodos de 100s a 0,2s, e do tipo "fluxgate" para períodos de 20s a 10000s. Apenas dois eixos do magnetômetro do tipo indução serão construídos (para medidas de H_x e H_y), enquanto o magnetômetro do tipo "fluxgate" foi comprado da firma canadense EDA e fornece sinais para os três eixos do campo magnético (H_x , H_y e H_z).

As medidas geoeletricas serão feitas medindo a diferença de potencial entre dois eletrodos enterrados a uma profundidade de 60cm. Os eletrodos, geralmente, serão instalados com o distanciamento de 100m entre cada par e orientados nas direções N-S e L-O magnéticos, configurando uma cruz. Assim, os eletrodos são orientados em direções perpendiculares aos sensores magnéticos.

Os sinais gerados nos sensores serão levados a circuitos, denominados interface analógica, que os processarão analogicamente. Este processamento consistirá na divisão em faixas de frequência e na amplificação destes sinais de modo a deixá-los compatíveis com o nível de sinal aceito pelo conversor analógico-digital da plataforma e a seguir a precisão desejada.

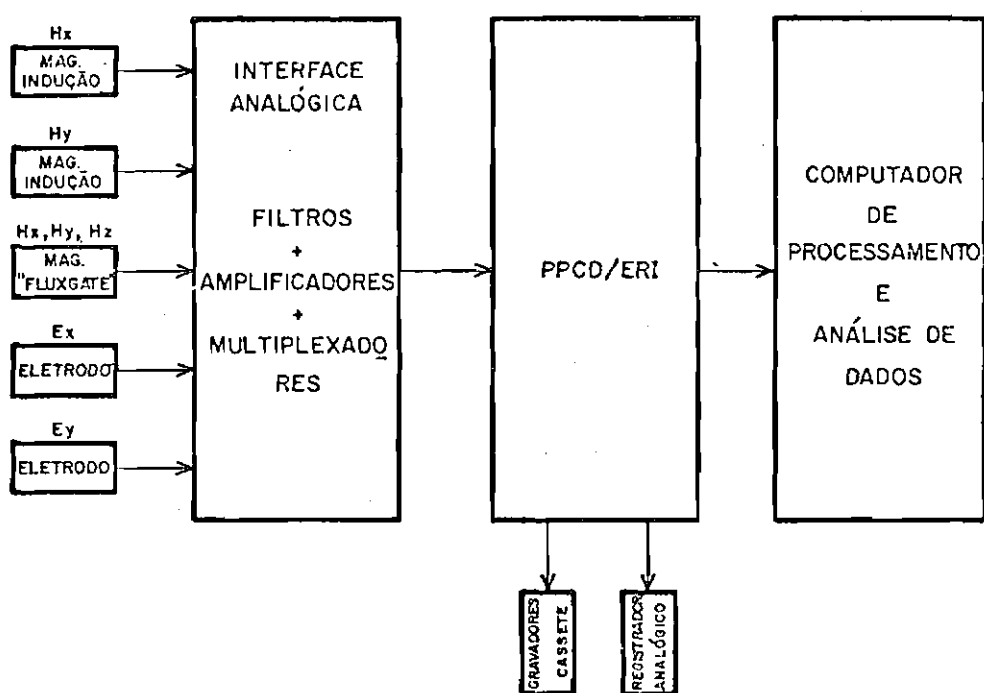


Fig. 2.1 - Diagrama de blocos do sistema MT/INPE proposto.

As faixas utilizadas serão:

0,2s - 10s;

2s - 100s;

20s - 1000s;

200s - 10000s.

Além disso, a interface analógica possuirá um conjunto de multiplexadores que selecionarão a faixa de frequência a ser amostrada. Na saída da interface ter-se-ão então, a cada momento, todos os sinais (quatro ou cinco, dependendo do magnetômetro utilizado) em uma mesma faixa de frequência.

Estes sinais analógicos serão levados a plataforma de aquisição de dados controlada por microprocessador, onde um outro multiplexador direcionará o sinal a ser convertido para um conversor analógico-digital de doze bits. A plataforma, além de controlar o conversor A/D e seu multiplexador, gravará os dados obtidos em gravadores de áudio comum; controlará os multiplexadores da interface analógica; comandará displays e uma pequena impressora que informarão o andamento das ações executadas pela plataforma; disporá de uma saída analógica gerada por um conversor digital-analógico de 10 bits para acompanhamento de um dos canais que estarão sendo amostrados; receberá dados e comandos através de um teclado; e se comunicará, através de uma linha serial, com o computador de processamento através da qual enviará e receberá dados e comandos.

O computador de processamento, ligado à plataforma por uma linha serial, enviará comandos a esta e receberá dela blocos de dados completos para a execução, parcial ou completa, de um programa de interpretação dos dados magnetotélúricos. A presença deste computador não será obrigatória para o funcionamento do sistema, pois a plataforma poderá funcionar independentemente, gravando os dados em fita cassete.

O sistema MT proposto neste trabalho difere, confrontando com os encontrados na bibliografia, pouco em seus subsistemas analógicos e mais acentuadamente nos subsistemas de aquisição e processamento. À semelhança de vários sistemas MT, serão usados dois tipos de magnetômetros para conseguir uma faixa relativamente extensa (10-4 Hz a 5 Hz). Quanto ao processamento analógico dos sinais (filtros, amplificadores), os circuitos serão completamente convencionais.

Quanto aos subsistemas de aquisição e processamento, ao utilizar duas máquinas diferentes para executar estas tarefas o sistema MT/INPE se posicionará dentro de uma tendência geral, que é a de obter maior eficiência pela adoção da distribuição das tarefas entre vários processadores, em vez de adotar apenas um processador mais poderoso e a ele delegar todas as funções de um sistema (Johnson, 1982; Prener, 1979; Harrington, 1982; Pawloski, M.B., 1982).

Outras vantagens que podem ser enumeradas são:

- a) O sistema poderá operar apenas com a plataforma, pois esta será auto-suficiente.
- b) Tanto o computador de processamento de dados como o próprio programa de processamento poderão ser alterados a qualquer momento sem que isso cause modificações no funcionamento do resto do sistema. Desse modo, poderão ser implementados subsistemas cada vez mais complexos e aperfeiçoados, tanto ao nível de "hardware" como de "software" (migração de oito para dezesseis bits, etc.), do computador de processamento.

Isto poderá ser feito, pois, no esquema proposto, no computador de processamento não haverá outro código que não o de análise de dados. A plataforma será acessada por instruções padrão de entrada e saída, exatamente como qualquer periférico, e toda linguagem de alto nível suporta esta função (Taeymans and De Bruyne, 1982). Um pequeno protocolo, entretanto, será definido, mas mesmo o código relativo à sua implantação poderá ser escrito em linguagem de alto nível.

Uma outra característica que deve ser observada é a utilização de gravadores de áudio comuns para armazenamento dos dados da plataforma. A não-utilização de gravadores digitais se justifica pelo seu preço muito mais alto que os de áudio e pela pronta disponibilidade destes últimos no mercado nacional.

O sistema MT/INPE adotará a linha da maioria dos sistemas, que é a de não rejeitar dados à maneira implementada por Dawes. A razão é que o discernimento do que é ruído e do que é sinal, no caso dos sinais magnéticos e telúricos, é uma tarefa complexa e polêmica (Serson, 1977), a qual não pode ser resolvida por algoritmos simples que não envolvam análise espectral. Uma complicação adicional é o grande "range" dinâmico dos sinais. Serson (1977) descreve um fato ocorrido no Canadá em 1972, no qual uma tempestade magnética violenta gerou mudanças até 1800nT no campo magnético no período de um minuto. Qualquer algoritmo de edição de dados certamente rejeitaria estes dados como ruído. Entretanto, embora não se pretenda processar (editar) os dados; um algoritmo de compressão de dados semelhante ao usado por Medford será empregado para aumentar a capacidade de armazenamento das fitas magnéticas (Apêndice B).

O sistema MT/INPE, por razões de não-disponibilidade de componentes, não adotará nem um conversor analógico-digital de mais de doze bits, nem um amplificador de ganho programável pelo microprocessador da plataforma. Com isso, o sistema não terá a mesma faixa dinâmica de alguns dos sistemas citados. Para minimizar este problema amplificadores de ganho variável (como será visto adiante) serão utilizados, de resto, uma solução adotado por vários sistemas MTs.

CAPÍTULO 3

O TRABALHO DA DISSERTAÇÃO

O objetivo deste trabalho é propor e implementar em parte uma arquitetura de um sistema MT a ser construído nos laboratórios do Departamento de Geofísica e Aeronômica do INPE. O desenvolvimento do trabalho seguirá os seguintes passos:

- a) Projetar, montar e testar um magnetômetro do tipo indução para frequências de 100s a 0,2s.
- b) Projetar e montar os circuitos da interface analógica e alguns periféricos de plataforma de aquisição de dados (interface da impressora, display, teclado e conversor D/A).
- c) Definir em linguagem de alto nível o "software" aplicativo que será utilizado na plataforma de aquisição de dados PPCD/ERI, cujo "hardware" e "software" básico e de apoio estão sendo desenvolvidos e implementados pelo Departamento de Engenharia de Computação em Aplicações Espaciais (DCA) no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).
- d) Definir o fluxo de dados entre a plataforma de aquisição de dados e o computador de processamento para o caso da execução da análise dos dados magnetotélúricos em tempo "quase" real. Para isso serão definidos a estrutura do programa de processamento de dados e o protocolo entre a plataforma e o computador.

Os trabalhos desenvolvidos serão apresentados nos próximos capítulos, segundo a ordem descrita a seguir.

No Capítulo 4 são apresentados os detalhes de construção e os resultados obtidos com a construção dos detetores de campo magnético e elétrico.

No Capítulo 5 é apresentada a interface analógica, sua estrutura e implementação e os resultados obtidos através de ensaios de laboratório.

No Capítulo 6 é apresentada a plataforma de aquisição de dados. Seu "hardware" será descrito, enquanto o "software" aplicativo para o sistema MT/INPE é especificado.

No Capítulo 7 é delineada a estrutura do programa de processamento de dados e definido o protocolo de comunicação entre a plataforma de aquisição e o computador de processamento.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido. Fazem parte ainda deste trabalho 3 apêndices. No Apêndice A é apresentado o desenvolvimento das equações de Maxwell para obter as equações de Cagniard. No Apêndice B é apresentada a especificação de formação de blocos e compactação de dados dentro da plataforma. No Apêndice C é apresentada a especificação detalhada da operação da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE.

CAPÍTULO 4

CONSTRUÇÃO DOS DETETORES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a construção e testes dos sensores magnéticos e elétricos desenvolvidos para o sistema MT/INPE.

4.1 - MAGNETÔMETRO DE INDUÇÃO

4.1.1 - PRINCÍPIOS GERAIS

Para a captação das variações do campo magnético nos períodos de 0,2 a 100 segundos será utilizado um magnetômetro de indução. Este se baseia em um solenóide conectado a um amplificador que mede a tensão induzida em seus extremos por um campo magnético variável.

A partir da lei de indução de Faraday, vê-se que a tensão nos extremos do solenóide é proporcional a:

$$E \approx w.N.A.B$$

se a bobina pode ser considerada ideal (resistência, indutância e capacidade desprezíveis). Na equação, B e w são amplitude e frequência do campo magnético, A e N são seção e número de espiras da bobina.

Portanto, para o caso de uma bobina ideal, a tensão de saída é diretamente proporcional à frequência do campo magnético.

Para as pequenas magnitudes e baixas frequências de interesse nas medidas magnetotélúricas um número muito grande de voltas precisa ser usado para gerar uma tensão mensurável na saída da bobina. Por exemplo, uma bobina com 50.000 voltas e um metro quadrado de área produzirá apenas 3,14 μ V para uma variação de 1 nT, com 1 Hz de frequência. São necessários quase 40km de fio para construir tal bobina e,

desde que normalmente se usa um fio bem fino para manter o peso da bobina o menor possível, a resistência do fio não será pequena, aproximando-se de algumas dezenas de milhares de ohms. Além disso, a bobina terá também uma indutância e capacitância entre enrolamentos apreciáveis (Keller and Frischknecht, 1966).

Assim, uma bobina com as características descritas não possuirá o comportamento descrito pela equação acima. A bobina agora se comportará como um circuito ressonante, cujo circuito equivalente é mostrado na Figura 4.1. Abaixo da frequência de ressonância, a tensão de saída da bobina aumentará com o aumento da frequência do sinal do campo magnético (como no caso ideal). Mas acima da ressonância a saída decrescerá com o aumento da frequência, limitando a faixa útil de utilização da bobina.

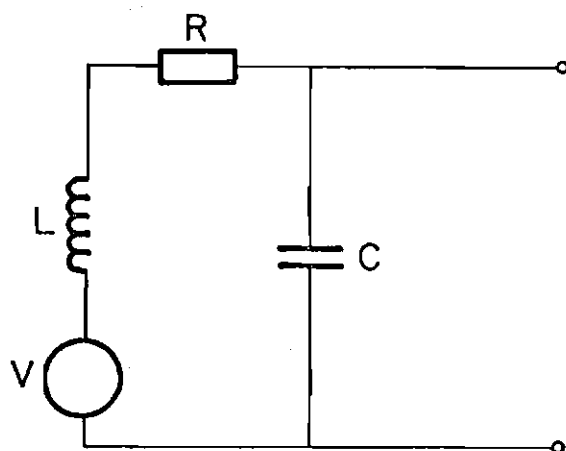


Fig. 4.1 - Circuito equivalente da bobina

É conveniente então que o centro da banda de interesse coincida com o pico do circuito ressonante, condição que não é sempre fácil de conseguir.

A sensibilidade de uma bobina pode ser aumentada construindo a bobina com um núcleo ferromagnético de permeabilidade muito elevada. O núcleo faz com que a sensibilidade aumente de um fator K ,

proporcional à permeabilidade μ do núcleo, mas diminuída devido à ação do chamado campo desmagnetizante.

Define-se então um parâmetro chamado permeabilidade relativa eficaz (μ_{ef}), que é sempre menor que a permeabilidade do material utilizado na fabricação do núcleo. Esta μ_{ef} para núcleos cilíndricos cresce com a relação comprimento "versus" diâmetro do núcleo (Six, 1976).

Uma bobina com 50.000 espiras construída com um núcleo de alta permeabilidade e 7,25m de comprimento apresentará a mesma tensão de saída que a bobina com núcleo de ar de 1 metro quadrado descrita anteriormente. A resistência do fio para esta bobina será muito menor, já que o comprimento do fio necessário para construí-la é aproximadamente 130 vezes menor. A bobina terá agora uma frequência de ressonância maior, e assim uma resposta maior para altas frequências. A característica ressonante, entretanto, permanece.

Uma maneira de ampliar a largura da faixa de resposta do sensor, e adicionalmente torná-lo menos sensível a seus parâmetros intrínsecos (indutância, resistência, etc.), é introduzir uma realimentação negativa através de uma segunda bobina concêntrica à principal (Figura 4.2). Nos sensores que trabalham com este sistema de realimentação de fluxo, a segunda bobina gera um campo magnético que se opõe às variações do campo original. Considera-se agora que o campo que atua sobre a bobina de captação é a soma do campo externo a ser medido com o campo gerado pela bobina de realimentação. Para estes magnetômetros a tensão de saída pode ser expressa aproximadamente por (Demichelli, 1978):

$$V \approx (R/\beta) \cdot H$$

onde:

V é tensão de saída do magnetômetro em mV;

R é resistência de realimentação em ohm;

β é constante da bobina de realimentação em nT/mA;

H é intensidade de campo magnético em nT (H ou B).

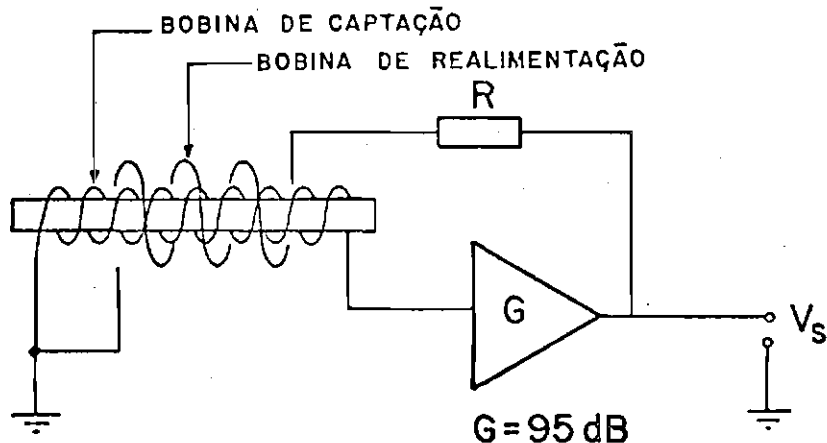


Fig. 4.2 - Diagrama de blocos do magnetômetro do tipo indução realimentado.

O princípio de realimentação de fluxo foi primeiramente utilizado por Clerc e Gilbert (1964) e desenvolvido posteriormente por Clerc (1971).

4.1.2 - CONSTRUÇÃO DOS MAGNETÔMETROS

Na construção dos dois magnetômetros havia alguns elementos já previamente fixos: os núcleos a serem utilizados, o amplificador operacional a ser usado nos pré-amplificadores e a opção de utilizar medidas padrões de canos de PVC para montar as diversas partes mecânicas do sensor (para maior rapidez e facilidade de construção).

As barras do núcleo, cedidas gentilmente ao INPE pelo Dr. Hugo Fournier (do CNRS, França), são constituídas de uma liga de nome comercial Mumetal e possuem 1,5m de comprimento e 8mm de diâmetro.

Essas barras possuem uma permeabilidade inicial extremamente alta e uma permeabilidade eficaz da ordem de 6500 (Six, 1976).

Sobre estes núcleos são colocados os solenóides que constituirão a bobina de captação. Utilizando um trabalho de Demicheli (s.d.), que construiu um magnetômetro com um núcleo semelhante, adotou-se para o fio das bobinas o tamanho AWG 37 e o número de 200.000 espiras.

Six (1976) mostra que a densidade de fluxo magnético é máxima no centro do núcleo. Por essa razão, colocou-se o maior número possível de espiras no centro, enquanto nas extremidades do núcleo estas foram mais espaçadas, visto que aí elas são pouco eficazes. A bobina de captação foi dividida em 12 solenóides do mesmo comprimento (10 cm), com três números de espiras: 4 solenóides com 22.500 espiras, 4 com 18.000 e 4 com 9.500. Estes solenóides foram ligados em série e dispostos simetricamente em relação ao centro do núcleo: as de maior número de espiras no centro; as de 18.000 espiras foram colocadas duas a duas em cada lado das centrais e, finalmente, as menores também duas a duas nas extremidades da bobina.

A bobina assim formada foi colocada no centro de um outro solenóide, o de realimentação. Construído também com um cano de PVC de 33mm de diâmetro externo, foi calculada para possuir uma constante de aproximadamente 200nT/mA. Seu número de espiras é de 268 e seu comprimento 1,62m. Com esta constante da bobina de realimentação a sensibilidade do magnetômetro, para uma resistência de realimentação de 22k Ω será de 110mV/nT (ver fórmula no item anterior).

A escolha do amplificador a ser utilizado na montagem do preamplificador se baseia nas seguintes características: baixo ruído, baixa deriva térmica e grande ganho em malha aberta. Para o caso específico do magnetômetro, o ruído é o fator determinante já que o sinal gerado pela bobina de captação é extremamente fraco. Six mostra que os melhores resultados são obtidos quando se adota um preamplificador

constituído por dois tipos de operacionais, cada um atuando em uma faixa de frequência (um do tipo "chopper", o outro com "FET" de ultra-baixo ruído). Na impossibilidade de se obter esses componentes, adotou-se o melhor operacional bipolar disponível que era o OP07, da PMI. Suas características principais são $0,2\mu V_{pp}$ de ruído e 112dB de ganho em malha aberta.

O pré-amplificador é constituído por dois operacionais em cascata na configuração não-inversor. A definição do seu ganho total foi obtida através de tentativa e erro, até conseguir a banda passante desejada, já que a frequência de corte inferior do magnetômetro é inversamente proporcional ao ganho (Demicheli, 1978). Este comportamento foi verificado na prática, e o ganho adotado, 92dB (44.200 vezes), resultou numa frequência de corte inferior aproximada de 6,67Hz (150 segundos) para os dois magnetômetros. O circuito do pré-amplificador foi acondicionado em uma caixa de alumínio e colocado fisicamente próximo às bobinas, dentro do mesmo cano de PVC que envolve todo o conjunto de bobinas de captação e realimentação.

4.1.3 - TESTES E RESULTADOS DOS MAGNETÔMETROS

A avaliação do funcionamento do magnetômetro foi efetuada por três testes: medida da banda passante, medida de ruído e registro com campo telúrico.

Para a medida da banda passante utilizou-se um solenóide de calibração de 3,8m de comprimento e 0,2m de diâmetro. Esta bobina possui uma constante de 83nT/mA e foi construída especialmente para este fim. O magnetômetro a ser ensaiado era colocado no centro da bobina de calibração e sua saída registrada em um registrador analógico, enquanto a bobina de calibração era alimentada com um gerador de baixa frequência (Figura 4.3).

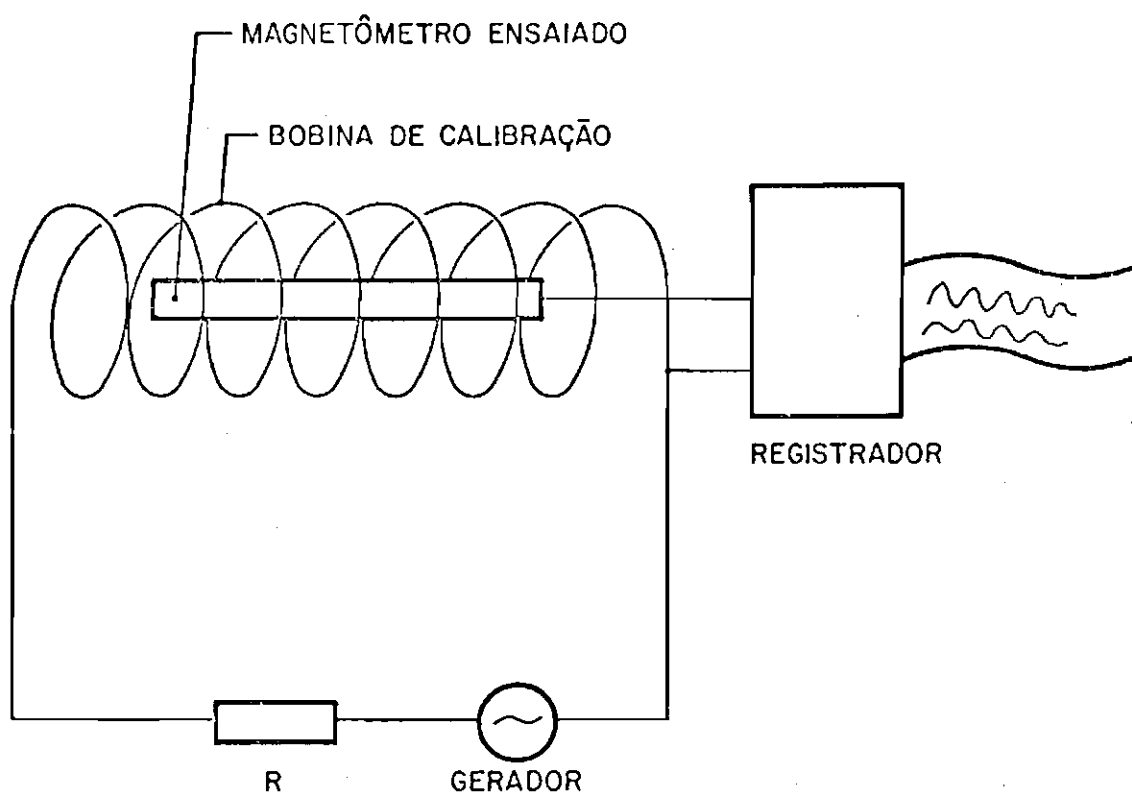


Fig. 4.3 - Sistema de calibração e resposta de frequência do magnetômetro do tipo indução.

Os resultados para os dois magnetômetros são mostrados na Figura 4.4. As sensibilidades anotadas (no trecho plano da banda passante) foram de 107,2mV/nT e 111,4mV/nT, bem próximos do valor esperado de 110mV/nT.

As medidas de ruído se basearam em um sistema utilizado por Clerc e Jacot (1974) para medir o ruído de diversos magnetômetros do tipo indução. O sistema é mostrado na Figura 4.5. Os magnetômetros são colocados paralelos, a uma distância aproximada de dois metros, para que num caso ideal forneçam a mesma saída. Dois sinais são registrados: o valor médio do sinal gerado por um dos magnetômetros e o valor médio da diferença dos sinais dos dois magnetômetros.

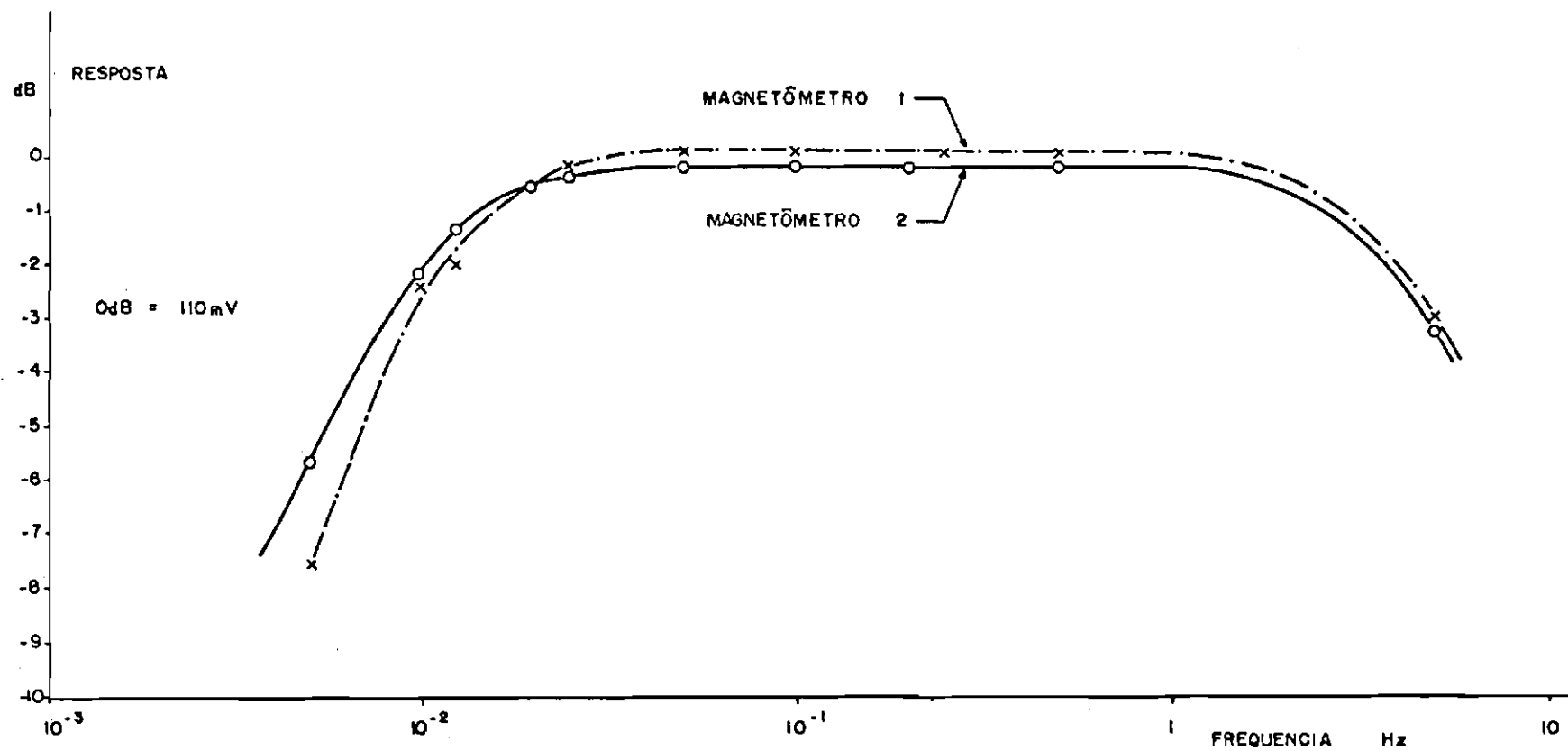


Fig. 4.4 - Resposta em frequência do magnetômetro do tipo indução.

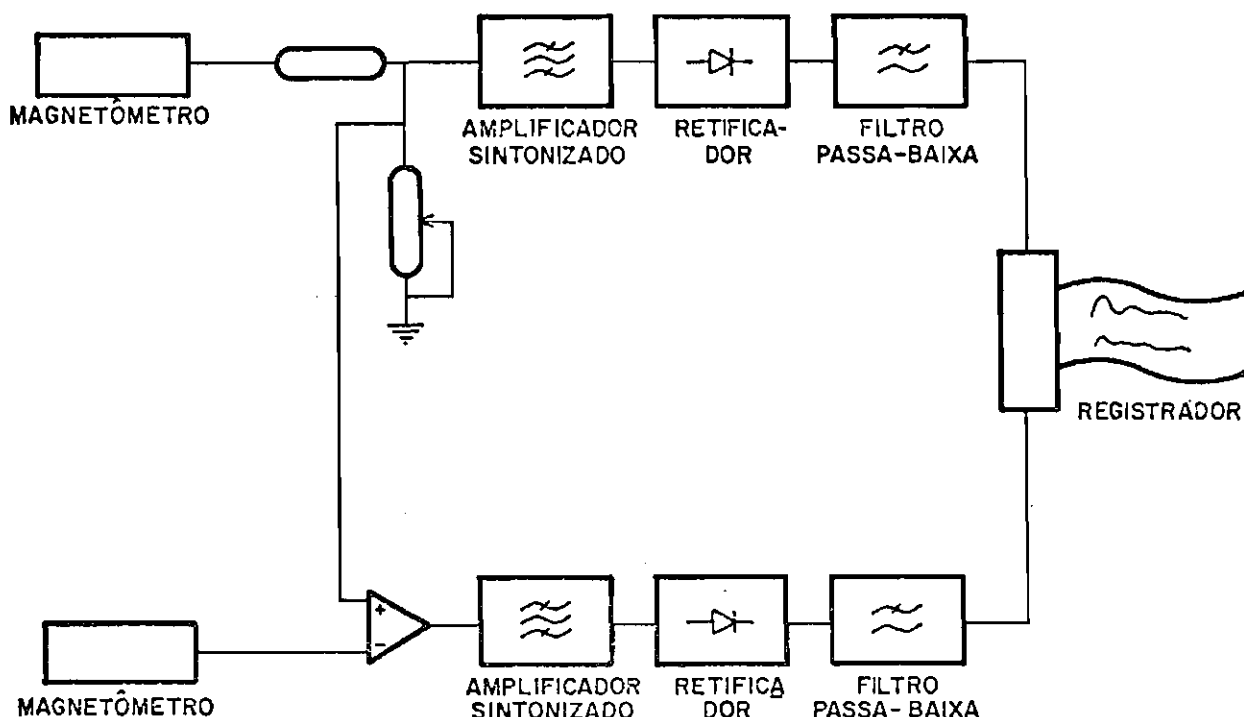


Fig. 4.5 - Sistema de medida de ruído dos magnetômetros do tipo indução.

Clerc e Jacot mostram que, considerando que os magnetômetros são construídos igualmente, ou seja, apresentam o mesmo ruído, a relação sinal-ruído média dos magnetômetros vai ser dada por:

$$\frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_r} = \sqrt{\frac{2 \bar{V}^2}{\bar{V}_{12}^2} - 1}$$

onde:

$\bar{V}_s$ é o sinal médio gerado pelo campo magnético a ser medido;

$\bar{V}_r$ é o ruído médio gerado pelo sensor;

$\bar{V}$ é o sinal médio medido na saída do sensor ($\bar{V}^2 = \bar{V}_s^2 + \bar{V}_r^2$);

$\bar{V}_{12}$ é o sinal médio da diferença dos sinais dos magnetômetros.

