


1. Classificação <i>INPE-COM.2/NTI</i> <i>C.D.U. 621.397.67</i>		2. Período <i>Março 1977</i>	4. Critério de Distribuição: interna <input checked="" type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>YAGI, ANTENA, OTIMIZAÇÃO.</i>			
5. Relatório nº <i>INPE-1014-NTI/084</i>	6. Data <i>01.04.77</i>		7. Revisado por <i>Clovis S. Pereira</i>
8. Título e Sub-Título <i>ANTENAS YAGI-UDA DESCRIÇÃO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL</i>			9. Autorizado por <i>Nelson de J. Parada</i>
10. Setor <i>DEE</i>	Código <i>400</i>		11. Nº de cópias <i>3</i>
12. Autoria <i>Satoshi Koshima</i>			14. Nº de páginas <i>33</i>
13. Assinatura Responsável 			15. Preço
16. Sumário/Notas <i>Desenvolvemos neste relatório o modo de utilização de um programa desenvolvido para cálculo de características de uma antena Yagi-Uda. Com ele podem ser realizadas as seguintes tarefas:</i> a) <i>Cálculo da diretividade, relação frente-costas e opcionalmente os diagramas de irradiação de uma dada antena Yagi.</i> b) <i>Determinação do espaçamento ótimo entre os elementos, i.e., o espaçamento para o qual a diretividade é maximizada.</i> c) <i>Determinação dos comprimentos ótimos dos elementos.</i>			
17. Observações			

INDICE

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - ESTRUTURA DO PROGRAMA	3
CAPÍTULO III - SUB-ROTINA OTIMI	4
CAPÍTULO IV - ELABORAÇÃO DO PROGRAMA PRINCIPAL	5
CAPÍTULO V - ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO INICIAL	8
CAPÍTULO VI - LIMITAÇÕES DO PROGRAMA	11
BIBLIOGRAFIA	12
APÊNDICE A	A.1

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Complementando o trabalho de tese (Koshima, 1976) é apresentada uma espécie de guia de utilização do programa desenvolvido para antenas Yagi-Uda cuja fundamentação teórica pode ser encontrada no trabalho referido acima.

A maior utilidade desse programa consiste no dimensionamento de antenas de alta diretividade que é conseguida pela otimização dos comprimentos e espaçamentos dos elementos da antena, utilizando-se o método de perturbação. No entanto cabe dizer que antenas de alto ganho por sua vez implicam em faixa de frequência utilizável estreita.

Como um subproduto lógico desse programa de otimização, pode-se calcular também as características de uma dada antena Yagi como a diretividade, relação frente-costas e diagramas de irradiação.

Esse trabalho, no entanto, não resolve todas as necessidades de ordem prática referentes a antenas Yagi, como o cálculo das impedâncias e, também, a determinação da configuração geométrica que possua uma dada diretividade numa certa faixa de frequência.

O cálculo da impedância, como pode ser visto na obra de King (1968), é bastante delicado e requer cuidados e, por essa razão, não nos preocupamos na sua determinação mesmo porque, na ocasião da elaboração do programa, o nosso interesse estava concentrado na construção de uma antena Yagi com diretividade máxima possível (uma faixa de frequência bastante estreita) e a impedância, no caso, não era um parâmetro de importância no projeto.

Quanto ao segundo item, sem dúvida nenhuma, poderia ajudar bastante nos projetos de antenas Yagi comerciais. Caso se pense em

elaborar um projeto com essa finalidade, sugerimos que seja consultado o trabalho desenvolvido por Kajfez (1975) no qual é descrito um processo de determinação de configuração geométrica de uma Yagi com ganho relativamente constante numa dada faixa de frequência.

CAPÍTULO II

ESTRUTURA DO PROGRAMA

O programa como um todo, conforme pode ser visto na sua listagem completa, apresentada no apêndice, é constituído dos seguintes subprogramas segundo esta ordem: PERDAS, RPLOT, INMACO, DIARD e OTIMI.

Essas sub-rotinas executam as seguintes funções:

- a) Sub-rotina PERDAS: Calcula as perdas ôhmicas nos condutores
- b) Sub-rotina RPLOT: Traça os diagramas de irradiação da antena nos planos E e H.
- c) Sub-rotina INMACO: Calcula a inversa de uma matriz complexa.
- d) Sub-rotina DIARD: Determina os pontos dos diagramas de irradiação.
- e) Sub-rotina OTIMI: Calcula a distribuição das correntes em todos os elementos da antena e portanto a diretividade, a relação frente-costas e, se for o caso, os diagramas de irradiação, os espaçamentos e/ou comprimentos ótimos dos elementos.

No programa principal devem ser definidos a geometria da antena Yagi e também os cálculos a serem realizados.

CAPÍTULO III

SUB-ROTINA OTIMI

A sub-rotina OTIMI, pode ser dito, é a alma de todo o programa pois é ela que comanda internamente todas as outras sub-rotinas, de modo que um usuário do programa necessita somente definir os parâmetros dessa sub-rotina no programa principal. Devido a essa estruturação o programa só funciona corretamente se o sistema computacional admitir uma sub-rotina embutida numa outra sub-rotina.

A sub-rotina OTIMI é chamada do modo abaixo:

```
SUBROUTINE OTIMI (N, R, B, H, FREQ, NP, NESP, NDIAGI, MDIF,  
                NPERDA, CONDUT)
```

A natureza dos parâmetros é descrita abaixo:

- N: É o número de elementos da antena Yagi, no máximo 10.
- R(J): Raio, em metros, do J-ésimo elemento, sendo que R(2) corresponde ao raio do elemento excitador.
- B(J): Coordenada do J-ésimo elemento, em metros
- H(J): Comprimento do J-ésimo elemento, em metros (metade)
- FREQ: Frequência de operação, em MHz
- NP: Número de perturbações a realizar para otimização. Se NP=0 esta sub-rotina apenas fornece as características da antena.
- NESP: Se NESP = 1, a sub-rotina otimiza os espaçamentos dos elementos de antena e caso NESP ≠ 1 os comprimentos dos elementos.
- NDIAG: Se NDIAG = 1, são fornecidos os diagramas de irradiação da antena.
- MDIF: Número de intervalos de integração. Está intimamente ligado à precisão dos coeficientes de distribuição de correntes calculados por essa sub-rotina. Escolher valores maiores que 6.
- NPERDA: Se NPERDA = 1, a sub-rotina fornece as perdas ôhmicas nos condutores.
- CONDUT: Condutividade do material de que são feitos os elementos da antena.

