

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498-970 SÃO PAULO - SP
BRASIL

PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-1000

**MHD - PROGRAMA PARA OBTENÇÃO DA EVOLUÇÃO
TEMPORAL DAS COMPONENTES MHD DO PLASMA
DO TOKAMAK TBR-1**

Mauro Sérgio T. de Araújo
Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Cristóvão R. M. Rincoski
Instituto de Física Gleb Wataghin - UNICAMP
CP 6165, Cep 13081-970, Campinas, São Paulo, Brasil

Agosto/1992

MHD - PROGRAMA PARA OBTENÇÃO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL
DAS COMPONENTES MHD DO PLASMA DO TOKAMAK TBR-1

Mauro Sérgio T. de Araújo

Instituto de Física, Universidade de São Paulo
C.P. 20.516, CEP 05508-900 - São Paulo, S.P., Brasil

Cristóvão R. M. Rincoski

Instituto de Física Gleb Wataghin - UNICAMP
C.P. 6165, CEP 13081-970 - Campinas, São Paulo, Brasil

RESUMO

Através deste programa, denominado MHD, pode-se obter a evolução temporal separadamente das componentes $m = 0$, $m = 1$, $m = 2$, $m = 3$ e $m = 4$ presentes nas oscilações de Mirnov observadas no tokamak TBR-1 do IFUSP, utilizando-se para isto os sinais provenientes de um conjunto de 10 bobinas magnéticas, distribuídas poloidalmente ao redor de uma seção transversal do vaso do tokamak. Este programa permite ainda a obtenção, por intermédio de interpolação, do valor de $\vec{B}(\theta)$ em qualquer ângulo poloidal θ , bem como calcular a composição percentual, ao longo do tempo, dos modos de oscilação do plasma.

1 - INTRODUÇÃO

No estudo das instabilidades, que surgem durante o confinamento magnético de plasmas, torna-se importante a determinação da composição dos modos de oscilação MHD, uma vez que possibilita estabelecer os possíveis modos responsáveis pelos fenômenos disruptivos. Dada a dinâmica e velocidade com que estes fenômenos disruptivos surgem e se desenvolvem, torna-se igualmente importante acompanhar, ao longo do tempo, como se processa este desenvolvimento, pois permite, dessa forma, conhecer-se também a taxa com que estes modos crescem e, com isto, estabelecer-se a sua origem como sendo um fenômeno ideal ou, de outra forma, vinculado às características resistivas da coluna de plasma [1].

Levando em consideração esses fatos, bem como as características do sistema de diagnóstico utilizado e dos módulos CAMAC de digitalização e memória, procurou-se elaborar um programa capaz de ler os dados provenientes dos arquivos gerados por um outro programa, conhecido por TCB e que foi elaborado pelo professor Aluisio N. Fagundes. O programa TCB efetua a transferência dos dados armazenados nestes módulos CAMAC para um computador PC-AT, acoplado ao sistema de armazenamento de dados do Laboratório de Física de Plasma [2].

Após o devido tratamento dos dados, o programa MHD gera, como saída, diversos arquivos como será mostrado mais adiante. Nestes arquivos, os dados obedecem uma formatação bastante conveniente de serem lidos pelo programa MATLAB. Os arquivos de dados, gerados pelo programa TCB, possuem um cabeçalho, com 240 caracteres, e uma região posterior reservada aos dados propriamente ditos. Para maiores detalhes ver referência [2].

O MATLAB trabalha com arquivos de dados tanto em forma de

colunas, separadas por espaço ou tabulação, ou com arquivos formados para o seu padrão, os quais possuem uma região anterior aos dados e que consiste em um pequeno cabeçalho contendo informações como: tipo de máquina (PC, Sun, etc), número de linhas, número de colunas, tipo de dado (real ou imaginário), comprimento do string do nome e o string de nome.

A escolha do MATLAB como local a se efetuar boa parte da análise dos dados decorre de sua grande praticidade e facilidade de manuseio.

Todas estas características nos deram suporte quando da elaboração deste programa, em particular da escolha de seu fluxograma. Na forma em que foi concebido, o programa MHD facilita muito a análise do comportamento do plasma diante das instabilidades MHD que nele surgem, auxiliando ainda nas investigações sobre a maneira com que Campos Helicoidais Ressonantes (CHR) agem sobre as diferentes componentes das oscilações de Mirnov.