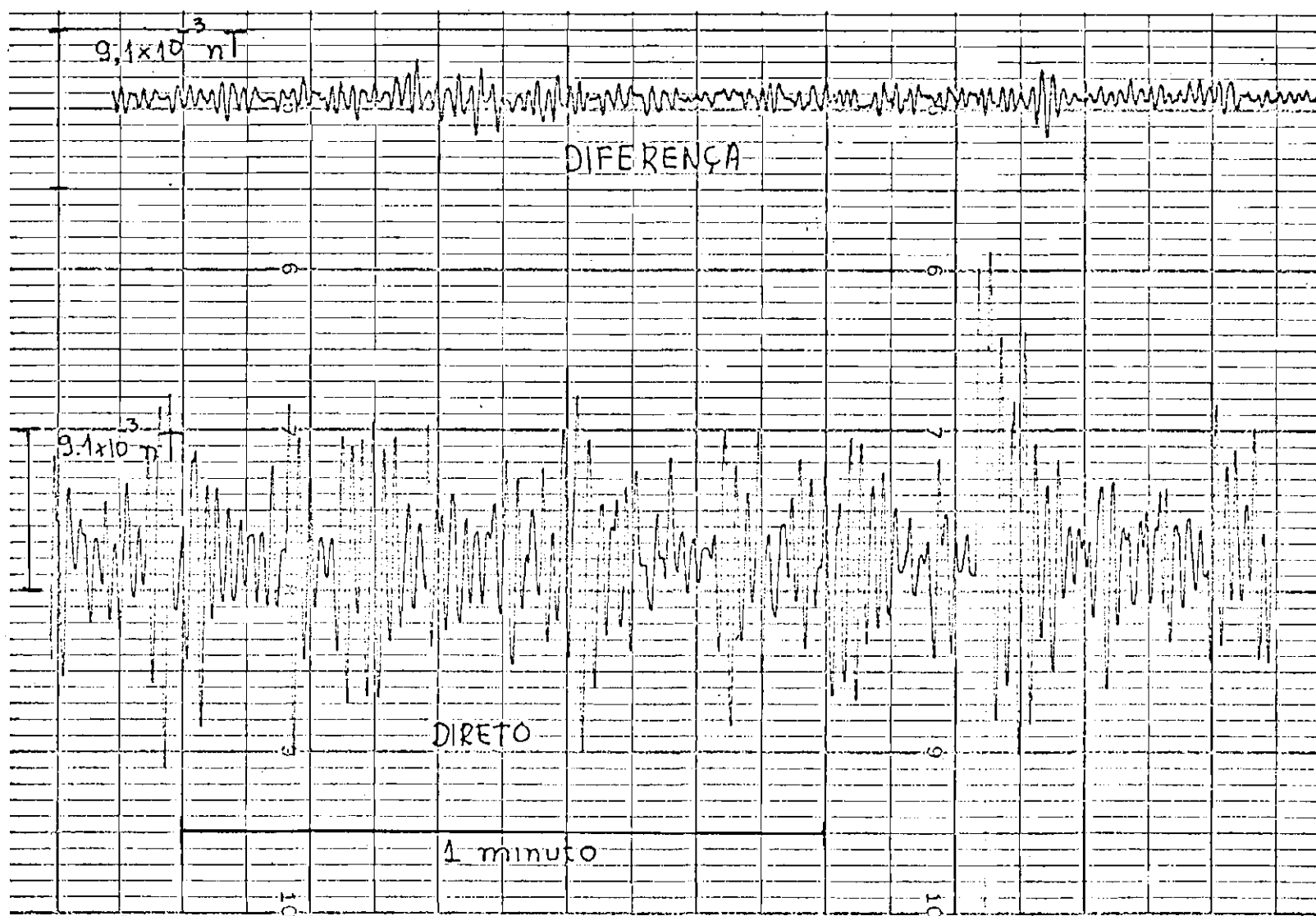
Para o presente trabalho foram medidas as relações sinal-ruído para os seguintes períodos: 1, 10 e 100 segundos. A Tabela 4.1 mostra estes resultados, enquanto a Figura 4.6 mostra as medidas efetuadas para cada frequência depois do amplificador de banda estreita.

TABELA 4.1

RELAÇÃO SINAL-RUÍDO E SINAL MÍNIMO MENSURÁVEL
DOS MAGNETÔMETROS DO TIPO INDUÇÃO

PERÍODO (s)	RELAÇÃO SINAL-RUÍDO	Vr(mV)	Hr(nT)
1	2,29	0,22	$2,03 \times 10^{-3}$
10	6,49	0,14	$1,28 \times 10^{-3}$
100	22,27	0,15	$1,43 \times 10^{-3}$

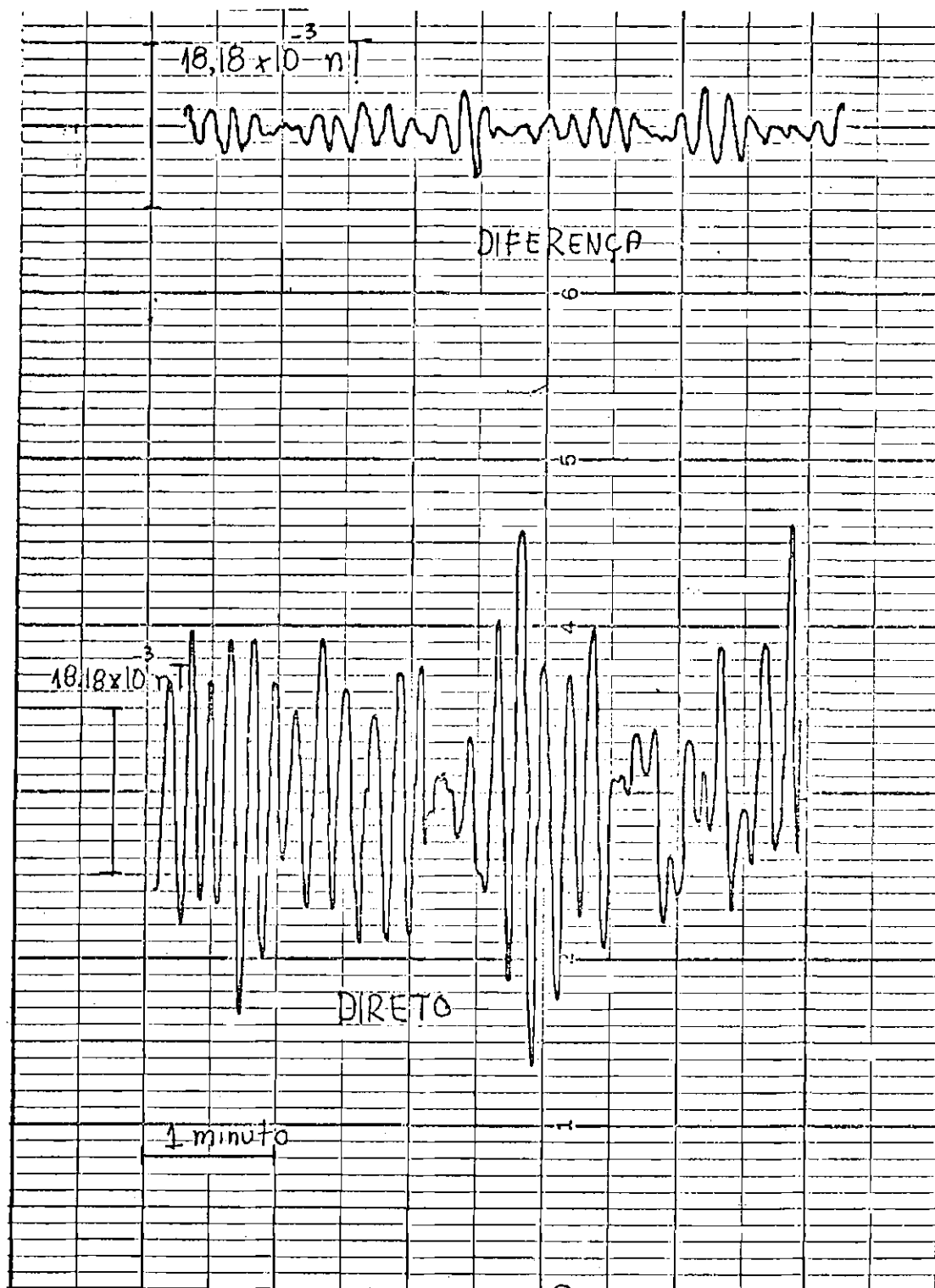
Finalmente, os testes com medidas conjuntas com o campo telúrico fornecem uma confirmação mais qualitativa do que quantitativa do funcionamento do magnetômetro. Entretanto, este teste é o que dá mais certeza da correção do aparelho, pois como já foi dito os fenômenos de campo elétrico e magnético mantêm íntima relação. A obtenção de sinais com grande coerência é uma indicação segura do funcionamento do magnetômetro. Os resultados obtidos com este teste são mostrados na Figura 4.7.



(a) Frequência de 1Hz

Fig. 4.6 - Exemplo de medida de ruído do magnetômetro de indução.

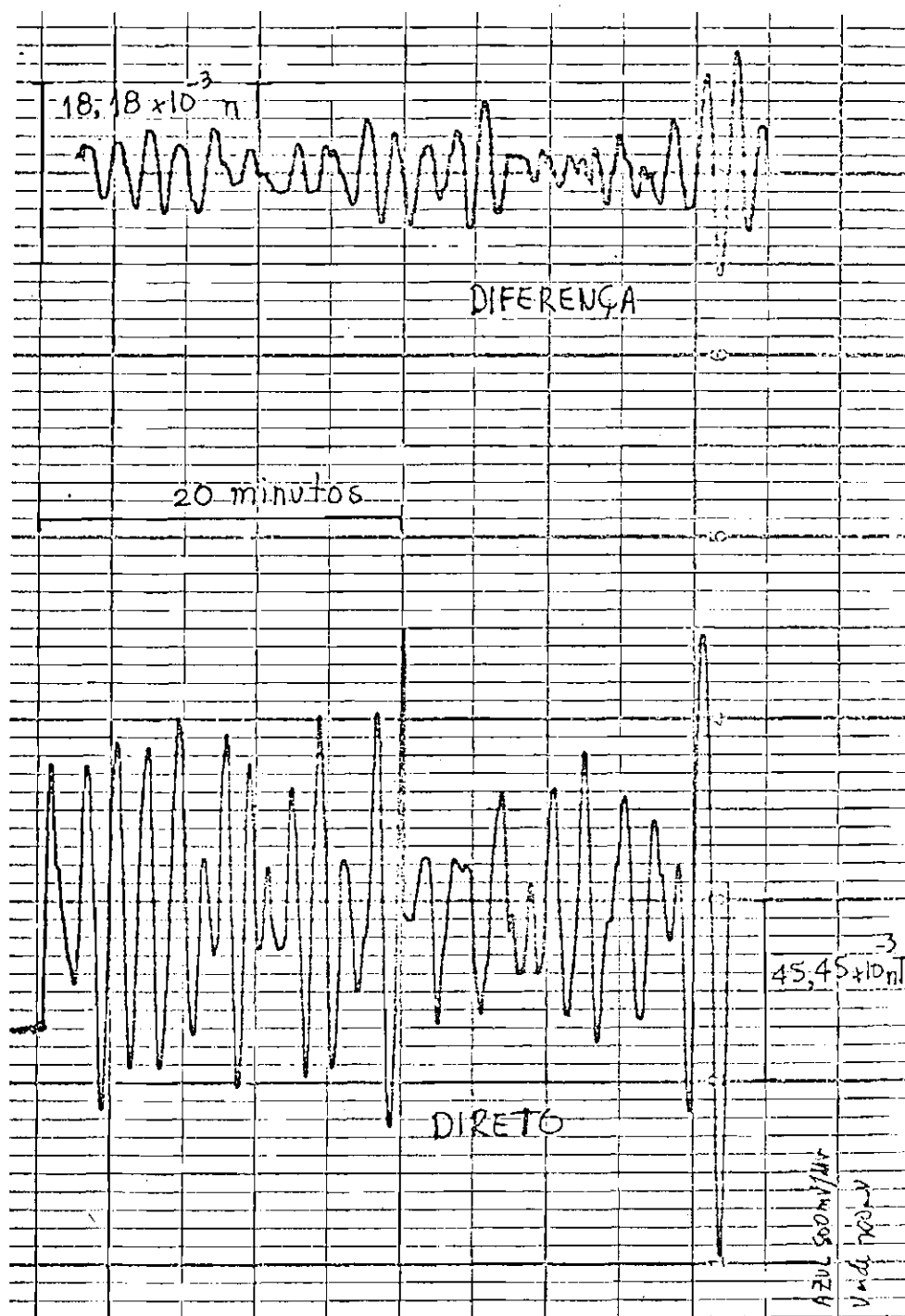
(continua)



(b) Frequência de 0,1Hz

Fig. 4.6 - Continuação

(continua)



(c) Frequência de 0,01Hz

Fig. 4.6 - Conclusão

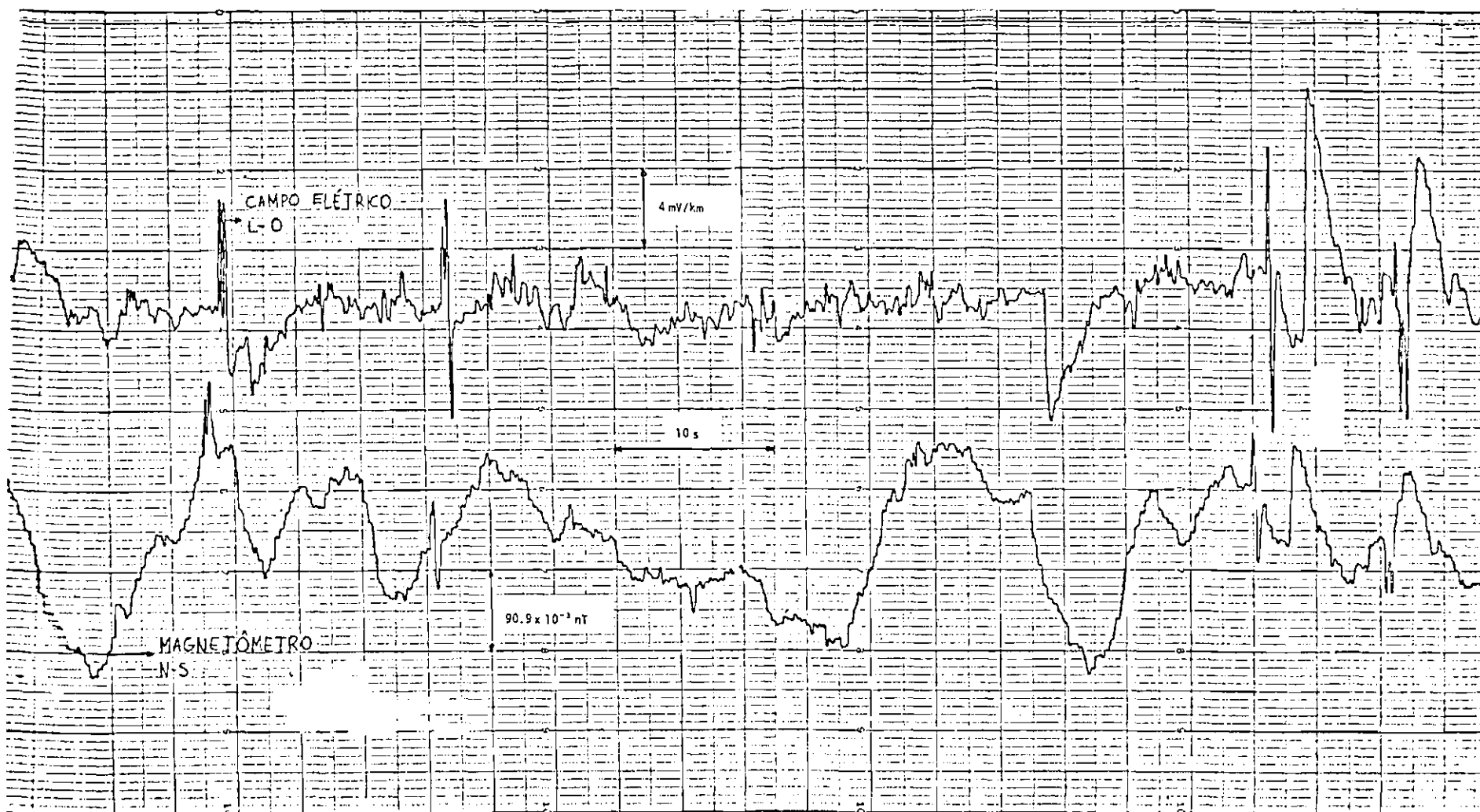


Fig. 4.7 - Registro magnetotelúrico com magnetômetro de indução.

4.2 - OS ELETRODOS DE CAMPO ELÉTRICO

O objetivo do eletrodo é fornecer o potencial do local no qual ele está instalado, ou seja, transmitir o potencial de um condutor iônico (o solo) para um condutor eletrônico (os fios metalícos das linhas). Este contato entre metal e eletrólito cria potenciais que, se não forem mantidos constantes, são confundidos com as variações naturais e constituem ruído.

Os eletrodos mais simples e comuns são placas de chumbo, que têm o inconveniente de apresentar um potencial de contato alto (da ordem de algumas dezenas de milivolts) e demorada estabilização. Uma técnica para conseguir menor tensão de contato e melhorar a estabilidade é construir os eletrodos não polarizados, ou seja, construí-los de tal forma que o contato entre o solo e o metal se faça em duas fases (Petiau and Dupis, 1980). Além da criação de potenciais de contato menores (da ordem de alguns milivolts), estes eletrodos apresentam uma estabilização bem rápida, da ordem de apenas algumas horas. As desvantagens são: necessidade de trabalho para sua montagem (já que as placas de chumbo não necessitam de nenhuma mão-de-obra a não ser cortá-las no tamanho desejado) e fragilidade.

4.2.1 - CONSTRUÇÃO DOS ELETRODOS

A técnica descrita por Petiau e Dupis (1980) consiste em estabelecer o contato entre o metal e o solo em duas fases. Na primeira, faz-se o contato entre o metal (o eletrodo propriamente dito) e um eletrólito intermediário. Na segunda, faz-se o contato entre este eletrólito e o solo. Com isto consegue-se que o contato metal-eletrólito, que geralmente produz potenciais significantes (de 0,1 a 1V), seja bem estabilizado e controlado, já que a concentração do eletrólito intermediário é fixa e definida. O segundo contato, entre o solo (que tem concentrações e composições variáveis) e o eletrólito intermediário, não é crítico, já que os potenciais gerados são bem menores.

A implementação desses eletrodos é mostrada na Figura 4.8. O metal é um fio de chumbo que fica imerso no eletrólito intermediário, feito de gesso preparado com água saturada com cloreto de chumbo e sal comum. Os canos são de PVC comum, com um diâmetro de 20mm.

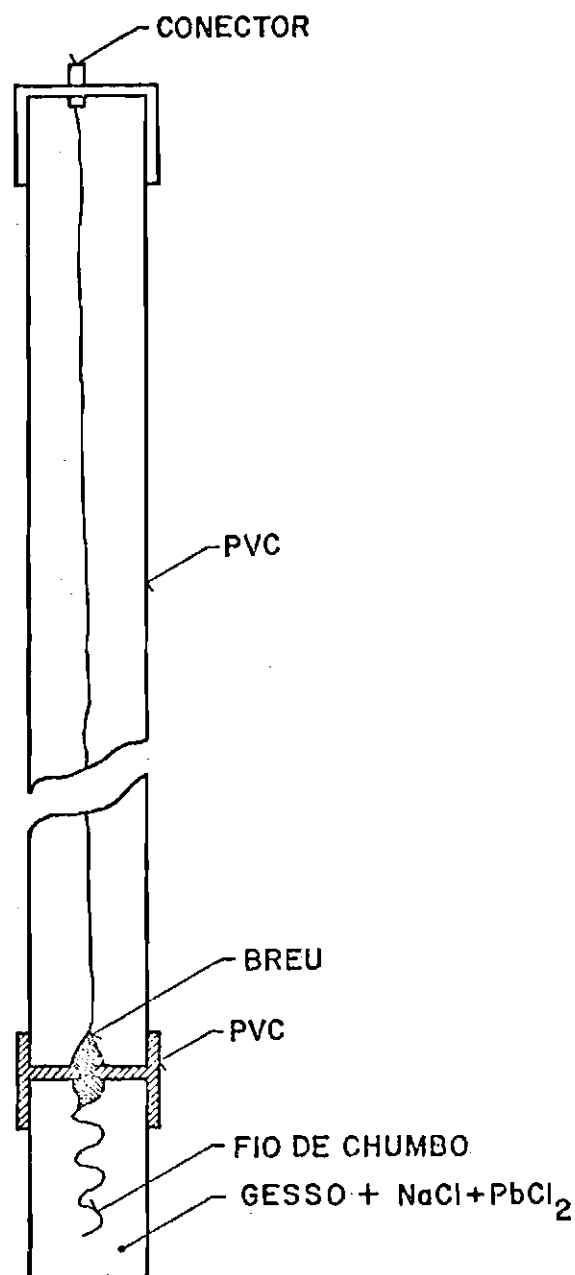


Fig. 4.8 - Esquema da implementação do eletrodo de campo elétrico não-polarizado.

4.2.2 - RESULTADOS DOS ELETRODOS

O teste dos eletrodos foi executado da seguinte maneira. Dois eletrodos foram enterrados a uma distância de 10cm e a diferença de potencial entre eles medida. Em uma distância tão pequena não há sinal gerado por campo elétrico, e o único sinal medido dos eletrodos é devido aos potenciais de contato e ruído. Esse sinal foi registrado durante cinco dias para observar a estabilidade e o ruído dos eletrodos. Verificou-se que o valor de tensão estabilizou em 2,5 horas aproximadadamente, permanecendo com o valor de 6mV. Superposto a este nível os eletrodos apresentaram uma variação em torno de 0,5mV durante este período, mostrando assim sua boa estabilidade e baixo potencial de contato.

CAPÍTULO 5

A INTERFACE ANALÓGICA

Os sinais fornecidos pelos sensores são processados analógicamente na interface analógica. As funções exercidas pelos seus circuitos são: divisão do espectro dos sinais em quatro faixas, amplificação de cada faixa a níveis aceitáveis pelo conversor analógico-digital e seleção da faixa de frequência a ser levada à PPCD/ERI. Os circuitos que efetuam estas funções são mostrados na Figura 5.1 para os circuitos que atuam no sinal dos sensores de campo elétrico (canal telúrico) e na Figura 5.2 para os circuitos que atuam sobre os magnetômetros.

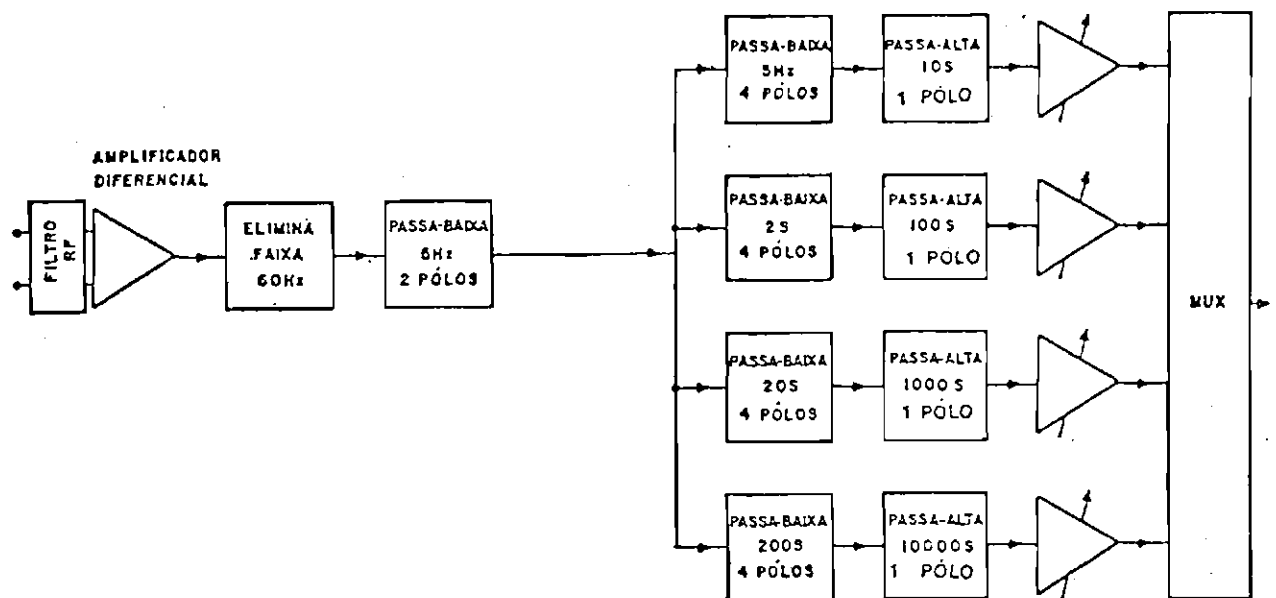
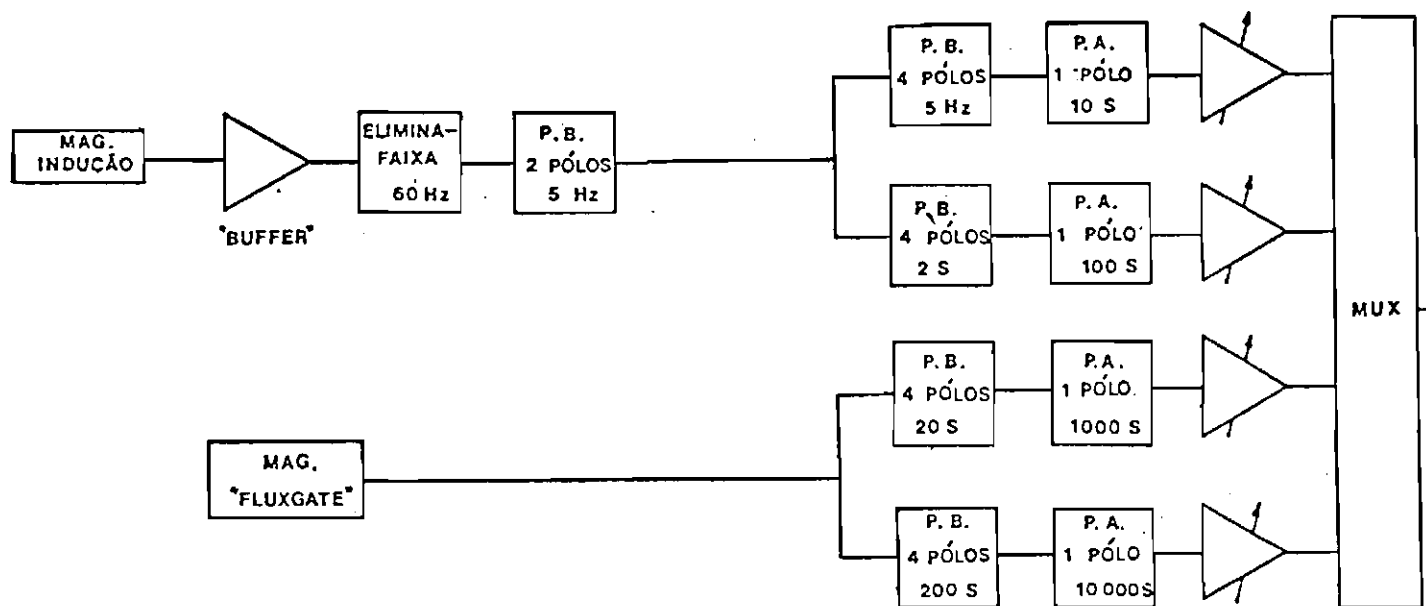


Fig. 5.1 - Circuitos utilizados para tratamento dos sinais do campo telúrico (elétrico).



Obs.: P.B. : passa-baixa;
P.A. : passa-alta.

Fig. 5.2 - Circuitos utilizados para tratamento dos sinais do campo magnético.

5.1 - CANAL TELÚRICO

O sinal vindo dos eletrodos passam primeiramente por um circuito para proteção contra descargas elétricas, formado por um varistor, e por um filtro RC para eliminar frequências acima da faixa de interesse. Estas podem causar distúrbios de baixa frequência por não-linearidade e intermodulação nos amplificadores colocados a seguir (Petiau, 1976). Estes amplificadores estão colocados em configuração diferencial para eliminar tensões de modo comum induzidas na linha. Em seguida o sinal é conduzido a um filtro elimina-faixa centrado em 60Hz.

O circuito seguinte é um filtro passa-baixa de 5Hz com dois pólos e ganho 5. Na saída deste filtro o sinal é dividido em quatro faixas por filtros passa-baixa de quatro pólos e passa-alta de um pólo. Todos os filtros são do tipo "Butterworth", para obter resposta plana na faixa de passagem. Na saída de cada conjunto de filtros é colocado um amplificador de ganho variável (ganhos de 10 a 500) para ajustar o nível de cada faixa ao "range" útil do conversor analógico-digital, que é de mais ou menos 5V. A saída de cada amplificador é levada a um multiplexador analógico controlado pelo microprocessador da plataforma de aquisição de dados, selecionando desse modo a faixa de frequência a ser amostrada.

5.2 - CANAL MAGNÉTICO

O canal magnético, por trabalhar com dois tipos de magnetômetros, apresenta uma estrutura um pouco diferente que a dos canais telúricos. Os sinais gerados pelos magnetômetros de indução passam pelos seguintes circuitos: um amplificador em configuração "seguidor-de-tensão" (para obter uma alta impedância de entrada no circuito); um filtro elimina-faixa centrado em 60Hz; um filtro passa-baixa de dois pólos com frequência de corte de 5Hz. Após estes circuitos o sinal é levado a dois filtros passa-faixa (com frequências de corte de 0,2 a 10s e de 2 a 100s), iguais aos utilizados nos canais telúricos. Estes circuitos são montados para os eixos Hx e Hy, já que não será construí

do um sensor para o eixo Hz. Já os sinais gerados pelo magnetômetro do tipo "fluxgate" passam apenas por filtros passa-faixa (faixas de 20 a 1000s e de 200 a 10000s), pois a resposta em frequência deste tipo de magnetômetro já é, por característica do aparelho, limitada a 2s (EDA, 1975). Para este magnetômetro serão construídos circuitos para os três eixos (Hx, Hy e Hz). Os ganhos dos amplificadores finais também são diferentes dos utilizados no canal telúrico (ganhos totais de meio até 10).

5.3 - MONTAGEM DA INTERFACE ANALÓGICA

A implementação dos circuitos da interface analógica foi executada de forma que apenas três tipos de placas foram montadas.

A primeira é mostrada na Figura 5.3. Nesta placa foram montados o amplificador diferencial, o filtro elimina-faixa e um filtro passa-baixa de 5Hz. Dos circuitos montados, apenas o filtro elimina-faixa não possui uma configuração clássica (Ananda Moham, 1980). Os valores dos elementos passivos do filtro passa-baixa foram obtidos de tabelas. Esta placa é utilizada como entrada para o canal telúrico e como entrada para os sinais gerados pelos magnetômetros de indução. Apenas neste último caso, "jumpers" da placa são utilizados para converter o amplificador diferencial em um "buffer" de ganho unitário. Além disso, apenas um amplificador operacional é utilizado neste "buffer".

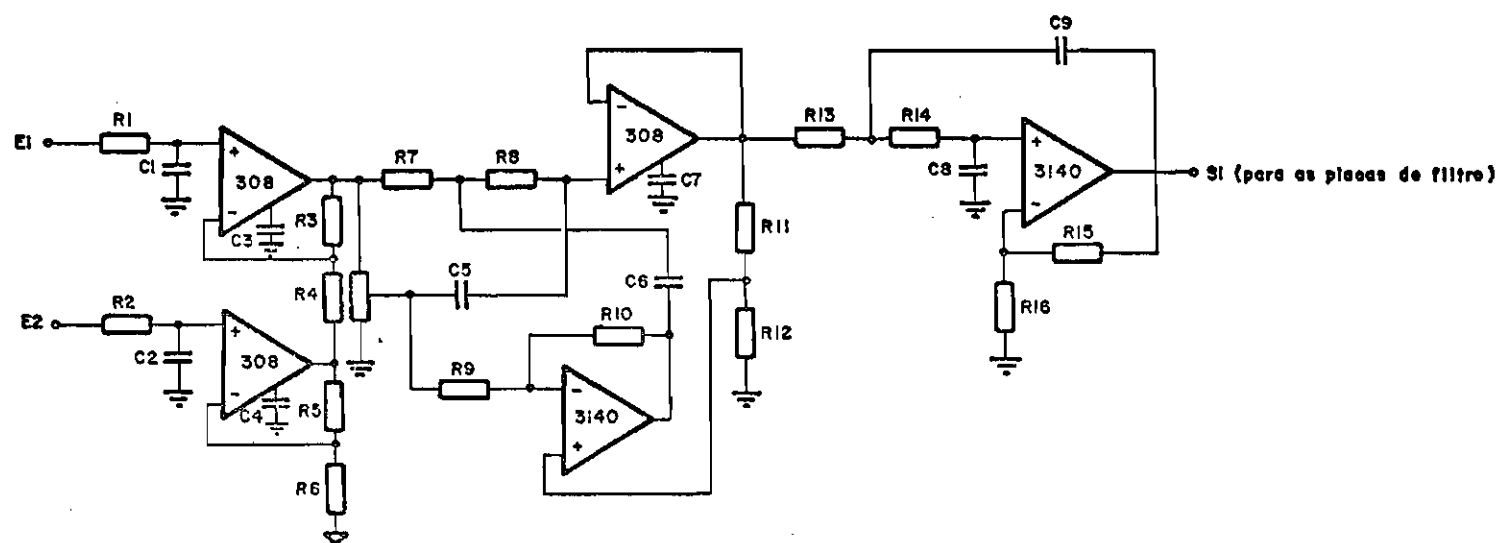


Fig. 5.3 - Esquema do circuito da primeira placa.

A segunda placa é mostrada na Figura 5.4. Contém os filtros passa-faixa de 4 pólos e passa-alta de 1 pólo, utilizados para dividir os sinais nas várias faixas de frequência. As configurações dos filtros são clássicas, denominadas VCVS (Voltage Controlled, Voltage Source), e os valores dos componentes passivos foram obtidos através de tabelas. Ao contrário da primeira placa, cujos filtros têm as frequências de corte fixas, esta segunda é utilizada para todas as quatro faixas. Para adaptar o circuito às variações de tamanho e quantidade de componentes, alguns "jumpers" também foram executados nesta placa. As placas das duas faixas de maiores constantes de tempo no filtro passa-alta (1000 e 10000 segundos) possuem adicionalmente um relê para diminuir o tempo de estabilização do circuito (usados quando se liga o equipamento) para um valor cem vezes menor que o de operação. Para qualquer faixa, um amplificador de ganho variável termina a placa.

A terceira e última placa possui os multiplexadores de seleção de faixa que são comandados pela plataforma PPCD/ERI.