CAPÍTULO IV

ELABORAÇÃO DO PROGRAMA PRINCIPAL

O usuário do programa deve se preocupar apenas em elaborar um programa principal bastante simples no qual são fornecidas as dimensões geométricas da antena Yagi, a frequência de operação e as opções de cálculos a serem efetuados, após o que se deve chamar a sub-rotina OTIMI.

É apresentado, abaixo, um programa principal que realiza a otimização dos comprimentos dos elementos e calcula as características dessa antena otimizada para frequências variando de 135 a 140 MHz espaçadas de 1 MHz.

```
DIMENSION B(10),H(10),R(10)
N = 6
MJK=6
CONDUT=3.72E7
READ(5,83)(H(J),J=1,N)
READ(5,83)(R(J),J=1,N)
83 FORMAT(10F8.4)
DO 33 J=1,N
R(J) = .00635
33 CONTINUE
M=1
L = 0
FR = 137.5
CALL OTIMI(N,R,B,H,FR,10,L,M,MJK,C,CONDUT)
DO 55 IA=1,6
FR = 134. + IA
CALL OTIMI(N,R,B,H,FR,0,L,M,MJK,C,CONDUT)
55 CONTINUE
STOP
END
```

No exemplo anterior foi utilizada a seguinte convenção para as variáveis:

N Número de elementos da antena
R(J) Raio do J-ésimo elemento em metros
B(J) Coordenada do J-ésimo elemento, em metros
H(J) ... Comprimento do J-ésimo elemento, em metros (metade)
FR ... Frequência de operação em MHz
L ... Variável que define o tipo de otimização a ser realizada
M ... Parâmetro, que indica se são traçados os diagramas de irradiação
MJK ... Número de intervalos de integração
CONDUT ... Condutividade dos elementos da antena

O número de elementos da antena é seis e as coordenadas e os comprimentos, no exemplo, são lidas por meio de dois cartões de dados. Os raios de todos os elementos, por outro lado, são fixados num único valor dado por 0,00635 m correspondendo ao diâmetro de 1/2 polegada.

A frequência na qual é feita a otimização dos comprimentos é 137,5 MHz e o número de perturbações para se chegar à configuração final, é dada pelo sexto parâmetro da sub-rotina e, no caso, são dez passos.

Como se deseja realizar a otimização dos comprimentos tomamos $L = 0$, mas poderia ser qualquer valor inteiro diferente de 1.

Fixamos $M = 1$, especificando, desse modo, que desejamos os diagramas de irradiação; porém, cabe observar que o programa foi feito de modo que, durante o processo de otimização, não são traçados os diagramas.

O número de intervalos de integração está ligado à precisão do valor dos coeficientes de distribuição de correntes nos elementos e deve ser o menor possível. Seis intervalos de integração parece

ser um número razoável, garantindo uma conciliação entre rapidez e pre
cisão nos cálculos.

A condutividade dos elementos é 3.72×10^7 mhos/m cor
respondendo ao alumínio, porém como o penúltimo parâmetro é nulo não é
calculada a perda ôhmica total, nos condutores.

Após a otimização dos comprimentos, é chamada a sub-rotin
na OTIMI seis vezes, para cálculos das características da antena otimi
zada em cada frequência. Observa-se que, para esse caso, o sexto parâm
etro da sub-rotina foi tomado zero, ou seja o número de perturbação a
ser efetuado é nulo.

CAPÍTULO V

ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO INICIAL

Não há critérios absolutos na seleção da configuração inicial a partir da qual é obtida uma antena otimizada. No trabalho de Koshima (1976) foi sugerido que se parta com uma antena já com diretividade relativamente elevada. Como existem dados, tanto experimentais como técnicos, para antenas com comprimentos dos diretores iguais e espaçamentos uniformes, estas seriam as mais indicadas para serem configurações iniciais evitando-se a busca aleatória.

Porém pode-se eventualmente tomar uma antena não uniforme pois foi observado que, partindo de uma dada antena otimizada, pode-se chegar a uma outra antena também otimizada, com parâmetros, como diâmetros dos tubos ou frequência de operação não muito distantes da antena original.

A melhora na diretividade pode ser desprezível ou substancial dependendo da distância da configuração inicial à otimizada. No trabalho de Koshima (1976) temos, entre vários casos, o dado no Exemplo 1 em que a diretividade aumentou de apenas 1 dB, enquanto no Exemplo 2 é apresentado um caso em que a diretividade de 4.3 dB passou a 13.5 dB.

Esse último exemplo foi obtido de um caso real, em que se tinha uma antena centrada em 134 MHz e que era preciso operar em 137.5 MHz. Uma maneira, encontrada foi a de modificar apenas os comprimentos dos elementos, utilizando o programa de otimização desenvolvido. Observe-se que foi obtida uma antena com excitador mais longo que o refletor e a relação frente-costas teórica dessa antena é 10.1 dB.

EXEMPLO 1:

Configuração Inicial: Raios dos elementos = $0,003369\lambda$

i	1	2	3	4	5	6	7	8
h_i/λ	0,255	0,245	0,215	0,215	0,215	0,215	0,215	0,215
d_i/λ	0,00	0,25	0,49	0,73	0,97	1,21	1,45	1,69

Diretividade = 12,5 dB

Relação Frente Costas = 18,7 dB

Configuração Otimizada: Raios dos elementos = $0,003369\lambda$

i	1	2	3	4	5	6	7	8
h_i/λ	0,243	0,237	0,224	0,208	0,214	0,206	0,207	0,217
d_i/λ	0,000	0,212	0,424	0,663	0,896	1,181	1,381	1,689

Diretividade = 13,5 dB

Relação Frente Costas = 10,1 dB

EXEMPLO 2:

Configuração Inicial: Diâmetros dos elementos = 1/2 polegada

i	1	2	3	4	5	6
h_i (m)	0,551	0,549	0,493	0,483	0,486	0,488
d_i (m)	0,000	0,319	1,044	1,949	2,748	3,592

Diretividade = 4,3 dB

Relação Frente Costas = -4,1 dB.

Configuração Otimizada

i	1	2	3	4	5	6
hi(m)	0,534	0,549	0,477	0,468	0,469	0,478
di(m)	0,000	0,319	1,044	1,949	2,748	3,592

Diretividade = 13,5 dB

Relação Frente Costas = 10.1 dB.

CAPÍTULO VI

LIMITAÇÕES DO PROGRAMA

Como já foi citado anteriormente, esse programa foi concebido fundamentalmente para obtenção de configurações geométricas de antena Yagi com diretividade máxima possível.

Sendo assim, não é recomendado que se faça tentativas de obtenção de uma Yagi com faixa de frequência mais larga por meio desse programa, pois exigirá número elevado de tentativas apesar de ser mais rápido que o processo experimental. Obviamente a solução correta seria a elaboração de programa especial, já com essa finalidade.