2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROGRAMA

O programa MHD foi escrito em linguagem C, sendo compilado com o QUICK-C da Microsoft, versão 2.5. A sua compilação se deu em Modelo Large de memória, pois este modelo permite uma flexibilidade maior na alocação dinâmica de memória. O problema de alocação de memória é crucial para o programa, uma vez que a maioria das variáveis externas são do tipo float ou double e necessitam, desta forma, maior espaço de memória.

Diante da limitação de memória do computador (Sistema Operacional-DOS) procurou-se trabalhar com no máximo 1024 pontos

(1 kbyte) em cada arquivo de dados.

A forma com que foi elaborado permite ao usuário responder a um conjunto de questões, cujas respostas norteiam uma série de operações a serem efetuadas posteriormente pelo programa.

O ganho, ou fator de escala, de cada sinal é lido diretamente do cabeçalho dos arquivos montados pelo programa TCB [2] e multiplicados pelos dados utilizados no programa MHD.

O programa MHD também está preparado para interceptar erros de run-time, tais como alocação de memória ou problemas de input-output, emitindo para cada caso a respectiva mensagem de erro contendo informações do tipo de impossibilidade encontrada na execução do comando.

Numa etapa final, pode-se escolher através de um menu principal a execução de comandos independentes que levarão a formação dos arquivos de saída, contendo em seu interior os dados resultantes em formatação de dupla precisão (double), própria para ser lida pelo programa MATLAB.

3 - DECOMPOSIÇÃO DOS MODOS MHD

A parte principal do programa MHD efetua uma decomposição das oscilações de Mirnov em suas componentes de Fourier, considerando-se para isto que em princípio estas oscilações são compostas por modos de oscilação caracterizados pelos números de onda poloidal m e toroidal n , assumindo-se de antemão que a forma das perturbações do campo magnético podem ser representadas da seguinte maneira [1,3]:

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0(r) \sum_{m,n} e^{i(\omega_{m,n} t + m\theta - n\phi)} \quad (1)$$

onde θ e ϕ representam os ângulos poloidal e toroidal respectivamente.

Esta decomposição é feita utilizando-se os sinais provenientes de um conjunto de 10 bobinas magnéticas instaladas no TBR-1. Dessa forma, considera-se para cada instante de tempo a amplitude correspondente a cada bobina, o que permite calcular então os coeficientes da série de Fourier. Este procedimento, para a decomposição espacial do sinal, é repetido para cada instante de tempo, dentro de um intervalo máximo de 2,56 ms, correspondendo a 1024 pontos quando os módulos CAMAC são utilizados com taxa de amostragem (Sampling Rate) de 400 kHz [1].

A série na qual as oscilações de Mirnov são decompostas pode ser expressa da seguinte forma [1,3,4]:

$$\vec{B}_\theta(\theta) = \frac{A_0}{2} + \sum_{m=1}^4 \left(A_m \cos(m\theta) + B_m \sin(m\theta) \right) + \frac{A_5}{2} \cos(5\theta) \quad (2)$$

onde:

$$A_m = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=0}^{N-1} \vec{B}(k) \cos(k(s m + f)) \right] \quad (3)$$

$$B_m = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=0}^{N-1} \vec{B}(k) \sin(k(s m + f)) \right] \quad (4)$$

Nestas equações, g vale 0,5979 rad e representa o espaçamento entre as bobinas magnéticas do sistema instalado no TBR-1 [5], enquanto que o parâmetro f , cujo valor é 0,1521 rad, é inserido para corrigir a assimetria poloidal presente nas bobinas situadas na junção entre as duas "foices" do sistema. O valor de $N = 10$ corresponde ao número de bobinas utilizáveis na decomposição dos sinais.

O truncamento da série acima no termo $m = 5$ ocorre devido ao fato do sistema de diagnóstico implantado no TBR-1 possuir apenas 10 bobinas e, portanto, fornecer apenas 10 sinais. Este fato limita a identificação apenas das componentes $m = 0$, $m = 1$, $m = 2$, $m = 3$ e $m = 4$, enquanto que o modo $m = 5$ tem conhecido apenas o termo relativo ao $\cos(5\theta)$, impossibilitando de se conhecer a fase dessa componente [6]. Portanto, caso se utilize um sistema com um número maior de bobinas poderão ser obtidos outros coeficientes da série de Fourier.