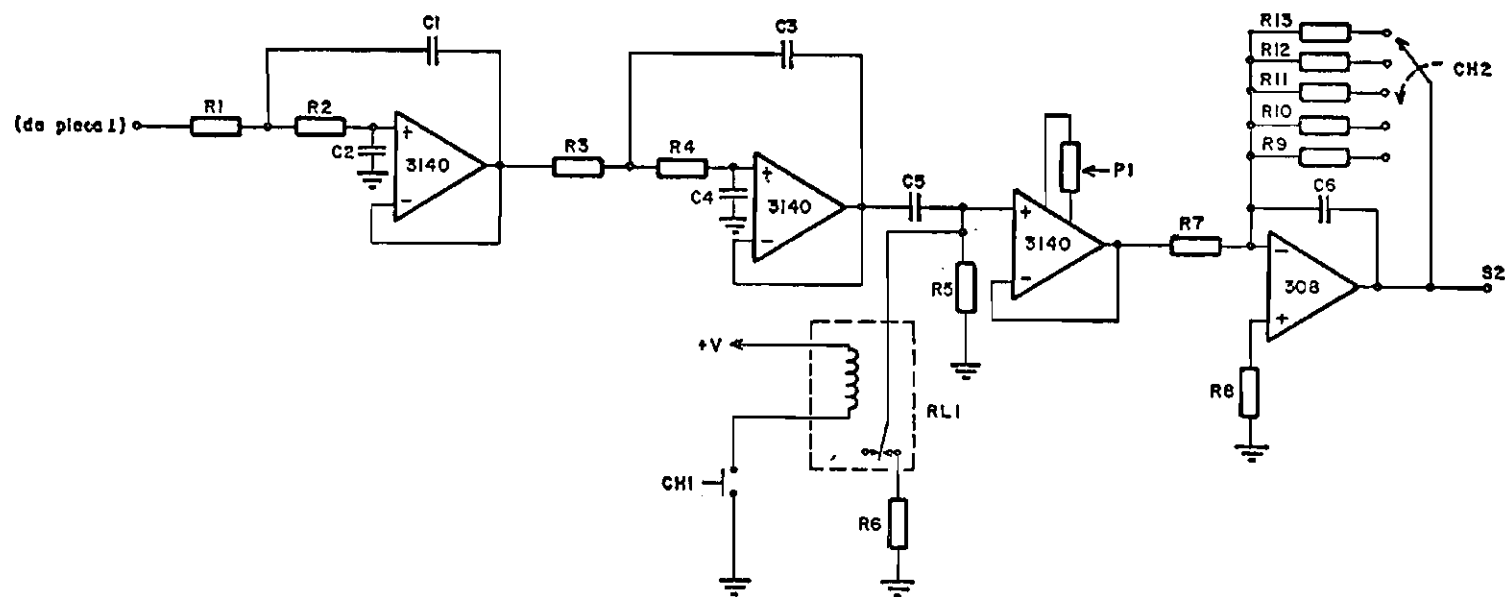


Fig. 5.4 - Esquema do circuito da segunda placa.

- As duas primeiras faixas não utilizam o relê.

5.4 - RESULTADOS DA INTERFACE ANALÓGICA

Os elementos que decisivamente estabelecem o funcionamento das placas são os capacitores e resistores utilizados nos filtros. O principal objetivo do projeto para as placas da interface analógica era manter o ruído (no mínimo) menor que o erro de quantização (de 1,22mV no caso do sistema MT/INPE). Para isso, apenas componentes de alta qualidade foram utilizados para a montagem das placas. Todos os resistores usados são de filme metálico ou de um composto de vidro de nome comercial "metal glade" (para os resistores com valor maior que 2Mohms), e os capacitores são de poliéster metalizado de alta confiabilidade.

Como dito anteriormente, os circuitos da interface analógica são implementados com três tipos de placas básicas. A primeira é fixa, enquanto a segunda é utilizada com vários valores de componentes a fim de implementar os quatro filtros passa-faixa necessários. Cada placa (foram montadas duas de cada) foi submetida a dois testes: de banda passante e ruído. A terceira placa, por ser trivial, não terá seus resultados apresentados.

Os testes de banda passante utilizaram o esquema mostrado na Figura 5.5. O aparelho utilizado, o Analisador de Resposta de Frequência SM2001A, é ao mesmo tempo o excitador do circuito e o medidor da saída do circuito em teste. Sua faixa de frequência vai de 0,01 MHz a 1000Hz, com uma resolução de 0,1dB a 0,2 graus. Os resultados para todas as faixas de frequência são mostrados na Tabela 5.1 e Figura 5.6 (para a primeira placa) e na Tabela 5.2 e Figura 5.7 (para as faixas da segunda placa).

Os testes de ruído foram realizados curto-circuitando a primeira placa e registrando a saída das diversas (com ganho total igual a 100), estando as placas colocadas dentro da caixa na qual serão utilizadas para implementar os canais telúricos.

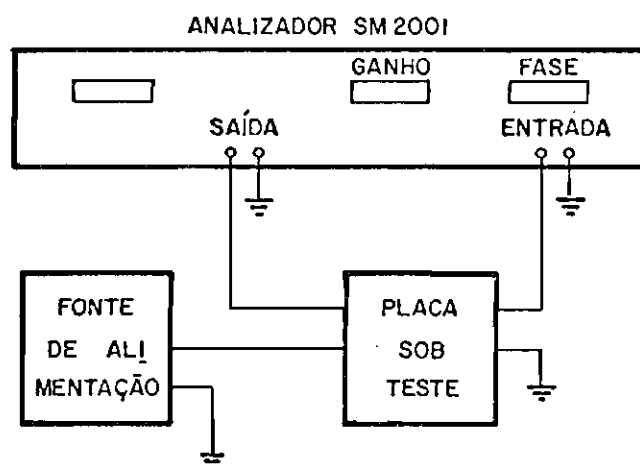


Fig. 5.5 - Sistema de teste de resposta de frequência das placas da interface analógica.

TABELA 5.1

RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA PRIMEIRA PLACA

FREQUÊNCIA Hz	CANAL 1		CANAL 2	
	GANHO	FASE	GANHO	FASE
1	19,7	-25,5	19,8	-24,0
2	18,9	-49,4	19,2	-46,7
5	14,1	-108,0	14,7	-105,0
10	5,2	-	5,8	-158,0
20	-7,5	148,9	-6,8	151,7
50	-36,8	60,2	-35,9	55,5
58	-53,9	46,9	-54,1	46,1
59	-60,6	45,7	-60,7	34,3
60	-63,8	40,0	-63,3	-
61	-62,4	-	-61,1	-
62	-57,2	-	-56,2	-
70	-46,6	-153,0	-	-
80	-44,7	-167,5	-	-
90	-45,3	-178,5	-	-
100	-46,2	172,4	-	-
150	-58,8	138,0	-	-
200	-58,8	138,0	-	-

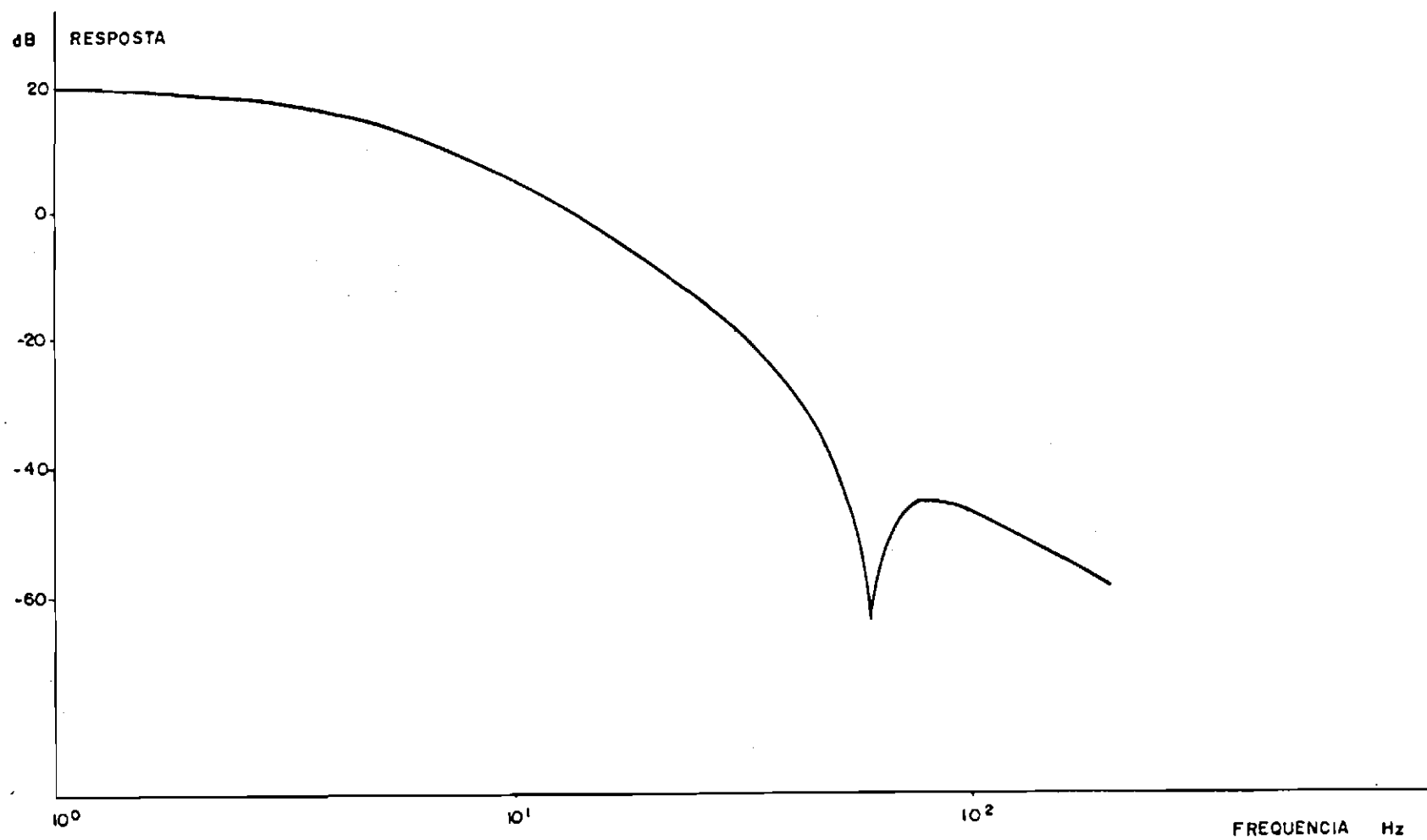


Fig. 5.6 - Resposta em frequência da primeira placa.

TABELA 5.2

RESPOSTA EM FASE E EM FREQUÊNCIA DAS DIVERSAS FAIXAS IMPLEMENTADAS COM A SEGUNDA PLACA

FREQUÊNCIA Hz	FAIXA 1		FAIXA 1		FAIXA 2		FAIXA 2		FAIXA 3		FAIXA 3		FAIXA 4		FAIXA 4	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
10,0	-25,3	73,1	24,2	75,1												
7,0	-13,0	112,1	-12,5	115,4												
5,0	-3,5	-171,8	-3,1	-175,5												
3,0	0,3	-98,0	0,4	-95,2												
1,0	0,0	-25,1	0,1	-24,1	-24,5	77,0	-23,7	77,6								
0,7	0,0	-13,2	0,0	-12,8	-12,0	116,0	-11,3	117,2								
0,5	-0,2	-3,8	-0,1	-3,6	-2,8	-178,9	-1,9	-179,5								
0,3	-0,4	9,8	-0,4	9,0	0,2	-94,4	0,8	-								
0,1	-3,0	42,5	-3,2	39,9	0,1	-24,5	0,2	-22,9	-24,8	78,2	-23,9	77,6				
0,07	-4,0	53,0	-5,0	49,5	0,1	-13,6	0,1	-12,0	-12,6	117,6	-11,6	116,6				
0,05	-7,1	61,9	-7,2	56,8	-0,1	-4,8	-0,1	-3,3	-3,4	-117,5	-2,3	-178,1				
0,03					-0,5	7,2	-0,5	8,3	0,0	-96,0	0,6	-92,1				
0,01					-3,5	29,6	-3,7	30,0	0,0	-25,4	0,1	-23,1	-24,8	76,6	-23,2	80,3
0,007					-4,5	50,9	-4,6	51,6	0,0	-13,6	0,0	-12,2	-	-	-11,2	119,9
0,005					-6,6	60,1	-6,7	60,4	-0,1	-4,4	-0,1	-3,3	-3,5	-177,8	-2,5	-172,5
0,003									-0,4	8,5	-0,4	9,0	-0,2	-96,8	-0,2	-90,5
0,001									-2,8	40,4	-2,8	41,0	0,0	-25,4	0,0	-24,4
0,0007									-4,5	51,1	-4,5	52,7	0,0	-13,7	0,1	-13,2
0,0005									-6,6	60,7	-6,7	60,4	-0,1	-4,4	-0,2	-4,4
0,0003													-0,3	8,6	-0,4	7,8
0,0001													-2,8	40,5	-2,7	39,5
0,00005													-6,7	60,9	-6,5	59,4

Obs.: Ganhos em dB e fases em graus.

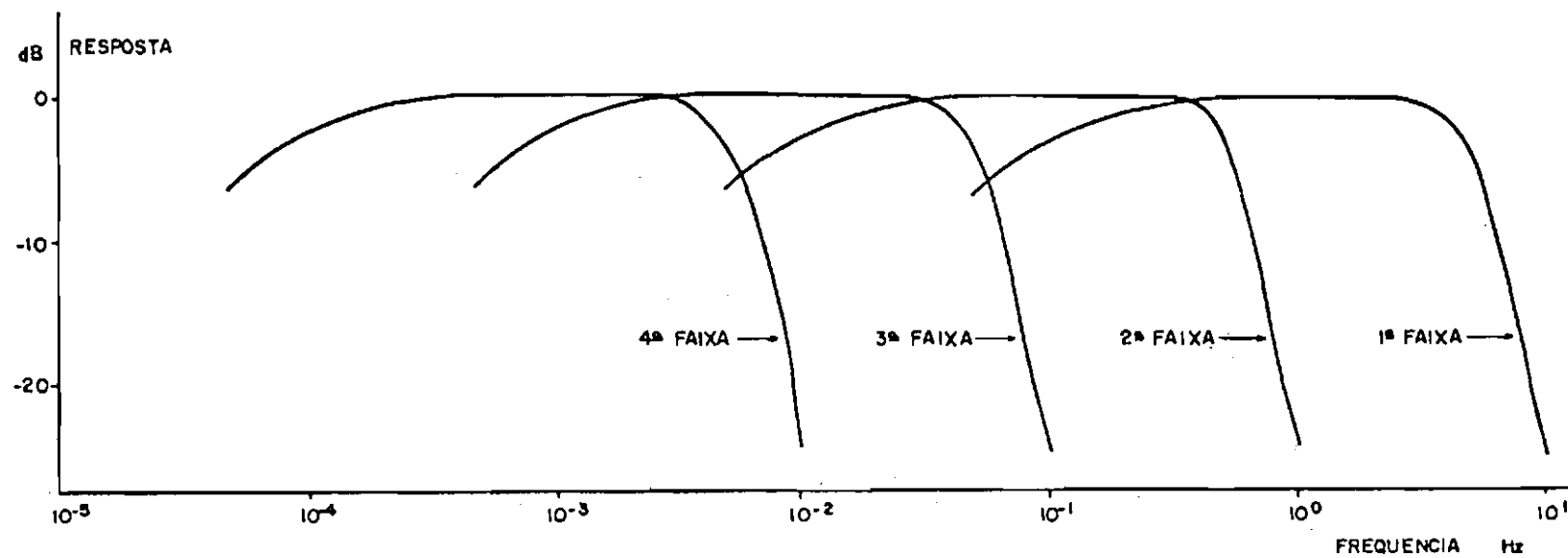
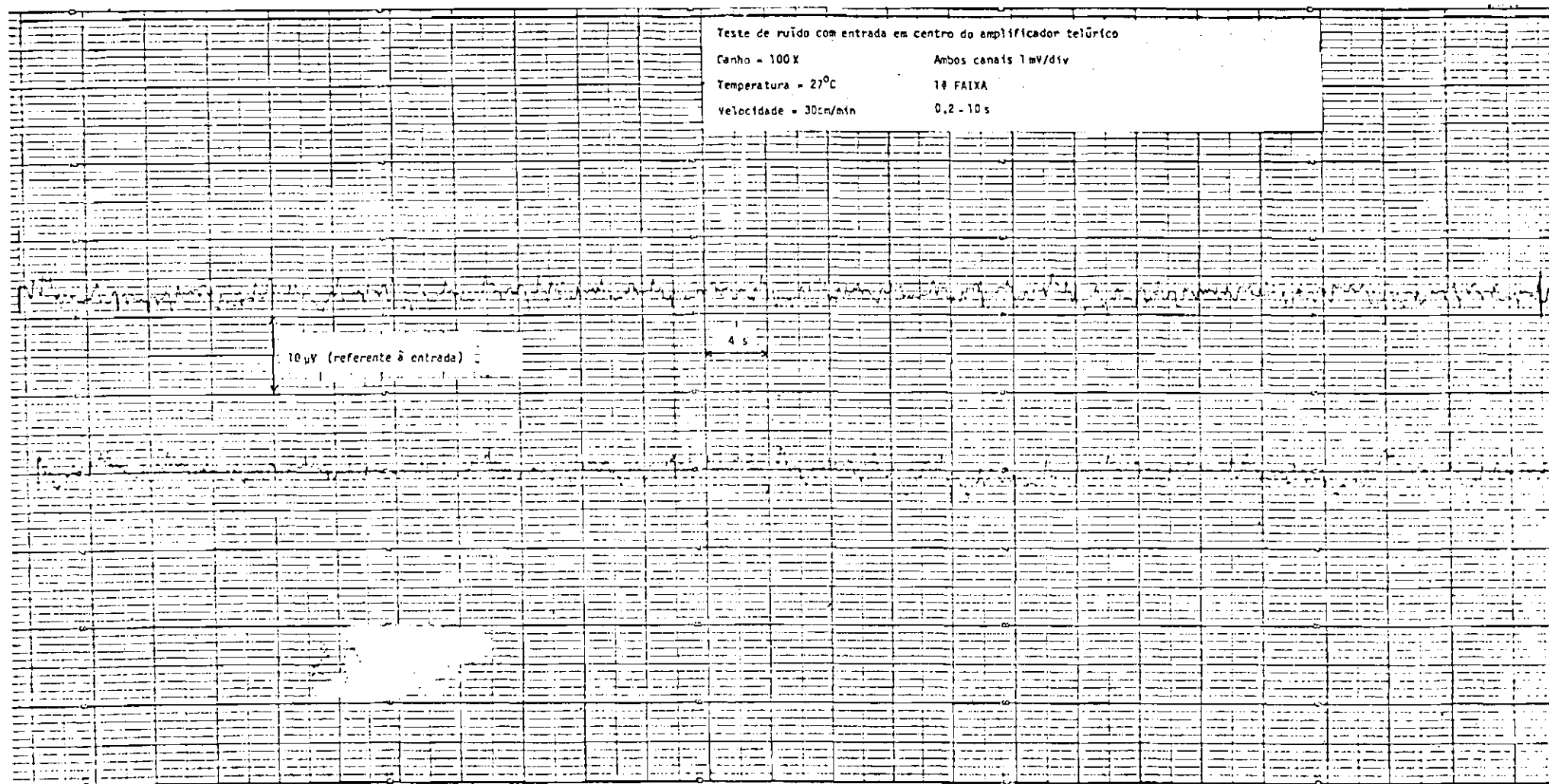


Fig. 5.7 - Resposta em frequência das diversas faixas implementadas com a segunda faixa.

Assim, os resultados obtidos refletem o ruído na banda total de passagem das diversas faixas de frequência. A obtenção do ruído para cada frequência necessitaria de instrumental não disponível; por isto não foi realizada. Os registros das Figuras 5.8 apresentam os resultados obtidos, estando as escalas ajustadas para mostrar o ruído equivalente à entrada dos circuitos.

A deriva térmica também constitui ruído e foi testada, de modo aproximado, registrando a saída de cada faixa (com a entrada em curto) em um registrador analógico à baixa velocidade e durante várias horas. Este teste também não pôde ser executado completamente (pois seria necessário utilizar uma câmara térmica) e seus resultados demonstraram qualitativamente a estabilidade do circuito à operação seguida durante longos períodos (com uma pequena variação de temperatura, que foi anotada para cada caso). A Tabela 5.3 mostra os valores obtidos, referidos à entrada.

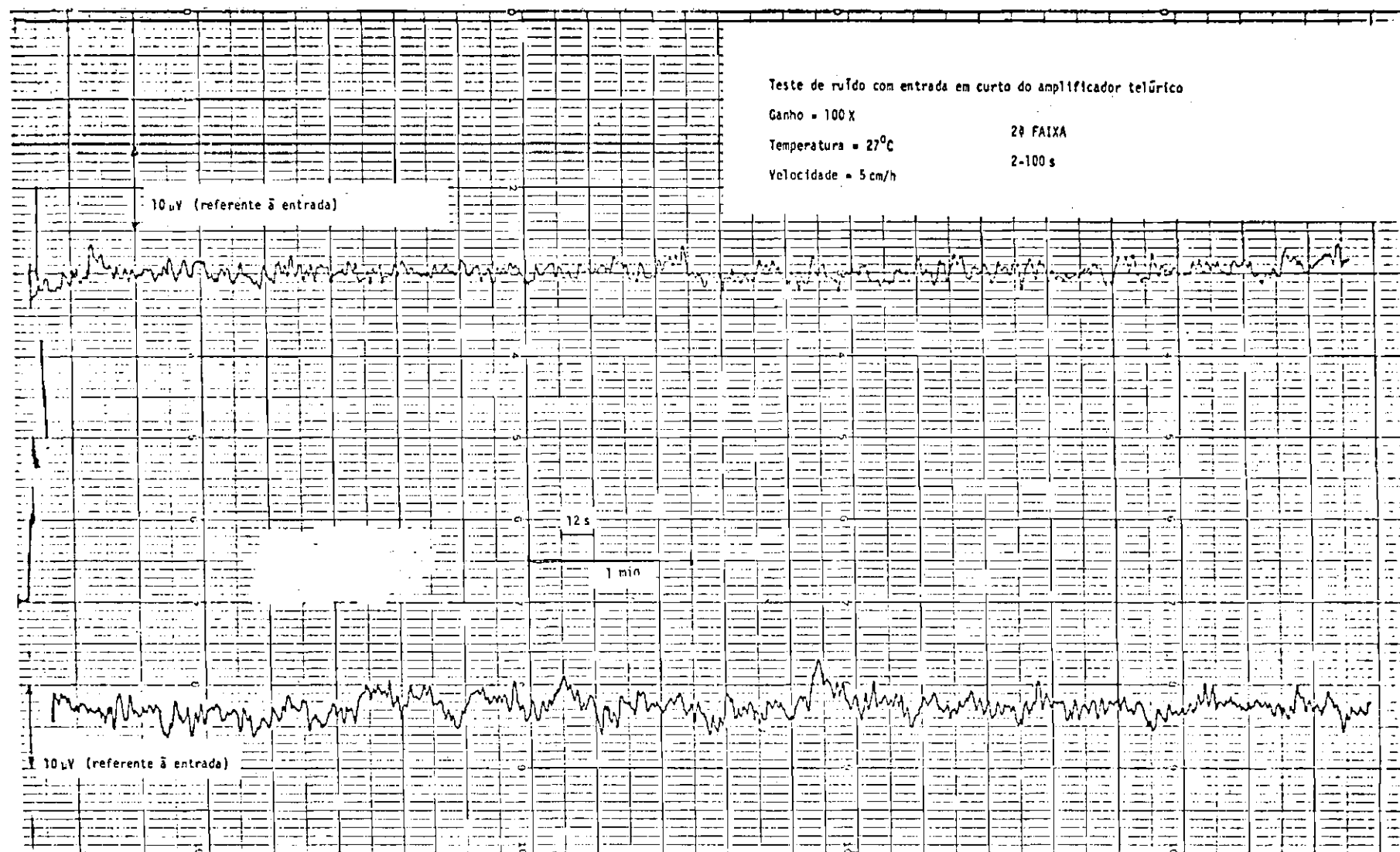
Finalmente um teste, também qualitativo, foi executado com os circuitos da interface montados para o canal telúrico. Utilizando eletrodos de chumbo enterrados a uma distância de 100m, os sinais Norte-Oeste e Leste-Sul foram medidos com os circuitos implementados. Como estes pares de eletrodos são paralelos e distanciados igualmente, é de esperar que os sinais assim medidos sejam iguais. Este teste é então aplicado para se certificar do funcionamento dos amplificadores e filtros do canal telúrico. O resultado é mostrado na Figura 5.9 (para a faixa de 2 a 100s).



(a) 1ª faixa

Fig. 5.8 - Ruído em banda larga da interface analógica.

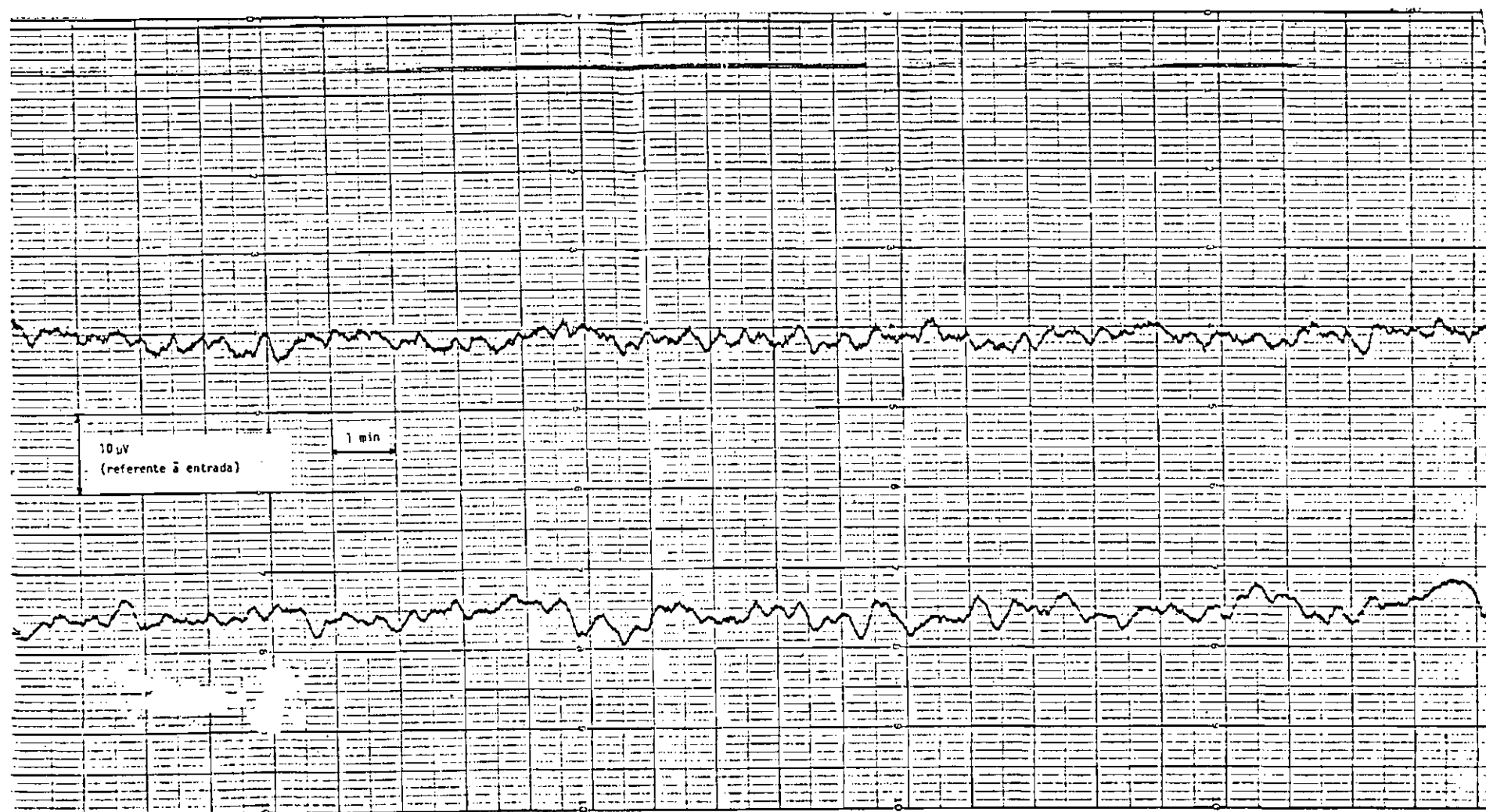
(continua)



(b) 2ª faixa

Fig. 5.8 - Continuação

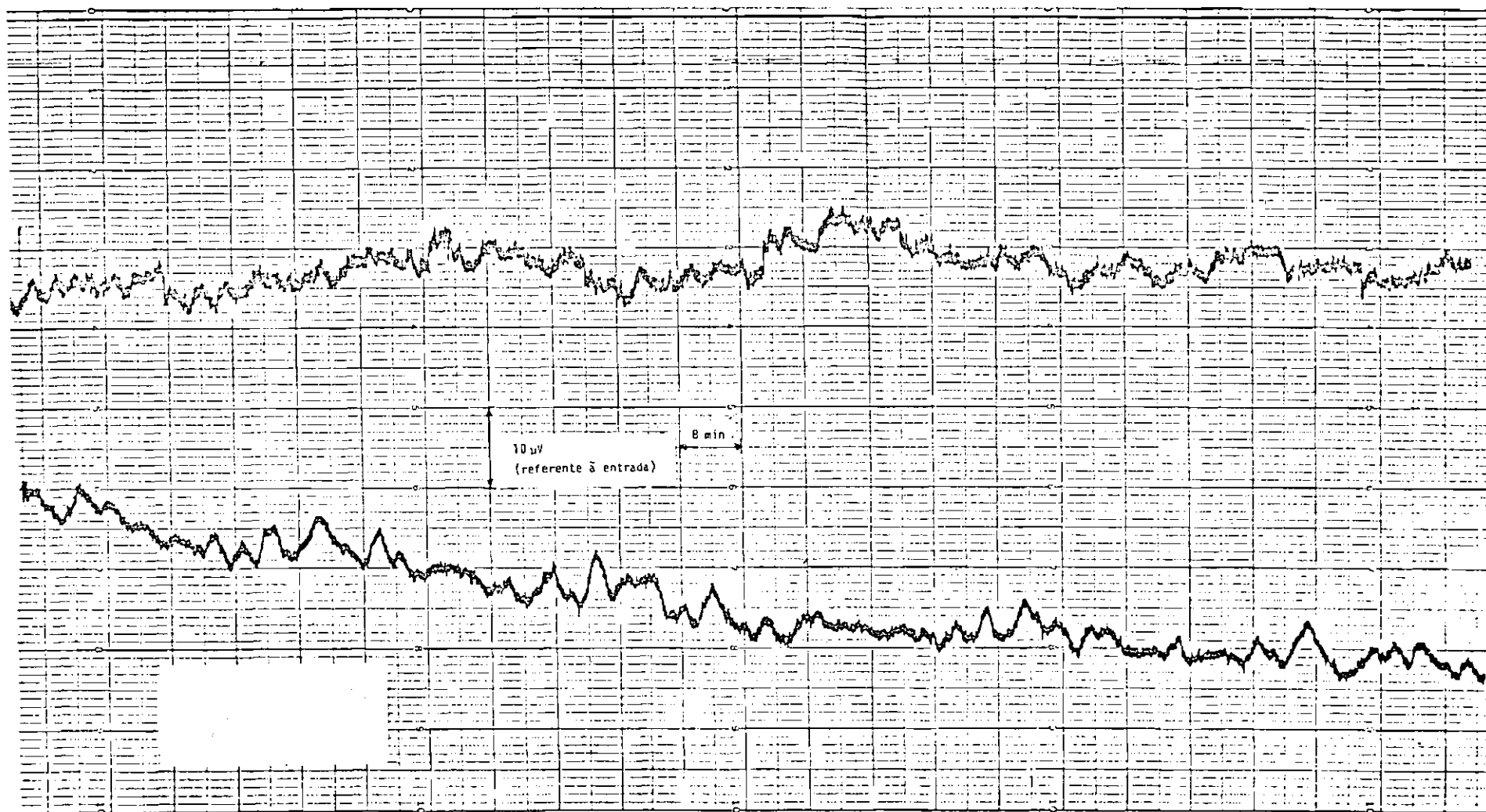
(continua)



(c) 3ª faixa

Fig. 5.8 - Continuação

(continua)



(d) 4ª faixa

Fig. 5.8 - Conclusão

TABELA 5.3

DERIVA TÉRMICA DAS PLACAS DA INTERFACE ANALÓGICA

FILTRO	DERIVA
0,2 - 10s	8uV/°C
2 - 100s	3uV/°C
20 - 1000s	11uV/°C
200 - 10000s	20uV/°C
Placa de entrada	5uV/°C

CAPÍTULO 6

A PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PPCD/ERI

Neste capítulo serão abordados o "hardware" e o "software" da plataforma de aquisição de dados PPCD/ERI (Plataforma Programável de Coleta de Dados/Estação Remota Isolada). O "hardware" básico da plataforma e os circuitos implementados para o sistema MT/INPE serão descritos, enquanto o "software" aplicativo da implementação MT/INPE será especificado.

6.1 - A ARQUITETURA DA PPCD/ERI

Essa plataforma foi desenvolvida pelo DCA, do INPE, e consta de uma UCP baseada no microprocessador 8085; de memória RAM de 4K "bytes"; de memória EPROM de 8K "bytes"; de uma unidade de base de tempo; de uma unidade de entrada e saída serial; de uma unidade de aquisição de dados; de uma unidade de armazenamento de dados em fita cassete e de uma unidade de controle digital. O diagrama de blocos da PPCD/ERI está representado na Figura 6.1.