O número máximo de elementos foi limitado em 10, porém se for preciso calcular dados de uma Yagi com número maior de elementos pode-se contornar essa dificuldade aumentando-se as dimensões de alguns vetores e matrizes dos subprogramas e, também, do programa principal. Os vetores e matrizes a serem modificados possuem dimensões múltiplas de 10.

Na elaboração do programa não foi dada muita importância à impedância da antena e, dessa forma, esse parâmetro será conhecido apenas após a medição da antena já confeccionada. Talvez a maior limitação prática do programa esteja neste ponto pois, utilizando o programa, pode-se chegar eventualmente a uma antena otimizada com impedância inadequada, de difícil casamento à linha de 50 ohms, e esse fato somente será conhecido após a construção da antena.

BIBLIOGRAFIA

KAJFEZ, D. - "Nonlinear Optimization extends the bandwidth of Yagi antenna". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation (Communications)*, 23; 287-289; Mar. 1975.

KING, R.W.P.; MACK R.B.; SANDLER, S.S. - *Array of Cylindrical Dipoles*. New York, Cambridge University Press, 1968.

KOSHIMA, S. - *Otimização das alturas e espaçamentos dos elementos de uma antena Yagi-Uda*. Relatório nº INPE-920-TPT/034.

- A.1 -

APÊNDICE A

Listagem completa do programa desenvolvido para otimiza
ção da antena Yagi-Uda.

FILE 5=TETA

SUBROUTINE PERDAS(N,FREQ,CONDUIT,A2,X,H,RAIO,PDB,NINT,POT)

