

**ESTUDO DAS MICROPULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NA REGIÃO
DO ELETROJATO EQUATORIAL**

Relatório de Iniciação Científica

Valéria de Oliveira Kiohara

Bolsista PIBIC/CNPq

ORIENTADORES:

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra

DGE/INPE

Dr. José Marques da Costa

INPE/UNITAU

São José dos Campos

Fevereiro/2001

ESTUDO DE MICROPULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NA REGIÃO DO ELETROJATO EQUATORIAL

RESUMO

As micropulsações geomagnéticas são ondas de frequência ultra baixa, usualmente com períodos da ordem de minutos, ou alguns segundos, que resultam das interações complexas entre as partículas carregadas do vento solar e o plasma existente na magnetosfera e ionosfera terrestre. Sua faixa de frequência, aproximadamente de 1mHz a 10 Hz, abrange, fisicamente, a menor oscilação que a cavidade geomagnética pode suportar e, como limite superior, a frequência ciclotrônica do hidrogênio existente na magnetosfera. O espectro dessas micropulsações depende da atividade magnética, durante o período de ocorrência, e da região geográfica onde se faz a observação. O presente trabalho mostra espectros de micropulsações geomagnéticas observadas na região do Eletrojato Equatorial, durante um período magneticamente calmo (28 de outubro de 1994, $K_p=9+$) e outro perturbado (30 de outubro de 1994, $K_p=41-$). Foram utilizados os dados correspondentes as variações nas componentes H-horizontal, D-declinação e Z-vertical, medidas com um magnetômetro do tipo *fluxgate* com precisão de 0,1 nT, na estação de Alcântara (2,35°S, 315,6°E). Um sistema de aquisição digital grava os dados diretamente num microcomputador, em intervalos de amostragem de 3 segundos. Para o processamento dos dados utilizou-se ferramentas e programas computacionais, já existentes no INPE/DGE. A análise dos dados possibilitou a identificação de micropulsações nas faixas de Pc3 (10-45 s), Pc4 (45-150 s) e Pc5 (15-600 s).

INDICE

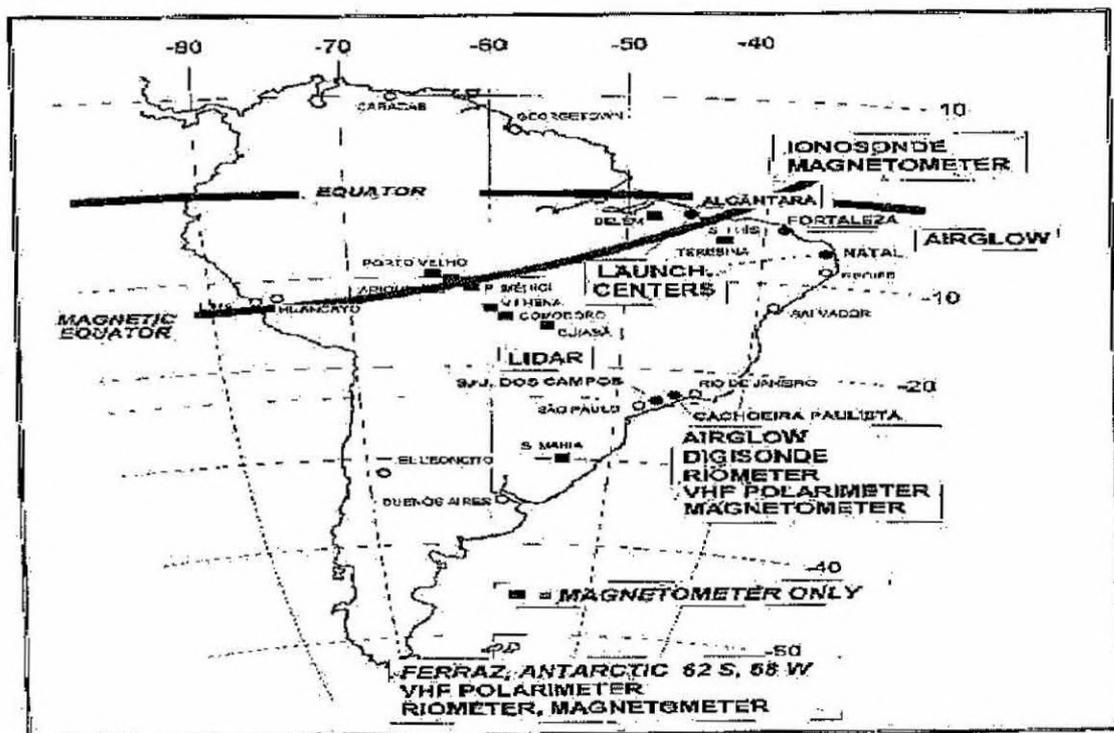
Introdução.....	04
Capítulo 2 – Micropulsações Geomagnéticas.....	05
2.1 Micropulsações Regulares ou contínuas.....	05
2.1.1 Micropulsações Contínuas Pc1.....	05
2.1.2 Micropulsações Contínuas Pc2-3.....	06
2.1.3 Micropulsações Contínuas Pc4.....	06
2.1.4 Micropulsações Contínuas Pc5.....	07
2.1.5 Micropulsações Irregulares.....	07
2.2 Sistema de Aquisição de dados.....	07
2.3 Processamento de dados.....	08
2.3.1 Filtragem de dados.....	08
2.3.2 Método Análise de Fourier.....	09
2.3.3 Transformada Rápida de Fourier.....	10
Capítulo 3 – Resultados e Conclusões.....	11
Anexo I.....	17
Anexo II.....	23

INTRODUÇÃO

O campo magnético da Terra apresenta um espectro enorme de variações, estendendo-se desde frações de segundos até mais de 30 milhões de anos. As causas das variações de longo período são internas. Já as flutuações com períodos menores que uns poucos dias têm origens externas a Terra. (Jacobs, 1970).

As variações do campo geomagnético de origem externa, com períodos desde décimos até centenas de segundos, são classificadas como micropulsações geomagnéticas ou pulsções magnéticas ou simplesmente pulsções. As micropulsações representam, possivelmente o mais importante instrumento para o estudo dos processos de dissipação da energia do vento solar em sua interação com a cavidade geomagnética, bem como para o entendimento dos processos físicos envolvidos no acoplamento da magnetosfera e a ionosfera terrestre.

Este trabalho foi realizado com os dados colhidos na estação geomagnética de Alcântara, Maranhão na região do Eletrojato Equatorial. O Eletrojato equatorial é uma corrente de alta intensidade que circunda o globo terrestre na altura de 110-120 Km na região do Equador Magnético.



CAPÍTULO 2

MICROPULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS

Um importante problema na investigação das micropulsões é a descrição e classificação dos tipos de oscilações observadas e as condições sobre as quais elas foram geradas.

Três tipos principais de classificação foram inicialmente seguidas:

- ⇒ Classificação baseada nas propriedades morfológicas;
- ⇒ Classificação correlativa, baseada na correlação com outros tipos de fenômenos (tempestades magnéticas, auroras, etc).
- ⇒ Classificação genética, baseada nos mecanismos de geração;

Este trabalho apresenta estudos baseados nas classificações morfológicas propostas pelo IAGA em 1958.

2.1 MICROPULSAÇÕES REGULARES OU CONTÍNUAS

Abrangem o intervalo das micropulsões, com períodos de 0.2 a 600 segundos. Podem ser divididas em subgrupos, dependendo de seus períodos.

2.1.1 PULSAÇÕES CONTÍNUAS Pc1 (T=0,2-5s)

Estas pulsações são importantes fontes de informação de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação e são, usualmente, indicadores da atividade da magnetosfera.

As Pc1 são oscilações senoidais regulares, com períodos variando de 0,2 a 5 seg. Estas pulsações ocorrem na forma de grupos separados, desenvolvendo-se gradualmente em uma série de pulsações que se estende por 10 minutos a horas. Elas podem também ocorrer na forma de grupos consecutivos de pulsações com bruscas variações de frequência. As séries que possuem estruturas repetitivamente estáveis são típicas de uma magnetosfera

quieta. Para uma magnetosfera perturbada há um espalhamento irregular dos elementos estruturados nos grupos, cujas diferentes inclinações e aumentos de frequência são típicos. Geralmente as pulsações do tipo Pc1 são mais comuns nas zonas aurorais e sub-aurorais.