A unidade de armazenamento de dados em fita cassete pode ser configurada com até oito gravadores. A seleção/controle do gravador, no qual os dados serão armazenados, é realizada através da UCP. A gravação é feita na forma analógica, a uma taxa de 1200 bits por segundo, utilizando gravadores comerciais, facilmente encontrados no mercado nacional.

A unidade de controle digital consta basicamente de 16 saídas de níveis digitais compatíveis com TTL. Essas saídas serão utilizadas, no caso do sistema MT/INPE, para controlar circuitos periféricos à plataforma (Seção 6.2).

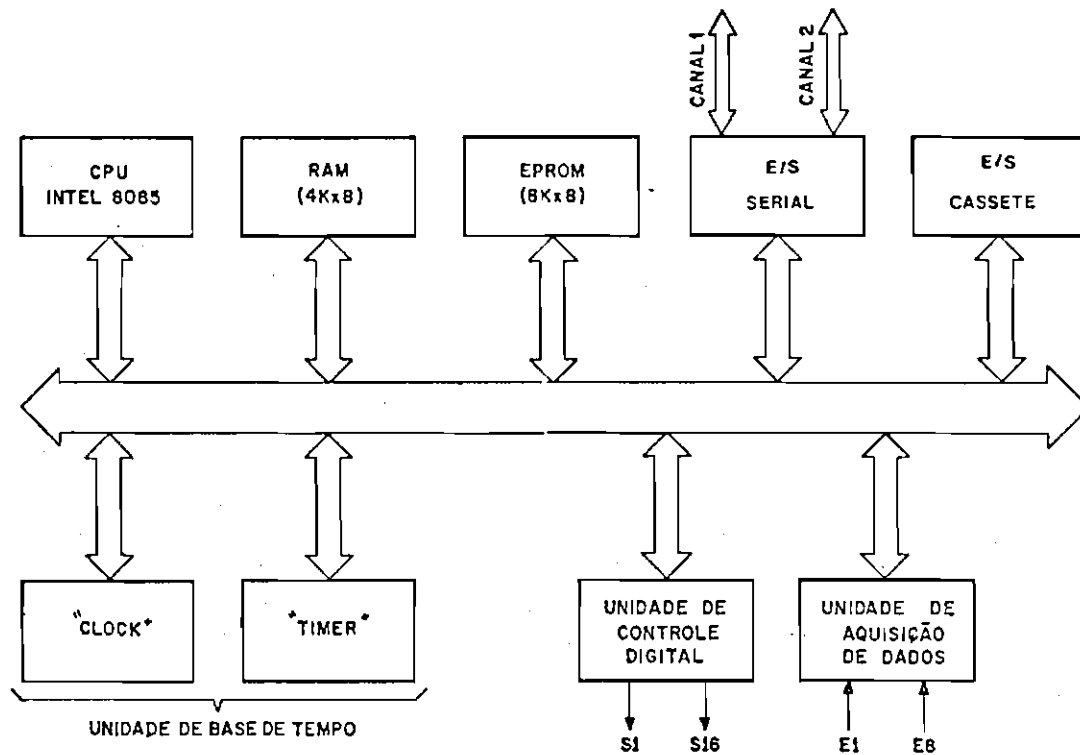


Fig. 6.1 - Diagrama de blocos da PPCP/ERI.

A unidade de E/S serial consta de dois canais "full-duplex" independentes, que operam no modo síncrono ou assíncrono. No caso do sistema MT/INPE, estes dois canais serão utilizados para ler informações de um teclado e para estabelecer comunicação com o computador de processamento de dados.

A unidade de base de tempo, além de fornecer uma base de tempo para a PPCD/ERI, fornece também um intervalo de tempo selecionado previamente, através do qual são geradas as taxas de amostragem para aquisição de dados dos vários canais analógicos disponíveis. Os intervalos de tempo disponíveis para geração das taxas de amostragem estão compreendidas na faixa de 5 ms a 128 segundos, podendo-se desta forma obter taxas de amostragem diversas.

6.2 - DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS PERIFÉRICOS

Na implementação MT/INPE, alguns circuitos "periféricos" foram incorporados ao "hardware" básico da plataforma. Estes circuitos cumprem basicamente duas funções: sinalizar a operação da plataforma e receber dados, no caso de operação isolada. São eles: um display constituído por dois dígitos hexadecimais (de 0 a F), uma interface para uma impressora, um relógio de hora relativa, uma interface de teclado com vinte teclas e um conversor D/A.

Os periféricos, com exceção do teclado, foram construídos em torno da unidade de controle digital da PPCD/ERI, utilizando suas 16 saídas digitais. Além desses circuitos, dois desses sinais são utilizados para selecionar a faixa de dados a ser amostrada.

Os diagramas de blocos das Figuras 6.2 e 6.3a mostram os circuitos periféricos. Como pode ser visto no Apêndice C, os bits de controle são organizados em dois "bytes": Controle(1) e Controle(2). O "byte" Controle(1) é utilizado como um barramento de dados, no qual vários dispositivos são conectados. O "byte" Controle(2) comanda o funcionamento dos circuitos. A função de cada bit é mostrada na Tabela 6.1.

O conversor D/A utilizado é de 10 bits. Por essa razão, seu acionamento é executado em duas fases. O "byte" menos significativo, é transferido primeiramente para um registro intermediário. Em seguida, os dois bits mais significativos são transferidos para o D/A (ao mesmo tempo os oito menos significativos são transferidos do registro intermediário para o registro final). Sua saída é unipolar, vai de zero a cinco volts, e possui a função principal de servir como uma saída de acompanhamento do funcionamento da plataforma.

A interface da impressora é constituída por registros, decodificadores e chaves analógicas que simulam o teclado de uma máquina de calcular comercial que possui uma pequena impressora. Adotou-se

esta solução por seu baixíssimo custo e pela simplicidade da interface necessária. As desvantagens de usar uma impressora de máquina de calcular são: a pouca flexibilidade no uso da impressora e a baixa velocidade de impressão.

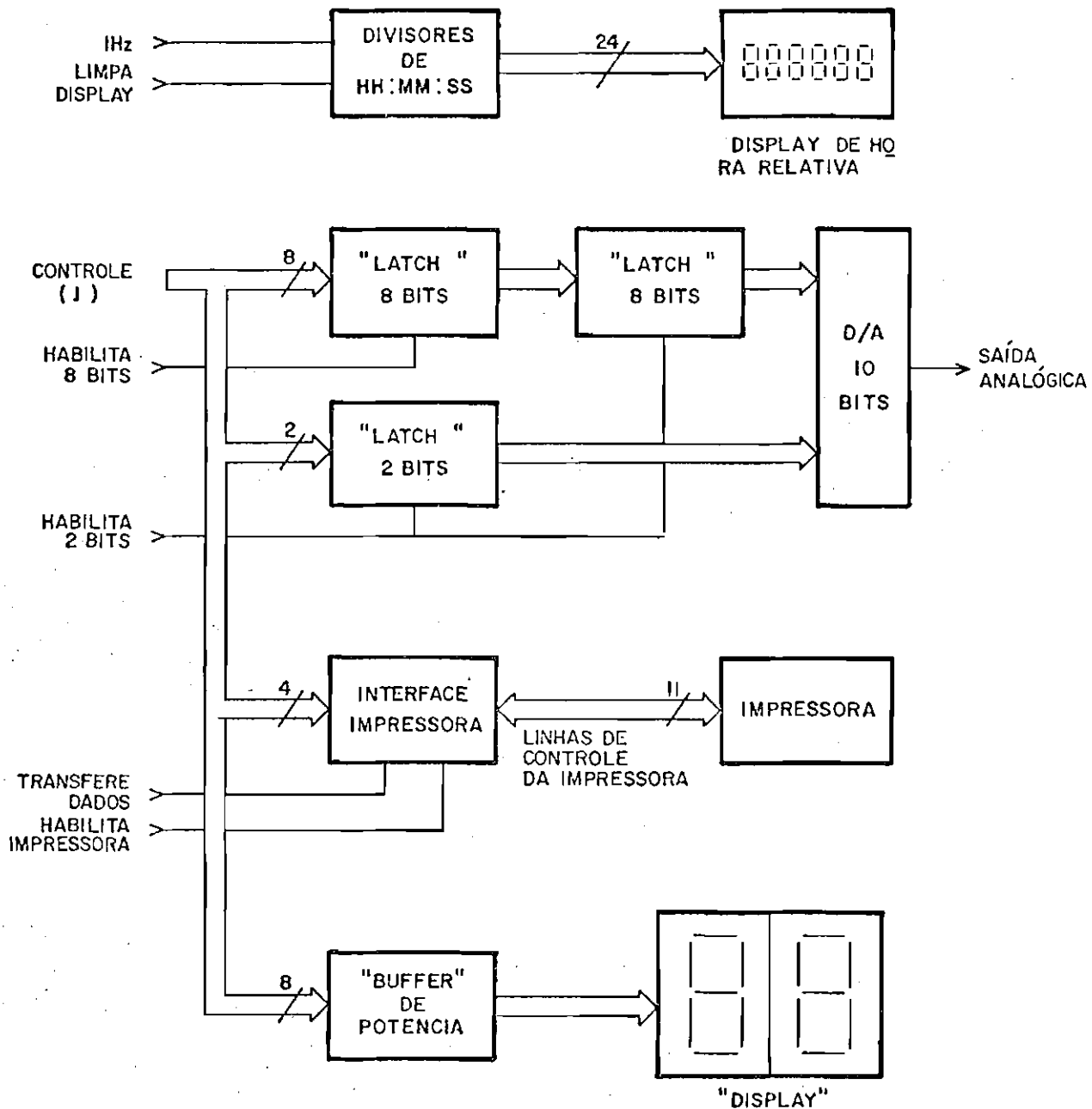


Fig. 6.2 - Diagrama de blocos dos circuitos periféricos.

O circuito do teclado utiliza uma das linhas seriais de entrada, da PPCD/ERI. A tecla pressionada é codificada em binário por um circuito que transfere esta informação a um circuito serializador, que por sua vez a transfere para a plataforma. A informação é transmitida no formato mostrado na Figura 6.3b. Ver na Seção 6.3.5.1 a especificação da utilização do teclado.

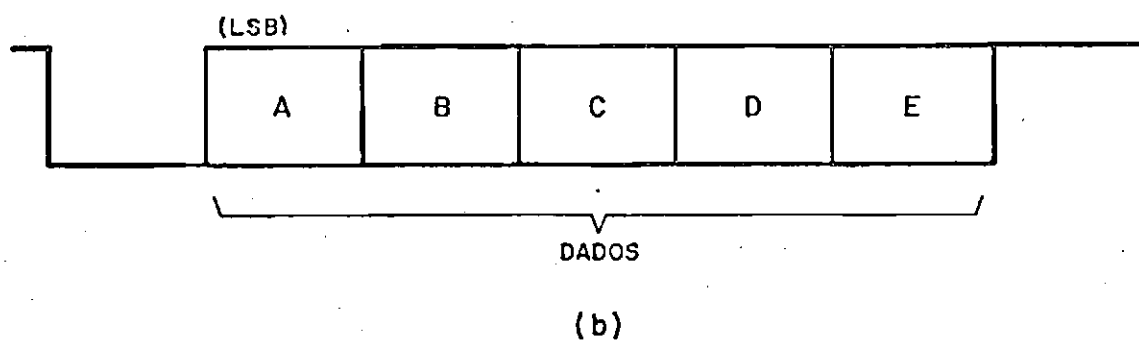
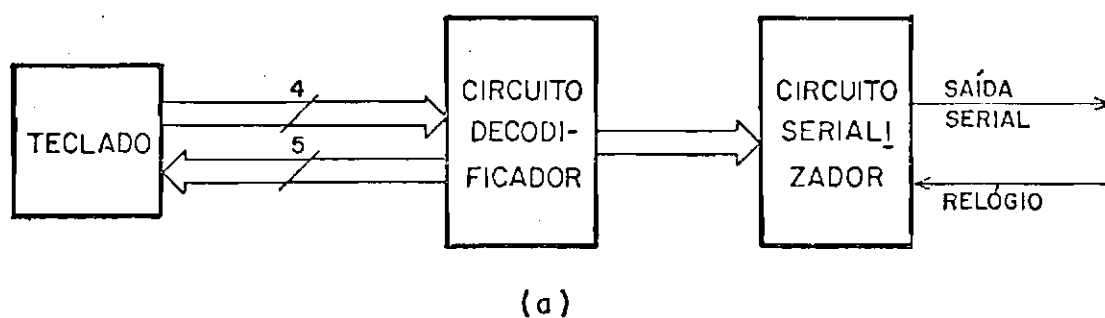


Fig. 6.3 - Diagrama de blocos do teclado (a) e formato de transversão (b).

TABELA 6.1

FUNÇÃO DE CADA BIT DA UNIDADE DE CONTROLE DA PPCD/ERI

CONTROLE (2)	FUNÇÃO
1	Habilita bits menos significativos para conversor D/A.
2	Habilita bits mais significativos para conversor D/A.
3	Sinal de 1 Hz para contadores do <u>re</u> lógio relativo.
4	Limpa mostrador de hora relativa.
5	Habilita impressora.
6	Transfere dados para impressora.
7	Seleciona multiplexador externo.
8	Seleciona multiplexador externo (MSB).

6.3 - ESPECIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO DA PPCD/ERI

A programação da PPCD/ERI na aplicação do sistema MT/INPE pode ser dividida em duas partes:

- 1) "Software" básico e de apoio - está sendo desenvolvido pelo DCA. Conterá todas as rotinas necessárias ao funcionamento básico da plataforma. Entre estas estão: rotinas de acionamento de "hardware", entrada e saída de dados, auto-teste, comunicação de dados entre processos, tratamento de interrupções, etc;
- 2) "Software" aplicativo - conterá as rotinas específicas à aplicação. São elas: contabilização dos eventos executados, armazenamento temporário de dados antes das gravações e/ou transmissão, etc.

Para a implementação de ambas será utilizado o Núcleo Operacional para Computadores (NOC), que está sendo desenvolvido pelo DCA (Pratti et alii, 1983). Os objetivos principais do NOC são: fornecer mecanismos que permitam partilhar o tempo de uso do processador (UCP) entre os processos que implementam as diversas aplicações, e gerenciar o acesso desses processos a recursos compartilhados.

A seguir serão apresentadas a descrição do "software" básico e a especificação geral do "software" aplicativo da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE. Esta apresentação segue uma orientação sugerida por Oliveira e Velasco (1983), que também propõem uma linguagem de descrição de programas que será utilizada para especificar os processos aplicativos. A especificação será apresentada em dois níveis, dos quais o mais detalhado encontra-se no Apêndice C.

6.3.1 - OBJETIVOS DO SISTEMA

A PPCD/ERI, como descrita, deve operar em dois modos na implementação do sistema MT/INPE: isolada ou com um computador para processamento de dados conectado. O modo de operação é definido através de uma chave no painel, e sua informação é lida ao ligar a plataforma (ou ao reiniciá-la).

No modo isolado, a PPCD/ERI armazena amostras em sua memória, formando blocos de dados que são gravados em fita cassete para processamento posterior. Por restrições de velocidade de gravação da fita cassete, a aquisição de dados é executada em duas fases: a primeira faixa é adquirida isoladamente e, terminada esta, as faixas restantes são adquiridas. No modo com computador acoplado, os dados são armazenados até constituírem blocos de 256 amostras de cada sinal e transmitidos ao computador, para processamento no local.

Optou-se por estes dois modos de operação: a) para simplificar a programação desta primeira versão do sistema; b) porque uma avaliação preliminar das necessidades de memória para se executar o ar

mazenamento temporário dos dados mostrou que os 4 K "bytes" de RAM se riam insuficientes para todas as situações de operação.

O objetivo da plataforma é colecionar séries temporais com amostras digitais de sinais fornecidos pela interface analógica. Para isso, diversas tarefas são executadas em cada modo de operação:

1) Modo computador acoplado

- a) adquire um bloco com 256 amostras de cada sinal em cada vez, a pedido do computador;
- b) não reconhece o teclado;
- c) imprime informações de erro de protocolo com o computador e erros de operação;
- d) informa no display qual faixa está sendo amostrada;
- e) grava em fita cassete todas as informações que forem transmitidas ao computador;
- f) transmite as informações ao computador em ASCII;
- g) não adquire dados da última faixa (200 a 10000S) porque a aquisição de 256 amostras desta faixa demoraria muito para ser executada (quase três horas).

2) Modo isolado

- a) adquire isoladamente a primeira faixa (0,2 a 10s) e depois as três faixas restantes simultaneamente;
- b) reconhece dados e comando do teclado;
- c) adquire dados de identificação via teclado;

- d) executa compactação de dados;
- e) não atende à linha de comunicação com o computador;
- f) os blocos de dados são gerados segundo especificações definidas no Apêndice B;
- g) imprime informações de erros de operação, contabilização de blocos gravados, fim de fita e fim de operação.

Vê-se então que a plataforma vai operar como um periférico inteligente (uma espécie de processador de entrada e saída específico e dedicado) no primeiro caso e como um sistema de aquisição autônomo no segundo.

6.3.2 - ARQUITETURA DO "SOFTWARE"

A arquitetura do "software" proposto para a PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE é mostrada na Figura 6.4.

As tarefas da PPCD/ERI são implementadas por quatro "monitores" (entende-se por monitor uma rotina que é executada fora do controle do NOC) e por seis processos que, escalonados pelo NOC, executam o tratamento das interrupções; executam as funções de armazenamento temporário; fornecem os dados a serem gravados e/ou transmitidos, acionam o display, a impressora e o display de hora relativa. Na Figura 6.4 os processos e monitores estão representados por retângulos. As estruturas de sincronização estão representadas por setas pontilhadas e as estruturas de comunicação de dados ("buffers") estão representadas por setas contínuas.

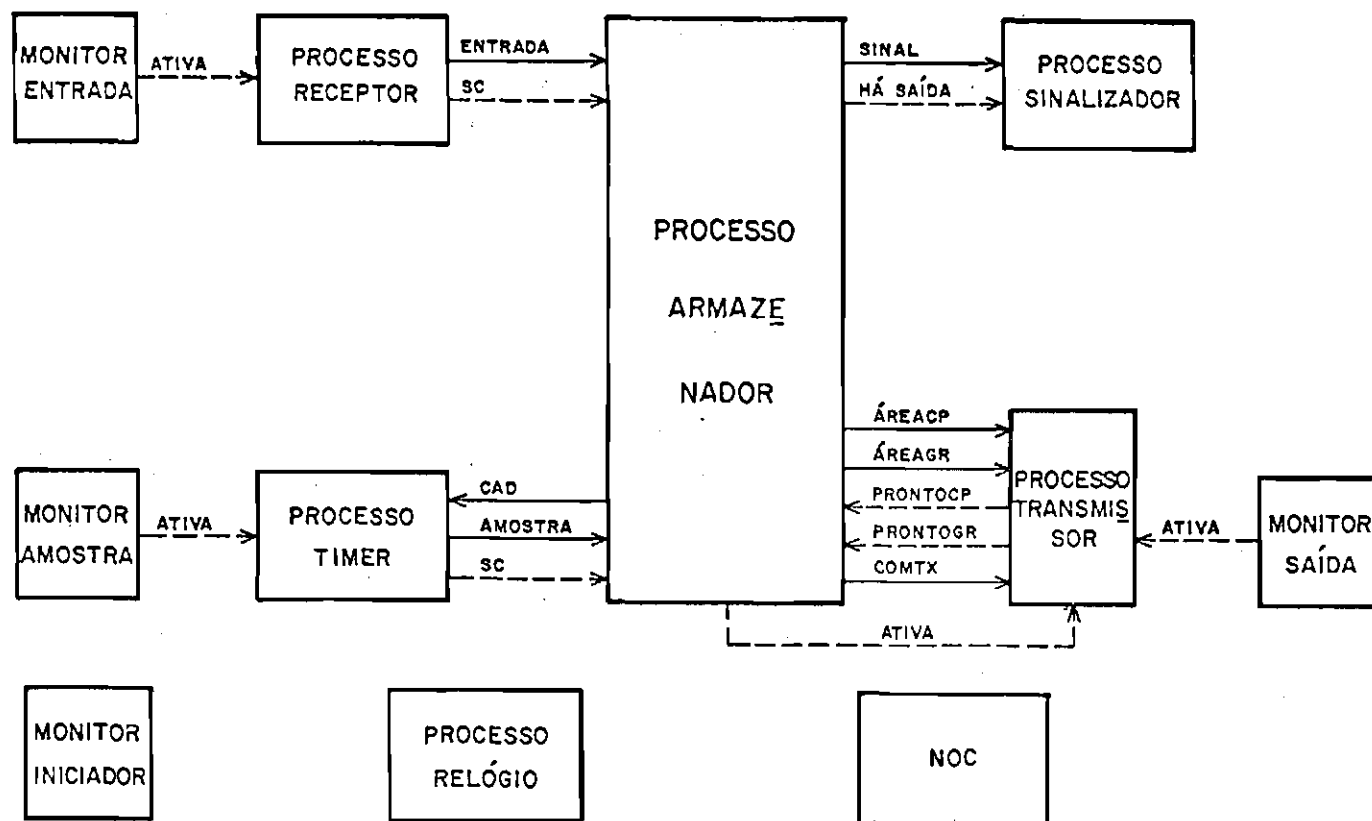


Fig. 6.4 - Arquitetura do "software" da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE.

Segue-se uma observação sobre as estruturas de comunicação. Neste trabalho não foi efetuado um estudo sistemático sobre o fluxo de dados entre os vários processos que constituem o "software" da plataforma. Assim, o dimensionamento de cada "buffer" tomou por base apenas estimativas de utilização e não tem um valor definitivo (servindo apenas de base para a implementação inicial).

6.3.3 - DESCRIÇÃO DO "SOFTWARE" BÁSICO

1) Núcleo Operacional para Computadores (NOC)

Como já foi citado anteriormente, o NOC é um executivo para disciplinar a utilização da UCP e seus recursos. O NOC trata diretamente as interrupções de base de tempo (que é diferente do "timer" para aquisição de dados) e possui rotinas para controlar o acesso dos processos a recursos compartilhados. A estrutura utilizada pelo NOC para isso é o semáforo.

Os processos são escalonados pelo NOC, que entrega o controle do processador ao processo ativo que tenha, no momento, maior prioridade. A distribuição do controle é baseada no método "round-robin", onde um processo permanece em execução até que seja esgotado um determinado limite de tempo. Depois desse tempo, o processo tem sua execução interrompida, voltando ao estado ativo. Na PPCD/ERI este tempo é de 1 s.

O NOC permite que se estabeleça um tempo máximo de espera por um evento. Desse modo um processo que esteja na situação de espera pode ser ativado, mesmo não recebendo este recurso. Isto possibilita a detecção de erros e é uma das maneiras de evitar que o sistema fique em situação de "dead-lock". A especificação desse tempo máximo de espera é feita pelo processo que requisita o recurso através do carregamento de uma das variáveis de sua Tabela Descritora, que é uma estrutura que contém todas as informações pertinentes ao processo e é manipulada pelo NOC.

Também faz parte da Tabela Descritora dos processos uma palavra de status que é utilizada pelo processo para detetar erros de operação, se uma determinada espera por um evento acabou por excesso de tempo, etc.

O NOC possui várias primitivas, denominadas rotinas de serviço, que requisitadas como sub-rotinas pelos processos aplicativos, implementam várias funções de controle. Algumas delas são: Wait, Signal, Wait, Ligarelógio, Ativa, etc. O uso dessas primitivas pode ser visto no Apêndice C.

Deve-se observar que a primitiva Ativa implementada para a PPCD/ERI possui um comportamento específico. Sua função é passar um processo do estado Desativado para o estado ativo. No caso de o processo que se desejar ativar já estar ativo, a primitiva sinalizará o erro na palavra de status do processo que se quis tornar ativo. Essa informação será utilizada, dentro do "software" da PPCD/ERI, pelos processos que tratam interrupções para detetar a ocorrência do "encavalamento" de interrupção, ou seja, a ocorrência de uma interrupção sem que a anterior tenha sido tratada.

2) Monitor Entrada

Acionado pela interrupção das linhas seriais de recepção, este monitor tem a função de tornar ativo o Processo Receptor, que tratará a interrupção. Este monitor faz parte do "software" básico da PPCD/ERI.

3) Processo Receptor

Este processo trata as interrupções geradas pelos dois canais de recepção de dados seriais. Quando tornado ativo pelo Monitor Entrada este processo lê a informação do dispositivo que causou a interrupção e a transfere ao Processo Armazenador.

A interface com o Processo Armazenador é feita através da estrutura global Entrada, que é um "buffer" circular de três elementos (cada elemento com quatro "bytes", dois de dados e dois de controle). Um semáforo é utilizado para sinalizar ao Processo Armazenador a presença de dados no "buffer" (Apêndice C, Seção C.2.2).

Este processo detecta duas situações de erro: "buffer" Entrada cheio e superposição de interrupções (no caso de o Monitor Entrada ativar este Processo quando ele já estiver ativo). Para estas duas situações, mensagens de erro serão impressas na impressora.

Este processo também faz parte do "software" básico da plataforma.

4) Monitor Amostra

Este monitor tem função análoga ao Monitor Entrada. Acionado pela interrupção do "timer" de aquisição de dados da plataforma, sua única tarefa é tornar ativo o Processo Timer, que tratará a interrupção. Este monitor também faz parte do "software" básico da plataforma.

5) Processo "Timer"

Este processo trata a interrupção gerada pelo "timer" da PPCD/ERI para a aquisição dos dados através do conversor A/D. Este processo também faz parte do "software" básico da PPCD/ERI e serão descritas aqui apenas as estruturas de dados que fazem interface com os processos aplicativos.

Possui como entrada uma área compartilhada, denominada Cad, constituída por cinco "bytes" onde são definidas as faixas que terão seus dados convertidos e em que taxa (múltiplos inteiros de base de tempo de aquisição). Esta área é iniciada pelo Processo Armazenador e lida pelo Processo "Timer" cada vez que é executado (Apêndice C, Seção C.2.4).

Possui como saída o "buffer" circular Amostra, com quatro elementos de onze "bytes" cada um. Cada elemento contém um "byte" de controle (onde consta a faixa à qual pertence o bloco de dados), e os dez "bytes" restantes contém as leituras do conversor A/D para os cinco sinais amostrados (cada leitura é de dois "bytes") (Apêndice C, Seção C.2.1).

Este processo sinaliza ao Processo Armazenador a presença de dados no "buffer" Amostra através do semáforo Sc.

Também duas mensagens de erro são impressas: "buffer" Amostra cheio e superposição de interrupção.

6) Monitor Saída

Este monitor, que faz parte do "software" básico da plataforma, tem a função de tornar ativo o Processo Transmissor cada vez que uma interrupção é gerada pelos canais seriais de saída. Analogamente aos outros dois monitores, sua função se resume em disparar o processo que é, na verdade, o responsável pelo tratamento da interrupção.

7) Processo Transmissor

Este processo faz parte do "software" básico da PPCD/ERI e é responsável pelo tratamento das interrupções geradas pelos canais seriais de saída.

Possui as seguintes entradas:

- a) Areacp - área compartilhada de 512 "bytes" utilizada para passar os dados a serem transmitidos ao computador de processamento; é utilizada como dois blocos "ping-pong" de 256 "bytes" cada um (Apêndice C, Seção C.2.5).

- b) Areagr - área compartilhada de 514 "bytes" utilizada para passar dados a serem gravados. O primeiro "byte" de cada bloco indica qual gravador será utilizado (Apêndice C, Seção C.2.4).
- c) Comtx - área compartilhada de quatro "bytes"; é utilizada pelo Processo Armazenador para passar comandos e dados ao Processo Transmissor. Contém informações de qual dispositivo de saída será utilizado, do endereço do início da área de dados a serem transmitidos ou gravados e do número de "bytes" a serem transmitidos (Apêndice C, Seção C.2.7).

Este processo se utiliza de dois semáforos para indicar ao Processo Armazenador a disponibilidade de um de seus recursos. São eles:

- 1) Prontocp - indica se o canal de comunicação com o computador está livre ou não;
- 2) Prontogr - indica se o canal de gravação está livre ou não.

6) Monitor Iniciador

Este monitor é responsável pela iniciação da plataforma quando esta é ligada ou ao ser reinicializada. Esta rotina inicia todo o "hardware" da plataforma, as áreas de controle dos processos que tratam interrupções, as variáveis que controlam os "buffers", e a área de memória que descreve os semáforos e transfere a Tabela Descritora inicial dos processos da memória EPROM para a memória RAM. Ao fim destas tarefas, o monitor transfere o controle do processador para o NOC, que passa assim a controlar a execução dos processos. Na Seção 6.3.7 a Tabela Descritora no momento da iniciação da plataforma é descrita.

6.3.4 - ESPECIFICAÇÃO DO "SOFTWARE" APLICATIVO

1) Processo Armazenador

Este processo executa todas as funções de tratamento de protocolo de linha e de teclado, armazenamento temporário de dados, compactação de dados e controle dos processos que tratam as interrupções.

Suas entradas, já descritas, são os "buffers" Entrada e Amostra. Suas saídas são Areacp, Areagr, Cad, Comtx (já descritas) e o "buffer" Sinal. Este último é o "buffer" circular com 36 elementos de dois "bytes" cada um (um de controle, outro de dados) que conduz informações para o Processo Sinalizador. Estas informações serão impressas ou apenas mostradas no display da PPCD/ERI.

Este processo foi especificado em duas partes.

Na primeira, são tratados os dados gerados pelos canais seriais de entrada. Se o computador de processamento estiver acoplado ao sistema, esta primeira parte tratará do protocolo de linha, iniciando e alterando as variáveis que controlam a aquisição dos dados. Caso contrário, os comandos gerados pelo teclado serão reconhecidos e tratados. Do mesmo modo, a rotina de tratamento dos comandos gerados pelo teclado inicia e altera variáveis que controlam a aquisição dos dados. No Apêndice C, Seção C.3.23 são descritos os comandos apoiados por esta versão do sistema MT/INPE. Para especificar as duas rotinas que constituem esta primeira parte do programa principal do processo, propõe-se utilizar a técnica de tabela de estado. Esta metodologia apresenta a vantagem de gerar códigos de fácil manutenção, clareza e melhor detecção de erros (Day, 1970; D'Angelo, 1983).

Na segunda parte são lidas e tratadas as amostras geradas pelo Processo "Timer". Para cada situação (com computador ou isolada) rotinas específicas executam o armazenamento temporário de dados,

compactação, preparação para transmissão, etc. Como dito anteriormente, estas rotinas são controladas (através de variáveis globais deste processo) pelas rotinas da primeira parte do programa.

A especificação preliminar, em pseudocódigo, deste processo é apresentada a seguir:

PROCESSO ARMAZENADOR

```
Inicie as variáveis utilizadas neste processo;
Verifique se o computador de processamento está
conectado ao sistema;
Se o computador estiver conectado
    FAÇA inicie aquisição da primeira faixa;

ENQUANTO não se comandar fim de operação
    FAÇA INÍCIO
        Carregue a Tabela Descritora do processo
        com o tempo máximo de espera pelos dados
        enviados pelos processos "Timer" ou Re
        ceptor;
        Espere pelos dados;
        SE a espera terminou por excesso de tempo
            ENTÃO CHAME a rotina de tratamento do
            protocolo do computador;
        SENÃO ENQUANTO houver dados no "buffer"
            Entrada (primeira parte do programa)
            FAÇA INÍCIO
                Leia um elemento do "buffer";
                SE o computador estiver conectado
                    ENTÃO INÍCIO
                        (início da rotina de tratamento
                        do computador)
                        Classifique o dado lido como
                        uma das entradas permitidas
                        originadas no computador;
                        A partir desta informação e do
                        estado atual da rotina de tra
                        tamento, consulte a tabela de
                        estado e obtenha o novo esta
                        do da rotina e a tarefa é exē
                        cutar;
                        Execute a rotina
                    FIM
                SENÃO INÍCIO (operação isolada)
                    Leia os dados do teclado e
                    transfira-os para o display
                    até que a tecla "F1" seja pre
                    cionada; (Seção 6.3.5).
```

```
Classifique o dado resultante
como um dos comandos permiti-
dos do teclado;
A partir desta informação e
do estado atual da rotina de
tratamento, consulte a tabela
de estado e obtenha o novo es-
tado e a rotina a executar;
Execute a rotina
FIM
FIM; (da primeira parte do programa)

ENQUANTO houver amostras originadas pelo
Processo "Timer" OU houver comando para
enviar dados para o computador
FAÇA SE o computador estiver conectado
ENTÃO (processa dados do compu-
tador)
SE o número de amostras já ar-
macenada é menor ou igual
a 256
ENTÃO INÍCIO
    Leia um bloco de dados
    do "buffer" Amostra;
    Armazene os dados em ve-
    tores auxiliares;
    Incrmente os ponteiros
    dos vetores auxiliares
FIM
SENÃO INÍCIO
    Pare de adquirir amostras
    desta faixa;
    SE houver comando para
    transmitir dados
    FAÇA INÍCIO
        Transmita dados;
        Informe à rotina de
        tratamento de proto-
        colo que dados já
        foram transmitidos;
    FIM
FIM
FIM
SENÃO INÍCIO
(tratamento de dados para gravadores)
    Leia um bloco de dados do "buffer"
    Amostra;
    SE número de amostras já adqui-
    ridas desta faixa for infe-
    rior ao limite de dados
    ENTÃO INÍCIO
        Execute armazenamento de
        dados com compressão;
```

```
SE um bloco estiver
  completo
  FAÇA grave o bloco;
  Transmita informações
  de status à impressora
  quando necessário;
FIM
SENÃO INÍCIO
  Pare de adquirir dados
  desta faixa;
  SE o bloco de dados
    estiver incompleto
    FAÇA complete bloco
    e grave;
  Transmita informações
  de fim de aquisição;
FIM;
FIM (do tratamento de amostras
para gravação
FIM;

(início do trecho que é executado depois
do comando de término de operação via te-
clado)

PARA todas as faixas
  FAÇA SE os blocos de dados da faixa es-
  tiver incompleto
  FAÇA complete bloco e grave;
FIM.
```

Na Figura 6.5 é mostrado um esquema gráfico deste proces-
so, com seus principais módulos.