Efetuada a decomposição do sinal e obtidos todos os coeficientes possíveis, pode-se observar a evolução temporal dos modos de oscilação, durante o intervalo de tempo considerado, graficando-se separadamente o termo constante $A_0/2$, bem como os outros termos:

$$\vec{B}_{\theta m} = A_m \cos(m\theta) + B_m \sin(m\theta) \quad (5)$$

Desta forma, uma das principais utilidades deste programa é permitir que se identifique, nos instantes em que se observa disrupturas, se há contribuição mais expressiva de um ou outro modo em particular.

4 - VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO PROGRAMA MHD

Para se verificar a qualidade do programa MHD, procurou-se aplicá-lo a um conjunto de sinais obtidos em descargas do TBR-1. Neste sentido, a sua aplicação permitiu obter-se as componentes de Fourier do sinal analisado e, pela utilização da equação (2), restituir-se o sinal gerado pelo programa MHD. Este sinal pode então ser comparado com o obtido experimentalmente, ou seja, captado pela bobina de Mirnov correspondente à posição angular escolhida para a decomposição do sinal.

Assim, na figura 1 é mostrada a evolução temporal dos modos separadamente, obtida através da utilização do programa MHD num determinado intervalo de tempo de uma das descargas. Como já foi dito anteriormente, fazendo uso da série expressa pela equação (2) obtem-se a recomposição do sinal de \vec{B}_0 numa determinada posição angular. O resultado obtido, comparado com o sinal experimental de uma bobina magnética, localizada na mesma posição poloidal, é mostrado na figura 2. Percebe-se claramente que ambos os sinais possuem forte concordância em todos os instantes de tempo, em que pese o fato de ter havido a necessidade de se truncar a série no termo em $m = 5$. Este teste foi repetido para vários intervalos da descarga, bem como para outros pulsos, mostrando sempre resultados bastante satisfatórios.

5 - COMANDOS PARA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA MHD

Agora que já foram descritas diversas características do programa MHD, incluindo-se uma amostra do sinal que dele resulta como saída, iremos passar a descrever, um a um, cada um dos

comandos necessários para a sua utilização.

Vamos supor de início que uma cópia de sua versão executável se encontre instalada num determinado diretório, ou sub-diretório, por exemplo C:\COMUM>. Neste local, portanto, serão gravados os diversos arquivos gerados pelo programa. O primeiro passo é "entrar" no programa, bastando para isso digitar o comando:

```
c:\comum>mhd
```

Aparecerá na tela a primeira questão referindo-se a subtração ou não do "sinal zero", o qual é obtido normalmente através do disparo do TBR-1 sem a formação de plasma.

Esta questão é formulada da seguinte maneira:

Subtrai Arquivo Zero ? (S/N):

Caso se deseje subtrair o "sinal zero" deve-se responder com S, quando então o programa solicitará na tela que se digite o nome do arquivo fonte e do arquivo zero, ambos de extensão .chr, da seguinte forma:

Entre com o Primeiro Arquivo:

Entre com o Arquivo Zero:

Para cada questão deve ser fornecido o nome do respectivo arquivo, não sendo necessária a colocação da extensão .chr, pois será automaticamente subentendida pelo programa. Após isto,

novamente aparece na tela a mesma questão, até que a resposta seja negativa, ou seja, tenha-se digitado N.

No caso de não se querer subtrair o "sinal zero" de nenhum arquivo, basta responder de início com N a essa questão.

Após uma resposta negativa, o programa solicitará do usuário uma série de dados que serão armazenados em variáveis internas, para que possa com isso efetuar os cálculos a que se destina. Para isto, devem ser respondidos os comandos mostrados a seguir:

Entre com um N° par de Bobinas:

Deve-se fornecer o número de sinais que se deseja trabalhar na decomposição, sendo obrigatoriamente um número par e no máximo 10, devido ao método utilizado e a características do programa, onde se considera que o sistema de bobinas de Mirnov utilizado é composto por apenas 10 destas bobinas. Pretende-se futuramente utilizar um outro conjunto com 16 bobinas de Mirnov e efetuar-se algumas alterações neste programa, de maneira que a resposta a esta pergunta poderá atingir um máximo de 16, devendo-se obedecer a sequência poloidal em que se distribuem.