2.1.2 PULSAÇÕES CONTÍNUAS Pc2-3 (T=5-10, 10-45 s).

As amplitudes típicas das Pc2-3 são, usualmente, menores que 0,5 nT e os períodos típicos são em torno de 5 a 30 segundos. São tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diurnas, maximizando-se ao meio-dia. A principal direção do vetor horizontal perturbado, embora tipicamente norte-sul, sofre uma variação diurna na maioria das latitudes e, com essa mudança, ocorrem vários sentidos de polarização.

A frequência característica das Pc2-3 cresce com o aumento do índice Kp. Observa-se a incidência destas pulsações também durante a fase inicial das tempestades magnéticas.

2.1.3 PULSAÇÕES CONTÍNUAS Pc4 (T=45-150s)

As amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9 nT nas altas latitudes e 1 nT nas baixas latitudes. Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas. Estes, muitas vezes, aumentam lentamente até uma amplitude máxima que se sustenta por um longo tempo, e depois decaem rapidamente. Nas médias e baixas latitudes o modelo de ocorrência diária tem um máximo ao meio-dia.

A frequência de ocorrência das Pc4 aumenta com a diminuição da atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar. Por outro lado, a frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar; já suas amplitudes decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar. Assim, as Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos períodos de mínimo solar.

Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar; mais diretamente nos anos que apresentam um número pequeno de manchas solares.

2.1.4 PULSAÇÕES CONTÍNUAS Pc5 (T=150-600s)

Esta classe de pulsações, com longos períodos (3-9 min), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de nT. Estendem-se por um período de 10 minutos a várias horas. Suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética.

Há uma larga distribuição latitudinal das Pc5, incluindo um rápido decréscimo em amplitude com o aumento da distância a zona auroral e um claro aumento equatorial. O aumento da amplitude na região equatorial pode ser explicado pelas correntes ionosféricas chamadas eletrojatos equatoriais.

2.1.5 MICROPULSAÇÕES IRREGULARES

Esta classe de micropulsações é caracterizada por sua forma irregular. Elas têm conexão com os distúrbios do campo magnético e possuem correlação com os distúrbios da magnetosfera superior (Jacobs, 1970). Esta classe é dividida em dois sub-grupos:

- Pulsações Irregulares Pi1 (T=1-40s);
- Pulsações Irregulares Pi2 (T=40-150s);

Neste trabalho estaremos estudando somente as pulsações contínuas ocorridas na região do Eletrojato Equatorial.

2.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS GEOMAGNÉTICOS

Nesta seção apresenta-se o equipamento utilizado na aquisição dos dados correspondentes as variações geomagnéticas.

O sistema de aquisição de dados é controlado por um microprocessador associado a: um magnetômetro tipo "fluxgate", cronômetro, unidade de fita e um receptor de ondas curtas de rádio para sincronização da base de tempo.

O sistema é programado para registrar as componentes H (norte-sul), D (oeste-leste) e Z (vertical para baixo, na direção do raio terrestre) do campo geomagnético e o tempo universal (UT) em intervalos de 3 segundos.

Os dados geomagnéticos registrados em fita são convertidos em arquivos tipo ASCII. Cada um destes arquivos contém um dia inteiro de dados, com intervalos de amostragem de 3 segundos, para as componentes H, D,Z e o tempo universal (UT). Os arquivos estão sob a forma de uma matriz (28800x4), contendo ainda um cabeçalho informando o código da estação, o tempo local e a sensibilidade do sistema de medida (ver exemplo no anexo 2).

2.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS GEOMAGNÉTICOS

Este trabalho, como já citado, tem como objetivo analisar dados coletados na Estação Geomagnética de Alcântara, MA.

Para análise dos dados foram usados vários programas em linguagem Fortran – 77. Ainda usou-se o programa Origin 4.1 para plotar os gráficos para análise.

Visando estudar somente as micropulsações geomagnéticas, filtrou-se o sinal original do magnetograma, deixando-se passar apenas a faixa de período das micropulsações. A filtragem dos sinais originais foi feita pelo programa “kanfilt.for”, que tem como parâmetro de entrada: o número de dados a serem filtrados (para o dia todo, 28800); o intervalo de amostragem; a mais baixa e a mais alta frequência de filtragem. O programa lê os dados e grava a saída do filtro em um arquivo que pode ser facilmente usado para plotagens:

2.3.1 FILTRAGEM DOS DADOS

Como já citados, acima os dados geomagnéticos adquiridos na estação de Alcântara foram digitalizados em arquivos separados, cada um contendo a série temporal de 24 horas de dados num intervalo de amostragem de 3 segundos. Este arquivo plotado num gráfico de intensidade versus tempo, constitui a chamada variação diária do campo. Porém, como o objetivo deste trabalho é estudar as micropulsações do campo geomagnético, torna-se

necessário filtrar o sinal da variação diária de modo que passem somente os sinais de micropulsações.

Para fins de filtragem de sinais digitais existem filtros que operam no domínio do tempo, deixando passar somente o sinal acima ou abaixo de uma determinada frequência. A esses filtros dá-se o nome de filtros passa alta e passa baixa, respectivamente. Para estudar as micropulsações necessita-se somente do sinal em determinadas bandas de frequência. Para filtragem dos sinais foi usado um filtro tipo passa banda, que deixa passar apenas os sinais numa banda de frequência. Aplicando, então, esse filtro passa banda, tem-se como saída o sinal das micropulsações para estudos posteriores.

2.3.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE FOURIER

Um processo físico pode ser descrito no domínio do tempo, por uma função $h(t)$, $-\infty < t < \infty$ e, também, no domínio de frequência, $H(f)$, com $-\infty < f < \infty$. Para muitos propósitos é usual pensar que $h(t)$ e $H(f)$ são duas representações diferentes da mesma função. As relações entre $h(t)$ e $H(f)$ são dadas pelas equações da transformada de Fourier:

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i\omega t} dt$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{i\omega t} d\omega$$

Onde $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular dada em radianos por segundo. Se t é medido em segundos, então f é dado em ciclos por segundos ou Hz (unidade de frequência). Entretanto, as equações acima podem ser operadas em qualquer unidade.

2.3.3 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

O tempo de computação da transformada de Fourier é muito grande. Definindo W como o número complexo:

$$W = e^{-2\pi i/N}$$

Nos leva a ter para a transformada discreta de Fourier:

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} W^{nk} h_k$$

Então o vetor h_k é multiplicado por uma matriz cujos elementos (n,k) são as constantes W^{nk} para a potência $n \times k$. A matriz multiplicação requer N^2 multiplicações, mais um número menor de operações para gerar as potências de W . Desta forma, a transformada discreta de Fourier opera em N^2 processos. Este número pode ser reduzido para $N \log_2^N$ operações usando um algoritmo conhecido como transformada rápida de Fourier (FFT). Como a diferença entre N^2 e $N \log_2^N$ é imensa, o tempo de computação é bastante reduzido para valores grande de N quando usa-se a transformada rápida de Fourier (FFT).

CAPÍTULO 3

3.1 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Da análise de dados geomagnéticos da Estação de Alcântara observou-se a ocorrência de micropulsações dos tipos Pc3, Pc4 e Pc5 durante os períodos com atividade geomagnética calma e perturbada. Estudou-se os dados geomagnéticos registrados em dois dias do mês de outubro de 1994: o dia 28 de outubro de 1994 ($K_p = 9+$) dia considerado geomagneticamente calmo e o dia 30 de outubro de 1994 ($K_p = 41-$) dia considerado geomagneticamente perturbado. As figuras 1 e 2 mostram a variação das componentes H, D, Z nos dias 28 e 30 de outubro, respectivamente. Os dados foram retirados diretamente do arquivo ASCII coletado na estação de Alcântara, MA. Pode-se observar que no dia 28/10/1994 dia considerado geomagneticamente calmo o gráfico apresenta menos variações do que no dia 30/10/1994 dia considerado como geomagneticamente perturbado.

As figuras 3 e 4 mostram os dados filtrados com o programa kanfilt.for, como pode-se observar há ocorrência de Pc3, Pc4 e Pc5 durante os dias com atividade geomagnética calma e perturbada, as figuras referem-se aos dias 28 e 30 de outubro, respectivamente.