ESTA SUBROTINA CALCULA A PERDA TOTAL NOS CONDUTORES EM DB
RELATIVA A POTENCIA NA ENTRADA DA ANTENA

PARAMETROS DA SUBROTINA

N...NUMERO DE ELEMENTOS DA ANTENA YAGI
FREQ...FREQUENCIA EM MHZ
CONDUIT...CONDUTIVIDADE DO MATERIAL (MHOS/METRO)
A2...COEF. ADICIONAL DE DISTR. CORRENTE DO ELEM. EXCITADOR
X...VETOR DOS COEFIC. DE DISTR. DE CORRENTES
H...VETOR DAS ALTURAS DOS ELEMENTOS (EM METRO) (Metade)
RAIO...RAIO DOS FLEMENTOS (EM METRO)
PDB...PERDA TOTAL(EM DB) NOS CONDUTORES
NINT...NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO
POT...POTENCIA NA ENTRADA DA ANTENA

```
DIMENSION H(1),RAIO(1)
COMPLEX X(1),CORR ,A2
REAL MZ
PI=3.1415926535
MZ=NINT+1
RS=FREQ/(CONDUIT*10)
RS=SQRT(RS)
RS=.2*PI*RS
BETA=2*PI*FREQ/300.
PER=0.
DO 3 K=1,N
DZ=H(K)/NINT
DB7=BETA*DZ
BHK2=BETA*H(K)/2
COS2=COS(BHK2)
SEN2=SIN(BHK2)
COS1=COS2*COS2-SEN2*SEN2
SEN1=2*SEN2*COS2
IQ=1
VINT=0.
DO 4 L=1,MZ
IF(IQ.EQ.1)VAVA=41.
IF(IQ.EQ.2)VAVA=216.
IF(IQ.EQ.3)VAVA=27.
IF(IQ.EQ.4)VAVA=272.
IF(IQ.EQ.5)VAVA=27.
IF(IQ.EQ.6)VAVA=216.
IF(L.EQ.1)VAVA=41.
IF(L.EQ.MZ)VAVA=41.
IQ=IQ+1
IF(IQ.GT.6)IQ=1
ZBK2=(L-1)*DB7/2.
COZ2=COS(ZBK2)
SEZ2=SIN(ZBK2)
COZ1=COZ2*COZ2-SEZ2*SEZ2
```



```
SEZ1=2.*COZ2+SEZ2
MO=SEN1*COZ1-COS1+SE71
FO=COZ1-COS1
HO=COZ2-COS2
CORR=X(K)*FO+X(K+N)*HO
IF(K.EQ.2)CORR=CORR+A2*MO
COR2=REAL(CORR*CONJG(CORR))
4 VINT=VINT+COR2*VAVA
VINT=VINT*D7/(RATIO(K)*140.)
3 PER=PER+VINT
PCIR=2.*PI
PER=RS*PER/PCIR
PDR=10.*ALOG10(PER/POT)
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE RPLOT(NCURV,NPTOS,YLIMS,PASSO,XIN,Y,JJ,NPT,PT,KK)
*****
NCURV...NUMERO DE CURVAS QUE SE DESEJA TRACAR = NO MAXIMO 10
NPTOS...NUMERO DE PONTOS EM CADA CURVA = NO MAXIMO 131
YLIMS...VALORES EXTREMOS DE CADA CURVA-NECESSARIO FORNECER SE JJ=0
PASSO...DIFFERENCA ENTRE AS ABSCISSAS DE DOIS PONTOS SUCESSIVOS
XIN.....ABSCISSA INICIAL
Y.....MATRIZ DOS VALORES DAS FUNCOES
JJ.....SE JJ=0 O USUARIO DEVE FORNECER YLIMS**SE JJ=1 A SUBROTINA
TOMA PARA CADA CURVA VALORES ADEQUADOS**SE JJ=2 A SUBROTINA TOMA
UMA UNICA ESCALA PARA TODAS AS CURVAS**SE JJ=3 A SUBROTINA TOMA
UMA UNICA ESCALA E TRACA O EIXO DAS ABSCISSAS PASSANDO PELA ORDE=
NADA ZERO
NPT.....NUMERO DE PONTOS QUE SE DESEJA PLOTAR = NO MAXIMO 20
PT.....MATRIZ DOS PONTOS-DAR VALORES DE MODO QUE PT(I+1,1)>PT(I,1)
E PT(1,1) MAIOR OU IGUAL A XIN
KK.....SE KK=1 OBRIGATORIAMENTE DEVE-SE FAZER JJ=2 OU JJ=3**SE
KK=0 A SUBROTINA TRACA SOMENTE AS CURVAS
*****
DIMENSION YLIMS(10,2),Y(NCURV,NPTOS),PT(20,2)
DIMENSION YS(6),ESC(10)
DIMENSION USADO(10)
REAL LINHA(102),NOS(10)
REAL MA,MI
DATA BCD/1H /,ARR/1H@/,AST/1H*/,PLUS/1H@/
DATA NOS/1HH,1HE,1H3,1H4,1H5,1H6,1H7,1H8,1H9,1H0/
IF(KK.EQ.1) IF(JJ=2)10,30,30
GO TO 30
10 WRITE(6,20)
20 FORMAT(1H ,44HCOM KK=1 E OBRIGATORIO O USO DE JJ=2 OU JJ=3)
GO TO 340
30 IX=0 ; CONT=0
K=1 ; INDIC=0
DO 40 I=1,102
40 LINHA(I)=BCD
IF (JJ.EQ.0) GO TO 100
DO 50 I=1,NCURV
YLIMS(I,2)=Y(I,1)
YLIMS(I,1)=Y(I,1)
DO 50 J=2,NPTOS
YLIMS(I,2)=AMAX1(Y(I,J),YLIMS(I,2))
50 YLIMS(I,1)=AMIN1(Y(I,J),YLIMS(I,1))
IF(JJ.EQ.1) GO TO 100
MA=YLIMS(1,2)
MI=YLIMS(1,1)
DO 60 I=1,NCURV
MA=AMAX1(YLIMS(I,2),MA)
60 MI=AMIN1(YLIMS(I,1),MI)
IF(KK.NE.1) GO TO 80
DO 70 I=1,NPT
MA=AMAX1(MA,PT(I,2))
70 MI=AMIN1(MI,PT(I,2))
80 DO 90 I=1,NCURV
YLIMS(I,2)=MA
90 YLIMS(I,1)=MI
100 DO 140 I=1,NCURV
ACRESC=(YLIMS(I,2)-YLIMS(I,1))/5
YS(1)=YLIMS(I,1)
DO 110 J=1,5
```

```
110 YS(J+1)=YS(J)+ACRESC                                059
    IF(YLIMS(I,2).NE.YLIMS(I,1)) GO TO 130              060
    WRITE(6,120)                                         061
120 FORMAT(1H ,10X,75HA EXECUCAO FOI INTERRUMPIDA DEVIDO A IMPOSSIBILI
    CDADE DE SE TRACAR AS CURVAS,///,1X,113HSE JJ=1 UMA DAS CURVAS E UMA
    C RETA HORIZONTAL SE JJ=2 OU JJ=3 TODAS AS CURVAS SAO RETAS HORIZ
    CONTAIS COINCIDENTES)                               062
    GO TO 340                                            063
    064
130 ESC(I)=100/(YLIMS(I,2)-YLIMS(I,1))                 065
140 WRITE(6,150)NOS(I),YS                               066
150 FORMAT(10X,7H CURVA ,A1,4H.....F8.1,5(8X,F12.1))
    WRITE(6,600)
    600 FORMAT(/)
160 X=XIN+IX*PASSO
    WRITE(6,170)X
170 FORMAT(18X,F11.1,1X,51(2H= ))
180 IX=IX+1 ; CONT=CONT+1
    DO 190 I=1,NCURV
    J=IFIX((Y(I,IX)-YLIMS(I,1))*ESC(I)+1.5)
    IF(J.GT.101) LINHA(101)=ARR
    IF(J.LT.1) LINHA(1)=ARR
    IF(J.GT.101.OR.J.LT.1) INDIC=1
    IF(J.LE.101.AND.J.GE.1) IUSADO(I)=J
    IF(J.LE.101.AND.J.GE.1) LINHA(J)=NOS(I)
190 CONTINUE
    IF(KK.NE.1) GO TO 200
    JP=0
    IF(IFIX((PT(K,1)-XIN)/PASSO+1.5).NE.IX) GO TO 200
    JP=IFIX((PT(K,2)-YLIMS(1,1))*ESC(1)+1.5)
    LINHA(JP)=PLUS
    K=K+1
200 IF(JJ.NE.3) GO TO 230
    J=IFIX(-YLIMS(1,1)*ESC(1)+1.5)
    IF(J.LE.101.AND.J.GE.1) GO TO 220
    WRITE(6,210)
210 FORMAT(1H ,86HA EXECUCAO FOI INTERRUMPIDA DEVIDO A IMPOSIBILIDADE
    C DE SE TRACAR O EIXO DAS ABSCISSAS)
    GO TO 340
220 LINHA(J)=AST
230 WRITE(6,240)LINHA
240 FORMAT(1H+,20X,102A1)
    DO 250 I=1,NCURV
250 LINHA(IUSADO(I))=BCO
    IF(JP.NE.0) LINHA(JP)=BCO
    IF(INDIC.NE.1) GO TO 260
    LINHA(1)=BCO
    LINHA(101)=BCO
260 IF(IX.EQ.NPTOS) GO TO 310
    IF(CONT.EQ.10) GO TO 300
    IF(IX.EQ.NPTOS-1) GO TO 280
    WRITE(6,270)
270 FORMAT(11X,6(19X,1H.))
    GO TO 180
280 WRITE(6,290)
290 FORMAT(1H ,20X,51(2H= ))
    GO TO 180
300 CONT=0
    GO TO 160
310 IF(INDIC.NE.1) GO TO 340
    WRITE(6,320)
320 FORMAT(1H ,///,105HOS VALORES DE YLIMS FORNECIDOS NAO PERMITEM A C
```

```
COLOCACAO DAS CURVAS *** USE AS OPCOES JJ=1 OU JJ=2 OU JJ=3) 11
WRITE(6,330) 11
330 FORMAT(1H ,//,30X,45H0 SIMBOLO @ SIGNIFICA UM PONTO FORA DA ESCALA 12
C) 12
340 WRITE(6,350) 12
350 FORMAT(1H1) 12
RETURN 12
END 12
```

```
SUBROUTINE INMACO(N,TOL)
*****
ESTA SUBROTINA INVERTE A MATRIZ, PELO METODO DE PIVOTAMENTO
A MATRIZ A SER INVERTIDA E SUPRIDA PELO COMMON A
A MATRIZ INICIAL E PERDIDA, PORTANTO CASO NECESSITE DESSA MATRIZ
  ARMAZENF=A
*****
N ... DIMENSAO DA MATRIZ QUE SE DESEJA INVERTER, NO MAXIMO 20
TOL ... SE O FLEMENTO DA MATRIZ POSSUI VALOR ABSOLUTO INFERIOR A
  TOL E CONSIDERADO COMO ZERO
*****
COMPLEX A(30,60),TEMP,PIV,DIVA
COMMON A
FORMACAO MATRIZ UNITARIA
N1 = N+1
NZ = 2*N
DO 3 I=1,N
DO 3 J=1,N
NJ= N+J
A(I,NJ) = (0.,0.)
IF(I.EQ.J)A(I,NJ)=(1.,0.)
3 CONTINUE
NX = N-1
M = 0.
GERACAO PIVOT, VERIFICAR SE COLUNA DIFERENTE DE ZERO
DO 23 L=1,N
LX = L+1
MX = 0
DO 13 I=L,N
IF(CABS(A(I,L))-TOL)13,13,11
11 MX = 1
13 CONTINUE
IF(MX)15,37,15
TESTE MAIOR FLEMENTO COLUNA
15 DO 19 I=LX,N
IF(CABS(A(L,I))-CABS(A(I,L)))17,19,19
TROCA DE LINHAS
17 DO 19 JX=L,NZ
TEMP = A(L,JX)
A(L,JX) = A(I,JX)
A(I,JX) = TEMP
19 CONTINUE
FAZER PIVOT IGUAL A 1
PIV = A(L,L)
DO 21 JX=L,NZ
A(L,JX) = A(L,JX)/PIV
21 CONTINUE
ALGORITMO GAUSS JORDAN
DO 23 K=1,N
I=K
IF(I=L)190,18,190
18 I=I+1
IF(I=N)190,190,23
190 M=0
DIVA = A(I,I)
DO 210 J=L,NZ
A(I,J) = A(I,J) - A(L,J)*DIVA
VERIFICAR SE LINHA DIFERENTE DE ZERO
IF (I=L)20,20,189
189 IF(J=N)191,191,210
```

```
191 IF(CABS(A(I,J))-TOL)210,210,20
 20 M=1
210 CONTINUE
  IF(M)23,37,23
 23 CONTINUE
  RETURN
 37 WRITE(6,775)
775 FORMAT(/,27X,28H MATRIZ INVERSA NAO DEFINIDA)
  RETURN
  FND
```