Cabe ressaltar que o número de parâmetros, ou coeficientes de Fourier, que podem ser obtidos é igual a este número de bobinas utilizado. Não deve ser esquecido de maneira alguma que o sistema de 10 bobinas é assimétrico e a sequência de entrada dos arquivos deve levar em consideração obrigatoriamente a primeira bobina de uma das foices como sendo a origem do ângulo poloidal e, desta forma, a assimetria se localizará sempre entre a quinta e a sexta bobina, portanto na junção das duas foices.

Estes Sinais Possuem DC ? (S/N):

Esta questão refere-se simplesmente ao fato de ter sido ou não subtraído o "sinal zero" destes arquivos, devendo ser respondida corretamente para evitar que o sinal proveniente das oscilações de Mirnov esteja deslocado em relação ao zero por conter um nível DC.

Se já foi subtraído o "sinal zero" deve-se responder N, pois estes arquivos não possuirão nível DC, uma vez que terão sido cancelados na operação de subtração.

Este nível DC é oriundo da escolha de polaridade dos canais dos módulos CAMAC utilizados na obtenção das oscilações de Mirnov, sendo normalmente escolhida a opção bipolar.

Entre o Nome do 01° Arquivo:

...

Entre o Nome do 10° Arquivo:

Deve-se digitar o nome do arquivo correspondente a posição angular θ inicial (bobina 1), sem extensão, e em seguida, o nome dos arquivos relativos as outras posições angulares obedecendo a sequência na direção poloidal.

Tempo Inic. e Delta Pontos:

Estes dois parâmetros devem ser separados por vírgula, correspondendo o primeiro ao instante inicial, em ms, a partir do qual se quer obter a decomposição das oscilações de Mirnov em suas

componentes de Fourier, enquanto o segundo representa o intervalo de tempo, expresso em número de pontos, sendo no máximo 1024, contados a partir do tempo inicial escolhido. Deve-se ter em mente que para uma taxa de amostragem de 400 kHz o intervalo de tempo entre um ponto e outro é de 2,5 μ s, e que o máximo de pontos armazenados pelos módulos CAMAC é de 4096 pontos, ou seja, 10,25 ms.

N° de Pontos do Bloco (2exp(n)):

Este é um recurso a mais que o programa permite utilizar, pois possibilita gerar não apenas um arquivo com os resultados dos cálculos, contendo o número de pontos escolhidos, como também é capaz de criar arquivos menores, contendo partes deste arquivo completo, de forma que a sequência destes arquivos parciais corresponde ao arquivo maior. Assim, se por exemplo se está trabalhando com 1024 pontos, pode-se criar 8 arquivos contendo cada um 128 pontos, representando cada um intervalos de tempo consecutivos do outro, respondendo neste comando o valor 128. É importante saber que o número máximo permitido é de 8 blocos, e que normalmente os arquivos a serem gerados possuem um número de pontos igual a alguma potência de 2 (32, 64, 128, 512 ou 1024).

Entre com o Sampling Rate (μ s):

O Sampling Rate, ou taxa de amostragem dos dados, é um valor que depende exclusivamente do modelo e do número de canais

utilizados nos módulos CAMAC quando do armazenamento dos dados. Dessa forma, para o modelo CAMAC 2264 utilizando-se seus 8 canais, a taxa de amostragem é de 400 kHz e portanto deve ser fornecido para este parâmetro o valor 2.5 (μ s).

Caso se utilize outros modelos de módulos CAMAC ou estes mesmos de uma outra maneira, com 4 canais apenas por exemplo, deve-se verificar a sua taxa de amostragem, em μ s, para entrar com este parâmetro.

Entre a Posição Angular (rad):

A decomposição em série de Fourier é efetuada para alguma posição poloidal θ específica, sendo conveniente que esta posição coincida com a de alguma bobina de Mirnov, pois assim pode-se comparar o sinal experimental, captado por esta bobina, com o fornecido pela recomposição a partir das componentes de oscilação que são geradas em arquivos separados pelo MHD, bastando para isto somá-las, conforme indica a equação (2), e repetir o procedimento utilizado para o teste de qualidade do programa conforme descrito no item 4.

Deve-se considerar aqui que o sistema de diagnóstico utilizado não possuía simetria poloidal, pois a separação entre as bobinas das extremidades das duas "foices" são maiores que as demais, justificando a necessidade do fator f de correção assimétrica na série de Fourier utilizada.