Pode-se observar a presença de pulsações Pc5 com amplitudes elevadas como previsto pela teoria quando, pois a estação de Alcântara se encontra na região equatorial. O aumento da amplitude na região equatorial pode ser explicado pelas correntes íonossféricas chamadas eletrojados equatoriais, uma corrente de alta intensidade que circunda o globo terrestre na altura de 110-120 Km na região do Equador Magnético.

Os espectros dinâmicos dos eventos estudados (Figuras 5 a 10) mostram ausência da ocorrência de micropulsações no período do amanhecer. As causas desta ausência ainda são desconhecidas, porém a mais provável seja a blindagem íonossférica resultante da diminuição da condutividade de Hall em relação à condutividade de Pedersen. As causas das micropulsações estão relacionadas com o vento solar, são pequenas alterações provocadas no campo magnético da Terra durante o dia, nos dias geomagneticamente perturbados há intensificação da atividade solar o que causa uma maior ocorrência das micropulsações.

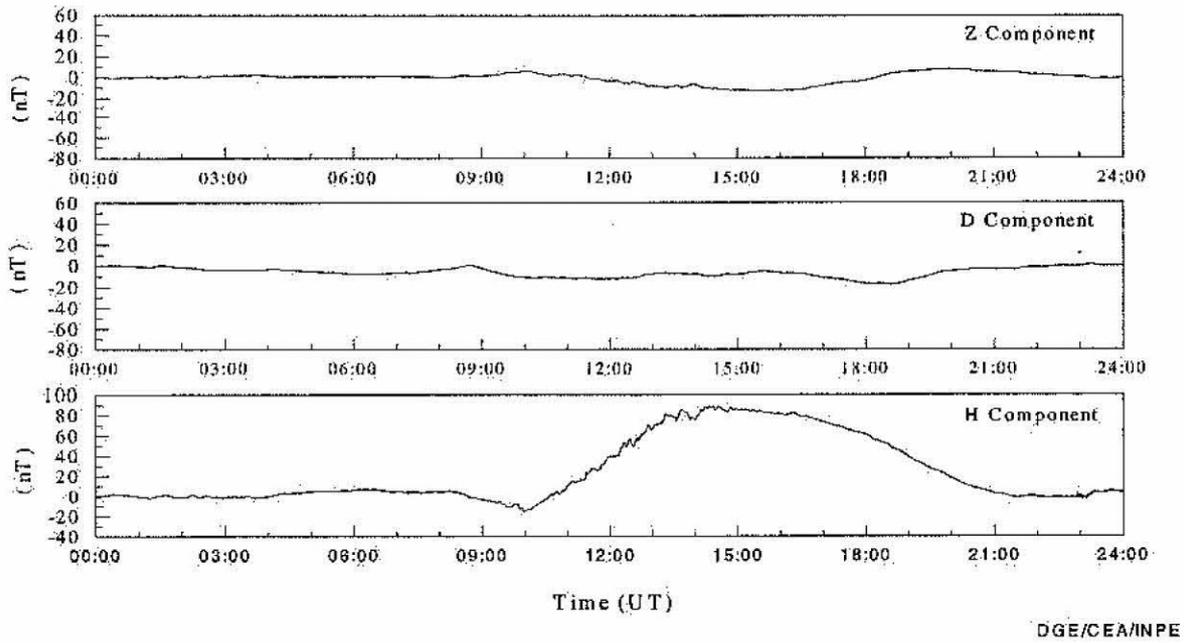


Figura 1 – Variação diária das componentes H, D, Z, no dia 28/10/1994, Kp= 9+

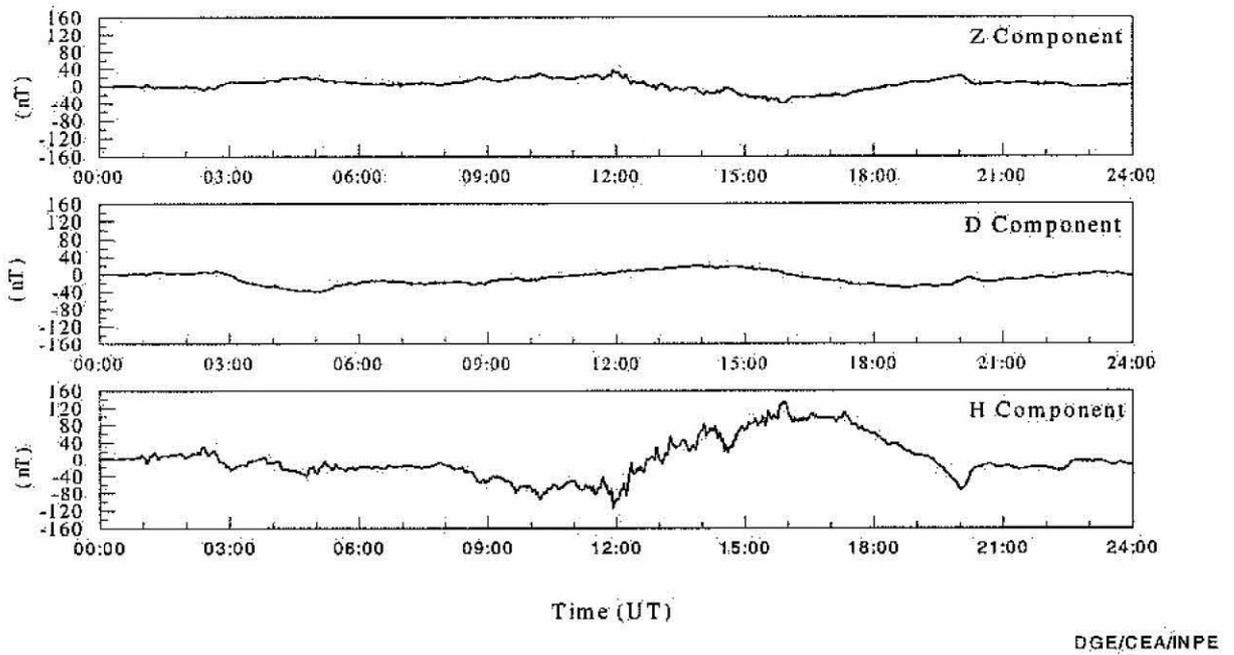
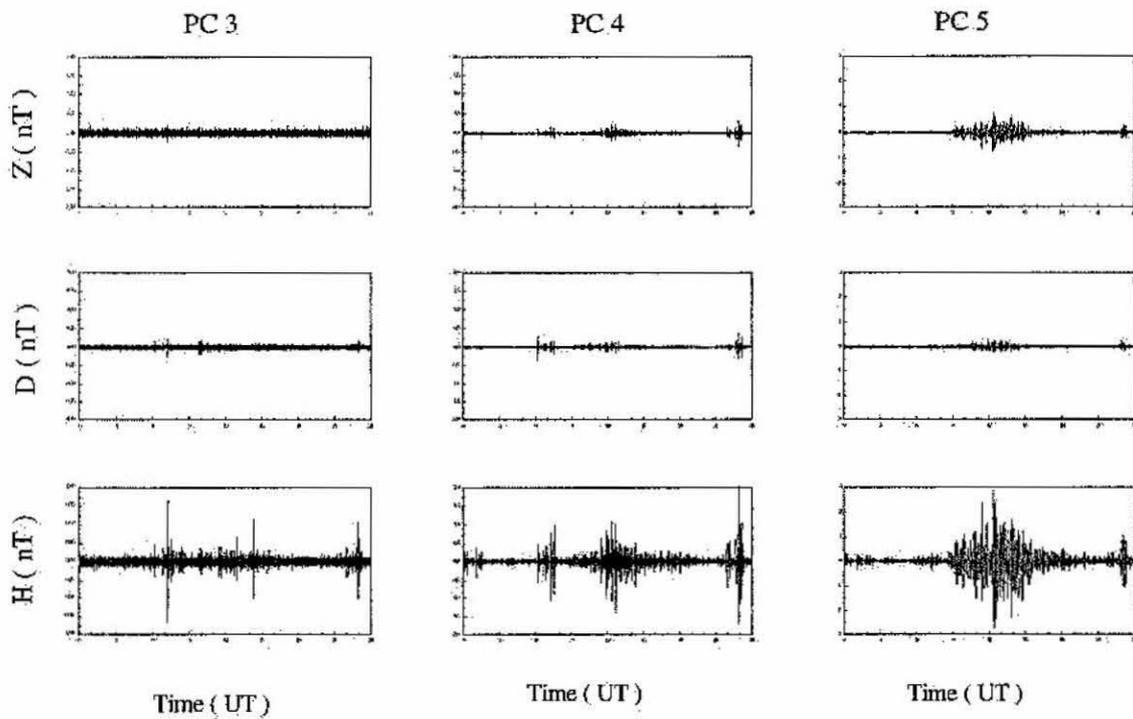
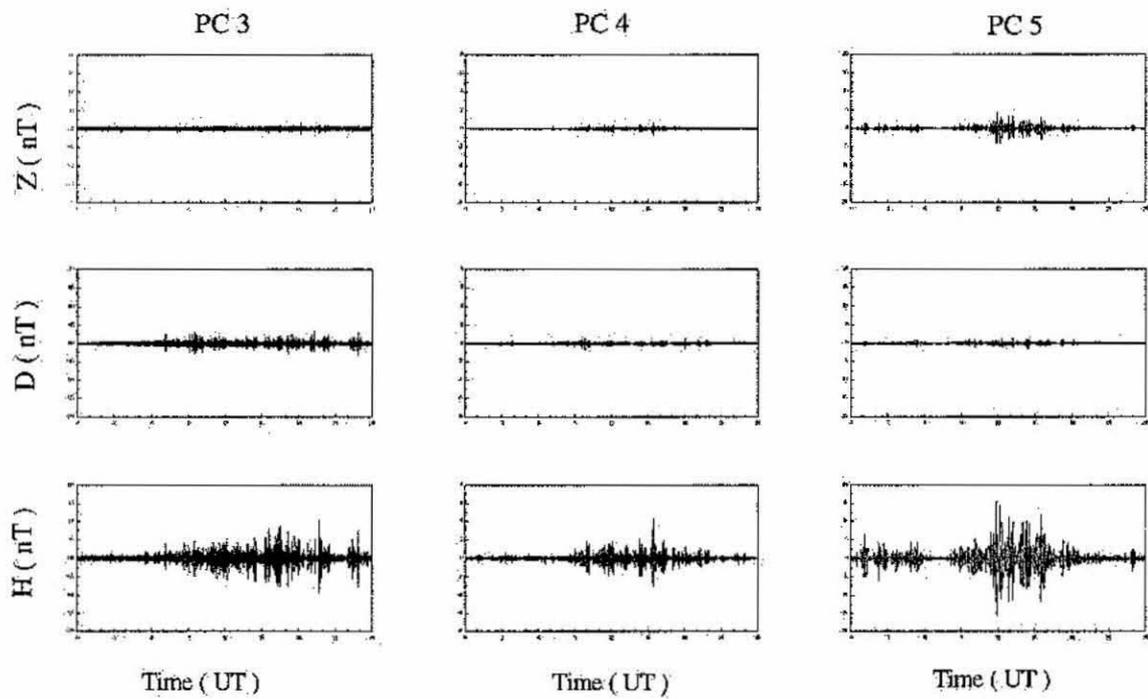