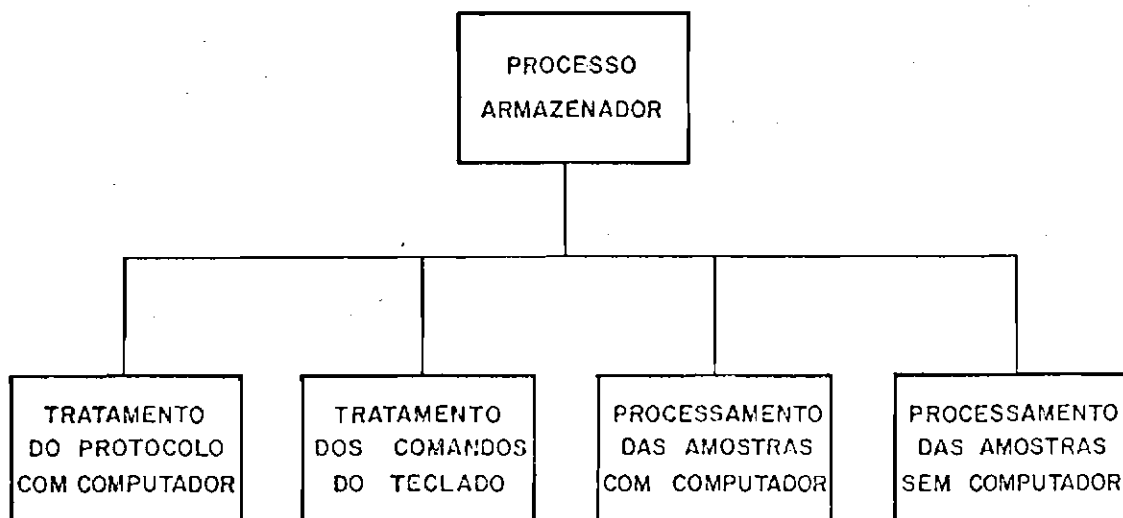


Fig. 6.5 - Esquema gráfico do processo armazenador.

2) Processo Sinalizador

Este processo trata as informações que serão enviadas ao display ou à impressora (Seção 6.3.6).

Tem como entrada o "buffer" Sinal, já descrito, que contém o dado a ser tratado e uma palavra de comando que especifica o dispositivo de sinalização que será utilizado.

É sincronizado ao Processo Armazenador pelo semáforo Hasinal. A seguir é apresentado o pseudocódigo deste processo.

```
PROCESSO SINALIZADOR;  
ENQUANTO verdade  
  FAÇA INÍCIO  
    Espere por dados fornecidos pelo Processo  
    Armazenador;  
    Leia um elemento do "buffer" Sinal;  
    SE o dado é para ser mostrado no display  
      ENTÃO transfira o dado para o barramen  
        to externo de dados;  
    SENÃO INÍCIO  
      SE é o primeiro dado a ser impresso  
        FAÇA espere a impressora ficar  
          livre;  
      Transfira o dado para a interface  
      da impressora;  
      SE o dado é o comando para imprimir  
        uma linha  
        FAÇA libere a impressora;  
  FIM  
FIM  
FIM.
```

3) Processo Relógio

Este processo atualiza o display de hora relativa da PPCD/ERI, incrementando o contador de segundos. O pseudocódigo é mostrado a seguir:

PROCESSO RELÓGIO

```
Limpe o display de hora relativa;  
ENQUANTO verdade  
  FAÇA INÍCIO  
    Espere um segundo;  
    Incremente o display de hora relativa;  
  FIM
```

FIM.

6.3.5 - LISTA DE ENTRADAS DA PPCD/ERI

1) Teclado

O teclado pertence ao "hardware" desenvolvido para a implementação MT/INPE e se comunica com o "hardware" básico através de uma de suas linhas seriais. Por essa razão, o Processo Receptor é o responsável pelo recebimento de suas informações.

O teclado possui 20 teclas: de 0 a F e mais quatro teclas de funções (F1 a F4). A tecla F1 será utilizada para sinalizar ao sistema que os últimos dois dados inseridos devem ser analisados (ela funciona como uma espécie de tecla "ENTER" dos teclados tradicionais). Enquanto esta tecla não é pressionada, as teclas apertadas são "rodadas" no display; a última informação ocupa o display da direita. Cada display representa quatro bits do "byte" de informação, que será analisado pela rotina de tratamento do teclado. Ver as Seções C.3.22 e C.3.23, Apêndice C, onde as rotinas que tratam do teclado são especificadas. As teclas F2 a F4 não são utilizadas nesta versão do sistema MT/INPE.

2) Computador de Processamento

Esta entrada é utilizada na presença de um computador de processamento. Esta comunicação é feita através de uma linha serial e por isso, o Processo Receptor é o responsável pelo recebimento de suas informações. As entradas permitidas para este canal de recebimento de dados são:

- a) Início - caractere de controle que inicia as transmissões (um caractere de controle ASCII a ser definido).
- b) Mande-dados - caractere de controle que requer um bloco de dados da plataforma (um caractere ASCII a ser definido).
- c) Aceito - caractere de controle que informa a plataforma de que o computador recebeu corretamente os dados (um caractere ASCII a ser definido).
- d) Dígitos de um a três - indicam qual faixa terá seus dados armazenados (a quarta faixa não é permitida).

No Apêndice C, Seção C.3.12, é especificada a rotina que analisa os comandos enviados pelo computador.

3) Entradas Analógicas

Em número de oito, apenas cinco entradas são utilizadas na implementação do MT/INPE. Cada uma delas corresponde a um dos cinco sinais medidos no método magnetotelúrico (Hx, Hy, Ex, Ey e Hz).

O subsistema receptor destas entradas é o Processo "Timer", que trata o conversor A/D e as interrupções geradas pela base de tempo de aquisição.

O limite de variações destas entradas é de mais ou menos cinco volts.

6.3.6 - LISTA DAS SAÍDAS DA PPCD/ERI

1) Gravadores

Nesta saída são registrados os dados recolhidos pela plataforma durante a execução das rotinas de aquisição de dados. No caso

da operação no modo isolado, os blocos de dados possuirão informações de uma ou várias faixas de frequência. No segundo modo, com o computador acoplado, as mesmas informações transmitidas ao computador serão também gravadas, servindo então esta saída de garantia da integridade das informações transmitidas.

A unidade de gravadores da PPCD/ERI pode comportar até 8 gravadores, mas na implementação MT/INPE apenas três serão usados. O subsistema encarregado de tratar desta saída é o Processo Transmissor.

Os blocos de dados possuirão 256 "bytes" e a cada um será adicionado um preâmbulo padrão do DCA. O processo de formação destes blocos de dados, no caso de operação isolada, é descrito no Apêndice B.

2) Computador de Processamento

Através deste canal de saída são transmitidos os dados adquiridos pela plataforma para o computador de processamento. Estes dados são constituídos por 256 amostras de cada sinal de uma determinada faixa especificada pelo protocolo entre a plataforma e o computador.

Esta saída utiliza uma das linhas seriais de saída da PPCD/ERI; por essa razão o subsistema que a trata é o Processo Transmissor.

Os dados são transmitidos em ASCII, que é a codificação normalmente utilizada para comunicação entre computador e periféricos.

3) Display

Esta saída é utilizada como "eco" do teclado da PPCD/ERI (quando esta opera no modo isolado) e para sinalizar a qual faixa pertence a aquisição em andamento (no caso de operação com computador).

O display faz parte do "hardware" desenvolvido para a implementação do sistema MT/INPE. Composto de dois dígitos é tratado pelo Processo Sinalizador e admite apenas caracteres hexadecimais, ou seja, de 0 a F (00 a FF).

4) Display de Hora Relativa

Esta saída é tratada pelo Processo Relógio e marca a hora relativa de acionamento da plataforma. Este relógio não contabiliza a mudança de dias, ou seja, o mostrador é incrementado sem solução de continuidade de zero hora a 99 horas, 59 minutos e 59 segundos.

5) Impressora

Esta saída registra de forma permanente informações de erro, contabilização de ações efetuadas pela plataforma, fim de fita e fim de aquisição.

O formato de impressão para cada uma dessas informações é mostrado na Figura 6.6.

4 4 . #
10 10 . #
(a)

D 1 20
D 1 456
(b)

D 2 40960
(c)

D 1 120
(d)

- a) Erro.
- b) Contabilização normal.
- c) Fim de aquisição
- d) Fim de fita.

Fig. 6.6 - Formatos de impressão.

6.3.7 - FLUXO DO SISTEMA

Ao ligar a plataforma o Monitor Iniciador é executado. Como já foi dito, sua função é iniciar as estruturas de dados e o "hardware" para uma situação bem definida, que é o estado inicial de operação dos processos. Este estado inicial é descrito a seguir:

- 1) "buffers" de comunicação vazios;
- 2) áreas de controle dos processos Transmissor e "Timer" inicia dos de tal modo que estes processos estão inativos;

- 3) registros de status das interrupções limpos (isto é, sem indicação de interrupção);
- 4) circuitos programáveis da plataforma prontos para operação;
- 5) área de dados utilizada pelo NOC para controle dos semáforos iniciada com os valores iniciais de cada um (ver no Apêndice C onde são definidos cada um dos semáforos);
- 6) Tabela Descritora dos processos iniciais copiada da EPROM para a área da RAM, que será manipulada pelo NOC;
- 7) interrupções habilitadas em todos os níveis.

A Tabela Descritora dos processos é uma estrutura de dados utilizada pelo NOC e contém todas as informações pertinentes a cada processo. A definição de seus parâmetros para cada processo estabelece o estado inicial de operação da plataforma. Esta tabela inicial é mostrada na Tabela 6.2, na qual são utilizadas duas siglas:

- 1) DMM - Definido no Momento da Montagem - são os endereços das rotinas e das pilhas, que serão definidos apenas no momento da implementação do "software" da PPCD/ERI.
- 2) FF - utilizada quando o conteúdo da tabela é indiferente para a iniciação do processo, pois este recurso não é utilizado ou não-definido.

TABELA 6.2

TABELA DESCRITORA INICIAL DOS PROCESSOS

CAMPOS DA TABELA	PROCESSOS					
	"TIMER"	RECEPTOR	TRANSMISSOR	RELÓGIO	ARMAZENADOR	SINALIZADOR
Identificação	"TIMER"	RECEPTOR	TRANSMISSOR	RELÓGIO	ARMAZENADOR	SINALIZADOR
Endereço do ponto de entrada do processo.	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM
Prioridade.	6	5	4	3	2	1
Hora da execução.	FF	FF	FF	FF	FF	FF
Tempo de espera por evento (CT).	FF	FF	FF	FF	FF	FF
Endereço da pilha do processo.	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM
Palavra de status.	00	00	00	00	00	00
Estado do processo.	DESATIVADO	ATIVO	DESATIVADO	ATIVO	ATIVO	ATIVO
Ponteiro para próximo processo que esteja esperando recurso.	FF	FF	FF	FF	FF	FF
Número do semáforo em cuja fila se entra o processo.	FF	FF	FF	FF	FF	FF
Endereço da pilha do contexto.	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM	DMM

Por esta tabela pode-se ver que:

- 1) os processos Receptor, Armazenador, Sinalizador e Relógio são iniciados ativos;
- 2) os processos Timer e Transmissor são iniciados desativados;
- 3) os processos têm a seguinte escala de prioridade (começando pelo mais prioritário); "Timer", Receptor, Transmissor, Relógio, Armazenador e Sinalizador;
- 4) nenhum dos processos é iniciado nas filas de espera por um evento;
- 5) nenhum processo tem hora de execução preestabelecida.

A escolha das prioridades para os processos "Timer", Receptor e Transmissor reflete as prioridades intrínsecas dos respectivos monitores e é definida por "hardware". Já o processo Relógio tem prioridade maior que o Armazenador, pois deve ser necessariamente executado em cada interrupção de base de tempo da PPCD/ERI, que é de 1 s. Finalmente o processo Sinalizador tem a mais baixa prioridade, pois sua função é secundária.

Uma vez em operação, o Processo Armazenador centraliza todas as rotinas de decisão e tratamento de dados do sistema. Todas as informações fluem por este processo, ou são por ele geradas.

Ao ser iniciado, o sistema espera comandos iniciados pelo teclado ou pela linha de comunicação com o computador. Estas informações são lidas pelo Processo Receptor que as transfere ao Armazenador. Neste último, o comando é interpretado e resulta no acionamento de diversas rotinas que iniciam ou terminam a aquisição de dados.

Uma vez iniciada a aquisição, as amostras são obtidas pelo Processo "Timer" que as repassa ao Armazenador, onde são processadas.

Dependendo do modo de operação, isolado ou com um computador acoplado, os blocos de amostras processados pelo Armazenador são gravados ou transmitidos, respectivamente, pelo Processo Transmissor.

Informações de status de operação e mensagens de erro são enviadas pelo Processo Armazenador para o Processo Sinalizador, que controla os dispositivos de sinalização (display e impressora) da plataforma.

O processo Relógio é executado apenas uma vez em cada segundo, pois sua única função é incrementar o mostrador de hora relativa. Seu funcionamento independe dos demais processos da plataforma, não havendo vinculação de dados ou de estruturas de sincronização entre este processo e os demais.

CAPÍTULO 7

O COMPUTADOR DE PROCESSAMENTO DE DADOS

No esquema sugerido o computador se comunicará com a plataforma PPCD/ERI, através de leituras e escritas, como se esta fosse um terminal. Desse modo, tanto o computador como o seu programa poderão ser alterados, desde que respeitado um protocolo mínimo de comunicação, sem que isto afete o funcionamento da plataforma. Outra vantagem é a possibilidade de ser possível o uso, neste esquema, tanto de um computador pessoal quanto um de grande porte, o que permite ajustar o sistema tanto a restrições econômicas quanto a técnicas.

Uma arquitetura mínima utilizável para a análise do tipo MT que se sugere seria constituída por uma UCP com 64K "bytes" de RAM, dois acionadores de disco flexível, um terminal de vídeo, uma impressora e um canal de entrada e saída serial. Estas características estão presentes na maioria dos microcomputadores nacionais, com CP/M, disponíveis no mercado.

Um programa de análise de dados magnetotelúricos é constituído basicamente por rotinas de análise digital de sinais, como filtragem, FFT, cálculo de potências, coerência, etc. A estrutura geral do programa que se propõe é mostrada na Figura 7.1. A troca de informações entre o computador e a plataforma ocorrerá apenas uma vez em cada processamento, o que facilita a programação do microcomputador.

Graças a este esquema, é possível que o computador de processamento tenha de esperar por um tempo indeterminado um bloco de dados (caso a plataforma não tenha pronto um bloco a ser transmitido). Para minimizar este problema, ao requisitar dados o computador já enviará o pedido de um próximo bloco, de modo que haja um paralelo entre a execução do programa de análise no computador e a aquisição dos dados na plataforma.

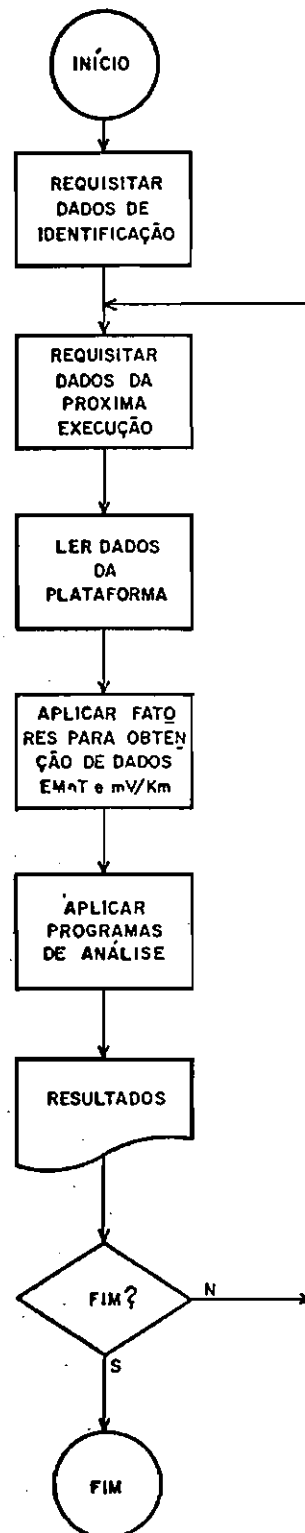


Fig. 7.1 - Esquema geral do programa de análise do computador de processamento.

O programa de interpretação dos dados deve ainda ler da dos equivalentes a ganho de amplificadores, distância entre eletrodos, etc., de modo a poder aplicar correções nos dados recebidos. Do lado da plataforma, o processo transmissor envia os dados em forma compati vel com a leitura do microcomputador na taxa mais alta possível.

7.1 - O PROTOCOLO

O protocolo para comunicação entre a plataforma e o com putador deverá ser o mais simples possível (para não complicar a pro gramação dos subsistemas) e deve levar em conta que, fisicamente, os equipamentos estarão próximos (portanto, com baixa probabilidade de er ro nas transmissões). Assim, propõe-se que o protocolo não tenha gran de proteção a erros, adotando-se apenas um esquema de "check-sum", co mo se verá adiante. Outra consideração importante na definição do pro tocolo é que se admite que o computador de processamento não possuirá capacidade de temporização. Esta consideração permite uma flexibilida de maior na especificação do computador de processamento.

Os comandos que a PPCD/ERI reconhecerá, enviados pelo computador de processamento, serão:

- a) envie dados já coletados e armazene dados da faixa definida pe lo próximo "byte";
- b) confirmado o recebimento dos dados, inicie armazenamento de no va faixa.

Os comandos e os caracteres de controle terão apenas um "byte". Os blocos de dados terão número de "bytes" variável (depende da faixa analisada).

Graficamente, o protocolo poderia ser resumido pelo es quema da Figura 7.2.

COMPUTADOR DE
PROCESSAMENTO

PPCD/ERI

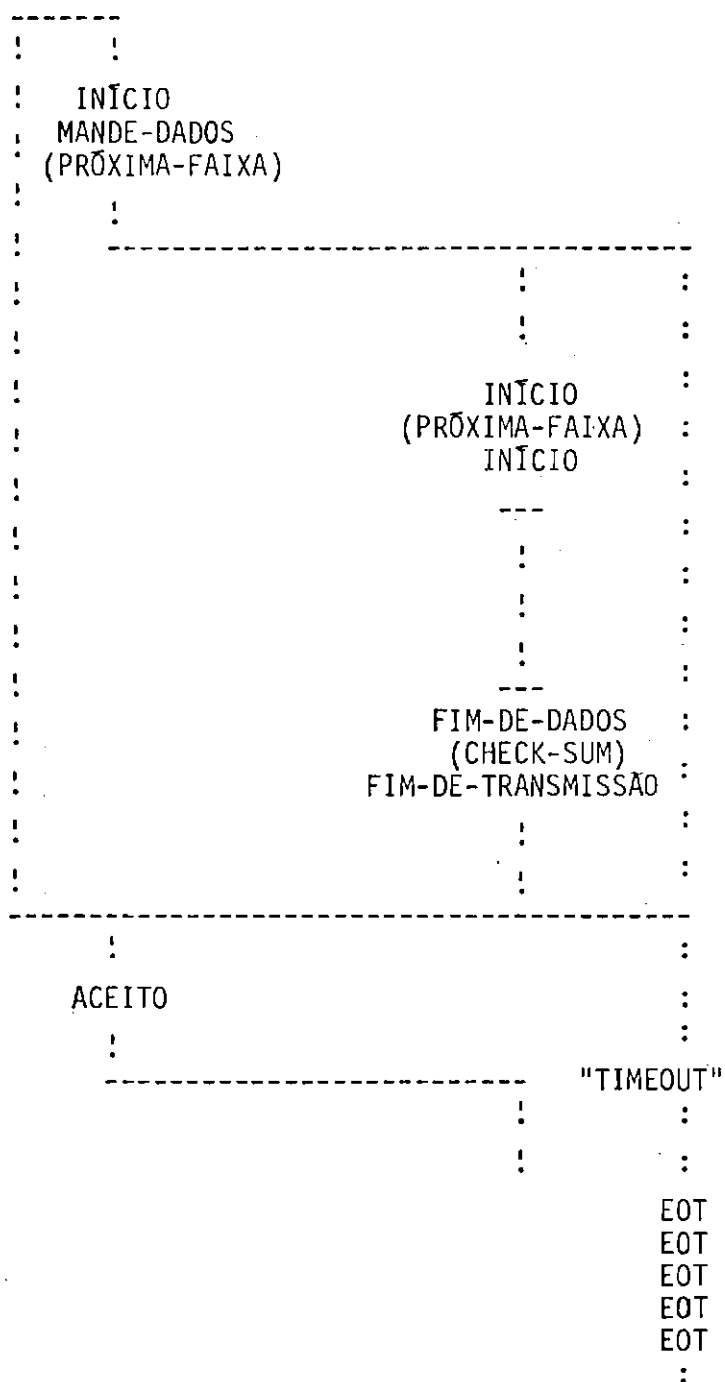


Fig. 7.2 - Esquema do protocolo de comunicação entre a PPCD/ERI e o computador.

Antes de comentar o esquema da página anterior, é importante estabelecer qual o estado de cada sistema envolvido por ocasião do início da troca de informação.

A plataforma PPCD/ERI pode ser colocada, através de uma chave em seu painel, em dois modos de funcionamento: isolado e em conjunto ao computador de processamento. Caso seja comandada a operar no segundo modo, a plataforma iniciará (ao ser ligada) a aquisição da primeira faixa de frequência, armazenando os dados em sua memória. Ao mesmo tempo, passará a esperar um comando de envio de dados pela linha serial que a liga ao computador de processamento. Esta espera possuirá um tempo máximo de espera. Caso a plataforma não receba os comandos iniciais antes de se esgotar este tempo, a plataforma transmitirá uma série de caracteres EOT que indicarão que houve falha de protocolo. Caso receba os comandos de envio de dados antes do tempo limite e quando já tiver completado um bloco de dados, a plataforma enviará os dados imediatamente. Caso contrário, envia-los-á assim que tiver completado o bloco. Assim, ao iniciar a aquisição, os dados da primeira faixa serão sempre enviados em primeiro lugar ao computador de processamento.

O computador, ao iniciar a execução do programa de análise, requisitará do operador dados sobre a missão, tais como data, distância entre eletrodos, local, etc., tanto para documentação como para gerar as constantes de correção necessárias à análise dos dados. Após isso, o computador passará à fase de requisição de dados da plataforma, iniciando a troca de informações.

Os comandos INÍCIO, MANDE-DADOS, FIM-DE-DADOS, FIM-DE-TRANSMISSÃO e ACEITO serão constituídos por caracteres de controle ASCII escolhidos convenientemente. O comando EOT é o caractere ASCII 04, de modo que a linguagem de alto nível utilizada no computador de processamento o reconhecerá como fim de bloco de dados, condição que pode ser detetada como anormal em comandos de leitura de dados (Microsoft, 1978).

O protocolo funcionará do seguinte modo. O computador de processamento iniciará a troca de informações enviando um bloco de comandos que comandará: o envio de dados armazenados pela PPCD/ERI (comando MANDE-DADOS) e a próxima faixa a ser armazenada através do "byte" (PRÓXIMA-FAIXA) que pode assumir os valores de 1 a 3. Após este envio, o computador de processamento esperará por tempo indeterminado os dados enviados pela PPCD/ERI (pois, como suposto anteriormente, considera-se que o computador não possui capacidade de temporização).

Como dito anteriormente, nesta fase do protocolo a plataforma pode responder de duas maneiras: ou transmitirá uma série de caracteres EOT (ocorreu excesso de tempo na espera pelos comandos) ou a plataforma responderá repetindo o valor (PRÓXIMA-FAIXA) recém recebido e com os dados de faixa já armazenada. Ao fim do bloco de dados, a plataforma enviará um "byte" que contém um "check-sum" dos dados transmitidos. A plataforma, depois disso, entrará novamente numa condição de espera dos comandos ACEITO ou MANDE-DADOS por um tempo determinado. Caso a plataforma receba estes comandos em um tempo menor que o estabelecido como limite, ela iniciará a aquisição de dados da faixa definida por PRÓXIMA-FAIXA (no caso do recebimento do comando ACEITO) ou retransmitirá os dados já enviados (no caso do comando MANDE-DADOS). No caso de a espera exceder o tempo preestabelecido, a PPCD/ERI emitirá uma série de dez comandos EOT para que o computador de processamento possa detetar o erro e ações devidas sejam tomadas. A decisão de retransmitir os dados será tomada pelo computador de processamento caso o "byte" PRÓXIMA-FAIXA não corresponda ao enviado junto ao comando MANDE-DADOS, ou caso o "check-sum" enviado pela PPCD/ERI não seja igual ao gerado por ele por ocasião do recebimento dos dados.

O número de retransmissões pode ser definido antecipadamente no programa de análise, ou pode-se adotar o critério de permitir ao operador definir esse parâmetro.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

Pretendeu-se com este trabalho obter um sistema MT:

- a) cuja construção seja possível com os recursos disponíveis no País;
- b) que tenha uma arquitetura modular, e por isso, possível de implementar por partes;
- c) que atenda a exigências mínimas de desempenho, com materiais nacionais.

O trabalho foi desenvolvido da seguinte maneira:

- a) Foi proposta uma arquitetura de um sistema para aquisição e processamento de dados magnetotélúricos.
- b) Dois magnetômetros do tipo indução foram montados e suas características medidas e apresentadas em gráficos e tabelas.
- c) Circuitos para o condicionamento analógico dos sinais provenientes dos sensores foram montados. Tais circuitos, denominados aqui genericamente interface analógica, tiveram suas características medidas e apresentadas em gráficos e tabelas.
- d) Foi especificado o "software" aplicativo da PPCD/ERI que, utilizado junto ao "software" básico desenvolvido pelo DCA, comandará suas operações.
- e) Foi definido o protocolo de comunicação entre a PPCD/ERI e o computador de processamento para o caso de análise de dados em tempo "quase" real.

É necessário tecer alguns comentários sobre estes trabalhos desenvolvidos.

Os dois protótipos de magnetômetro do tipo indução montados apresentaram, comparados com a literatura (Clerc and Jacot, 1974), bons resultados para as frequências de 10 e 100 s. O resultado obtido para 1s, porém, não foi bom e alterações na sonda magnética serão necessárias para melhorar a relação sinal-ruído para esta faixa de frequência, que é a que possui o menor sinal a medir. Clerc (1971) apresenta um método de otimização no qual são definidos todos os parâmetros do sensor; este método será utilizado para a redefinição de alguns parâmetros de forma a melhorar o desempenho do magnetômetro.

Outro caminho para melhorar o desempenho do sensor seria construir um pré-amplificador com componentes discretos (com componentes de ruído ultra-baixo), de forma a diminuir o ruído deste. De qualquer forma, os protótipos desenvolvidos apresentaram, já na situação atual, um desempenho satisfatório e utilizável para medidas.

Os eletrodos não polarizados não apresentaram dificuldades para sua construção e os resultados medidos conferem com os obtidos por Petiau e Dupis (1980). Assim, o sistema MT/INPE utilizará este tipo de eletrodo.

Os circuitos montados para implementar a interface analógica alcançarão o objetivo de ter ruído abaixo de 1,2mV, desde que o ganho utilizado seja menor ou igual a 200 (100 para a quarta faixa). O ganho 500 para a interface analógica só pode ser utilizado para verificação do nível de ruído das placas. Resultados melhores seriam obtidos, utilizando amplificadores operacionais de menor ruído, resistores de vidro (especialmente para a quarta faixa) e capacitores de polícarbonato (materiais que infelizmente não são disponíveis no mercado nacional).

Quanto à plataforma de aquisição de dados, a utilização da técnica de tabela de estado resultou em programas concisos e de fácil

cil manutenção. O "software" aplicativo utilizou, como proposto, várias técnicas de programação estruturada, objetivando obter um código modular e estruturado. Algumas rotinas, porém, poderiam ser consideravelmente simplificadas caso a plataforma dispusesse de maior quantidade de memórias RAMs. Neste caso também poder-se-ia abandonar a necessidade de estabelecer dois modos distintos de operação, podendo a plataforma operar como periférico a um computador ao mesmo tempo que adquirida amostras das faixas mais lentas (armazenando os dados em fita cassete). Outra alternativa possível é adquirir todas as faixas simultaneamente para o computador de processamento, e não apenas uma de cada vez, como nesta versão. O computador poderia então, em cada requisição de dados, solicitar qualquer uma das faixas.

Embora não tenha sido implementado, tendo portanto os tempos de execução de cada processo não avaliados, algumas considerações sobre o máximo fluxo de dados dentro da plataforma podem ser feitas. Estas considerações não se baseiam em um estudo específico do fluxo de dados na plataforma, mas sim em estimativas gerais da sua operação.

Para o caso de a plataforma operar com o computador, os fatores limitantes da máxima taxa de aquisição serão os tempos de execução do Processo Armazenador e do Núcleo Operacional para Computadores (NOC), já que o tempo de conversão para cada amostra é de aproximadamente $20\mu s$, e um conjunto de cinco amostras levará aproximadamente $100\mu s$ para ser adquirido. Este tempo representa uma ordem de 10 instruções da PPCD/ERI. Desse modo o Processo "Timer" é executado sem o controle do processador passar para o NOC durante as conversões. Quando no modo conectado, até que o bloco de dados seja montado, praticamente apenas os processos Armazenador, "Timer" e o NOC estarão sendo executados pela plataforma (pois não há transmissão simultânea para o computador, nem sinalização pela impressora, a menos da ocorrência de erros). Nessa situação, em que praticamente os processos "Timer" e Armazenador são executados sequencialmente (com as interferências do NOC), o tempo de execução do Armazenador é que limitará a máxima taxa de aquisição

possível, pois não há possibilidade de dimensionar o "buffer" Entrada com muitos elementos devido à pequena quantidade de memórias RAMs.

Para o caso da operação isolada, o fator limitante é a velocidade de gravação de dados nas fitas de áudio, que é de 1200 bits por segundo. Devido a isto a taxa mínima no modo isolado foi estimada em 15Hz. Para este caso a plataforma adquire 720 bits por segundo (4 sinais x 12 bits por amostra x 15 amostras por segundo) do conversor A/D. Contando com as amostras não compactadas (gravadas com 16 bits) com os cabeçalhos de controle padrão do DCA que são gravadas nas fitas antes de cada bloco de dados, com os tempos de "gap", etc., esta é a máxima taxa possível de obter com a plataforma no caso de operação isolada. Por esta razão ainda é necessário que a aquisição dos dados da primeira faixa se faça separadamente das outras.

Em função dos níveis de ruído da interface analógica e do ruído dos magnetômetros, a resolução do sistema MT/INPE é dada na Tabela 8.1, onde se considerou que os eletrodos de campo elétrico são utilizados com a separação de 100m.

Espera-se, enfim, obter com este trabalho um equipamento que seja uma ferramenta útil para a pesquisa desenvolvida na Divisão de Geomagnetismo e Geofísica Nuclear deste Instituto.

TABELA 8.1

VALORES MÍNIMOS OBSERVÁVEIS COM O SISTEMA MT/INPE

SINAL	VALORES MÍNIMOS
CAMPO MAGNÉTICO	
magnetômetro de indução	$2,03 \times 10^{-3} \text{nT}$
magnetômetro "fluxgate"	0,4nT
CAMPO ELÉTRICO	
1ª a 3ª faixa	60uV/km
4ª faixa	120uV/km

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANANDA MOHAN, P.V. Circuito "T" em ponte seleciona a frequência de rejeição e a largura de banda em filtros. *Nova Eletrônica*, (44):81, out. 1980.
- CAGNIARD, L. Principe de la méthode magnétotellurique. *Annales de Geophysique*, 9(2):95-125, Apr.-June 1953.
- CLARKE, J.; GOLDSTEIN, N.E. Magnetotelluric Measurements. In: WEINSTOCK, H.; OVERTON Jr., W.C. *Squid Applications to Geophysics*; Proceedings of the Workshop held in Los Alamos, NM, 2-4 June 1980. Tulsa, OK, Society of Exploration Geophysicists, 1981, p. 49-59.
- CLERC, G. *Contribution a l'optimization de capteurs a induction destines a la mesure des variations du champ magnetique terrestre (10^{-3} a 10.000Hz)*. These de Docteurs-Ingenieur (Physique). Paris, Faculté des Sciences de Paris, 1971.
- CLERC, G.; GILBERT, D. La contre-réaction de flux appliquée aux bobines à noyau magnétique utilisées pour l'enregistrement des variations rapides du champ magnétique. *Annales de Géophysique*, 20(4):499-502, Oct. Dec. 1964.
- CLERC, G.; JACOT, G. *Comparison des bruits de fond des magnetometres inductifs*. Garchy, France, Centre Nacional de la Recherche Scientifique, Feb. 1974. (R.C.P. n. 309).
- D'ANGELO, P. State-table driven code simplifies software development. *EDN*, 28(12):189-196, Sept. 1983.
- DAWES, G.J. An automatic wide-band magnetotelluric data acquisition system. *IAGA Bulletin*, (45):137, 1981. 4th IAGA Scientific Assembly, Edinburgh, Aug. 3-15 1981. Resumo.
- DAY, A.C. The use of symbol-state tables. *The Computer Journal*, 13(4):332-339, Nov. 1970.
- DEMICHELI, J.A. *Expresiones para la transferencia en magnetometros de induccion*. San Miguel, Argentina, 1978. (Nota Técnica C.N.I.E.).