Considerando-se a bobina de Mirnov número 1 como referência, portanto associando a ela a posição angular $\theta = 0$ rad, as posições poloidais, em rad, das demais bobinas que constituem este sistema são fornecidas na tabela a seguir:

TABELA I

B1 = 0,0000	B6 = 3,1416
B2 = 0,5979	B7 = 3,7395
B3 = 1,1958	B8 = 4,3374
B4 = 1,7937	B9 = 4,9353
B5 = 2,3916	B10 = 5,5332

Posição Angular das Bobinas de Mirnov.

Entre o Nome do Arquivo *.mat:

Todos os arquivos gerados pelo MHD contém dados formatados em dupla precisão, sendo assim, convenientes de serem lidos pelo programa MATLAB. Para identificar cada um desses arquivos é dado um nome cujas iniciais correspondem a este parâmetro que está sendo solicitado, enquanto o restante do nome é dado pelo MHD conforme a opção pedida no menu principal e que será descrito mais adiante.

Uma vez que o MHD adiciona uma série de caracteres ao nome de cada arquivo, é conveniente escolher-se apenas uma letra como resposta a este parâmetro, pois existe uma limitação do DOS de no máximo 8 caracteres para o nome.

Como exemplo, vamos supor que se responda com a letra a. Neste caso, o nome de um dos arquivos gerados será atm2.mat, sendo que os caracteres t, m e 2 são adicionados posteriormente obedecendo a uma das opções do menu.

Todos os arquivos gerados possuem extensão .mat, sendo mais adiante esclarecido o que representa cada caracter do nome do arquivo criado.

Os Dados Estão Corretos (S/N):

Caso se tenha digitado alguma informação errada, entrando-se com parâmetros incorretos, é possível recomeçar tudo novamente a partir da entrada do número de bobinas, bastando digitar aqui N e reentrar com os novos parâmetros. Não é possível corrigir apenas um parâmetro separadamente, assim, se durante a entrada destes se verificar a presença de algum erro, deve-se continuar a entrar com os outros parâmetros até que se atinja esta opção e se possa recomeçar o processo. Se não houver nenhum erro deve ser digitado S para que o programa tenha proceguimento.

Aguarde, Cálculo Muito Demorado..

Digitados todos os parâmetros pedidos até aqui, o programa MHD é capaz então de iniciar os cálculos dos coeficientes da série de Fourier. O tempo de processamento para completar o conjunto de cálculos depende do número de dados com que se está trabalhando e da velocidade (clock) do computador utilizado. Para um PC-XT de 8 MHz efetuar os cálculos com arquivos de 1024 pontos, o máximo permitido pelo programa MHD, por exemplo, gasta-se aproximadamente 2 minutos de processamento. Se for utilizado um computador PC-AT ou os arquivos forem menores, o tempo necessário será proporcionalmente menor.

Para evitar que o usuário pensasse que estivesse ocorrendo algum problema com o programa, foi colocada esta mensagem na tela solicitando para que aguarde algum tempo, uma vez que decorre um tempo longo até que os cálculos se completem e surja na tela o menu principal.

5.1 - MENU PRINCIPAL

Neste momento, todos cálculos já se completaram e o programa MHD dispõe dos coeficientes da série de Fourier armazenados em variáveis internas. O programa pode, a partir destes coeficientes, prosseguir efetuando outros cálculos e montando arquivos de saída conforme a opção do usuário diante do seguinte menu:

0. (Q)uit, Retorna para o DOS.
1. (I)nterpolação de Dados.
2. (E)volução Temporal dos Modos.
3. (C)omposição Percentual dos Modos.

Entre a Opção:

O usuário pode escolher tanto pelo número da opção como pela letra que se encontra em maiúsculo e entre parênteses, pois ambas serão compreendidas de maneira equivalente pelo programa MHD.

Deve-se tomar algum cuidado com a opção 0, pois o retorno ao DOS implica na perda de todos os cálculos efetuados, sem que possam ser recuperados, pois o programa não salva em nenhum arquivo os valores dos coeficientes da série de Fourier calculados até aqui, havendo a necessidade de se repetir todo o procedimento para se retornar a este ponto.