Figura 2 – Variação diária das componentes H,D,Z no dia 30/10/1994, Kp=41-



DGE/CEA/INPE

Figura 3 – Dados geomagnéticos filtrados na frequência das micropulsações Pc3, Pc4 e Pc5, dados referentes ao dia 28/10/1994.



DGE/CEA/INPE

Figura 4 – Dados geomagnéticos filtrados na frequência das micropulsações Pc3, Pc4 e Pc5, dados referentes ao dia 30/10/1994.

Alcântara, MA - October 28, 1994

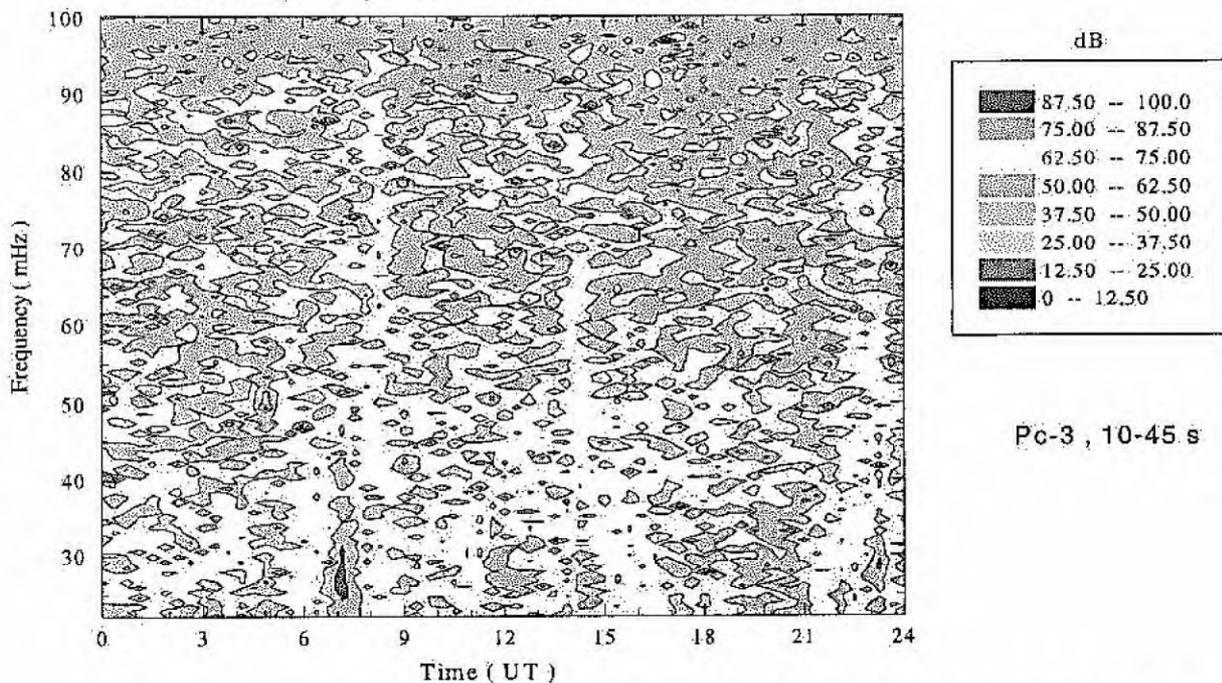


Figura 5 – Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 10-45 período de ocorrência de Pc3 dados coletados dia 28/10/1994, na estação de Alcântara, MA.

Alcântara, MA - October 30, 1994

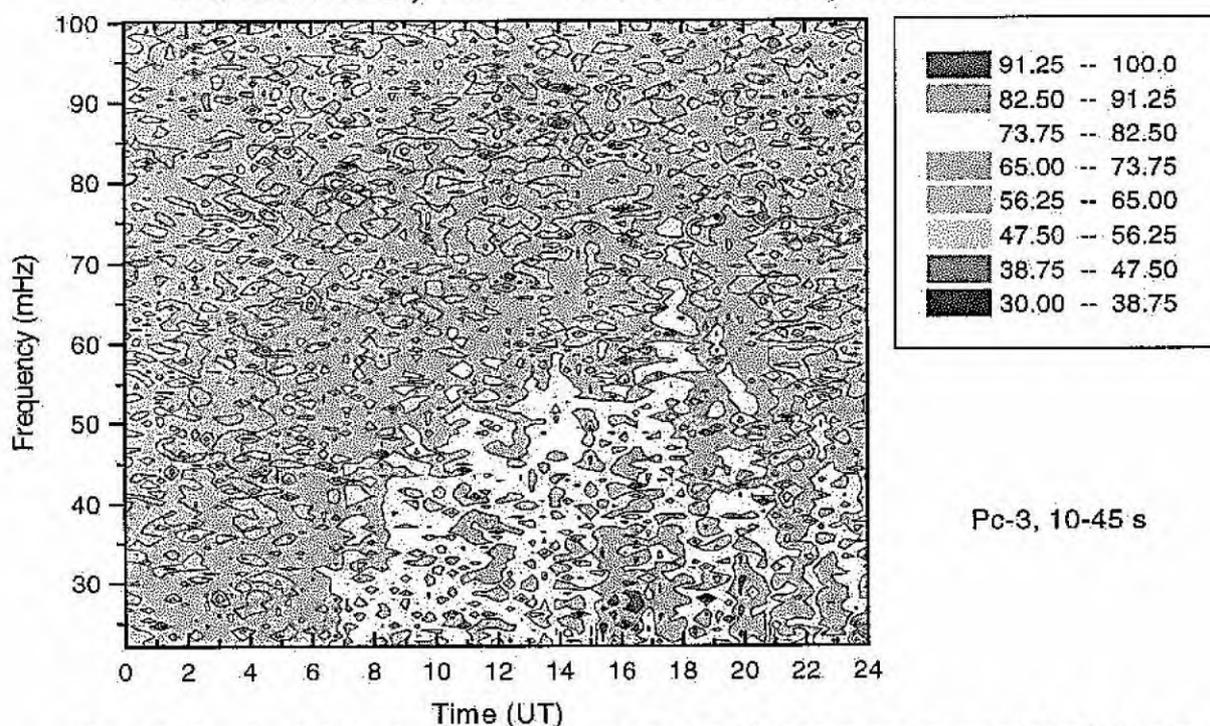


Figura 6 – Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 10-45 s período de ocorrência das Pc3, dados coletados na estação de Alcântara, MA.