SUBROUTINE DTARD(N,B,H,A2,X,CAMPL,LAMBDA,MZ)

ESTA SUBROTINA CALCULA O CAMPO NO PLANO HORIZONTAL E VERTICAL DE
UMA ANTENA YAGI, DADOS OS COEFFICIENTES DE DISTRIBUICAO DE
CORRENTES NOS ELEMENTOS

N...NUMEROS DE FLEMENTOS DA REDE YAGI
B...VETOR DAS COORDENADAS DOS ELEMENTOS
H...VETOR DAS ALTURAS DOS ELEMENTOS - (Metade)
A2...COEFF. DE DIST. DE CORRENTE ADICIONAL DO ELEM. EXCITADOR
X...VETOR DOS COEFIC. DE DISTRIBUICAO DAS CORRENTES
CAMPL(1,IFI)...CAMPO VERTICAL AO QUADRADO (PLANO H)
CAMPL(2,IFI)...CAMPO HORIZONTAL AO QUADRADO (PLANO E)
LAMBDA...COMPRIMENTO DE ONDA
MZ...NUMERO DE PONTOS EM TETA E FI, DE ZERO A 180 GRAUS, NO MAXIMO
90, TOMAR SEMPRE UM MULTIPLO DE 6

COMPLEX CAMPO,TV,TZ,COA,EX,FVN,X(1),A2
DIMENSION BETAL(12),SNL1(12),SNL2(12),CNL1(12),CNL2(12),CNL4(12),

CB(1),CAMPL(2,91),H(1)

REAL LAMBDA

PI = 3.1415926535

BETA = 2*3.1415926535/LAMBDA

DO 11 K=1,N

P = BETA*H(K)

BETAL(K) = P

CNL4(K) = COS(P/4)

CNL2(K) = 2*CNL4(K)*CNL4(K) - 1

CNL1(K) = 2*CNL2(K)*CNL2(K) - 1

SNL2(K) = SIN(P/2)

11 SNL1(K) = 2*SNL2(K)*CNL2(K)

DISC = ABS(H(2)/LAMBDA - .25) - .1E-3

CAMPO VERTICAL

IF(DISC)75,75,76

75 HM = 1. - PI/2

SECRH = 1.

GO TO 77

76 HM = 1. - CNL1(2)

SECRH = 1./CNL1(2)

77 MZ1 = MZ+1

DEFI = PI/M7

WRITE(6,78)

78 FORMAT(1H1,/////,8X,3HPHI,9X,>E**2>.,20X,4HTETA,9X,4HF**2./)

DO 86 IFI=1,MZ1

FI = (IFI-1)*DEFI

COSFI = COS(FI)

CAMPO = (0.,0.)

DO 61 I=1,N

RI = B(2) - R(I)

GM = SNL1(I) - BETAL(I)*CNL1(I)

DM = 2.*SNL2(I) - BETAL(I)*CNL2(I)

TV = X(I)/A2

TZ = X(I+N)/A2

RI = RI*COSFI

CB = BETA*RI

```
EX = COS(CR) = (0.,1.)*SIN(CR)
61 CAMPO = CAMPO + (TV*GM + TZ*DM)*EX
FVN = (HM + CAMPO)*SECRH
FVEN = CABS(FVN)
IF (IFI.EQ.1)ARSD = FVEN
FVNW = FVEN/ARSD
FVNW = FVNW+FVNW
CAMPL(1,IFI) = 10*ALOG10(FVNW)
86 CONTINUE
```