5.1.0 - OPÇÃO 0 OU Q

Esta opção deve ser acionada caso se queira voltar ao Sistema Operacional (DOS), não dando processamento ao programa. Nenhum dos resultados obtidos com relação aos coeficientes de Fourier calculados serão armazenados em arquivos, sendo todos apagados da memória. Para se retornar a este ponto todo o procedimento até aqui descrito deve ser repetido.

Ao sair do programa este imprimirá na tela a seguinte mensagem de encerramento:

..Encerrando Normalmente..

5.1.1 - OPÇÃO 1 OU I

Esta opção permite obter uma interpolação de dados para qualquer posição poloidal θ , ou seja, será calculado o valor da variação do campo magnético perturbado, $\tilde{B}_0(\theta, t)$, para algum valor de θ em algum instante t do intervalo de tempo que foi solicitado efetuar a decomposição.

Entre a Posição Angular (rad):

Deve-se fornecer a posição poloidal θ que se deseja efetuar a interpolação, podendo ser o valor correspondente a posição de uma das bobinas de Mirnov ou outro valor qualquer, sendo necessário apenas que se entre com seu valor em radianos.

Entre com o Instante (ms):

Deve-se escolher algum instante de tempo, em ms, presente no intervalo contido pelos arquivos para que seja fornecido o resultado da interpolação. O intervalo de tempo abrangido pelos dados foram fornecidos previamente pelo usuário quando da entrada dos parâmetros Tempo Inic. e Delta Ptos.

Valor da Interpolação, F(x):

Continua ? (S/N):

O resultado da interpolação será mostrado na tela na forma acima, onde F(x) representa $\tilde{B}(\theta, t)$. Se houver interesse em outras interpolações deve-se digitar \tilde{g} e, após surgir as solicitações de posição angular e instante de tempo, com estes novos parâmetros. Se for digitado N o programa voltará para o menu principal.

5.1.2 - OPÇÃO 2 OU E

Esta opção desempenha o papel mais importante do programa, uma vez que possibilita o cálculo da evolução temporal dos modos de oscilação MHD no intervalo de tempo e na posição poloidal estabelecidos anteriormente. Serão criados uma série de arquivos individuais, sendo vários para cada modo MHD. O primeiro arquivo criado corresponde ao intervalo inteiro de tempo escolhido anteriormente, enquanto que os demais conterão partes consecutivas do mesmo, em quantidade também previamente escolhida.

Para elucidar melhor daremos um exemplo, esclarecendo também

o significado dos caracteres que compõem o nome de cada arquivo.

Vamos supor que se esteja trabalhando com arquivos de 1024 pontos, o número de bobinas seja 10, o número de pontos do bloco seja 256 e que o nome do arquivo .mat escolhido seja \underline{a} .

O programa MHD conseguirá, dessa forma, calcular 10 coeficientes da série de Fourier fornecendo arquivos para os modos de $m = 0$ até $m = 5$. Para cada um desses modos haverá ainda 5 arquivos diferentes, um contendo 1024 pontos e os outros quatro com 256 pontos cada um, sendo que a sua sequência corresponde ao arquivo maior. Há uma mensagem na tela indicando qual o arquivo que esta sendo gerado pelo programa MHD.

O arquivo contendo 1024 pontos do modo $m = 0$ será denominado $\underline{a}m0.mat$, sendo que o caracter \underline{a} indica o nome do arquivo escolhido como uma das entradas de parâmetro anterior, \underline{t} significa que o arquivo contém o total de pontos, \underline{m} é a inicial de modo e $\underline{0}$ que se trata do modo $m = 0$. A extensão é sempre .mat. Os arquivos parciais serão denominados $\underline{a}r1m0.mat$, $\underline{a}r2m0.mat$, $\underline{a}r3m0.mat$, e $\underline{a}r4m0.mat$, onde \underline{a} , \underline{m} e $\underline{0}$ significam o mesmo que antes e $\underline{r1}$, $\underline{r2}$, $\underline{r3}$, e $\underline{r4}$ representam a região a que pertencem do arquivo maior, ou seja, $\underline{r1}$ corresponde aos primeiros 256 pontos daqueles 1024 do arquivo maior e assim por diante, valendo esta regra quando houver uma maior divisão e portanto um número maior de arquivos parciais.