Alcântara, MA - October 28, 1994

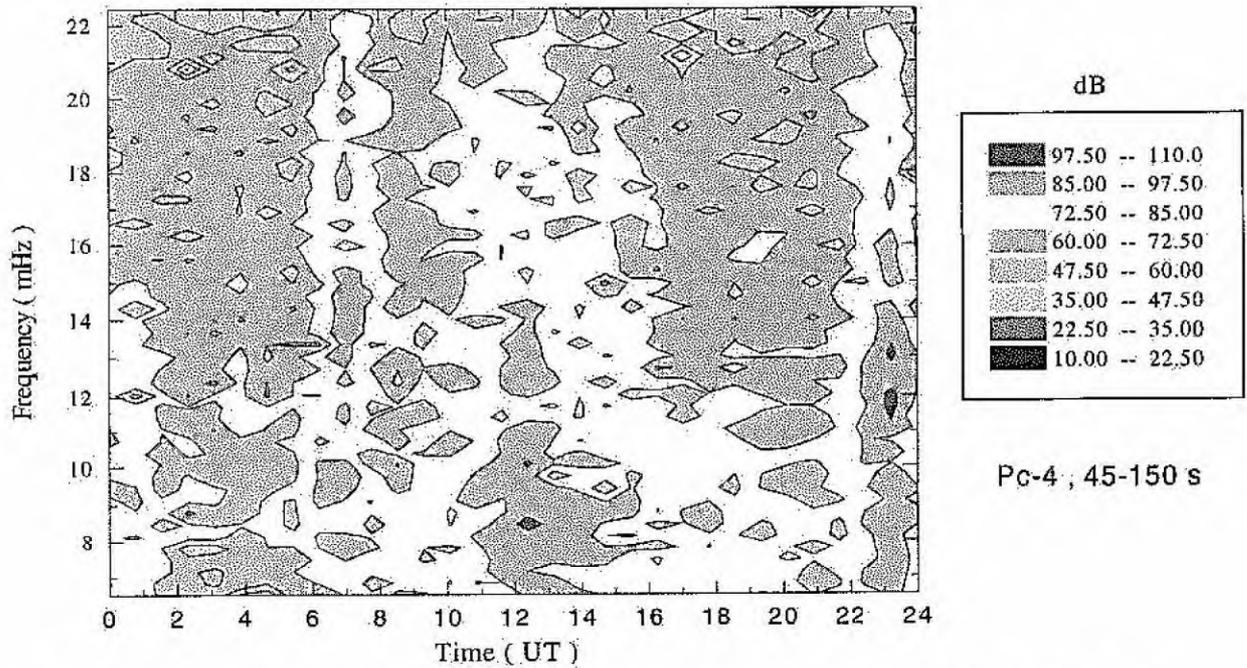


Figura 7 – Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 45-150 s, período de ocorrência de Pc 4, dados coletados dia 28/10/1994 na estação de Alcântara.

Alcântara, MA - October 30, 1994

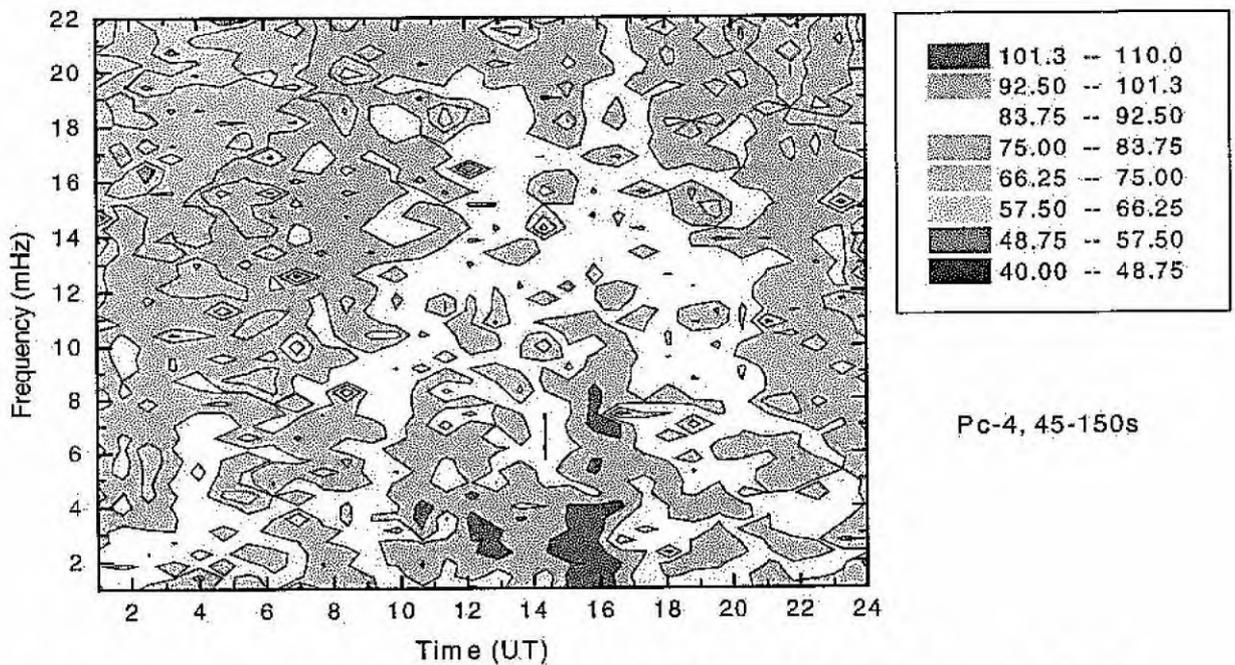


Figura 8 – Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 45-150 s, período de ocorrência de PC 4, dados coletados dia 30/10/1994 na estação de Alcântara, MA.

Alcântara, MA - October 28, 1994

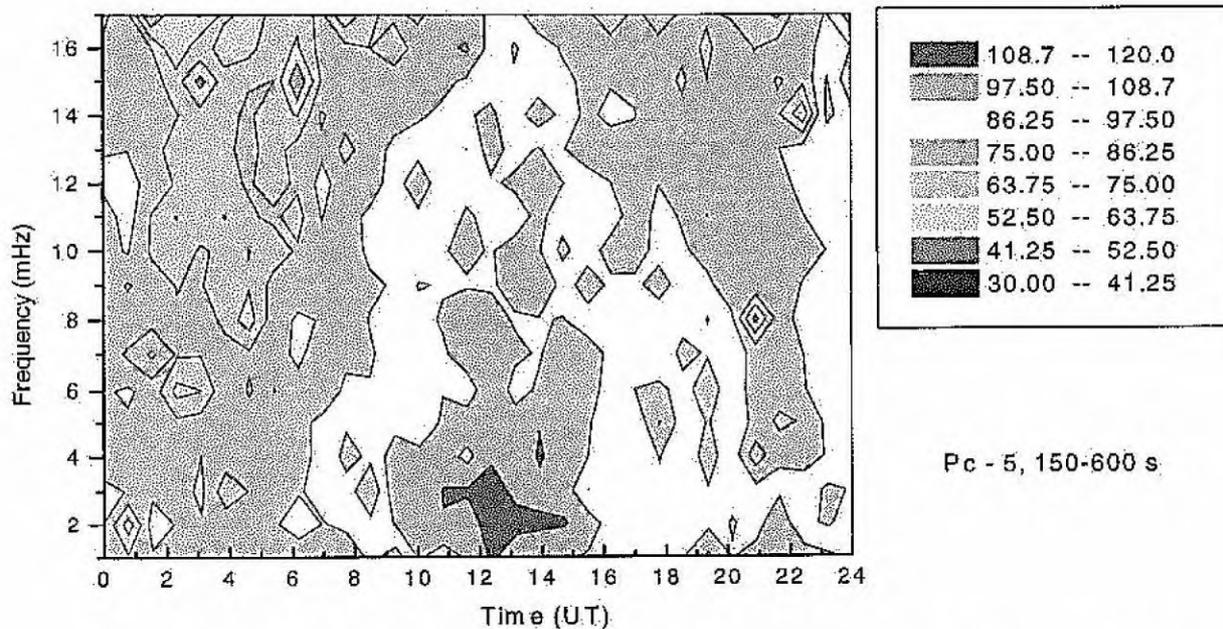


Figura 9 – Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 150-600 s, período de ocorrência de Pc 5, dados coletados dia 28/10/1994, na estação de Alcântara, MA.