- DEMICHELI, J.A. *Sensores para registro magnetotelurico, rango de micropulsaciones*. San Miguel, Argentina, s.d. (Nota Técnica C.N.I.E.).
- EDA INSTRUMENTS. *EDA FM-100C Three Component Fluxgate Magnetometer Operation Manual*. Toronto, Canadá, 1975.
- GEOMETRICS. *Geometrics Mod. 6-724M Preliminary Data Sheet*. Sunnyvale, USA, Oct. 1978.
- GEOTRONICS. *PROMT Data Sheet*. Austin, USA, 1982.
- HARRINGTON, J. A Simple Multiprocessor Implementation. *Byte*, 7(4): 464-471, Apr. 1982.
- JONES, A.G.; HUTTON, R. A multi-station magnetotelluric study in Souther Scotland. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 56(2):329-349, Feb. 1979.
- JOHNSON, B. Smart link interfaces computer and peripherals. *Electronics*, 55(16):120-124, Aug. 1982.
- KELLER, G.V.; FRISCHKNECHT, F.G. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. London, Permamon, 1966.
- KROGER, P. An automatic Recording Station for Magnetotelluric Measurements. *Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica, Hungarian Academy of Sciences*, 12(1-3):359-364, Jan. 1977.
- MEDFORD, L.V.; MACLENNAN, ROSENFELD, P.E.; LANZEROTTI, L.J.; ACUNA, M.H. Low-Power Portable Geophysical Data-Acquisition System and its use in Geomagnetic Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-19(3):122-128, July 1981.
- MICROSOFT. *Fortran-80 Reference Manual*. Bellevue, USA, 1978.
- MULLER, W.; LOSECKE, W.; KNODEL, K.; RODEMANN, H. *Bundesanstalt fur Geowissenschaften un Rohstoffe*. Hannover, Bundesministerium fur Forschung and Technologie, Oct. 1981.

- OLIVEIRA, J.L.; VELASCO, F.R.D. *Uma proposta para o desenvolvimento e documentação de sistemas de programação do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais*. São José dos Campos, INPE, fev. 1983. (INPE-2651-RPI/077).
- PAWLOSKI, M.B. Microcomputer in Distributed Control Environments. *Digital Design*, 12(10):40-43, Oct. 1982.
- PETIAU, G. *Etude spectrale du bruit et de diverses causes de perturbation affectante d'energissement du champ electrique tellurique de 0.01 a 100 Hz*. Garchy, France, Centre Nacional de la Recherche Scientifique, 1976. (CGR MIT 10).
- PETIAU, G.; DUPIS, A. Noise, Temperature Coefficient and Long Time Stability of Electrodes for Telluric Observation. *Geophysical Prospecting*, 28(5):792-804, Oct. 1980.
- PRATTI, C.S.C.; MARTINS, E.; MATTIELLO, M.F. *Núcleo portátil para computadores*. São José dos Campos, INPE, jun. 1983. (INPE-2877-PRE/403).
- PRENER, D. Large multimicroprocessors systems. *Microprocessors and Microsystems*, 3(6):271-276, July/Aug. 1979.
- SERSON, P.H. Instrumentation for induction studies on land. *Physics of Earth Planetary Interior*, 7(2):313-322, 1973.
- SERSON, P.H. *Digital recording and telemetry of magnetic observatory data*. Ottawa, Canadá, Aug. 1977. Comunicação pessoal a Nalin Trivedi, em set. 1981.
- SIX, M. *Optimization des sondes magnetiques a faible bruit dans la bande de 0.2 a 600s*. Garchy, France, Centre de Reserches Geophysiques, 1976.
- STANLEY, W.D.; FREDERICK, N.V. *Geological Survey real time MT system*, Denver, USA, Denver Federal Center, 1981. (U.S.G.S. Open-file report nº 79-R27).
- TAEYMANS, J.R.; De BRUYNE, P. The use of a Microcomputer as Front End Processos for Automatic Measurement. *Microprocessing and Microprogramming*, 9(4):231-235, Apr. 1982.

- TOWLE, J.N.; FITTERNAN, D.V.; LESCELIUS, R.H. A digital recording field system for geomagnetic-telluric array studies. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 17(2):175-180, Apr. 1979.
- TRIGG, D.F.; SERSON, P.H.; CAMFIELD, P.A. *A solid-state electrical recording magnetometer*. Ottawa, Canada, Earth Physics Branch, 1971.
- VOZOFF, K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, 37(1):98-141, Feb. 1972.
- VOZOFF, K. On state of the art of magnetotelluric methods. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLIED GEOPHYSICS IN TROPICAL REGION. Belém, 1982. *Proceedings*. Belém, SBGF, 1982, p. 237-275.

APÊNDICE A

DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES DE CAGNIARD

As equações de Maxwell para uma região livre de fontes são dadas por:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0, \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= 0.\end{aligned}\tag{A.1}$$

onde:

- $\vec{H}$ é a intensidade de campo magnético;
- $\vec{E}$ é a intensidade de campo elétrico;
- $\vec{J}$ é a densidade de corrente;
- $\vec{D}$ é o deslocamento elétrico;
- $\vec{B}$ é a densidade de fluxo magnético.

Incorporando as relações $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, $\vec{B} = \mu \vec{H}$, $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ (válidas para um meio isotrópico homogêneo), e uma vez que os campos $\vec{E}$ e $\vec{H}$ sejam funções periódicas do tempo, estas equações se tornam

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{H} &= (\sigma + i\omega\epsilon) \vec{E}, \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -i\omega\mu \vec{H},\end{aligned}\tag{A.2}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 ,$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 .$$

onde:

ϵ é a capacidade dielétrica do meio;

μ é a permeabilidade magnética do meio;

σ é a condutividade do meio.

Combinando as equações dos rotacionais e usando o anulamento das divergências, pode-se verificar que ambos os campos satisfazem a equação de Helmholtz:

$$\Delta \begin{bmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{bmatrix} - \gamma^2 \begin{bmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{bmatrix} = 0 \quad (A.3)$$

onde $\gamma^2 = -\omega^2 \mu \epsilon + i \omega \mu \sigma$.

Para uma onda que se propaga ao longo do eixo Z, a equação de Helmholtz tem a seguinte solução:

$$\begin{bmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{E}_0 \\ \vec{H}_0 \end{bmatrix} e^{-\gamma z} \quad (A.4)$$

Substituindo esta solução de volta nas equações de Maxwell observa-se, a partir do anulamento das divergências, que os campos se mantêm completamente no plano X-Y, perpendicular à direção de prospecção, isto é:

$$\vec{E} = (E_x, E_y, 0) \quad \text{e} \quad \vec{H} = (H_x, H_y, 0) .$$

A partir das equações rotacionais as componentes dos dois campos são relacionadas por

$$E_x = \frac{i \omega \mu}{\gamma} H_z \quad E_y = - \frac{i \omega \mu}{\gamma} H_x . \quad (A.5)$$

Estas expressões definem o modo transverso eletromagnético (transverse electromagnetic mode - TEM) de propagação de onda. Uma propriedade importante desta solução é que a razão entre as componentes perpendiculares dos dois campos,

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = - \frac{E_y}{H_x} = \frac{i \omega \mu}{\gamma} , \quad (A.6)$$

é uma constante, denominada impedância características do meio.

Considere-se, agora o caso de um semi-espaco condutor coberto por um dielétrico. Para uma onda eletromagnética que incide no dielétrico, parte dela vai se propagar no condutor. Desde que este seja uniforme, devido ao contraste em condutividades os campos no seu interior vão se propagar quase verticalmente, independente do ângulo de incidência do campo que vem chegando. Desta forma, dentro do condutor os campos vão se comportar identicamente ao modo TEM anteriormente descrito.

A razão dos campos no condutor vai satisfazer a Equação A.6. Esta equação pode ser simplificada, porque as correntes condutivas predominam sobre as correntes de deslocamento, devido ao intervalo de frequências comumente utilizado nas sondagens magnetotélúricas e aos valores de condutividade observados na prática. Com isto, $\sigma \gg \omega \epsilon$, e a Equação (A.6) torna-se:

$$Z = \sqrt{\frac{i \omega \mu}{\sigma}} \quad (A.7)$$

A resistividade do semi-espço $\bar{\epsilon}$ determinada, então, a partir de

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{i Z^2}{\omega \mu} = \frac{i}{\omega \mu} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2} . \quad (A.8)$$

Cagniard extrapolou estes resultados para a geofísica de exploração definindo uma resistividade aparente em termos da impedância da onda observada na superfície da Terra:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega \mu} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2} = \frac{1}{\omega \mu} |Z|^2 \quad (A.9)$$

com uma fase dada por

$$\phi_a = \text{Arg} (Z_{xy}) .$$

A resistividade aparente $\bar{\epsilon}$ uma função da frequência, visto que nas unidades normais utilizadas pelo método (mV/km e nT), considerando $f = \omega/(2 \cdot \pi)$, tem-se:

$$\rho_a = \frac{0,2}{f} |Z|^2 .$$

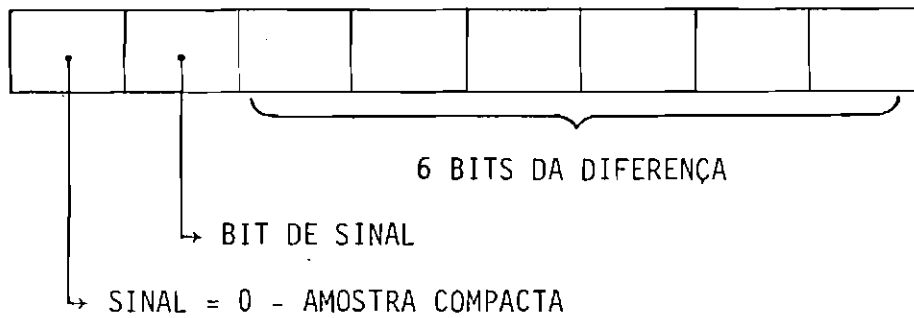
APÊNDICE B

MÉTODO DE COMPACTAÇÃO DE DADOS PROPOSTO PARA UTILIZAÇÃO NOS PPCD/ERI

Neste apêndice serão descritos os métodos de compressão e composição dos blocos de gravação da PPCD/ERI para a implementação MT/INPE para o caso em que esta estiver operando isoladamente e, neste caso, apenas registrando os dados nos gravadores.

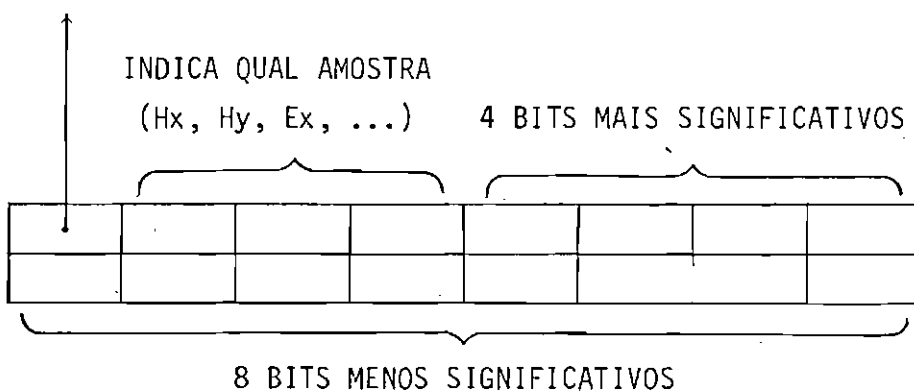
Cada bloco de dados terá um cabeçalho padrão do DCA e 265 "bytes" de dados. Esses dados serão organizados segundo as seguintes regras:

- 1) O primeiro "byte" recebe a informação da faixa a qual pertencem os dados do bloco.
- 2) Os dois "bytes" seguintes recebem a informação de hora e minuto relativos da plataforma referentes ao primeiro conjunto de dados que serão colocados no bloco.
- 3) Os dois "bytes" seguintes recebem a informação do número total de dados adquiridos da faixa até o momento o "byte" mais significativo em primeiro lugar.
- 4) O sexto "byte" recebe o número de blocos já gravados até o momento.
- 5) Após o conjunto de dados de controle uma amostra de cada sinal (Hx, Hy, Ex, Ey, Hz) é armazenada sem compactação, isto é, com todos os 12 bits.
- 6) As amostras subsequentes são armazenadas da seguinte forma: se $|amostra(i) - amostra(i-1)| < 2^6$, ou seja, a diferença absoluta entre a amostra atual e a anterior for menor que 64, então amostra (i) será gravada da seguinte maneira



Caso a diferença seja maior que 64, a amostra será armazenada com todos os 12 bits na seguinte forma:

SINAL = 1 - AMOSTRA COMPLETA



- 7) Quando o sinal for 1 (indicando amostra completa) no primeiro "byte" os três bits após o sinal indicarão qual o sinal a que se refere a amostra. Os quatro últimos bits contêm os bits mais significativos da amostra.
- 8) As últimas cinco amostras de um bloco de dados são gravadas completas. Assim as primeiras e as últimas amostras de um bloco não são compactadas.

APÊNDICE C

ESPECIFICAÇÃO COMPLETA DO "SOFTWARE" DA PPCD/ERI

Este apêndice apresenta a especificação completa dos processos que serão utilizados na PPCD/ERI na implementação MT/INPE.

Para cada rotina será apresentado o pseudocódigo detalhado e uma relação das estruturas de dados utilizadas localmente, com referências também às estruturas globais. Quanto às rotinas dos processos e monitores que fazem parte do "software" básico da PPCD/ERI, serão descritas as estruturas de dados que fazem interface com os processos aplicativos.

C.1 - ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema é constituído por seis processos concorrentes, que são executados sob controle do Núcleo Operacional para Computadores (NOC). Fazem parte do sistema, ainda, quatro monitores. Três deles são ativados pelas interrupções e têm a função de ativar os processos que tratam as interrupções.

A representação gráfica do sistema todo é apresentada novamente na Figura C.1. Os processos aplicativos são representados graficamente com suas sub-rotinas na Figura C.2.

Todos os processos são escalonados pelo NOC, de acordo com a seguinte escala decrescente de prioridade: "Timer", Receptor, Transmissor, Relógio, Armazenador e Sinalizador. O processo de escalonamento adotado pelo NOC é o "round-robin", onde um processo detém o controle do processador durante um tempo fixo, findo o qual o controle da UCP é entregue ao processo ativo que tiver a maior prioridade.

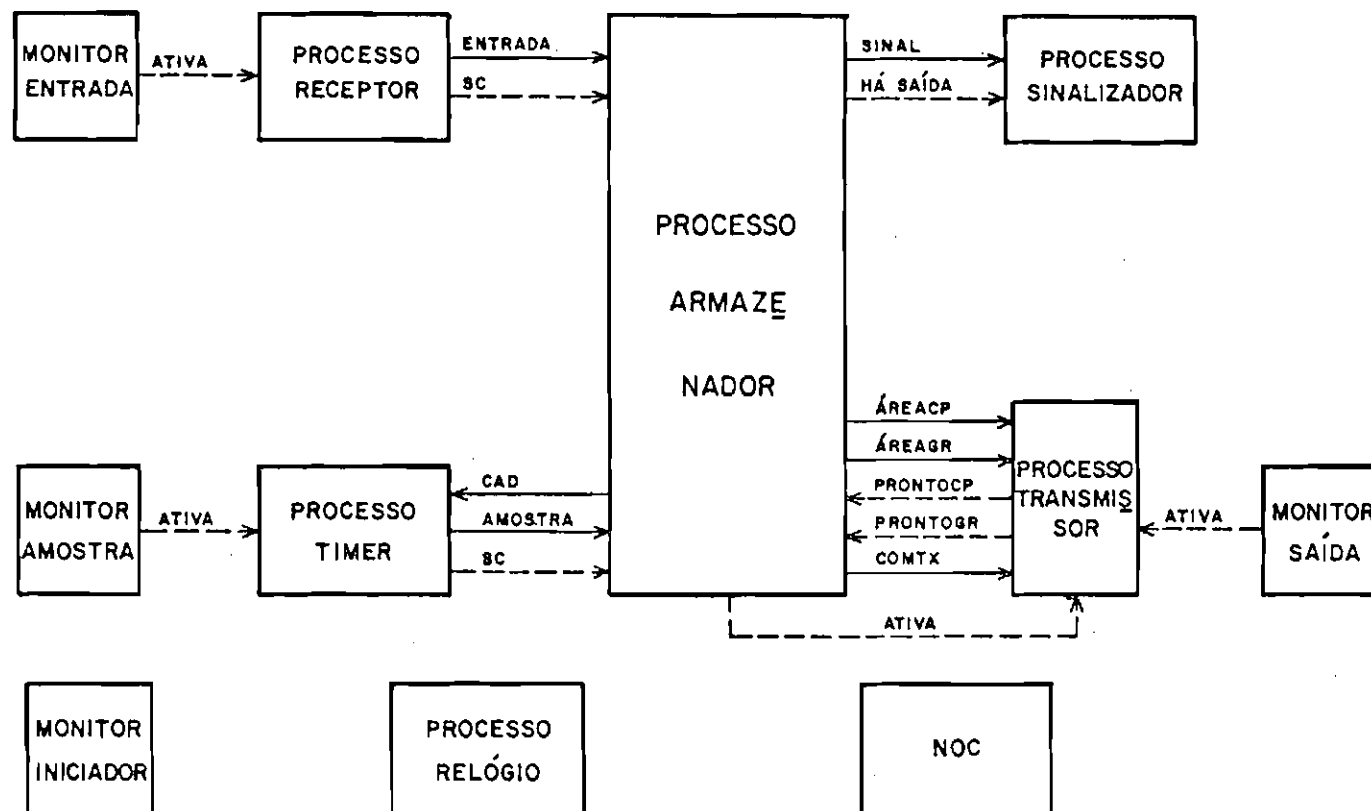


Fig. C.1 - Arquitetura do "software" da PPCD/ERI na implementação do sistema MT/INPE.

Fig. C.2 - Representação gráfica dos processos aplicativos.

C.2 - ESTRUTURAS DE DADOS COMPARTILHADOS

As estruturas compartilhadas, ou seja, aquelas que são utilizadas por mais de um processo, são mostradas nesta seção.

É importante ressaltar que o dimensionamento dos "buffers" não se baseia em um estudo sistemático do fluxo de dados dentro da plataforma e são apenas estimativas, tendo valor apenas como uma base para implementação inicial.

C.2.1 - AMOSTRA

É um "buffer" circular com quatro elementos de onze "bytes" cada um. O "layout" de um de seus elementos é mostrado na Figura C.3a. Contém as amostras obtidas pelo conversor A/D. O primeiro "byte" indica de qual faixa é o conjunto de amostras, e os dez "bytes" restantes contêm as amostras propriamente ditas. Cada amostra ocupa dois "bytes", e os bits mais significativos ocupam um "byte" isolado.

Esta estrutura realiza a comunicação entre o processo "Timer" e o Processo Armazenador, e a entrada e saída de dados neste "buffer" são realizadas pelas rotinas Enbufcirc e Saibufcirc.

C.2.2 - ENTRADA

É um "buffer" circular com três elementos de quatro "bytes" cada um. O "layout" de cada elemento é mostrado na Figura C.3b.

Este "buffer" realiza a comunicação de dados entre o Processo Receptor e o Processo Armazenador.

Contém os dados provenientes dos canais de recepção de dados seriais e a palavra de status que indica se há dado ou não no respectivo canal.

A entrada e a saída de dados no "buffer" Entrada, são executadas pelas rotinas Enbufcirt e Saibufcirt.

C.2.3 - SINAL

É um "buffer" circular com 36 elementos de dois "bytes" cada um. O "layout" de cada elemento do "buffer" Sinal é mostrado na Figura C.3c.

Este "buffer" realiza a comunicação entre o Processo Armazenador e o Processo Sinalizador. Contém um "byte" de comando que indica se o dado é para ser apenas mostrado no display ou se é para ser impresso. A entrada e saída de dados do "buffer" são executadas pelas rotinas Enbufcirt e Saibufcirt.

3.2.4 - CAD

É uma área de cinco "bytes" que contém dados e comandos para o Processo "Timer". O esquema dessa área é mostrado na Figura C.3d.

O primeiro "byte" contém bits de informação que indicam quais faixas estão ativas, ou seja, de quais faixas existe aquisição em andamento. Os demais "bytes" contém múltiplos inteiros da base de tempo nas quais as amostras de cada faixa serão tomadas.

O Processo Armazenador inicia e atualiza esta área e o Processo "Timer" a lê em cada execução. O acesso a essa área compartilhada é regulada pelo semáforo "Timer" 1.

FAIXA	amostra(1)
Hx (MSB)	amostra(2)
Hx (LSB)	amostra(3)
Hy (MSB)	amostra(4)
Hy (LSB)	amostra(5)
Ex (MSB)	amostra(6)
Ex (LSB)	amostra(7)
Ey (MSB)	amostra(8)
Ey (LSB)	amostra(9)
Hz (MSB)	amostra(10)
Hz (LSB)	amostra(11)

a) "Layout" do "buffer" Amostra.

status do teclado	entrada(1)
dado do teclado	entrada(2)
status da linha do computador	entrada(3)
dado da linha do computador	entrada(4)

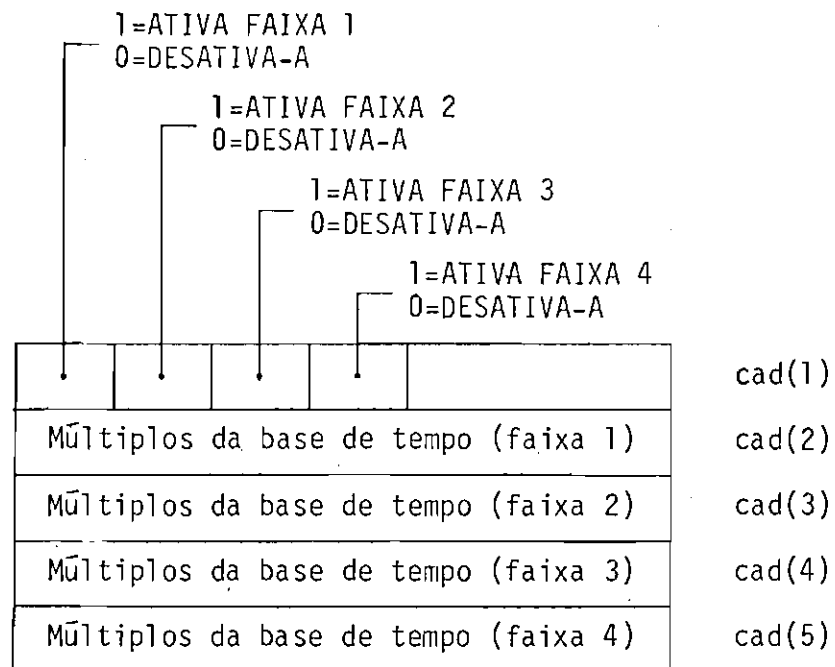
b) "Layout" do "buffer" Entrada.

Fig. C.3 - "Layouts" dos "buffers".

(continua)

Dispositivo	sinal(1)
Dado	sinal(2)

c) "Layout" do "buffer" sinal.



d) "Layout" da área de controle do processo "timer".

Fig. C.3 - Conclusão.

C.2.5 - AREACP

É uma área de 512 "bytes" com dois blocos de 256 "bytes" cada um. É utilizada para passagem de dados ao Processo Transmissor. Estes dois blocos são carregados pelo Processo Armazenador, que os utiliza alternadamente. Quando o Armazenador completa um bloco, este informa ao Processo Transmissor a existência de dados a transmitir. Enquanto esse bloco é utilizado pelo Transmissor, o Armazenador manipula o outro bloco.

C.2.6 - AREAGR

É similar à Areacp, com a diferença que cada bloco possui 257 "bytes". Este "byte" adicional informa ao Processo Transmissor qual gravador (dos oito possíveis) será utilizado.

C.2.7 - COMTX

É uma área de quatro "bytes" utilizada para fornecer comandos e dados ao Processo Transmissor. Seu "layout" é mostrado na Figura C.4.

Contém informações de qual dispositivo de saída será utilizado, do endereço de início de área de dados e do número de "bytes" a serem transmitidos ou gravados.

É gerada no Processo Armazenador e lida pelo Processo Transmissor cada vez que ativado pelo Armazenador. O acesso a esta área compartilhada é regulado pelo semáforo Tx2.

C.2.8 - RECEBIDO

É uma variável incrementada pelo Processo Receptor. Indica o número de blocos de dados no "buffer" Entrada. É iniciada em zero, lida e decrementada pelo Processo Armazenador. O acesso a esta variável é regulado pelo semáforo Rx.

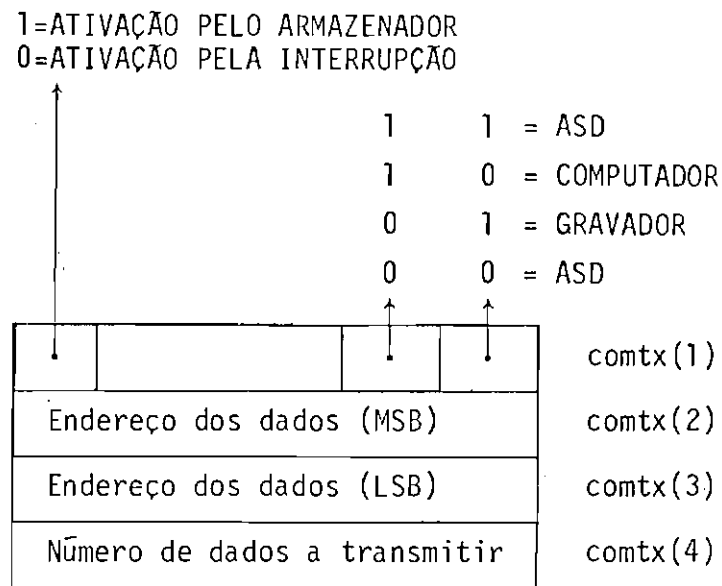


Fig. C.4 - "Layout" da área de controle do Processo Transmissor.

C.2.9 - NUMERAQ

É uma variável incrementada pelo processo "Timer" e lida e decrementada pelo Processo Armazenador. Indica o número de blocos de amostras enviadas ao Armazenador através do "buffer" Amostra. O acesso a esta variável é controlado pelo semáforo Timer2.

C.2.10 - CONTROLE

Vetor com dois elementos que contém a informação dos bits de controle da PPCD/ERI (Seção 6.1.2).

C.3 - ESPECIFICAÇÃO DOS PROCESSOS E ROTINAS

Nesta seção serão descritos e especificados todos os processos e suas sub-rotinas. Primeiramente serão descritos as sub-roti

nas e processos do "software" básico da PPCD/ERI que são utilizados pelos processos aplicativos da implementação MT/INPE.

C.3.1 - SUB-ROTINA SAIBUFCIRC ("buffer", variável)

Esta sub-rotina pertence ao "software" básico da plataforma. Sua função é retirar elementos de um "buffer" circular. Esta rotina é executada sempre dentro de uma região crítica, de forma que a manipulação dos ponteiros dos "buffers" ocorra sem erros.

Seu parâmetro de entrada "buffer" indica de qual "buffer" circular serão lidos os dados. O parâmetro de saída variável designa qual variável receberá o dado lido.

C.3.2 - SUB-ROTINA ENBUFCIRC ("buffer", variável, cheio)

Esta rotina pertence ao "software" básico da PPCD/ERI. Sua função é inserir elementos em um "buffer" circular. Como a sub-rotina Saibufcirc, esta rotina é executada sempre dentro de uma região crítica, de forma que a manipulação dos ponteiros dos "buffers" ocorra sem erros.

Seus parâmetros de entrada são os seguintes:

- a) "Buffer" - indica em qual "buffer" o dado será inserido;
- b) Variável - designa a variável que contém o(s) dado(s) a ser(em) inserido(s) no "buffer".

Seu parâmetro de saída (cheio) indica se o "buffer" circular está cheio.

C.3.3 - SUB-ROTINA "WAIT" (semáforo)

Esta sub-rotina pertence ao NOC, sendo uma de suas primitivas. Sua função é suspender um processo que está à espera de um re

curso. Para isso esta sub-rotina manipula um semáforo (definido pelo parâmetro de entrada semáforo).

Pode-se também definir um tempo máximo de espera pela ocorrência do evento definido pelo semáforo. Este tempo é carregado na Tabela Descritora do processo antes da chamada à sub-rotina "Wait". Quanto esta é chamada, o tempo especificado no campo CT (Seção 6.3.7) é utilizado para contabilizar o tempo de espera (caso CT = FF, nenhum tempo está sendo atribuído à espera). Esgotado este tempo, o processo é liberado com uma informação em sua palavra de status, o que significa que a espera acabou por "timeout".

C.3.4 - SUB-ROTINA "SIGNAL" (semáforo)

Esta sub-rotina pertence ao NOC, sendo uma de suas primitivas. Sua função é liberar um recurso que esteja suspenso à espera de um recurso. Para isso esta sub-rotina manipula um semáforo, definido pelo parâmetro de entrada semáforo.

C.3.5 - SUB-ROTINA LIGARELÓGIO (relógio)

Também do NOC, esta rotina armazena o valor do relógio do sistema na variável relógio (seu parâmetro de saída) no instante da chamada à sub-rotina.

C.3.6 - MONITOR ENTRADA

Esta rotina pertence ao "software" básico da PPCD/ERI. Esta rotina é acionada por ocasião da ocorrência de uma interrupção gerada pelos canais seriais de entrada. Sua única função é ativar o Processo Receptor através da chamada à primitiva Ativa do NOC. Este monitor é executado fora do controle do NOC.

C.3.7 - PROCESSO RECEPTOR

Este processo faz parte do "software" básico da PPCD/ERI. Este processo trata a interrupção gerada pelos canais seriais de entrada. Ele é ativado pelo Monitor Entrada e possui como saída o "buffer" Entrada.

Os seguintes semáforos são utilizados por este processo:

- a) Sc - utilizado para indicar presença de dados no "buffer" Entrada. Iniciado em zero, este semáforo possui um tempo de espera associado (para controle do protocolo com o computador).
- b) Rx - utilizado para manipular a variável compartilhada Recebido (iniciado em 1).

Este processo emite ainda duas mensagens de erro (Seção C.3.20):

- a) ERRO 1 - o processo foi ativado já estando ativo. Este erro ocorre quando uma interrupção ocorre sem que a anterior tenha sido tratada.
- b) ERRO 2 - durante uma tentativa de inserir dados no "buffer" Entrada, este estava cheio.

C.3.8 - MONITOR AMOSTRA

Também faz parte do "software" básico da PPCD/ERI. É executado por ocasião da ocorrência de uma interrupção gerada pela base de tempo de aquisição ("timer") da plataforma. Sua única função é ativar o Processo "Timer" através de uma chamada à primitiva Ativa do NOC.

C.3.9 - PROCESSO "TIMER"

Também faz parte do "software" básico da PPCD/ERI. Sua função é tratar a interrupção gerada pelo "timer" da plataforma.

Utiliza as estruturas compartilhadas Cad e Amostra. Os semáforos utilizados são:

- a) Sc - utilizado para indicar ao Processo Armazenador a existência de dados no "buffer" Amostra.
- b) Timer 1 - utilizado para criar uma região crítica destinada à manipulação da área compartilhada Cad (iniciado em 1).
- c) Timer 2 - utilizado para criar uma região crítica destinada à manipulação da variável compartilhada Numeraq (iniciado em 1).

Este processo emite duas mensagens de erro (Seção C.3.20):

- a) ERRO 3 - o processo foi ativado já estando ativo.
- b) ERRO 4 - "buffer" Amostra cheio por ocasião da tentativa de inserir dados.

Adicionalmente este processo comanda o conversor D/A da plataforma. O sinal "reconvertido" será sempre um dos sinais (o Hx) referente à faixa de maior taxa de aquisição que estiver ativa. Como foi visto na Seção 6.1.2, o conversor D/A se utiliza de um "barramento" comum de dados para receber a informação a ser convertida. Assim um semáforo adicional é utilizado para ordenar o acesso a este recurso compartilhado. O semáforo utilizado é denominado Livre (iniciado em 1).

C.3.10 - MONITOR SAÍDA

Esta rotina é acionada pelas interrupções geradas pelos canais seriais de saída. Ela pertence ao "software" básico da PPCD/ERI e tem a função de ativar o Processo Transmissor durante a transmissão (ou gravação) de um bloco de dados. A tarefa de tornar um processo ativo é conseguida através da execução da primitiva Ativa do NOC. Como os outros monitores, este também é executado fora do NOC.

C.3.11 - PROCESSO TRANSMISSOR

Este processo também faz parte do "software" básico da plataforma. É responsável pelo tratamento das Interrupções geradas pelos canais seriais de saída.

Utiliza as seguintes estruturas compartilhadas: Areacp, Areagr e Comtx. Os semáforos utilizados são os seguintes:

- a) Tx1 - utilizado para criar uma região crítica destinada à manipulação da área compartilhada Comtx (iniciado em 1).
- b) Prontoacp - iniciado em um, este semáforo sinaliza ao Processo Armazenador que o canal de transmissão de dados para o computador está livre. Este semáforo é incrementado pelo Transmissor quando este termina a transmissão de um bloco de dados.
- c) Prontoagr - função idêntica ao semáforo anterior, mas refere-se ao canal de saída para os gravadores (iniciado em 1).

Este processo é ativado por:

- a) Processo Armazenador - por ocasião do início de transmissão de um bloco de dados.
- b) Monitor Saída - durante a transmissão de um bloco de dados.

C.3.12 - PROCESSO ARMAZENADOR

O objetivo deste processo é analisar os dados recebidos do teclado (ou do computador) e, de acordo com estas entradas, acionar rotinas que executarão a aquisição e armazenamento dos dados original dos do conversor A/D.

A relação de entradas e saídas deste processo já foi apresentada na Seção 6.3.4.