CAMPO HORIZONTAL

```
MZ2 = (M7+2)/2
DETETA = PI/MZ
DO 87 ITET=1,MZ1
TETA = PI/2 - (ITET-1)*DETETA
COST = COS(TETA)
SENT = SIN(TETA)
IF(ITET.NE.1)GO TO 12
HM = 1. -PI/2
FM = 1. = CNL1(2)
GO TO 13
12 CONTINUE
14 CONTINUE
IF(ITET.NE.M71)GO TO 15
HM = PI/2 - 1.
FM = CNL1(2) = 1.
GO TO 13
15 CONTINUE
IF(ITET.EQ.M72)GO TO 13
FM = (COS(BETAL(2)*COST)-CNL1(2))/SENT
IF(DISC.LT.0)HM=(COST - SIN(PI+COST/2))/(SENT*COST)
13 CAMPO = (0.,0.)
DO 20 I=1,N
TV = X(I)/A2
TZ = X(I+N)/A2
RI = B(2) - R(I)
BETCO = BETAL(I)*COST
COSRT = COS(BETCO)
SENRT = SIN(BETCO)
IF(ITET.NE.1)GO TO 21
GM = SNL1(I) - BETAL(I)*CNL1(I)
DM = 2.*SNL2(I) - BETAL(I)*CNL2(I)
GO TO 22
21 CONTINUE
IF(ITET.NE.M71)GO TO 24
GM = BETAL(I)*CNL1(I) - SNL1(I)
DM = BETAL(I)*CNL2(I) - 2.*SNL2(I)
24 CONTINUE
IF(ITET.EQ.M72)GO TO 22
GM = (SNL1(I)*COSRT*COST - CNL1(I)*SENRT)/(SENT*COST)
ABA = .001 + (ITET-1)*180/MZ
IKR = IFIX(ABA)
IF(IKR.EQ.30,OR,IKR.EQ.150)GO TO 33
DM = SENT*((2*COSRT*SNL2(I)-4*SENRT*CNL2(I)*COST)/(1-4*COST**2) -
C(SENRT*CNL2(I))/COST)
GO TO 22
33 DM = SENT*(BETAL(I) - SNL1(I))/2.
22 RI = RI*SENT
```



```
CB = RETA*RT
EX = COS(CB) = (0.,1.)*SIN(CB)
20 CAMPO = CAMPO + (TV*GM + TZ*DM)*EX
IF(DISC)30,30,31
30 SECRH = 1.
GO TO 32
31 HM = FM
SECRH = 1/CMJ1(2)
32 FVN = (HM + CAMPO)*SECRH
FVEN = CABS(FVN)
FVNW = FVEN/ABS0
FVNW = FVNW*FVNW
CAMPL(2,ITET) = 10*ALOG10(FVNW)
IF(ITET.F0.M72)CAMPL(2,ITET) = CAMPL(2,ITET-1)
87 CONTINUE
DO 25 IVK=1,91,2
ZTET = (IVK-1)*180/MZ
25 WRITE(6,73)ZTET,CAMPL(1,IVK),ZTET,CAMPL(2,IVK)
73 FORMAT(6X,F6.2,E16.6,13X,F6.2,E16.6)
WRITE(6,90)
90 FORMAT(1H1)
WRITE(6,46)
46 FORMAT(5(/),20X,2DS PONTOS E E H NO GRAFICO CORRESPONDEM AOS PONTOS
CS2,/,35X,2NO PLANO E(HORIZONTAL) E PLANO H(VERTICAL) RESPECTIVAMENTE,///)
CTE2,///)
RETURN
END
```

SUBROUTINE OTIMI(N,R,B,H,FREQ,NP,NESP,NDIAG,MDIF,NPERDA,CODUT)

ESTA SUBROTINA DETERMINA :

1. A DIRETIVIDADE DA ANTENA YAGI
2. OPCIONALMENTE O DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO
3. OPCIONALMENTE A OTIMIZAÇÃO DOS ESPACAMENTOS
4. OPCIONALMENTE A OTIMIZAÇÃO DAS ALTURAS DOS ELEMENTOS
5. OPCIONALMENTE A PERDA TOTAL NOS CONDUTORES

TODAS AS DIMENSÕES GEOMÉTRICAS EM METROS

N...NUMERO DE ELEMENTOS DA ANTENA YAGI,NO MAXIMO 10

R(J)...RAIO DA J-ESIMA HASTE

B(J)...ABSCISSA DA J-ESIMA HASTE

B(2)...ABSCISSA DA HASTE EXCITADORA -

H(J)...ALTURA DA J-ESIMA HASTE - (Metade)

H(2)...ALTURA DA HASTE EXCITADORA - (Metade)

FREQ...FREQUENCIA EM MHZ

NP...NUMERO DE PERTURBAÇÕES

SE NP=0, A SUBROTINA APENAS FORNECE AS CARACTERÍSTICAS DA ANTENA YAGI

NESP...SE NESP.EQ.1, A SUBROTINA OTIMIZA ESPACAMENTO

SE NESP.NE.1, A SUBROTINA OTIMIZA AS ALTURAS

NDIAG...SE NDIAG=1, A SUBROTINA FORNECE O DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

MDIF...NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRAÇÃO

NPERDA...SE NPERDA=1, A SUBROTINA CALCULA A PERDA TOTAL NOS CONDUTORES

CODUT...CONDUTIVIDADE DO MATERIAL(MPOS/METRO)

COMPLEX A2,PSIM,X(20),E,EX,FVN,AX(30,60),TOTR(4),CA1,DCOZA,DCOSS, CCS1,RL(4),R1(4),INTEG(4,4),PSID,WDZ,WD2,PSIU,WUZ,WU2,PSID,PSIFU, CPSIHU,FID,PSIH,FIU,PSIV2,WVZ,WV2,PSIFV2,PSIHV2,FIV2,BX(20),RLZ(4) C,DCOZA,DCOZS,R1Z(4),TOTRZ(4),INTEGZ(4,4),FIDZ(10,10),WDZ,WD2Z,WU CZZ,WU2Z,PSIHJ(10,10),PSIHUJ(10,10),PSIHDZ(10,10),PSIHUZ(10,10), F CIUZ(10,10),PSHV2P(10),WV2Z,PSHV2J(10),PSHV2Z(10),PSIHDX(10),PS CIHUX(10),FTDX(10),FIUX(10),FIV2X,PSHV2X,P2(20,10),P2K,P3, Q2(10,10 C),Q3(10,10),DKK,DT(10),DK(10),DCON,CCON,WVZZ,ZVN

COMPLEX PSIDJ,PSIUJ,WD2J,WUZJ,WU2J,PSIV2J,WVZJ,WV2J,PSIFVJ,PSIFDJ, CPSFV2J,PSIMJ,FIV2J(10),FIDJ(10,10),FIUJ(10,10),WDZJ

COMPLEX PSIDZ,PSIUZ,PSIV2Z,PSIFUZ,PSIFDZ,PSFV2Z,PSIMZ,FI(2Z(10)

COMPLEX XAPA1,XAPA2,XAPA3,XAPA4,ZAPA1,ZAPA2,ZAPA3,ZAPA4,PSIM,DA2, CFIV2P(10)

COMPLEX ACN7,SCN7,ACZ(3),ASZ(3),ACON(3),SCON(3),OSS(3),DTS(3)

COMPLEX WW,WS,WA,CAZ

COMPLEX AW,SW,WP,ZIMP,ZADM

REAL LAMBDA,MO,LGA,LGS

DIMENSION R(1),H(1),FM(4),ZK(3),CNL1(10),CNL2(10),SNL1(10),SNL2(C10),RETAL(10),GMLZ(10),DMLZ(10),CNL4(10),GANHO(20),RR(10),ALFX(10) C,ALFZ(10),AGX(10),AGZ(10),DALTA2(10),DL(10),DR(10),BD(10),SNL4(10)

DIMENSION CAMPL(2,91),PT(20,2),YLIMS(10,2)

DIMENSION DFM(4),RRA(3),ZA1(3),RRS(3),ZS1(3),R(10)

COMMON AX

LAMBDA=300./FREQ

B1 = R(1)

DC R13 KM=1,N

R(KM) = R(KM) = R1

IF(NESP.EQ.1)RD(KM)=R(KM)