Alcântara, MA - October 30, 1994

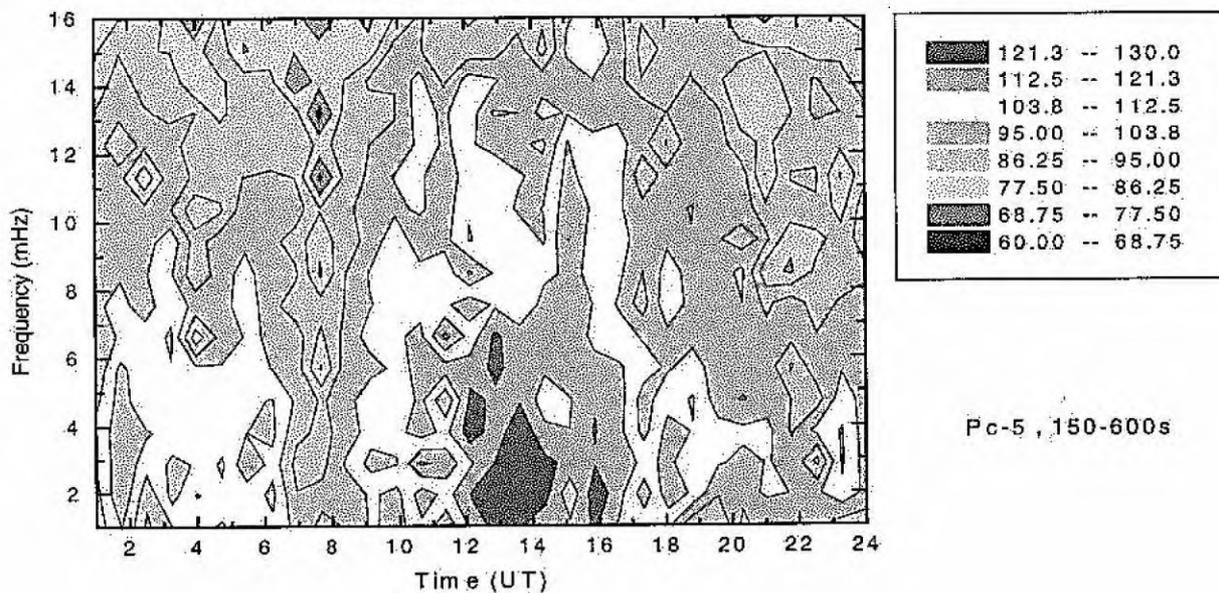


Figura 10- Espectro dinâmico de dados filtrados no intervalo de 150-600 s, período de ocorrência de Pc5, dados coletados dia 30/10/1994, na estação de Alcântara, MA.

ANEXO I

PROGRAMA PARA FILTRAGEM DOS DADOS – KANFILT.FOR

```
C
C PROGRAMA DE ANALISE DE DADOS DE MICROPULSACOES (PADM)
C
  IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
  CHARACTER ARQUIVO*80(1000),FONTE*80
  INTEGER INP,OUT,OPcAO
  REAL *8 F1,F2
  PARAMETER(NTOT=28900)
  DIMENSION X(NTOT),Y(NTOT),Z(NTOT),TEMPO(NTOT)
  OPEN(2,FILE='filter.out')
6  PRINT *, '    CONTROLE DO PROGRAMA:'
  PRINT *, '(1) VIA TECLADO;'
  PRINT *, '(2) VIA ARQUIVO.'
  PRINT *, 'OPcAO:'
  READ(5,*) OPcAO
  IF (OPcAO.EQ.1) THEN
    INP=5
    OUT=6
  END IF
  IF (OPcAO.EQ.2) THEN
    INP=1
    OUT=2
    WRITE(*,*) 'Entre com o nome do arquivo fonte: '
    READ(5, '(A)') FONTE
    OPEN(1,FILE=FONTE)
  END IF
  PRINT *, 'QUANTOS DIAS SERAO ANALIZADOS:'
  READ(5,*) NDIAS
  DO I=1,NDIAS
    WRITE(OUT,*) 'LER O ARQUIVO:'
    READ(INP, '(A)') ARQUIVO(I)
  END DO
  WRITE(*,*) 'O numero de amostras no arquivo e:'
  read(5,*) NA
  WRITE(*,*) 'Entre com o intervalo de amostragem (seg.):'
  read(5,*) DELTA
  WRITE(*,*) 'Entre com T1 e T2 (T1<T2) da banda de filtragem:'
```

```

READ(5,*) T1,T2
DO NN=1,NDIAS
  WRITE(6,21) ARQUIVO(NN)
21  FORMAT(1X,FILTRANDO: ',\,A11)
  OPEN(3,FILE=\jmarques\processo\DATA\//ARQUIVO(NN))
  OPEN(7,file=\jmarques\processo\FIL\//ARQUIVO(NN))
  DO I=1,NA
    READ(3,*) TEMPO(I),X(I),Y(I),Z(I)
  END DO
C
C FILTRAGEM DOS DADOS
C
  F1=1/T2
  F2=1/T1
  CALL FILTRA(X,NA,F1,F2,DELTA)
  CALL FILTRA(Y,NA,F1,F2,DELTA)
  CALL FILTRA(Z,NA,F1,F2,DELTA)
  DO I=1,NA
    WRITE(7,2002) (I-1)*DELTA/3600.0,X(I),Y(I),Z(I)
  END DO
2002  FORMAT(1X,F9.3,1X,F15.6,1X,F15.6,1X,F15.6)
  END DO
  STOP
  END
C-
C-----
C-
  SUBROUTINE FILTRA(X,N,F1,F2,DELTA)
  DIMENSION X(N),DATA(40000)
  REAL *8 F1,F2,G,D(8)
  DELT=DELTA*1000.0
  G=1.0
  CALL Bndpas(F1,F2,DELT,D,G)
  M=N/10
  CALL ADICIONA(X,DATA,N,M)
  NN=N+2*M
  CALL FILTER(DATA,NN,D,G,1)
c    IG=0 is used,if ig=1 gain of filter is removed.
  DO I=1,N
    X(I)=DATA(I+M-1)
  END DO
  RETURN
  END
C-
C-*****
C-
  SUBROUTINE ADICIONA(X,Y,N,M)

```

```

DIMENSION X(N),Y(N+2*M)
DO I=1,M
  Y((M+1)-I)=X(I)
END DO
DO I=M,N+M-1
  Y(I)=X((I+1)-M)
END DO
II=1
DO I=N+M,N+2*M
  Y(I)=X(N-II)
  II=II+1
END DO
RETURN
END