As estruturas globais utilizadas são: Entrada, Cad, Amostra, "Signal", Areacp, Areagr, Comtx, Recebido e Numeraq.

Este processo utiliza-se de vários semáforos:

- a) Sc - já descrito, é utilizado para indicar ao Armazenador a presença de dados nos "buffers" Entrada e Amostra.
- b) Hasaida - utilizado para sincronizar este processo ao Processo Sinalizador. Iniciado em zero, é incrementado pelo Armazenador, indicando ao Sinalizador a presença de dados no "buffer" sinal.
- c) Prontcp - já foi descrito na seção anterior.
- d) Prontgr - já foi descrito na seção anterior.

Este processo utiliza-se das seguintes estruturas locais:

- a) Op - variável booleana utilizada para controlar a interação principal deste programa. É utilizada para encerrar a operação do Armazenador e modificada pela sub-rotina Termina.
- b) "Timeout" - constante que exprime o tempo de espera por comandos do computador de processamento. Exprime o tempo após o qual a plataforma transmitirá vários caracteres EOT.

- c) Statusarmazenador - palavras de status do processo. Atualiza da pelo NOC, expressa se a espera por um evento acabou por "timeout" ou não, se o processo foi ativado já estando ativo, etc. (pertence à Tabela Descritora do processo).
- d) Tempo esgotado - caractere de controle reconhecido pela sub-rotina Cp. Indica que a espera por um evento acabou por excesso de tempo.
- e) Dado recebido - variável auxiliar, recebe o valor de variável compartilhada Recebido. É utilizada para controlar a quantidade de elementos retirados do "buffer" Entrada e é iniciada em zero.
- f) Dadosrx - vetor de quatro elementos que recebe os dados do "buffer" Entrada.
- g) Ct - campo da Tabela Descritora do processo que contém o tempo máximo de espera por um evento. Quando Ct = FF, o NOC supõe que não há tempo de espera atribuído.

As variáveis globais do processo são discriminadas abaixo. Algumas delas não aparecem explicitamente no corpo do programa principal, mas são usadas em várias sub-rotinas.

- a) Nova faixa - variável inteira que recebe do computador de processamento o valor da próxima faixa que será armazenada. É utilizada nas sub-rotinas Mandados, Aquisição e Processacp.
- b) Mande - variável booleana utilizada para controlar a transmissão de dados para o computador de processamento. Iniciada em zero é manipulada pelas sub-rotinas Mandados e Processacp.
- c) Sin - vetor de dois elementos utilizados para enviar dados ao "buffer" Sinal. Tem o mesmo "layout" dos elementos deste

"buffer" a (Seção C.2.3). É utilizado em todas as sub-rotinas que transmitem mensagens ao display e à impressora.

- d) Aqcompleta - variável booleana utilizada como controle para a sub-rotina Processacp. É manipulada pelas sub-rotinas Processacp e Aquisiçãocp.
- e) Numdados - vetor de quatro elementos (números inteiros) utilizado para contabilização de amostras adquiridas de cada faixa. É iniciado em zero e utilizado nas rotinas: Processacp, Aquisiçãocp, Processaisolado (limite máximo = 40960), Começo e Acabafaixa.
- f) Lado - vetor booleano (com dois elementos) que mantém a informação de qual "lado" das áreas de dados compartilhadas do Processo Transmissor (áreacp e áreagr) está disponível para transmissão de dados. É iniciado em "ping" e alterado apenas pela sub-rotina Iniciatx.
- g) Controle - dois "bytes" que contêm uma cópia dos bits de controle da plataforma (Seção 6.1.2).
- h) Numident - variável inteira para contabilizar o número de informações de identificação de missão inseridos pelo teclado. Iniciada em zero, é utilizada pelas sub-rotinas Ident, Verifica e Começaident.
- i) Modo - variável inteira, é utilizada pelas sub-rotinas Verifica e Ident. Iniciada pela sub-rotina Ident, contém o modo de operação da plataforma quando esta opera isoladamente (apenas a primeira faixa ou as outras três simultaneamente).
- j) Dado - matriz de 512 x 5 elementos que receberá os dados amostrados. No caso de operação isolada, recebe também as informações de identificação da missão.

- l) Aquisição - vetor que contém um conjunto de amostras recebidas do Processo "Timer" (ou seja, é a variável que recebe as amostras geradas pelo conversor A/D).
- m) Aq - variável auxiliar, recebe o valor da variável compartilhada Numeraq. É utilizada nas sub-rotinas Processaisolado e Processacp. Para controlar a quantidade de blocos de dados retirados do "buffer" Amostra.
- n) Ctdados - vetor de quatro elementos utilizado para contabilizar o número de elementos dos blocos de dados que serão gravados. É utilizado nas sub-rotinas Processaisolado, Acabafaixa e Dadoscompletos.
- o) Status - vetor com 18 elementos utilizado para gerar mensagens à impressora. Alguns de seus elementos são constantes seja qual for a transmissão. Por isso mesmo são iniciados aqui e não admitem modificações. São eles: Status (1) := "INÍCIO", Status (3) := "Tab" (Ver Seção C.3.29).
- p) Faixatual - variável inteira auxiliar, designa qual faixa está em processo de aquisição, ou possui dados já armazenados. É utilizada nas sub-rotinas Aquisiçãoocp e Processacp.

As variáveis que são iniciadas no programa principal deste processo são as seguintes: Aquisição, Mande, Estadocp, Numdados, Lados, Lado e Estadotcl.

O pseudocódigo do programa principal deste processo é descrito a seguir.

```
PROCESSO ARMAZENADOR;
ENQUANTO VERDADEIRO
  FAÇA INÍCIO
    Inicie variáveis utilizadas no processo;
    Leia chave do painel e atribua o valor a cp
    ligado: (cpligado=1, computador conectado)
    SE cpligado=1
      FAÇA INÍCIO
        novafaixa:=1;
        CHAME aquisiçãocp
      FIM;
    op:=1;
    ENQUANTO op=1
      FAÇA INÍCIO
        ct:="timeout";
        CHAME "wait" (sc);
        ct:=FF;
        SE statusarmazenador="timeout"
          ENTÃO CHAME cp(tempoesgotado)
          SENÃO INÍCIO
            CHAME "wait"(rx);
            dadorecebido:=recebido;
            recebido:=0;
            CHAME "signal"(rx);
            ENQUANTO dadorecebido>0
              FAÇA INÍCIO
                CHAME saibufcirc
                  (entrada, dadosrx);
                SE cpligado
                  ENTÃO CHAME cp(dadorx(4))
                  SENÃO CHAME teclado
                    (dadosrx(2));
                dadorecebido:=dadorecebido-1
              FIM;
            FIM;
          CHAME "wait"("timer2");
          aq:= numeraq;
          numeraq:=0;
          CHAME "signal" ("timer2");
          ENQUANTO aq>0 OU mande=1
            FAÇA SE cpligado=1
              ENTÃO CHAME processacp
              SENÃO CHAME processaisolado;
            FIM;
          PARA faixa=1,4 (este trecho só é executado
            com o comando CC do teclado)
            FAÇA CHAME acabafaixa(faixa);
          FIM.
        FIM.
```

Este processo chama as seguintes sub-rotinas: Saibufcirc, "Wait", "Signal", Cp, Aquisiçãocp, Teclado, Processacp e Processaisolado.

C.3.13 - SUB-ROTINA CP (entrada)

Esta sub-rotina trata as informações recebidas pelo canal serial conectado ao computador de processamento. Esta rotina, ao receber a sequência de dados do computador, verifica se esta obedece ao protocolo estabelecido (Seção 7.1) e toma as ações devidas para iniciar ou terminar a aquisição de dados. A rotina utiliza a técnica de tabela de estado para analisar o protocolo de linha e definir qual rotina será executada em cada situação. Na Figura C.5 é mostrado um diagrama que explicita o funcionamento desta sub-rotina.

Seu parâmetro de entrada é entrada, que contém a informação a ser tratada.

Utiliza as seguintes variáveis locais:

- a) Tipo - número de um a sete que indica qual o tipo de entrada das sete possíveis que o parâmetro entrada representa.
- b) Estadocp - indica em qual estado do tratamento do fluxo de entradas a sub-rotina se encontra. Iniciada em zero pelo programa principal, é alterada cada vez que uma pesquisa na tabela de estado é executada;
- c) Tarefa - número de zero a cinco que indica qual ação será executada. É usado como índice da tabela Tabelaçãocp para extrair o endereço da rotina a executar. Seu valor também é obtido através de uma pesquisa na tabela de estado.

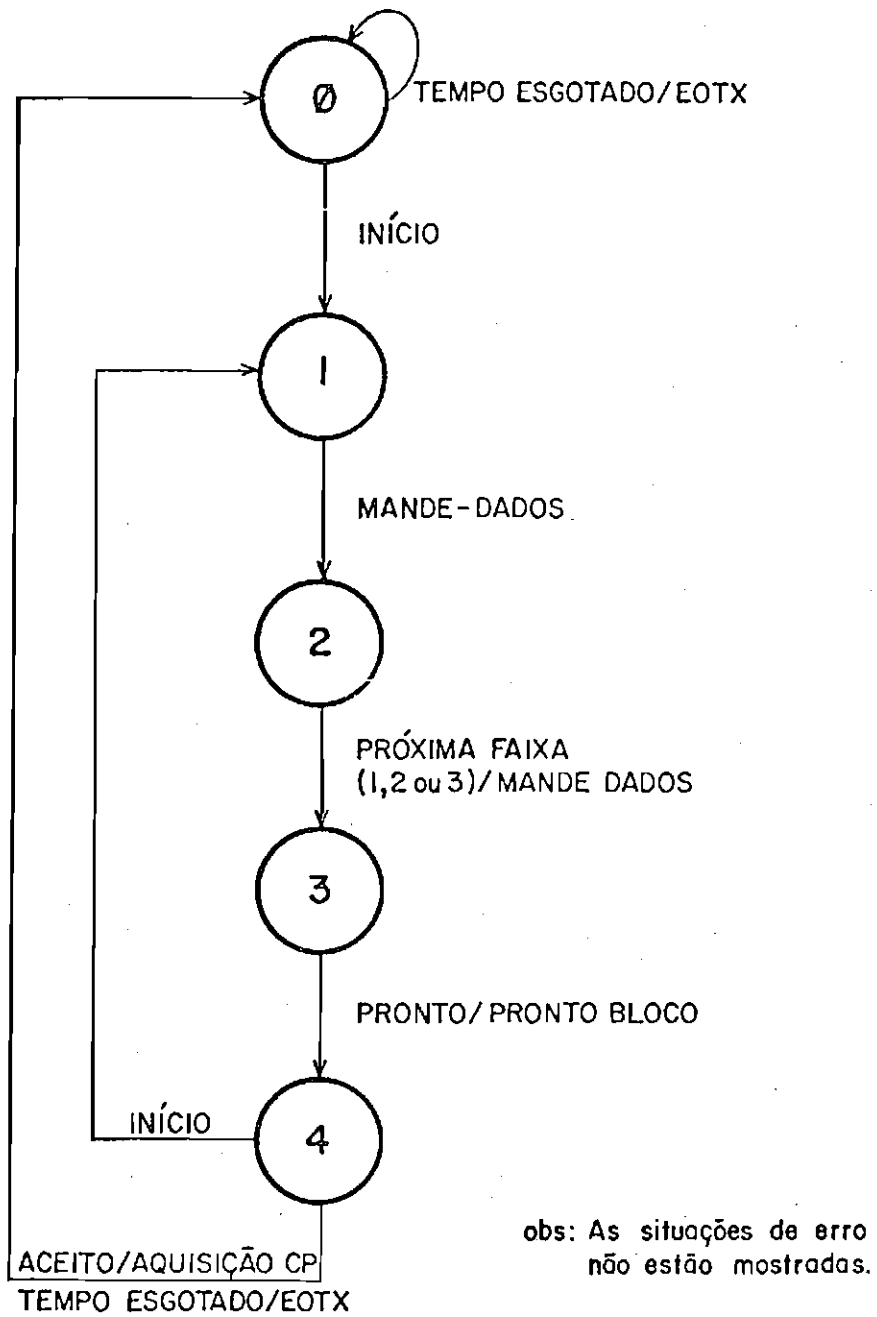


Fig. C.5 - Diagrama de estado da sub-rotina cp.

A sub-rotina utiliza as seguintes tabelas:

- a) Tabelacp - é a tabela de estado que contém as informações para a análise do protocolo de linha do computador de processamento. Organizada como uma matriz tridimensional, suas duas primeiras dimensões correspondem ao estado da sub-rotina e ao tipo de entrada que está sendo analisada. A terceira dimensão define o elemento da matriz como o próximo estado (terceira dimensão = 1) ou qual ação será executada (terceira dimensão = 2). Seu diagrama é mostrado na Tabela C.1.
- b) Tabelaçocp - vetor com endereços das sub-rotinas de ação referentes à análise do protocolo de linha do computador. Contém cinco endereços. Seu diagrama é mostrado na Tabela C.2.

TABELA C.1

"LAYOUT" DA TABELA DE ESTADO DA SUB-ROTINA Cp

ESTADO ATUAL	ENTRADAS						
	INÍCIO	MANDE DADOS	PRONTO	ACEITO	TEMPO ESGOTADO	NÚMERO 1-3	OUTRAS ENTRADAS
0	1/0	0/5	0/5	0/5	0/4	0/5	0/5
1	0/5	2/0	0/5	0/5	1/0	0/5	0/5
2	0/5	0/5	0/5	0/5	2/0	3/1	0/5
3	0/5	0/5	4/2	0/5	3/0	0/5	0/5
4	1/0	0/5	0/5	0/3	0/4	0/5	0/5

Obs.: 1/0

└─ número de sub-rotina a executar;
└─ próximo estado.

TABELA C.2

"LAYOUTS"

a) "Layout" da Tabelaço_{cp}

TAREFA	SUB-ROTINA CHAMADA
1	MANDEDADOS
2	PRONTOBLOCO
3	AQUISIÇÃOCP
4	EOTX
5	ERROPROTOCOLO

b) "Layout" da Tabela_{tipo}

TIPO	ENTRADA
1	INÍCIO
2	MANDEDADOS
3	PRONTO
4	ACEITO
5	TEMPOESGOTADO
6	OUTRAS ENTRADAS

O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA CP(entrada);  
INÍCIO  
  CHAME próximo(entrada, tipo);  
  (classifica entrada como um dos sete tipos)  
  tarefa:=tabelacp (estadocp, tipo, 2);  
  estadocp:= tabelacp (estadocp, tipo, 1);  
  SE tarefa <> 0 (tarefa=0, não faça nada)  
    FAÇA CHAME tabelacaocp (tarefa)  
  RETORNE  
FIM.
```


As sub-rotinas chamadas são: Próximo, Mandados, Pronto bloco, Aquisição cp, Eotx e Erroprotocolo.

C.3.14 - SUB-ROTINA PRÓXIMO (entrada, tipo)

Esta sub-rotina classifica o parâmetro entrada como um dos sete tipos possíveis para linha de comunicação com o computador. A informação é retornada à sub-rotina Cp através do parâmetro de saída tipo. A rotina utiliza uma tabela chamada Tabelatipo na qual constam todos os caracteres do protocolo (Tabela C.2). A sub-rotina ainda verifica se o número referente à especificação de faixa está limitado às faixas permitidas (1 a 3).

O pseudocódigo desta sub-rotina é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA PRÓXIMA (entrada, tipo);  
INÍCIO  
    tabelatipo(6) := entrada;  
    tipo := 1;  
    ENQUANTO tabelatipo(tipo) <> entrada  
        FAÇA tipo := tipo + 1;  
    SE tipo = 6  
        FAÇA SE entrada é faixa permitida  
            ENTÃO tipo := 6  
            SENÃO tipo := 7;  
    RETORNE  
FIM.
```

C.3.15 - SUB-ROTINA PRONTOBLOCO

Esta sub-rotina apenas limpa o display da plataforma, indicando que um bloco de dados já foi transmitido ao computador de processamento.

Utiliza o vetor global Sin para que dados sejam enviados ao "buffer" Sinal. O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA PRONTOBLOCO;  
INÍCIO  
    sin(1):= "display";  
    sin(2):= 00H;  
    CHAME transmitasinal;  
    RETORNE  
FIM.
```

O acesso ao "buffer" Sinal é realizado através da chamada à sub-rotina Transmitasinal.

C.3.16 - SUB-ROTINA MANDEDADOS (entrada)

Esta sub-rotina informa à rotina de armazenamento de dados que um bloco pode ser transmitido assim que este estiver pronto.

Esta tarefa é executada alterando o valor da variável global Mande. Como esta rotina é executada por ocasião do recebimento do caractere que designa a próxima faixa a ser adquirida (Figura C.5), ela também armazena este valor para a utilização futura deste dado pela sub-rotina Aquisiçãoocp. Esta informação está contida no parâmetro entrada e é armazenada na variável global novafaixa.

O pseudocódigo é apresentado em seguida:

```
SUB-ROTINA MANDEDADOS(entrada);  
INÍCIO  
    novafaixa:= entrada;  
    mande:= 1;  
    RETORNE  
FIM.
```

C.3.17 - SUB-ROTINA AQUISIÇÃOCP

A função desta rotina é iniciar a aquisição de um novo bloco de dados que serão transmitidos ao computador de processamento.

Para isso, manipula ou inicia as seguintes variáveis globais: Aqcompleta, Numdados, Novafaixa e Faixatual. Adicionalmente, uma

mensagem é enviada ao display, indicando de qual faixa é a aquisição que está em andamento. Novamente o vetor global Sin é utilizado para alcançar o "buffer" Sinal.

O pseudo-código da sub-rotina Aquisiçãoocp é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA AQUISIÇÃOCP;  
INÍCIO  
    aqcompleta:= 1;  
    numdados(1):= 0;  
    CHAME iniciatimer(novafaixa); (inicia a aquisição)  
    faixatual:= novafaixa  
    sin(1):= display;  
    sin(2):= faixatual;  
    CHAME transmitasinal;  
    RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são Transmitasinal e Iniciatimer.

C.3.18 - SUB-ROTINA EOTX

Esta sub-rotina é acionada quando há uma falha de recepção de algum comando do computador de processamento, e se a espera pela resposta excede o tempo máximo previsto (dado pela constante Timeout do semáforo Sc).

Utiliza a variável global Lado para definir qual a área de dados que está disponível para transmitir dados. A área de dados utilizada é áreaocp. A variável local Aux é utilizada para controlar uma iteração.

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA EOTX;  
INÍCIO  
  PARA aux:=1,10  
    FAÇA areacp(lado(cp), aux):= "EOT";  
  CHAME iniciatx (cp, areacp(lado(cp)), 10);  
  CHAME erro(5);  
  RETORNE  
FIM.
```

Como pode ser visto, uma mensagem de erro é emitida para sinalizar a transmissão de caracteres "EOT" (Seção C.3.20). A única sub-rotina invocada é a Iniciatx.

C.3.19 - SUB-ROTINA ERROPROTOCOLO

Esta sub-rotina é executada todas as vezes que um erro é detetado no protocolo de linha do computador. Seu pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA ERROPROTOCOLO;  
INÍCIO  
  CHAME erro(6);  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.20 - SUB-ROTINA ERRO (erro)

Esta rotina é executada toda vez que uma situação de erro é detetada na execução das diversas rotinas. As situações de erro analisadas são:

- a) Erro no protocolo da linha do computador de processamento.
- b) Erro na sequência de comando do teclado.
- c) Erro na entrada de dados nos "buffers" circulares (cheio=1 na chamada à sub-rotina Enbufcirc).
- d) Interrupções não tratadas.

Para todos os casos, a chamada à rotina de erro resulta na impressão de uma mensagem na impressora. Esta mensagem é constituída por duas impressões seguidas de um número que corresponde à tabela de erros mostrada na Tabela C.3. O formato da impressão é mostrada na Figura 6.6.

O tratamento específico para cada uma das situações é de responsabilidade da rotina que invocou a sub-rotina de erro, mas para maior clareza são descritos abaixo:

- a) Erro no protocolo de linha - o estado da sub-rotina Cp é retornado ao valor inicial (zero). Toda a sequência de caracteres de controle deve ser refeita.
- b) Erro na sequência de comandos do teclado - a ação a ser executada depende do estado da rotina de análise (Seção C.3.22).
- c) Erro na entrada de dados nos "buffers" - após a impressão da mensagem de erro, um tempo de espera é executado e nova tentativa é realizada. Esta iteração é repetida até que a transferência ocorra sem erro.
- d) Erro de interrupção não tratada - apenas mensagem de erro é emitida.

A sub-rotina tem como parâmetro de entrada (erro) o número a ser impresso. Como esta sub-rotina acessa a impressora (e este é um recurso também utilizado pelo Processo Sinalizador) um semáforo (impressoralivre) é utilizado para ordenar o acesso a ela. Este semáforo é iniciado em 1.

Esta sub-rotina se utiliza da variável global controle(1), que contém uma cópia do estado dos bits de controle da PPCD/ERI. Também se utiliza de uma variável local, auxiliar, que mantém temporariamente o valor de controle(1). O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA ERRO (erro);  
INÍCIO  
  CHAME "wait"(impressoralive);  
  aux:= controle(1); (salva display)  
  CHAME saídaimpressora(erro);  
  CHAME saídaimpressora(imprima);  
    (imprima é caractere de controle da  
    interface da impressora)  
  CHAME saídaimpressora("imprima");  
  controle(1):= aux;  
  CHAME saída (1,0); (recupera display)  
  CHAME "signal" (impressoralive);  
RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são: "Wait", Saída, Saídaimpres_sora e "Signal".

C.3.21 - SUB-ROTINA TRANSMITASINAL

Esta sub-rotina insere dados no "buffer" circular Si_nal transmitindo informações do Processo Armazenador para o Sinali_zador.

Utiliza o vetor global Sin, que contém um "byte" de con_trole e um "byte" de dado. O semáforo Hasinal é utilizado para sincro_nização com o Processo Sinalizador e o semáforo Semaerro, para gerar um tempo de espera no tratamento de erro.

O pseudocódigo é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA TRANSMITASINAL  
INÍCIO  
  começo:  
    CHAME enbufcirc (sinal, sin, cheio);  
    SE cheio= 1  
      FAÇA INÍCIO  
        CHAME erro(7);  
        CHAME "wait"(semaerro, tempo);  
        VOLTE PARA começo  
      FIM;  
    CHAME signal(hasaída);  
  RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são Enbufcirc, "Wait" e Erro.

TABELA C.3

ERROS DETETADOS PELA PPCD/ERI

NÚMERO IMPRESSO	ERRO
1	Interrupção não-tratada (canal de recepção)
2	"Buffer" Entrada cheio
3	Interrupção não-tratada ("Timer")
4	"Buffer" Amostra cheio
5	Erro de protocolo da linha do computador (erro de "timeout")
6	Erro de protocolo da linha do computador (outros erros)
7	"Buffer" Sinal cheio
8	Erro no tratamento do teclado

C.3.22 - SUB-ROTINA TECLADO (entrada)

Esta sub-rotina recebe um dado do teclado e o prepara para ser analisado. Todos os dados digitados são enviados ao display, sendo a última informação inserida colocada no canto direito do mostrador. As informações são aceitas e enviadas ao display (a antepenúltima informação é perdida) até que a tecla "F1" seja pressionada. Desse modo, é um conjunto de duas informações digitadas que são na verdade analisadas.

Ela possui como parâmetro de entrada a última tecla pressionada. Utiliza a variável global Sin para transmitir dados ao display.

A variável local Tec contém sempre as duas últimas teclas pressionadas e recebe em cada execução da sub-rotina o novo dado digitado. O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA TECLADO (entrada)
INÍCIO
  SE entrada < "F1"
    ENTÃO INÍCIO
      tec[7:4] := tec[3:0]; (bits 7 a 4 recebem
                           bits 0 a 3)
      tec[3:0] := dado; (roda o display)
      sin(1) := display;
      sin(2) := tec;
      CHAME transmitasinal;
    FIM
  SENÃO SE entrada = "F1"
    FAÇA CHAME analisador (tec);
  RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são Analisador e Transmitasinal.

C.3.23 - SUB-ROTINA ANALISADOR (entrada)

Esta sub-rotina analisa os comandos e dados originados no teclado. Como a rotina Cp, utiliza a técnica de tabela de estado para definir quais as ações serão tomadas em cada novo comando ou dado inserido. Os comandos suportados nesta versão do sistema MT/INPE são:

- a) CO - INÍCIO DE IDENTIFICAÇÃO - a partir deste comando a PPCD/ERI recebe uma série de dados utilizados como identificação da missão (Seção C.3.26).
- b) CF - FIM DE IDENTIFICAÇÃO - com este comando é encerrada a entrada de dados de identificação.

- c) CA - AUTO TESTE - este comando executa rotinas de autoteste da plataforma.
- d) CE - EXECUTE - este comando inicia a operação de aquisição.
- e) CC - PARADA - este comando para a operação da plataforma.

O diagrama da Figura C.6 mostra o funcionamento desta sub-rotina. Seu parâmetro entrada contém a informação a ser analisada. Utiliza as seguintes variáveis locais:

- a) Tipo - indica qual o tipo de entrada (das seis possíveis) que o parâmetro de entrada representa.
- b) Estadotcl - indica em qual estado do tratamento de fluxo de informações se encontra a sub-rotina. Iniciada em zero, é alterada cada vez que uma pesquisa na tabela de estado Tabelatcl é executada. É iniciada pelo programa principal.
- c) Tarefa - número inteiro que indica qual ação será executada; é usado com índice da tabela Tabelacaotcl para extrair o endereço da rotina a executar.

A sub-rotina se utiliza das seguintes tabelas:

- a) Tabelatcl - é a tabela de estado utilizada para analisar os comandos gerados pelo teclado. Organizada como uma matriz tridimensional suas duas primeiras dimensões correspondem ao estado atual da sub-rotina e ao tipo de entrada que está sendo analisada. A terceira dimensão define o conteúdo da tabela como sendo o próximo estado da rotina (terceira dimensão = 1) ou qual rotina será executada (terceira dimensão = 2). Seu "layout" é mostrado na Tabela C.4.

- b) Tabelaãotcl - tabela que contém os endereços das sub-rotinas de ação referentes à análise dos comandos do teclado. Seu "lay out" é mostrado na Tabela C.5.

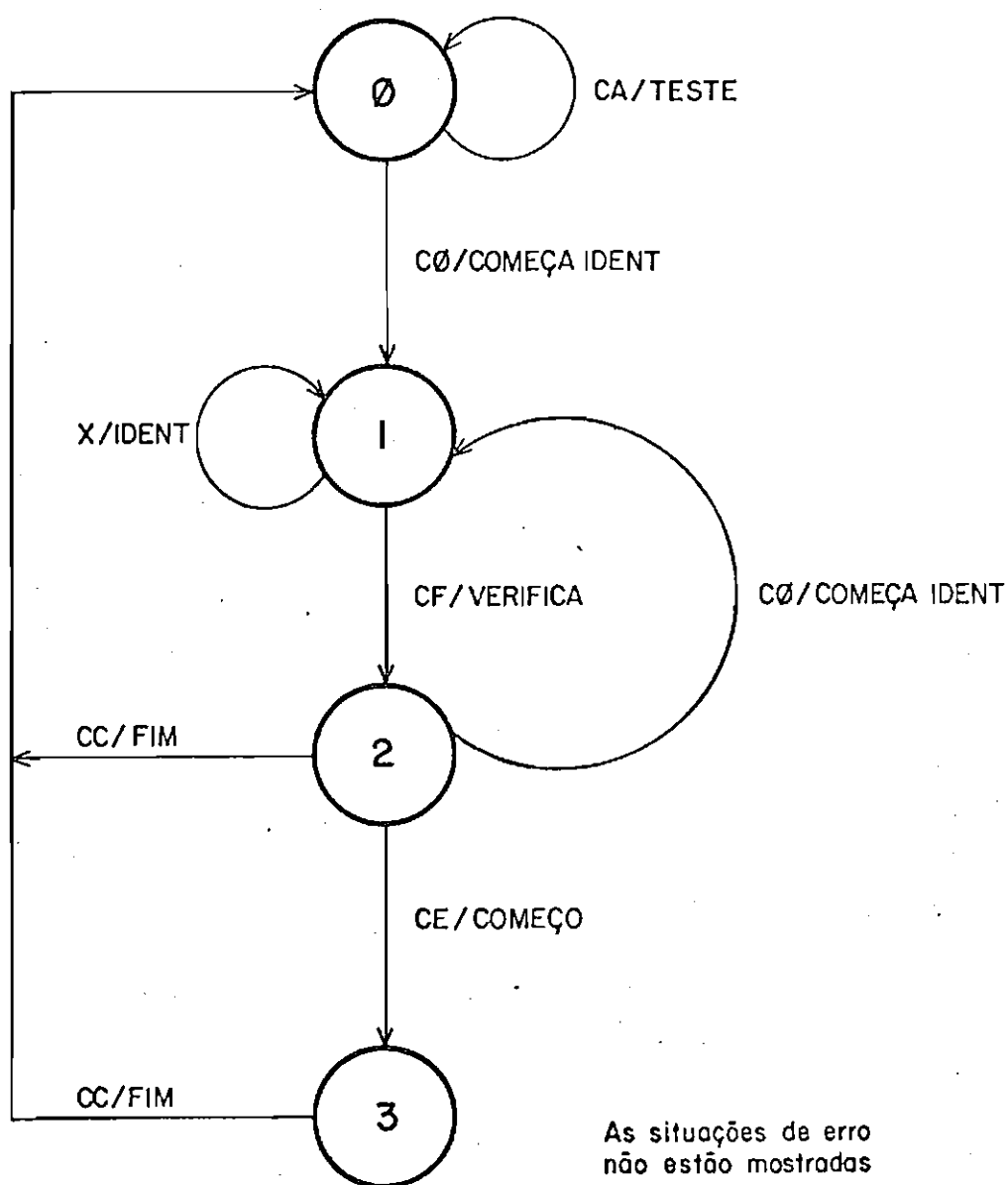


Fig. C.6 - Diagrama de estado da sub-rotina analisador.

TABELA C.4

ESTADO DA SUB-ROTINA ANALISADOR

ESTADO ATUAL	ENTRADAS					
	CO	CA	CE	CC	CF	QUALQUER OUTRA
0	1/4	0/1	0/7	0/7	0/7	0/7
1	0/7	0/7	0/7	0/7	2/3	1/5
2	1/4	0/7	3/2	0/6	0/7	0/7
3	0/7	0/7	3/0	0/6	0/7	0/0

TABELA C.5

"LAYOUT" DA TABELA TABELAÇÃO TCL

TAREFA	SUB-ROTINA CHAMADA
1	Teste
2	Começo
3	Verifica
4	Começaident
5	Ident
6	Fim
7	Errotcl

O pseudocódigo é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA ANALISADOR (entrada);  
INÍCIO  
  CHAME proxteclado (entrada, tipo);  
  tarefa:= tabelacl (estadotcl, tipo, 2);  
  estadotcl:= tabelatcl (estadotc, tipo, 1);  
  SE tarefa <> 0  
    FAÇA CHAME tabelação (tarefa);  
  RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são: Proxteclado e, através de Tabelaçãotcl, Teste, Começo, Verifica, Começaident, Ident, Fime Errotcl.

C.3.24 - SUB-ROTINA TESTE

Esta sub-rotina faz parte do "software" básico da plataforma e executa funções de autoteste da PPCD/ERI. Esta sub-rotina só pode ser executada quando a plataforma se encontra no estado inicial de operação (estadotcl = 0).