IF(NESP.NE.1)RD(KM)=H(KM)

A13 CONTINUE

WRITE(6,25) LAMBDA,FREQ,N

```
25 FORMAT(/,5X,≥ LAMBDA = ≥,F10.7,5X,≥ FREQ = ≥,F10.3,5X,≥ N = ≥,I4)
WRITE(6,577)(R(J),J=1,N)
577 FORMAT(/,≥ RAJOS≥,10F10.4)
WRITE(6,26)(H(J),J=1,N)
26 FORMAT(/,≥ ALTURAS ≥,10F7.4)
WRITE(6,27)(R(J),J=1,N)
27 FORMAT(/,≥ ESPACAMENTO ≥,10F7.3)
IF(NESP.EQ.1)ALVO=.05
IF(NESP.NE.1)ALVO=.004
N2 = 2*N
```

MIG...NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO PARA J=K
MDIF...NUMERO DE INTERVALOS DE INTEGRACAO PARA J.NE.K

MIG = 10*MDIF

```
VC2 = 1.
PI = 3.14159265
BETA = 2.*PI/LAMBDA
NITER = NP
IF(NP.EQ.0)NITER=1
ILOP = 1
GANAN = 0.
3 CONTINUE
DO 11 K=1,N
P = BETA*H(K)
BETAL(K) = P
CNL4(K) = COS(P/4.)
CNL2(K) = 2.*CNL4(K)*CNL4(K)-1
CNL1(K) = 2.*CNL2(K)*CNL2(K)-1
IF(K.EQ.2)COSH2 = CNL1(2)
SNL4(K) = SIN(P/4)
SNL2(K) = 2.*SNL4(K)*CNL4(K)
SNL1(K) = 2.*SNL2(K)*CNL2(K)
ALFX(K) = CNL4(K) - CNL2(K)
ALFZ(K) = 1. - CNL2(K)
AGX(K) = 1. - CNL1(K)
AGZ(K) = CNL2(K) - CNL1(K)
DELTA2(K) = AGX(K)*ALFX(K) - AGZ(K)*ALFZ(K)
GMLZ(K) = SNL1(K) - BETAL(K)*CNL1(K)
11 DMLZ(K) = 2.*SNL2(K) - BETAL(K)*CNL2(K)
RZH2 = BETAL(2)
SENH2 = SNL1(2)
COSH2 = CNL1(2)
FX = 1. - COSH2
```

INICIO DA MALHA K; DETERMINACAO DOS ELEMENTOS DA MATRIZ [I,PSI]HD

```
51 DO 12 K=1,N
P = BETAL(K)
ACOSP = CNL1(K)
ACOSP2 = CNL2(K)
ACOSP4 = CNL4(K)
ASENP = SNL1(K)
ASENP2 = SNL2(K)
ALFK = ALFX(K)
ALFS = ALFZ(K)
LGA = AGX(K)
LGS = AGZ(K)
DELTA2 = DELTA2(K)
IF(NESP.NE.1)GAMA1 = ASENP - ASENP2/2
```

```
IF(NESP.NE.1)GAMA2 = ASEN2/2 - SNL4(K)/4
IF(NESP.NE.1)DOL2 = ASEN*ALFK+LGA*GAMA2-ASEN2*LGS/2-ALFS*GAMA1
ZK(1) = 0.0
ZK(2) = P/2.0
ZK(3) = P
```

INICIO DA MALHA J: CALCULOS DOS ELEMENTOS DA MATRIZ FI,PSI,IND

```
DO 32 J=1,M
  BETJ = RETA(J)
  BETJ2 = BETJ/2.0
  COSA1 = CNL1(J)
  COSA2 = CNL2(J)
  SENA1 = SNL1(J)
  IF (K=J)14,15,14
14 RE = BETA*(R(K)-R(J))
  M = MDIF
  GO TO 16
15 RE=BETA*R(J)
  M = MIG
16 DYZE = RETJ/M
  RE2 = RE*RE
  MX = M+ 1
```

CALCULO DOS INTEGRAIS FI'S E PSI'S
OS INTEGRAIS SAO CALCULADOS POR SIMPSON ** POLINOMIO DE
SEXTO GRAU

VAVA ... PESO CORRESPONDENTE A APROXIMACAO POR SIMPSON

```
IF(NESP.NE.1)OR,J,NE,K)GO TO 65
IF(ILOP.NE.1)GO TO 71
65 IQ = 1
DO 74 JK=1,3
DO 74 JW=1,4
  INTEG(JW,JK) = (0.,0.)
74 INTEGZ(JW,JK) = (0.,0.)
DO 36 L=1,Mx
```