```

C-

C-*****

C-

```

SUBROUTINE Bndpas(F1,F2,DELT,D,G)
COMPLEX P(4),S(8),Z1,Z2
DIMENSION X(1),XC(3),XD(3),XE(3)
REAL *8 F1,F2,G,D(8)
DATA ISW/0/,TWOPI/6.2831853/
c WRITE(6,1) F1,F2,DELT
c 1 FORMAT(' BANDPASS FILTER DESIGN FOR A BAND FROM 'F8.5,' TO ',
c 1 F8.5,' HERTZ ','/' SAMPLE INTERVAL IS 'F10.2,' MILLISECONDS.)
DT=DELT/1000.
TDT=2.0/DT
FDT=4.0/DT
ISW=1
P(1)=CMPLX(-0.3826834,0.9238795)
P(2)=CMPLX(-0.3826834,-0.9238795)
P(3)=CMPLX(-0.9238795,0.3826834)
P(4)=CMPLX(-0.9238795,-0.3826834)
W1=TWOPI*F1
W2=TWOPI*F2
W1=TDT*TAN(W1/TDT)
W2=TDT*TAN(W2/TDT)
HWID=(W2-W1)/2.0
WW=W1*W2
DO 19 I=1,4
  Z1=P(I)*HWID
  Z2=Z1*Z1-WW
  Z2=CSQRT(Z2)
  S(I)=Z1+Z2
19 S(I+4)=Z1-Z2
C WRITE(6,2)S
2 FORMAT('-S PLANE POLES ARE AT:',' ',8(' ',E12.6,'+1',E12.6))

```

```

G=0.5/HWID
G=G*G
G=G*G
DO 29 I=1,7,2
B=-2.0*REAL(S(I))
Z1=S(I)*S(I+1)
C=REAL(Z1)
A=TDT+B+C/TDT
G=G*A
D(I)=(C*DT-FDT)/A
29  D(I+1)=(A-2.0*B)/A
G=G*G
C  WRITE(6,3)
c 3  FORMAT(' FILTER IS (1-Z**2)**4/B1*B2*B3*B4')
c  WRITE(6,*) (D(i),i=1,8)
c 4  FORMAT(4(/B(I)=1+',E12.6,'Z+',E12.6,'Z**2'))
c  WRITE(6,5)G
5  FORMAT('-FILTER GAIN IS',E12.6)
RETURN
C
C
ENTRY FILTER(X,N,D,G,IG)
C X=DATAVECTOR OF LENGTH N CONTAINING DATA TO BE FILTERED
C D=FILTER COEFFICIENTS CALCULATED BY BNDPAS
C G=FILTER GAIN
C IG=1 MEANS TO REMOVE THE FILTER GAIN/G=1
IF(ISW.EQ. 1) GO TO 31
WRITE(6,6)
6  FORMAT('1BNDPAS MUST BE CALLED BEFORE FILTER')
STOP
C APPLY FILTER IN FORWARD DIRECTION
31  XM2=X(1)
XM1=X(2)
XM=X(3)
XC(1)=XM2
XC(2)=XM1-D(1)*XC(1)
XC(3)=XM-XM2-D(1)*XC(2)-D(2)*XC(1)
XD(1)=XC(1)
XD(2)=XC(2)-D(3)*XD(1)
XD(3)=XC(3)-XC(1)-D(3)*XD(2)-D(4)*XD(1)
XE(1)=XD(1)
XE(2)=XD(2)-D(5)*XE(1)
XE(3)=XD(3)-XD(1)-D(5)*XE(2)-D(6)*XE(1)
X(1)=XE(1)
X(2)=XE(2)-D(7)*X(1)
X(3)=XE(3)-XE(1)-D(7)*X(2)-D(8)*X(1)
DO 39 I=4,N

```

```

XM2=XM1
XM1=XM
XM=X(I)
K=I-((I-1)/3)*3
GO TO (34,35,36),K
34  M=1
    M1=3
    M2=2
    GO TO 37
35  M=2
    M1=1
    M2=3
    GO TO 37
36  M=3
    M1=2
    M2=1
37  XC(M)=XM-XM2-D(1)*XC(M1)-D(2)*XC(M2)
    XD(M)=XC(M)-XC(M2)-D(3)*XD(M1)-D(4)*XD(M2)
    XE(M)=XD(M)-XD(M2)-D(5)*XE(M1)-D(6)*XE(M2)
39  X(I)=XE(M)-XE(M2)-D(7)*X(I-1)-D(8)*X(I-2)

```

C

C

C FILTER IN REVERSE DIRECTION

```

XM2=X(N)
XM1=X(N-1)
XM=X(N-2)
XC(1)=XM2
XC(2)=XM1-D(1)*XC(1)
XC(3)=XM-XM2-D(1)*XC(2)-D(2)*XC(1)
XD(1)=XC(1)
XD(2)=XC(2)-D(3)*XD(1)
XD(3)=XC(3)-XC(1)-D(3)*XD(2)-D(4)*XD(1)
XE(1)=XD(1)
XE(2)=XD(2)-D(5)*XE(1)
XE(3)=XD(3)-XD(1)-D(5)*XE(2)-D(6)*XE(1)
X(N)=XE(1)
X(N-1)=XE(2)-D(7)*X(1)
X(N-2)=XE(3)-XE(1)-D(7)*X(2)-D(8)*X(1)
DO 49 I=4,N
XM2=XM1
XM1=XM
J=N-I+1
XM=X(J)
K=I-((I-1)/3)*3
GO TO (44,45,46),K
44  M=1
    M1=3

```

```

M2=2
GO TO 47
45 M=2
M1=1
M2=3
GO TO 47
46 M=3
M1=2
M2=1
47 XC(M)=XM-XM2-D(1)*XC(M1)-D(2)*XC(M2)
XD(M)=XC(M)-XC(M2)-D(3)*XD(M1)-D(4)*XD(M2)
XE(M)=XD(M)-XD(M2)-D(5)*XE(M1)-D(6)*XE(M2)
49 X(J)=XE(M)-XE(M2)-D(7)*X(J+1)-D(8)*X(J+2)
IF(IG.NE.1) RETURN
DO 59 I=1,N
59 X(I)=X(I)/G
RETURN
END

```

```

FUNCTION BIG(X,N)
DIMENSION X(1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
IF(T-X(I)) 10,20,20
10 T=X(I)
20 CONTINUE
BIG=T
RETURN
END

```

```

FUNCTION SMALL(X,N)
DIMENSION X(1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
IF(T-X(I)) 20,20,10
10 T=X(I)
20 CONTINUE
SMALL=T
RETURN
END

```

ANEXO II

ARQUIVO DE DADOS

ALCANTA 1994 10 28 LT= -3 DT= 3 INT
H= 1.59e-002 D= 1.70e-002 Z= 1.64e-002 nT/LSB

sdte	1	33	5	25	4	-1
sdte	1	32	5	-1	-1	-1
sdte	1	31	5	27	-1	-1
sdte	1	31	5	-1	-1	-1
sdte	1	22	5	-1	-1	-1
sdte	7	36	5	20	5	500
sdte	1	31	5	-1	-1	-1
sdte	1	35	5	-1	-1	-1 zx
sdte	0	1256	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1253	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1253	1	-1	-1	-1
sdte	0	1253	1	-1	-1	-1
sdte	0	1254	1	-1	-1	-1
sdte	0	1253	1	-1	-1	-1
sdte	1	27	1	-1	-1	-1
sdte	1	25	3	-1	-1	-1
sdte	1	30	5	20	-1	-1
sdte	1	32	3	-1	-1	-1
sdte	1	26	5	-1	-1	-1
sdte	7	28	5	19	5	501
sdte	1	29	1	-1	-1	-1
sdte	1	34	1	-1	-1	-1
sdte	0	1252	1	-1	-1	-1
sdte	0	1251	1	-1	-1	-1

```

sdte 0 1252 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1250 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1250 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1250 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 1 23 1 -1 -1 -1
sdte 1 24 5 -1 -1 -1
sdte 1 23 5 17 -1 -1
sdte 1 22 5 -1 -1 -1
sdte 1 25 5 -1 -1 -1
sdte 1 22 5 18 3 -1
sdte 1 23 5 -1 -1 -1
sdte 1 24 2 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1250 1 -1 -1 -1
sdte 0 1249 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1249 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1249 1 -1 -1 -1
sdte 0 1247 1 -1 -1 -1
sdte 0 1249 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 1 22 1 -1 -1 -1
sdte 1 23 5 15 -1 -1
sdte 1 23 5 17 5 -1
sdte 1 24 5 18 5 -1
sdte 1 21 5 21 5 -1
sdte 1 23 5 19 4 -1
sdte 1 26 1 -1 -1 -1
sdte 1 20 1 -1 -1 -1
sdte 0 1247 1 -1 -1 -1