C.3.25 - SUB-ROTINA COMEÇAIDENT

Esta sub-rotina inicia a obtenção de dados de identificação. Altera o valor da variável global Numident, Iniciando-a em zero. É acionada com a entrada do comando C0. O pseudocódigo é mostrado em seguida:

```
SUB-ROTINA COMEÇAIDENT  
INÍCIO  
  numident:= 0;  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.26 - SUB-ROTINA IDENT (info)

Esta sub-rotina é executada após a introdução do comando C0, desde que estadotcl=0. Sua função é montar o vetor que contém as

informações de identificação da missão por ocasião da operação da plataforma no modo isolado.

Seu parâmetro de entrada, info, contém a informação a ser armazenada. As variáveis globais utilizadas são: Numident, Modo e uma coluna da matriz Dado. A sequência das informações de identificação (para os dois modos de operação) é mostrada na Tabela C.6. O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA IDENT (info);  
INÍCIO  
  SE numident=0 FAÇA modo:= info;  
  numident:= numident+1;  
  dado (numident, 5):= info;  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.27 - SUB-ROTINA VERIFICA

Esta sub-rotina é executada com a inserção do comando CF, desde que estadotcl=1. Sua função é verificar se foi inserido o número correto de dados de identificação.

Para o modo zero (apenas primeira faixa), o número de dados é igual a 17; para o modo 1, é igual a 35.

Duas mensagens são enviadas ao display:

- a) EI - erro de identificação - foram introduzidos dados a mais ou a menos.
- b) AI - acabou identificação - o número de dados é correto.

Caso a fase de identificação tenha terminado corretamente, o restante do bloco de identificação (que será gravado em todo começo de fita) é reinicializado com o valor zero.

TABELA C.6

SEQUÊNCIA DE ENTRADA DE DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

NUIDENT	MODO DE OPERAÇÃO	
	0	1
1	Modo	Modo
2	Ganho Hx	F2
3	Ganho Hy	Ganho Hx
4	Ganho Ex	Ganho Hy
5	Ganho Ey	Ganho Ex
6	Nº de amostras	Ganho Ey
7	Nº de amostras	F3
8	Nº de amostras	Ganho Hx
9	Ref. estação	Ganho Hy
10	Ref. estação	Ganho Ex
11	Dia	Ganho Ey
12	Mês	Ganho Hz
13	Ano	F4
14	Hora	Ganho Hx
15	Minuto	Ganho Hy
16	Distância	Ganho Ex
17	Distância	Ganho Ey
18	-	Ganho Hz
19	-	F2
20	-	Nº de amostras
21	-	Nº de amostras
22	-	Nº de amostras
23	-	F3
24	-	Nº de amostras
25	-	Nº de amostras
26	-	Nº de amostras
27	-	Ref. estação
28	-	Ref. estação
29	-	Dia
30	-	Mês
31	-	Ano
32	-	Hora
33	-	Minuto
34	-	Distância
35	-	Distância

As variáveis globais utilizadas são: Numident, Sin, Modo e Dado.

O pseudocódigo é apresentado na sequência:

```
SUB-ROTINA VERIFICA;  
INÍCIO  
  SE modo = 0  
    ENTÃO SE numident <> 17  FAÇA modo:=1  
    SENÃO SE numident = 35  FAÇA modo:=0;  
  SE modo = 0 (dados corretos !)  
    ENTÃO INÍCIO  
      sin(1):= "display";  
      sin(2):= "AI";  
      CHAME transmitasinal;  
      PARA numident:= numident, 256  
        FAÇA dado (numident, 5):= 0;  
    FIM  
  SENÃO INÍCIO  
    sin(1):= display;  
    sin(2):= "EI";  
    CHAME transmitasinal  
  FIM;  
RETORNE  
FIM.
```

A sub-rotina chamada é a Transmitasinal.

C.3.28 - SUB-ROTINA COMEÇO

Esta sub-rotina é executada após ser inserido o comando CE pelo teclado e desde que estadotcl=2. Sua função é dar início à aquisição de dados por ocasião da operação isolada) segundo o modo definido durante a fase de identificação.

Além disso, esta sub-rotina inicia as variáveis globais que contêm os contadores de número de dados adquiridos (numdados), utilizando também para isso os dados obtidos durante a fase de identificação. Deste modo, a aquisição de dados pode ser iniciada a partir de um número específico de dados (Tabela C.6).

O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA COMEÇO;
INÍCIO
  SE dado (1, 5) = 0 (indica apenas primeira faixa)
  ENTÃO INÍCIO
    numdados (1) := dado(6,5) + dado(7,5)
                  + dado(8,5);
    (numdados (1) recebe o número de amostras já
     adquiridas da primeira faixa)
    CHAME iniciatimer(1)
  FIM
  SENÃO INÍCIO
    numdados(2) := dado(20,5) + dado(21,5)
                  + dado(22,5);
    (numdados(2) recebe o número de amostras já
     adquiridas da segunda faixa)
    numdados(3) := dado(24,5) + dado(25,5)
                  + dado(26,5);
    (numdados(3) recebe o número de amostras já
     adquiridas da terceira faixa)
    CHAME iniciatimer(4);
    CHAME iniciatimer(3);
    SE numdados(2) < 40960
      FAÇA CHAME iniciatimer(2);
  FIM;
RETORNE
FIM.
```

Apenas a sub-rotina Iniciatimer é invocada.

C.3.29 - SUB-ROTINA INICIATIMER (faixa)

Esta sub-rotina alcança a área de controle compartilhada CAD. Esta área é utilizada pelo Processo "Timer" para definir quais os sinais (e em que taxa) serão amostrados. O "layout" desta área é mostrado na Figura C.3.

O acesso a esta área é regulado pelo semáforo Timer1. O parâmetro de entrada faixa define qual faixa de aquisição será ativada. Para a implementação MT/INPE, considera-se que o "Timer" da PPCD/ERI está ajustado para adquirir dados da primeira faixa. Como as taxas de aquisição são adotadas com uma ordem de grandeza de diferença uma da outra, a Tabela C.7 mostra o conteúdo da área CAD que a execução da sub-rotina Iniciatimer ocupa para cada uma das faixas.

TABELA C.7

CONTEÚDO DA ÁREA CAD GERADO PELA SUB-ROTINA INICIATIMER

FAIXA	PALAVRA DA ÁREA CAD	CONTEÚDO
1	Cad(2)	1
2	Cad(3)	10
3	Cad(4)	100
4	Cad(5)	1000

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA INICIATIMER(faixa);  
INÍCIO  
  CHAME "wait (timer1);  
    cad(1) [8-faixa] := 1;  
    (bit 7=1 para faixa 1, bit b=1 para  
    faixa 2, etc.)  
  cad(1 + faixa) := 10 ** (faixa - 1);  
    (cad(2)=1, cad(3)=10, etc.)  
  CHAME "signal"("timer1");  
  RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são Wait e Signal.

C.3.30 - SUB-ROTINA FIM

Esta sub-rotina é acionada com a entrada do comando pelo teclado. Sua função é paralisar a operação da PPCD/ERI de maneira organizada, isto é, se houver blocos de dados incompletos no momento da parada, estes serão gravados. Esta função é realizada através da variável Op, que controla a iteração maior do programa principal (Seç C.3.12).

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA FIM;  
INÍCIO  
    op:=0;  
    RETORNE  
FIM.
```

C.3.31 - SUB-ROTINA ERROTCL

Esta sub-rotina é chamada toda vez que uma situação de erro é detetada no tratamento dos comandos do teclado. Seu pseudocódigo é mostrado abaixo:

```
SUB-ROTINA ERROTCL;  
INÍCIO  
    CHAME erro(8);  
    RETORNE  
FIM.
```

C.3.32 - SUB-ROTINA PROXTECLADO (entrada, tipo)

Esta sub-rotina classifica o dado fornecido pela sub-rotina Analisador como um dos seis tipos possíveis de entrada geradas pelo teclado. O valor de retorno, tipo, será utilizado como índice para pesquisar a tabela de estado Tabelatcl.

A tabela que contém os dados possíveis gerados pelo teclado é a Tabelacomando, cujo "layout" é mostrado na Tabela C.8.

O pseudo-código é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA PROXTECLADO (entrada, tipo);  
INÍCIO  
    tabelacomando(6):=entrada;  
    tipo:=1;  
    ENQUANTO tabelacomando(tipo) <> entrada  
        FAÇA tipo:= tipo + 1;  
    RETORNE  
FIM.
```

TABELA C.8

"LAYOUT" DE TABELA COMANDO

TIPO	COMANDO
1	CO
2	CA
3	CE
4	CC
5	CF
6	QUALQUER OUTRA ENTRADA

C.3.33 - SUB-ROTINA PROCESSAMENTO ISOLADO

Esta sub-rotina realiza todas as operações de armazenamento temporário, contabilização de amostras, compactação e formação dos blocos de gravação quando a PPCD/ERI está operando no modo isolado.

As especificações de formação dos blocos e compactação de dados são mostradas no Apêndice B.

As variáveis globais utilizadas são: Numdados, Aq, Dado, Ctdados e aquisição. As variáveis locais utilizadas são descritas a seguir:

- a) Faixa - recebe o valor da faixa do bloco de dados amostrado.
- b) Limite - vetor de quatro elementos contém o limite de amostras por faixa (Tabela C.9).

- c) Numsinal - variável auxiliar, recebe o tamanho do vetor aquisição, dependendo se o bloco de dados é das faixas 1 ou 2 (apenas quatro sinais amostrados) ou 3 e 4 (cinco sinais amostrados).
- d) Aux - variável auxiliar, controla a iteração que percorre o vetor aquisição.
- e) Começofita - vetor com quatro variáveis booleanas. Indicam se é ou não começo de fita de determinada faixa.
- f) Tempo - recebe o valor da base de tempo (hora relativa) da PPCD/ERI.
- g) Ctbloco - vetor com quatro elementos, contém o número de blocos de determinada faixa já gravados em uma fita.
- h) Amostracompleta - variável booleana auxiliar, utilizada quando não é possível fazer compressão de dados.
- i) Aux1 e Aux2 - variáveis auxiliares, recebem valores de amostras por ocasião da execução da sub-rotina de compressão de dados.
- j) Últimamostra - matriz de 4 x 5 elementos, contém o conjunto de amostras anteriores de cada sinal e de cada faixa. É utilizada como base para efetuar a compressão de dados (Apêndice B).
- l) Sinal - variável que recebe a metade do valor de Aux, significa qual sinal de uma determinada faixa está sendo lido do vetor aquisição (sinal = 1, Hx; sinal = 2, Hy, etc...).
- m) Aviso - variável booleana que contém a informação se houve ou não compressão de dados.

- n) Limitedefita - constante que possui o valor do número máximo de blocos de dados numa fita.

TABELA C.9

TABELA DE VALORES LIMITES DE
AQUISIÇÃO POR FAIXA

FAIXA	LIMITE
1	40960
2	40960
3	40960
4	4096

Esta rotina gera três mensagens para a impressora: mensagem de contabilização de blocos, mensagem de fim de fita e mensagem de fim de aquisição.

O pseudocódigo desta rotina é apresentado a seguir:

SUB-ROTINA PROCESSAISOLADO

INÍCIO

```
CHAME saibufcirc (amostra, aquisição);
faixa:= aquisição(1);
numdados(faixa):= numdados(faixa)+1;
aq:= aq - 1;
SE numdados(faixa) =< limite(faixa)
  ENTÃO INÍCIO (início do trecho de armazenamento)
    SE faixa > 2
      ENTÃO numsinais:=11
      SENÃO numsinais:=9;
    PARA aux:= 2, numsinais,2
      ("loop" para percorrer vetor aquisição)
      FAÇA INÍCIO
        SE começofita(faixa)=1
          FAÇA INÍCIO
            dado(1,5):=faixa;
            CHAME grave (5);
            começofita(faixa):=0
          FIM;
```

```
SE ctdados(faixa)=0
  (início de um bloco de dados)
  FAÇA INÍCIO
    dado(1,faixa):=faixa;
    CHAME ligarelôgio(tempo);
    dado(2,faixa):=tempo;
    dado(3,faixa):=tempo;
    dado(4,faixa):=numdados(faixa);
    dado(5,faixa):=numdados(faixa);
    dado(6,faixa):=ctbloco(faixa);
    ctdados(faixa):=7;
  FIM;
SE ctdados(faixa) > 245 ou
  ctdados(faixa) < 16
  FAÇA amostracompleta :=1;
  (o começo e o fim de um bloco são
  gravados com as amostras sem
  compactação de dados)
SE amostracompleta = 1
  ENTÃO CHAME dadoscompletos(faixa,aux)
  SENÃO INÍCIO
    (dados passíveis de compressão)
    aux1:= aquisição(aux);
    aux2:= aquisição(aux+1);
    sinal:= aux/2;
    CHAME compressão(aux1, aux2,
    ultimamostra(faixa,sinal),aviso);
    ultimamostra(faixa,sinal):=
    aquisição(aux) + aquisição(aux+1);
    SE aviso=1 (houve compressão)
      ENTÃO INÍCIO
        dado(ctdados(faixa),faixa):=
        aux2;
        ctdados(faixa):=
        ctdados(faixa)+1;
      FIM;
      SENÃO CHAME dadoscompletos
        (faixa, aux);
    FIM
SE ctdados(faixa)= 257
  ENTÃO INÍCIO
    CHAME grave(faixa);
    ctdados(faixa):= 0;
    ctbloco(faixa):=ctbloco(faixa)+1
  FIM;
SE ctbloco(faixa) é múltiplo de 10
  FAÇA CHAME saidastatus(1,faixa,
    ctbloco(faixa),
    numdados(faixa));
SE ctbloco(faixa)=limitedefita
  FAÇA INÍCIO
    CHAME saidastatus(2,faixa,
    ctbloco(faixa),0);
```

```
        começofita(faixa):= 1;
        ctbloco(faixa):=0;
    FIM;
    FIM (da iteração controlada por aux)
FIM (do trecho de armazenamento e
    contabilizações)
SENÃO CHAME acabafaixa(faixa);
    (completou-se o número de amostras
    de determinada faixa)
    FIM;
RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são: Saibufcirc, Grave, Ligare
lógio, Dadoscompletos, Compressão, Acabafaixa e Saidastatus.

C.3.34 - SUB-ROTINA ACABAFaixa (faixa)

Sub-rotina utilizada para finalizar a gravação de um blo
co de dados, quando se alcança o número limite de amostras ou quando
existe um comando de finalização originado pelo teclado.

Utiliza as variáveis globais Ctdados, Dado e Numdados.
Uma variável local, aux, é utilizada como contador de iterações. O pa
râmetro de entrada (faixa) designa a faixa cujo bloco de dados será
terminado. O pseudocódigo desta sub-rotina é descrito a seguir:

```
SUB-ROTINA ACABAFaixa (faixa);
INÍCIO
    CHAME desativatimer(faixa);
    SE ctdados(faixa) <> 0
        FAÇA INÍCIO (finaliza blocos e grave)
            PARA aux:=ctdados(faixa),256
                FAÇA dado(aux,faixa):=0;
            CHAME grave(faixa)
        FIM
    CHAME saidastatus(2,faixa, numdados(faixa),0).
    RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são Desativatimer, Grave e Saida
status.

C.3.35 - SUB-ROTINA GRAVE (faixa)

Esta sub-rotina é responsável por iniciar a área de controle do Processo Transmissor para que um bloco de dados seja gravado. Além disso, ela efetua a transferência dos dados do vetor global Dado (cuja coluna é definida pelo parâmetro de entrada faixa) para a área compartilhada Áreagr.

O pseudocódigo é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA GRAVE (faixa);  
INÍCIO  
  CHAME transfere dado(faixa),1, áreagr(lado),1);  
  CHAME iniciatx (sr, áreagr(lado), 256);  
  RETORNE  
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são Transfere e Iniciatx.

C.3.36 - SUB-ROTINA DADOSCOMPLETOS (faixa, aux)

Esta sub-rotina é executada nas situações em que não há compactação de dados. A informação completa (12 bits) de uma amostra é armazenada juntamente com uma informação de controle (Apêndice B).

Utiliza os seguintes parâmetros de entrada:

- a) Faixa - indica em qual coluna da matriz global dado será armazenada a amostra completa.
- b) Aux - indica quais elementos do vetor aquisição serão armazenadas. Em outras palavras, indica de qual sinal (Hx, Hy, etc.) é a amostra armazenada.

As variáveis globais utilizadas são: Ctdados, Dado e Aquisição.

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA DADOSCOMPLETOS (faixa, aux);  
INÍCIO  
  dado (ctdados(faixa),faixa):= controle + aquisição(aux);  
  ctdados(faixa):= ctdados(faixa)+1;  
  dado(ctdados(faixa),faixa):= aquisição(aux+1);  
  ctdados(faixa):= ctdados(faixa)+1;  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.37 - SUB-ROTINA COMPRESSÃO (aux1, aux2, referência, aviso)

Esta sub-rotina executa a compressão de dados segundo o disposto no Apêndice B. Seus parâmetros de entrada são:

- a) Aux1 - "byte" mais significativo da amostra a ser compactada.
- b) Aux2 - "byte" menos significativo da amostra a ser compactada.
- c) Referência - Última amostra do sinal a ser compactado. É utilizado como referência para compactar dados.

O parâmetro de saída (aviso) indica se houve ou não compressão de dados. O pseudocódigo é apresentado a seguir:

```
SUB-ROTINA COMPRESSÃO(aux1,aux2,referência,aviso);  
INÍCIO  
  SE |(aux1+aux2)-referência| > 64  
    ENTÃO aviso:=2; (não houve compressão)  
    SENÃO INÍCIO  
      aviso:=1;  
      aux2[7]:=0;  
      aux2[6]:= sinal da diferença efetuada acima;  
    FIM;  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.38 - SUB-ROTINA DESATIVATIMER (faixa)

Esta sub-rotina alcança a área compartilhada Cad com a função de interromper a aquisição de dados da faixa definida pelo parâmetro de entrada faixa. O acesso à área Cad é feito através de uma região crítica criada pela manipulação do semáforo Timer1. O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA DESATIVATIMER (faixa);  
INÍCIO  
  CHAME "wait"(timer1);  
  cad(1) [8-faixa] := 0; (desabilita aquisição)  
  CHAME "signal" (timer1);  
  RETORNE  
FIM.
```

C.3.39 - SUB-ROTINA SAIDASTATUS (controle, faixa, dado1, dado2)

Esta sub-rotina envia as mensagens de contabilização, fim de fita e fim de aquisição para a impressora.

Seus parâmetros de entrada são:

- a) Controle - indica qual a mensagem que será gerada. São elas: controle=1, contabilização normal de blocos gravados; controle=2, fim de fita ou fim de aquisição.
- b) Faixa - indica a qual faixa pertence a mensagem.
- c) Dado1 - dado a ser impresso. Seu significado muda para cada mensagem.
- d) Dado2 - dado a ser impresso. Seu significado muda para cada mensagem.

Utiliza a variável global Sin para alcançar o "buffer" Sinal e vários caracteres de controle. São eles:

- a) Imprima - caractere de controle da interface da impressora. Causa a impressão de uma linha.
- b) Tab - caractere de controle da interface da impressora. Causa o espaçamento de dados dentro de uma linha.
- c) Início - caractere de controle do Processo Sinalizador. Sinaliza o começo de uma linha a ser impressa.
- d) Impressora - caractere de controle do Processo Sinalizador. Designa a impressora para receber os dados enviados pelo "buffer" Sinal.
- e) Fim - variável de controle local. É utilizada para controlar uma iteração dentro da sub-rotina.

Utiliza a variável global status para gerar a mensagem a ser impressa. O formato de cada uma das mensagens foi mostrado na Figura 6.6. O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA SAIDASTATUS (controle, faixa, dado1, dado2);
INÍCIO
  sin(1):="impressora";
  status(2):=faixa;
  CHAME binariobcd (dado1, 4);
  status(9):="imprima";
  SE controles= 1 (duas linhas são impressas)
    ENTÃO INÍCIO
      status(10):=faixa;
      status(11):="tab";
      CHAME binariobcd (dado2, 12);
      status(17):="imprima";
      status(18):="fim"
    FIM
  SENÃO status(10):="fim";
  i:=1;
  ENQUANTO status(i) <> "fim"
    FAÇA INÍCIO
      sin(2):= status(i);
      i:=i+1;
      CHAME transmitasinal;
    FIM
  RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são: Transmitasinal e Bināriobcd.

C.3.40 - SUB-ROTINA INICIATX (dispositivo, areadados, noelementos)

Esta sub-rotina manipula a área compartilhada Comtx, de modo a iniciar a operação do Processo Transmissor. Os semáforos Prontocp e Prontogr são utilizados para garantir que o canal de transmissão ou gravação esteja vago. Esta sub-rotina também é a única que altera o valor do vetor global Lado que, por sua vez, identifica qual é a área disponível para colocar dados a transmitir ou para gravar. O semáforo Tx2 é utilizado para disciplinar o acesso à área Comtx.

Seus parâmetros de entrada são:

- a) Dispositivo - indica para qual canal de saída serão transmitidos os dados.
- b) Áreadados - indica o endereço inicial da área de dados a ser transmitidos.
- c) Noelementos - indica o número de dados a transmitir (1 a 256 elementos).

Esta sub-rotina ativa o Processo Transmissor através da chamada a uma primitiva do NOC (ATIVA). A palavra Comtx(1), além do comando do canal a ser ativado, recebe uma informação suplementar para avisar ao Processo Transmissor que sua ativação ocorreu pelo Armazenador (e não pela interrupção).

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA INICIATX (dispositivo, areadados, noelementos);
INÍCIO
  ESCOLHA DEPENDENDO DE dispositivo
    INÍCIO
      cp: CHAME "wait"(prontocp);
      gr: CHAME "wait"(prontogr);
    FIM;
```

```
CHAME "wait"(tx2);
    comtx(1):=comtx(1) + dispositivo + aviso de ativação
        pelo Armazenador;
    comtx(2):=endereço de endereço(MSB);
    comtx(3):=endereço de endereço(LSB);
    comtx(4):=noelementos;
CHAME signal(tx2);
CHAME ativa (Transmissor);
SE lado (dispositivo) = "ping"
    ENTÃO lado (dispositivo):="pong"
    SENÃO lado (dispositivo):="ping";
RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são "Wait", "Signal" e Ativa.

C.3.41 - SUB-ROTINA TRANSFERE (entrada, índice1, saída, índice2)

Esta sub-rotina tem a função de transferir dados de um vetor para outro. Os parâmetros de entrada são:

- a) Entrada - designa o vetor de entrada, ou seja, a fonte dos dados.
- b) índice1 - número inteiro que designa o índice do vetor de entrada a partir do qual se fará a transferência.
- c) índice2 - número inteiro que designa o índice do vetor de saída a partir do qual se fará a transferência.

O parâmetro de saída (saída) é o vetor que receberá os dados originados no vetor Entrada. Duas variáveis inteiras locais (aux e contador) são utilizadas durante a transferência. O número de elementos transferidos é sempre 256. O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA TRANSFERE (entrada, índice1, saída, índice2);
INÍCIO
    contador:=índice2;
    PARA aux:=índice1,256+índice1
```

```
        FAÇA INÍCIO
            saída(contador):=entrada(aux);
            contador:=contador+1;
        FIM;
    RETORNE
FIM.
```

C.3.42 - SUB-ROTINA BINÁRIOBCD (dado, Índice)

Esta sub-rotina converte um dado binário (referente ao parâmetro de entrada Dado) em uma sequência de cinco dígitos BCD, dispostos em cinco "bytes" separados.

O resultado da conversão é armazenado no vetor global Status, a partir do Índice definido pelo parâmetro de entrada Índice. O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA BINÁRIOBCD (dado, Índice);
INÍCIO
    Converta dado (número binário) para cinco dígitos bcd;
    PARA K:= Índice, Índice+4
        FAÇA status(k):= um dígito bcd;
            (começando pelo mais significativo)
    RETORNE
FIM.
```

C.3.43 - SUB-ROTINA PROCESSACP

Esta sub-rotina executa a função de armazenamento temporário de dados quando a plataforma opera com o computador de processamento. Esta rotina coleciona 256 amostras de cada sinal e depois, caso a variável global Mande seja igual a um, transmite os dados ao computador de processamento. As amostras são armazenadas sem compactação de dados.

As variáveis globais utilizadas são as seguintes: Numdados, Aquisição, Aq, Dado, Aqcompleta e FaixaAtual. O pseudocódigo desta rotina é mostrado a seguir:

SUB-ROTINA PROCESSACP;

INÍCIO

SE numdados(1) < = 255

ENTÃO INÍCIO

CHAME saibufcirc(amostra,aquisição);

aq:=aq - 1;

dado(numdados(1),1):=aquisição(2);

dado(numdados(1),2):=aquisição(4);

dado(numdados(1),3):=aquisição(6);

dado(numdados(1),4):=aquisição(8);

SE aquisição(1) = 3 (faixa=3)

FAÇA dado(numdados(1),5):=aquisição(10);

numdados(1):=numdados(1)+1;

dado(numdados(1),1):=aquisição(3);

dado(numdados(1),2):=aquisição(5);

dado(numdados(1),3):=aquisição(7);

dado(numdados(1),4):=aquisição(9);

SE aquisição(1) = 3

FAÇA dado(numdados(1),5):=aquisição(11);

numdados(1):=numdados(1)+1);

FIM

SENÃO INÍCIO

SE aqcompleta=1

FAÇA INÍCIO

CHAME desativatimer(faixatual);

aqcompleta:=0;

FIM;

SE mande=1

FAÇA INÍCIO

CHAME transmitacp;

mande:=0;

CHAME cp("pronto");

(avisa a rotina de tratamento de
protocolo que um bloco já foi
transmitido)

FIM;

FIM

RETORNE

FIM.

As sub-rotinas chamadas são Saibufcirc, Desativatimer, Transmitacp e Cp.

C.3.44 - SUB-ROTINA TRANSMITACP

Esta sub-rotina tem a função de transmitir os dados armazenados para o computador de processamento. Adicionalmente todos os dados transmitidos ao computador são gravados.

Inicialmente são transmitidos os caracteres de controle do protocolo; depois transmitem-se os blocos de dados. Cada conjunto de 256 amostras (com 2 "bytes" cada uma) é subdividida em quatro partes. Cada uma delas é convertida de binário para caracteres ASCII (cada elemento com quatro caracteres ASCII). Finalmente, este bloco constituído por 256 "bytes" (com 64 amostras) é transmitido ao computador. Para controlar as iterações de conversão e transmissão de dados são utilizadas três variáveis locais: Limite, Sinal e Parte. A primeira designa se determinada faixa possui quatro ou cinco sinais que estão sendo amostrados. A segunda é utilizada para percorrer a matriz global Dado onde as amostras dos diversos sinais foram armazenadas. Finalmente a terceira variável é usada para dividir cada conjunto de amostras de um sinal em quatro partes. Essa repartição é necessária, pois as áreas partilhadas para transmissão de dados (áreacp e áreaqr) possuem 256 "bytes".

Uma variável local denominada "checksum" é utilizada para gerar o código de controle de erro "checksum", transmitido ao fim de cada bloco de dados. As variáveis globais utilizadas são: Áreacp, Aquisição, Lado, Dado e Novafaixa.

O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA TRANSMITACP;  
INÍCIO  
  áreacp(lado(cp),1):="início";  
  áreacp(lado(cp),2):= novafaixa;  
  áreacp(lado(cp),3):="início";  
  CHAME iniciatx(cp,áreacp(lado(cp)),3);  
  SE aquisição(1) =3  
    ENTÃO limite:=5  
    SENÃO limite:=4  
  "checksum":=0  
  PARA sinal:=1,limite  
    FAÇA PARA parte:=0,3  
      FAÇA INÍCIO  
        CHAME converte(parte,dado(sinal),  
                        áreacp(lado(cp)));  
        CHAME some(áreacp(lado(cp)), checksum;  
        áreaqr(lado(qr),1):=1;
```



```
CHAME transfere(ãreacp(lado(cp)),1,
                ãreagr(lado(gr)),2);
CHAME iniciatx(cp,ãreacp(lado(cp)),256);
CHAME iniciatx(gr,ãreagr(lado(gr)),256);
FIM;
ãreacp(lado(cp),1):="fimeddados";
ãreacp(lado(cp),2):= checksum;
ãreacp(lado(cp),3):="fimde transmissão";
CHAME iniciatx(cp,ãreacp(lado(cp)),3);
RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas invocadas são: Iniciatx, Converte, Some e Transfere.

C.3.45 - SUB-ROTINA SOME (entrada, checksum)

Esta sub-rotina executa o "checksum" de um vetor definido pelo parâmetro de entrada Entrada. A informação obtida é fornecida à sub-rotina que a invocou através do parâmetro de saída "checksum". Esta informação é utilizada para verificar a integridade da mensagem transmitida ao computador de processamento. A operação consiste em efetuar uma operação de "ou-exclusivo" em todos os "bytes" do vetor Entrada. O pseudocódigo é fornecido a seguir:

```
SUB-ROTINA "SOME" (entrada, "checksum");
INÍCIO
  PARA TODO elemento de entrada
    FAÇA "checksum" := "checksum" + entrada;
  RETORNE
FIM.
```

C.3.46 - SUB-ROTINA CONVERTE (parte, entrada, saída)

Esta sub-rotina converte dados em binário (com 12 bits) para o correspondente em quatro caracteres codificados em ASCII. Utiliza os seguintes parâmetros de entrada:

- a) Entrada - designa o vetor que contém os dados a serem convertidos.

- b) Parte - designa qual das quatro partes de 128 "bytes" do vetor Entrada terá seus dados convertidos.

A conversão é executada elemento por elemento, ou seja, cada amostra de dois "bytes" do vetor Entrada é convertida em quatro caracteres ASCII, que são armazenados no vetor determinado pelo parâmetro Saída (ocupando cada amostra quatro "bytes").

As variáveis locais, base e contador, são utilizadas para controlar os índices dos vetores entrada e saída. O pseudocódigo é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA CONVERTE (parte, entrada, saída);
INÍCIO
  contador:=1;
  PARA base:= 128 * parte + 1, base + 128,2
    FAÇA INÍCIO
      converta o número binário de 2 "bytes"
      contido em entrada(base) e entrada(base+1)
      para ASCII;
      Coloque os quatro caracteres resultantes
      em saída(contador) e saída(contador+3);
      contador:= contador + 4;
    FIM;
  RETORNE
FIM.
```

C.3.47 - PROCESSO RELÓGIO

Este processo tem a função de atualizar o mostrador de hora relativa do painel da plataforma. Utiliza a variável global controle(2) que mantém a imagem dos bits de controle da plataforma.

O campo Ct, pertencente à Tabela Descritora deste processo, é iniciado de tal forma que o tempo de espera gerado pela primitiva "Wait"(relógio) seja um segundo (Seção 6.3.7). O pseudocódigo é:

```
PROCESSO RELÓGIO;
INÍCIO
  controle(2)[4]:=1; (limpa o display)
  CHAME saídacontrole(2,4);
```

```
controle(2)[4]:=0;
CHAME saidacontrole(2,4);
ENQUANTO verdade
  FAÇA INÍCIO
    CHAME "wait"(relógio);
    controle(2)[3]:=1; (incrementa display)
    CHAME saidacontrole(2,3);
    controle(2)[3]:=0;
    CHAME saidacontrole(2,3);
  FIM
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são "Wait" e Saídacontrole.

C.3.48 - PROCESSO SINALIZADOR

Este processo é responsável por atuar sobre os dispositivos de sinalização construídos para a implementação MT/INPE. Estes dispositivos são: um display de dois dígitos hexadecimais e uma pequena impressora (Seção 6.1.2).

Este processo recebe dados e comandos originados pelo Processo Armazenador através do "buffer" Sinal. As variáveis globais utilizadas são Sinal e Controle.

Os semáforos utilizados são:

- a) Hasaída - utilizado para sincronizar este processo com o Processo Armazenador.
- b) Impressoralivre - a impressora é utilizada também pela rotina de tratamento de erro. Esse semáforo é usado para estabelecer uma região crítica durante sua utilização, de forma a garantir que uma linha completa de dados seja transferida à interface da impressora.

Este programa utiliza uma variável auxiliar (estadoimpressora) para sinalizar quando se está em operação de entrada de dados de uma linha na impressora e outra variável auxiliar para "salvar"

o conteúdo do display durante a transferência de informações à impressora. O vetor local Saída contém os dados retirados do "buffer" Sinal.

O pseudocódigo deste programa é discriminado abaixo:

```
PROCESSO SINALIZADOR;
INÍCIO
  estadoimpressora:="inativa";
  ENQUANTO verdade
    FAÇA INÍCIO
      CHAME "wait"(hasaída);
      CHAME saibufcirc(sinal,saída);
      SE saída(1)=display
        ENTÃO INÍCIO
          controle(1):=saída(2);
          CHAME saídacontrole(1,0)
        FIM
      SENÃO SE estadoimpressora="inativa"
        ENTÃO INÍCIO
          CHAME "wait"(impressoralive);
          aux:=controle(1);
          estadoimpressora:="ativa"
        FIM
      SENÃO INÍCIO
        CHAME saídaimpressora
          (saída(2));
        SE saída(2)="imprima"
          FAÇA INÍCIO
            controle(1):=aux;
            CHAME saídacontrole (1,0);
            estadoimpressora:=inativa;
            CHAME signal (impressoralive);
          FIM
        FIM
      FIM
    FIM
  FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são Saídacontrole, "Wait", "Signal", Saídaimpressora e Saibufcirc.

C.3.49 - SUB-ROTINA SAÍDAIMPRESSORA (dado)

Esta sub-rotina contém o código para transferir um dado (designado pelo parâmetro de entrada dado) para a interface da impressora. Esta sub-rotina modifica a variável global controle(1).

O semáforo utilizado é o semáforo livre. Sua função é criar uma região crítica durante a transferência de dados do "barramento" para a interface da impressora. Este semáforo também é utilizado pelo processo "Timer" (durante a transferência de dados para o conversor D/A).

O pseudocódigo desta sub-rotina é mostrado a seguir:

```
SUB-ROTINA SAÍDAIMPRESSORA(dado);
INÍCIO
    controle(1):= dado;
    CHAME saídacontrole(1,0);
    CHAME "wait"(livre);
    controle(2)[6]:=1;
    CHAME saídacontrole(2,6);
    controle(2)[6]:=0;
    CHAME saídacontrole(2,6); (transfere dado para impressora)
    CHAME "signal"(livre);
    controle(2)[5]:=1;
    CHAME saídacontrole(2,5);
    Espere 0,1s; (espera ocupada)
    controle(2)[5]:=0;
    CHAME saídacontrole(2,5);
    RETORNE
FIM.
```

As sub-rotinas chamadas são Saídacontrole, "Wait" e "Signal".

C.3.50 - SUB-ROTINA SAÍDACONTROLE (palavra, bit)

Esta sub-rotina pertence ao "software" básico da PPCD/ERI e tem a função de acionar os bits de controle da plataforma. Seus parâmetros de entrada são:

- a) Palavra - define qual elemento do vetor controle será modificado (1 ou 2).
- b) Bit - define qual bit da palavra de controle é acionado.

No caso específico de palavra=1, a chamada desta sub-rotina com os parâmetros palavra=1 e bit=0 corresponde a acionar todos os bits da palavra de controle segundo seu conteúdo atual.

C.4 - TABELA CRUZADA DAS SUB-ROTINAS

Esta seção apresenta uma tabela cruzada de todas as rotinas e sub-rotinas do sistema MT/INPE.

Em cada linha obtêm-se as sub-rotinas que são chamadas por determinada rotina (ou sub-rotina). Nas colunas obtêm-se os nomes das rotinas (e sub-rotinas) que invocam determinada sub-rotina.

Assim, uma coluna da tabela em branco significa que uma rotina em particular não é invocada por nenhuma outra. Por outro lado, uma linha em branco na tabela significa que esta sub-rotina não invoca nenhuma outra.

TABELA C.10

TABELA CRUZADA DAS ROTINAS DO SISTEMA MT/INPE

[illegible]