Para os outros modos tudo se mantém semelhante, apenas mudando o número de 0 para 1, 2, 3, 4 e 5, sendo que este último só contém o termo em $\cos(5\theta)$, não possuindo o termo em $\sin(5\theta)$ conforme já foi explicado anteriormente. Após criar esta série de arquivos o programa retorna ao menu principal.

5.1.3 - OPÇÃO 3 OU C

Ao se efetuar esta opção a tela permanecerá vazia por alguns instantes, pois o programa estará calculando a composição percentual de cada modo ao longo do tempo no intervalo contido pelos arquivos. Este cálculo é feito considerando-se a razão entre o módulo de cada modo de oscilação, representado pela equação 5, e o sinal composto pela soma dos módulos de todos os modos calculados pelo programa, para cada instante de tempo (ou ponto) do intervalo considerado. O resultado é a criação de uma série de arquivos, semelhantes aos da opção anterior, ou seja, 5 para cada um dos modos calculados, porém, com o nome contendo um caracter p que expressa tratar-se de arquivos contendo a composição percentual deste modo. Assim, repetindo as características do exemplo dado no item anterior, agora os arquivos do modo $m = 0$ criados serão denominados de $atpm0.mat$, $ar1pm0.mat$, $ar2pm0.mat$, $ar3pm0.mat$ e $ar4pm0.mat$.

Após gerar todos os arquivos desta opção o programa retorna ao menu principal.

Não havendo mais nenhuma opção resta apenas sair do programa para o Sistema Operacional (DOS), e se for o caso de se desejar efetuar uma nova decomposição em série de Fourier, seja em outra posição angular ou outro intervalo de tempo dos mesmos dados, ou mesmo trabalhar-se com outros dados diferentes, basta repetir todo o procedimento aqui descrito, acionando o comando MHD novamente do diretório em que se estiver trabalhando.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] - Mauro S. T. Araújo; "Investigação da Atuação de Campos Helicoidais Ressonantes na Ativação/Inibição das Oscilações MHD no TBR-1", Tese de Mestrado, IFUSP, 1991.

[2] - Aluisio N. Fagundes; "Sistema de Aquisição de Dados do TBR-1", Publicação IFUSP/P-794, Julho, 1989.

[3] - Ing H. Tan; "Oscilações MHD no TBR-1", Tese de Mestrado, IFUSP, 1984.

[4] - Alvaro Vannucci; "Instabilidade de Disruptura no TBR-1", Tese de Doutorado, IFUSP, 1987.

[5] - Manoel E. Conde; "Determinação da seção Transversal da Coluna de Plasma no Tokamak TBR-1", Tese de Mestrado, IFUSP, 1986.

[6] - R. W. Daniels; "An Introduction to Numerical Methods and Optimization Techniques"; Edited by Norton-Holland, 1978.

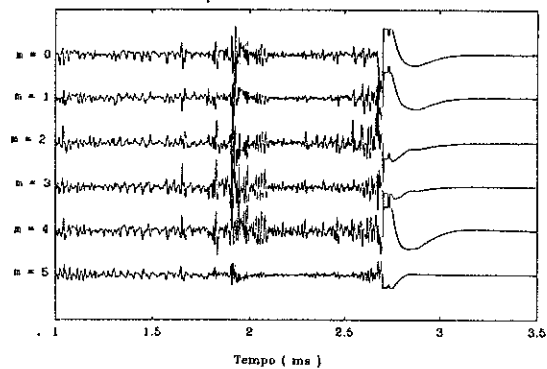


Fig. 1 - Evolução temporal dos modos obtidos pela utilização do programa MHD em uma das descargas.

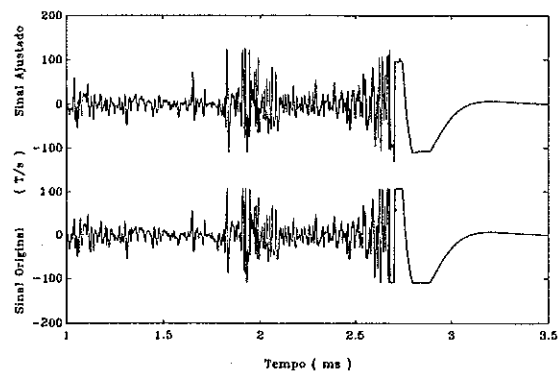


Fig. 2 - Comparação entre o sinal de uma bobina de Mirnov e o correspondente obtido pelo programa MHD.