```

```

sdte 0 1247 1 -1 -1 -1
sdte 0 1247 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1244 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 0 1245 1 -1 -1 -1
sdte 1 32 1 -1 -1 -1
sdte 1 29 1 -1 -1 -1
sdte 1 24 5 24 1 -1
sdte 1 30 5 -1 -1 -1
sdte 1 29 1 -1 -1 -1
sdte 7 18 5 19 5 500
sdte 1 17 5 -1 -1 -1
sdte 1 20 5 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1246 1 -1 -1 -1
sdte 0 1247 1 -1 -1 -1
sdte 0 1248 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1251 1 -1 -1 -1
sdte 0 1252 1 -1 -1 -1
sdte 0 1253 1 -1 -1 -1
sdte 0 1255 1 -1 -1 -1
sdte 0 1260 1 -1 -1 -1
sdte 0 1269 1 -1 -1 -1
sdte 0 1277 1 -1 -1 -1
sdte 0 1286 1 -1 -1 -1
sdte 0 1291 1 -1 -1 -1
sdte 0 1287 1 -1 -1 -1
sdte 1 19 1 -1 -1 -1
sdte 1 17 5 15 4 -1
sdte 1 20 5 14 1 -1
sdte 1 17 5 15 3 -1
sdte 1 18 3 -1 -1 -1
sdte 7 19 5 14 5 498
sdte 1 19 5 -1 -1 -1
sdte 1 20 3 -1 -1 -1

```

sdte	0	1317	1	-1	-1	-1
sdte	0	1329	1	-1	-1	-1
sdte	0	1330	1	-1	-1	-1
sdte	0	1341	1	-1	-1	-1
sdte	0	1352	1	-1	-1	-1
sdte	0	1352	1	-1	-1	-1
sdte	0	1356	1	-1	-1	-1
sdte	0	1374	1	-1	-1	-1
sdte	0	1354	1	-1	-1	-1
sdte	0	1339	1	-1	-1	-1
sdte	0	1339	1	-1	-1	-1
sdte	0	1400	1	-1	-1	-1
sdte	0	1411	1	-1	-1	-1
sdte	0	1353	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1311	1	-1	-1	-1
sdte	1	26	1	-1	-1	-1
sdte	1	27	5	17	5	-1
sdte	1	26	5	15	5	-1
sdte	1	25	5	15	1	-1
sdte	1	18	5	-1	-1	-1
sdte	7	19	5	15	5	502
sdte	1	22	5	-1	-1	-1
sdte	1	19	1	-1	-1	-1
sdte	0	1302	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1311	1	-1	-1	-1
sdte	0	1312	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1372	1	-1	-1	-1
sdte	0	1303	1	-1	-1	-1
sdte	0	1330	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1386	1	-1	-1	-1
sdte	0	1306	1	-1	-1	-1
sdte	0	1312	1	-1	-1	-1
sdte	0	1401	1	-1	-1	-1
sdte	0	1326	1	-1	-1	-1
sdte	0	1309	1	-1	-1	-1
sdte	0	1307	1	-1	-1	-1
sdte	1	28	1	-1	-1	-1
sdte	3	22	5	12	5	-1
sdte	1	25	5	-1	-1	-1
sdte	1	20	5	14	-1	-1
sdte	1	21	5	-1	-1	-1
sdte	7	21	5	14	5	500
sdte	1	22	1	-1	-1	-1

sdte	1	20	1	-1	-1	-1
sdte	0	1319	1	-1	-1	-1
sdte	0	1305	1	-1	-1	-1
sdte	0	1299	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1392	1	-1	-1	-1
sdte	0	1389	1	-1	-1	-1
sdte	0	1315	1	-1	-1	-1
sdte	0	1314	1	-1	-1	-1
sdte	0	1300	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1325	1	-1	-1	-1
sdte	0	1308	1	-1	-1	-1
sdte	0	1303	1	-1	-1	-1
sdte	0	1308	1	-1	-1	-1
sdte	0	1302	1	-1	-1	-1
sdte	0	1367	1	-1	-1	-1
sdte	1	22	1	-1	-1	-1
sdte	1	22	5	14	5	-1
sdte	1	20	5	15	4	-1
sdte	1	19	5	15	4	-1
sdte	1	18	5	-1	-1	-1
sdte	1	21	5	-1	-1	-1
sdte	1	24	5	-1	-1	-1
sdte	1	24	1	-1	-1	-1
sdte	0	1304	1	-1	-1	-1
sdte	0	1306	1	-1	-1	-1
sdte	0	1315	1	-1	-1	-1
sdte	0	1300	1	-1	-1	-1
sdte	0	1311	1	-1	-1	-1
sdte	0	1302	1	-1	-1	-1
sdte	0	1408	1	-1	-1	-1
sdte	0	1303	1	-1	-1	-1
sdte	0	1304	1	-1	-1	-1
sdte	0	1309	1	-1	-1	-1
sdte	0	1301	1	-1	-1	-1
sdte	0	1300	1	-1	-1	-1
sdte	0	1309	1	-1	-1	-1
sdte	0	1302	1	-1	-1	-1
sdte	0	1306	1	-1	-1	-1
sdte	0	1307	1	-1	-1	-1
sdte	1	20	1	-1	-1	-1
sdte	1	21	2	-1	-1	-1
sdte	1	24	1	-1	-1	-1
sdte	1	21	2	-1	-1	-1
sdte	1	23	3	-1	-1	-1
sdte	1	19	5	-1	-1	-1

```

sdte 1 20 5 -1 -1 -1
sdte 1 20 1 -1 -1 -1
sdte 0 1334 1 -1 -1 -1
sdte 0 1304 1 -1 -1 -1
sdte 0 1312 1 -1 -1 -1
sdte 0 1431 1 -1 -1 -1
sdte 0 1315 1 -1 -1 -1
sdte 0 1390 1 -1 -1 -1
sdte 0 1412 1 -1 -1 -1
sdte 0 1409 1 -1 -1 -1
sdte 0 1396 1 -1 -1 -1
sdte 0 1380 1 -1 -1 -1
sdte 0 1369 1 -1 -1 -1
sdte 0 1361 1 -1 -1 -1
sdte 0 1346 1 -1 -1 -1
sdte 0 1332 1 -1 -1 -1
sdte 0 1318 1 -1 -1 -1
sdte 0 1305 1 -1 -1 -1
sdte 1 16 2 -1 -1 -1
sdte 1 17 2 -1 -1 -1
sdte 1 22 5 17 -1 -1
sdte 1 20 5 -1 -1 -1
sdte 1 20 5 -1 -1 -1
sdte 1 18 4 -1 -1 -1
sdte 1 23 4 -1 -1 -1
sdte 1 24 4 -1 -1 -1
sdte 0 1272 1 -1 -1 -1
sdte 0 1272 1 -1 -1 -1
sdte 0 1270 1 -1 -1 -1
sdte 0 1270 1 -1 -1 -1
sdte 0 1270 1 -1 -1 -1
sdte 0 1269 1 -1 -1 -1
sdte 0 1268 1 -1 -1 -1
sdte 0 1268 1 -1 -1 -1
sdte 0 1267 1 -1 -1 -1
sdte 0 1267 1 -1 -1 -1
sdte 0 1265 1 -1 -1 -1
sdte 0 1266 1 -1 -1 -1
sdte 0 1266 1 -1 -1 -1
sdte 0 1265 1 -1 -1 -1
sdte 0 1265 1 -1 -1 -1
sdte 0 1262 1 -1 -1 -1
sdte 1 27 1 -1 -1 -1
sdte 1 28 1 -1 -1 -1
sdte 1 29 5 21 -1 -1
sdte 1 26 5 -1 -1 -1
sdte 1 35 1 -1 -1 -1

```

sdte	1	27	5	20	1	-1
sdte	1	37	5	-1	-1	-1
sdte	1	24	3	-1	-1	-1
sdte	0	1261	1	-1	-1	-1
sdte	0	1260	1	-1	-1	-1
sdte	0	1260	1	-1	-1	-1
sdte	0	1259	1	-1	-1	-1
sdte	0	1260	1	-1	-1	-1
sdte	0	1260	1	-1	-1	-1
sdte	0	1259	1	-1	-1	-1
sdte	0	1259	1	-1	-1	-1
sdte	0	1259	1	-1	-1	-1
sdte	0	1258	1	-1	-1	-1
sdte	0	1258	1	-1	-1	-1
sdte	0	1258	1	-1	-1	-1
sdte	0	1259	1	-1	-1	-1
sdte	0	1258	1	-1	-1	-1
sdte	0	1257	1	-1	-1	-1
sdte	0	1255	1	-1	-1	-1