ASSINALACAO DOS PESOS DE SIMPSON DE SEXTO GRAU

```
VC = 1
IF(L.EQ.MX)VC=-1.
IF(IQ.EQ.1)VAVA = 14
IF(IQ.EQ.2)VAVA=16
IF(L.EQ.1)VAVA=7
IF(L.EQ.MX)VAVA=7
IQ = IQ + 1
IF(IQ.GT.2)IQ=1
```

```
ZYL = (L-1)*DYZE
DO 17 JK=1,3
  ZKA1 = ZYL +7K(JK)
  QRA1 = RE2 + 7KA1*ZKA1
  RA1 = SQRT(QRA1)
  CA1 = COS(RA1) + (0.,-1.)*SIN(RA1)
  DCOSA = CA1/RA1
  IF(JK.EQ.1)GO TO 99
  ZKS1 = ZYL-7K(JK)
  QRS1 = RE2 + 7KS1*ZKS1
  RS1 = SQRT(QRS1)
  CS1 = COS(RS1) + (0.,-1.)*SIN(RS1)
```

```
DCOSS = CS1/RS1
GO TO 100
99 ZKS1 = ZKA1
RS1 = RA1
QRS1 = QRA1
DCOSS = DCOSA
100 CONTINUE
QCON = DCOSA/RA1
DIA = 1./RA1
ACQZ = DIA + (0.,1.)
DCQZA = QCON*ACQZ
IF(NESP.NE.1)DCQZA = DCQZA*ZKA1
DCQN = DCOSS/RS1
DIS = 1./RS1
SCQZ = DIS + (0.,1.)
DCQZS = DCQN*SCQZ
IF(NESP.NE.1)DCQZS = -DCQZS*ZKS1
IF(L.NE.1.AND.L.NE.MX)GO TO 90
RRA(JK) = RA1
ZA1(JK) = ZKA1
RRS(JK) = RS1
ZS1(JK) = ZKS1
ACZ(JK) = ACQZ
ASZ(JK) = SCQZ
DAS(JK) = DCOSA
DSS(JK) = DCOSS
ACQN(JK) = QCON
SCQN(JK) = DCQN
90 CONTINUE
RLZ(JK) = DCQZA + DCQZS
17 RL(JK) = DCOSA + DCOSS
CQZ2 = COS(ZYL/2)
CQZ1 = 2*CQZ2*CQZ2-1
FM(1) = CQZ1
FM(2) = CQZ2
FM(3) = 1.
IF(J.EQ.2)FM(4) = SIN(ZYL)
IF(L.NE.1.AND.L.NE.MX)GO TO 50
DFM(2) = -SIN(ZYL/2)/2
DFM(1) = 4*DFM(2)*CQZ2
DFM(3) = 0.
DFM(4) = CQZ2
50 CONTINUE
DO 36 JK=1,3
DO 36 JW=1,4
E = FM(JW)*RL(JK)
INTEG(JW,JK) = INTEG(JW,JK) + E*VAVA
IF(L.EQ.1.OR.L.EQ.MX)INTEG(JW,JK)=INTEG(JW,JK)+VC*DYZE*(FM(JW)*(D
CAS(JK)+DSS(JK))-FM(JW)*(ZA1(JK)*ACZ(JK)+ACQN(JK)+ZS1(JK)*ASZ(JK)*S
CCQN(JK)))
IF(NP.EQ.0)GO TO 36
EX = FM(JW)*RLZ(JK)
INTEGZ(JW,JK) = INTEGZ(JW,JK) + EX*VAVA
IF(L.NE.1.AND.L.NE.MX)GO TO 36
AW = ACQN(JK)*ACZ(JK)
SW = SCQN(JK)*ASZ(JK)
WW = AW + SW
WA = ACQN(JK)*ZA1(JK)*(-1+3*ACZ(JK)/RRA(JK))/RRA(JK)
WS = SCQN(JK)*ZS1(JK)*(-1+3*ASZ(JK)/RRS(JK))/RRS(JK)
WP = DFM(JW)*WW - FM(JW)*(WA+WS)
IF(NESP.NE.1)GO TO 70
```

```
INTEGZ(JW,JK) = INTEGZ(JW,JK)+VC*DYZE*WP
GO TO 36
70 INTEGZ(JW,JK) = INTEGZ(JW,JK)+VC*DYZE*(FM(JW)*(AW-SW)+ZK**JK)*WP+ZY
CL*(DFM(JW)*(AW-SW)-FM(JW)*(WA-WS))
36 CONTINUE
HE = BETA*(R(K)-R(J))
DO 37 JK=1,3
IF(NESP.NE.1)HE = (JK-1)/2.
DO 37 JW=1,4
INTEG(JW,JK) = INTEG(JW,JK)*DYZE/15
INTEGZ(JW,JK) = INTEGZ(JW,JK)*BETA*HF*DYZE/15
37 CONTINUE
IF(NP.EQ.0)GO TO 47
IF(NESP.EQ.1)GO TO 47
BSL2 = BETA*SML2(J)/2
RSL1 = BETA*SML1(J)
BCL1 = BETA*CML1(J)
PSIDJ = RSL2*INTEG(3,3)
PSIUJ = RSL1*INTEG(3,3)
WDZJ = RSL2*INTEG(3,1) - PSIDJ
WD2J = RSL2*INTEG(3,2) - PSIDJ
WU7J = RSL1*INTEG(3,1) - PSIUJ
WU2J = RSL1*INTEG(3,2) - PSIUJ
IF(J.NE.2)GO TO 47
PSIV2J = BCL1*INTEG(1,3) + BSL1*INTEG(4,3)
WV2J = BCL1*INTEG(1,2) + BSL1*INTEG(4,2) - PSIV2J
WV7J = BCL1*INTEG(1,1) + BSL1*INTEG(4,1) - PSIV2J
47 DO 13 JK=1,3
XAPA1 = INTEG(1,JK)
XAPA2 = INTEG(2,JK)
XAPA3 = INTEG(3,JK)
XAPA4 = INTEG(4,JK)
INTEG(1,JK) = XAPA2 - COSA2*XAPA3
INTEG(2,JK) = XAPA1 - COSA1*XAPA3
INTEG(3,JK) = SENA1*XAPA1 - COSA1*XAPA4
IF(NP.EQ.0)GO TO 13
ZAPA1 = INTEGZ(1,JK)
ZAPA2 = INTEGZ(2,JK)
ZAPA3 = INTEGZ(3,JK)
ZAPA4 = INTEGZ(4,JK)
INTEGZ(1,JK) = ZAPA2 - COSA2*ZAPA3
INTEGZ(2,JK) = ZAPA1 - COSA1*ZAPA3
INTEGZ(3,JK) = SENA1*ZAPA1 - COSA1*ZAPA4
13 CONTINUE
PSID = INTEG(1,3)
WDZ = INTEG(1,1) - PSID
WD2 = INTEG(1,2) - PSID
PSIU = INTEG(2,3)
WU7 = INTEG(2,1) - PSIU
WU2 = INTEG(2,2) - PSIU
PSIFD = (WD7*ALFK - WD2*ALFS)/DELTA2
PSIFU = (WU7*ALFK - WU2*ALFS)/DELTA2
PSIHD = (WD2*LGA - WDZ*LGS)/DELTA2
PSIHU = (WU2*LGA - WUZ*LGS)/DELTA2
FID = PSID - PSIFD*ACOSP
FIU = PSIU - PSIFU*ACOSP
IF(NP.EQ.0)GO TO 28
PSIDZ = INTEGZ(1,3)
WDZZ = INTEGZ(1,1) - PSIDZ
WD2Z = INTEGZ(1,2) - PSIDZ
PSIUZ = INTEGZ(2,3)
```

```
WUZZ = INTEG7(2,1) - PSIUZ
WUZZ = INTEG7(2,2) - PSIUZ
PSIFDZ = (WDZZ*ALFK - WD2Z*ALFS)/DELTA2
PSIFUZ = (WUZZ*ALFK - WU2Z*ALFS)/DELTA2
PSIHDZ(K,J) = (WD2Z*LGA - WDZZ*LGS)/DELTA2
PSIHUZ(K,J) = (WU2Z*LGA - WUZZ*LGS)/DELTA2
FIDZ(K,J) = PSIDZ - PSIFDZ*ACOSP
FIUZ(K,J) = PSIUZ - PSIFUZ*ACOSP
IF(NESP.NE.1)GO TO 49
IF(J.NE.K.OR.ILOP.GT.1)GO TO 28
PSIHDX(J) = PSIHD
PSIHUX(J) = PSIHU
FIDX(J) = FID
FIUX(J) = FIU
GO TO 28
49 PSIFDJ = (WD7J*ALFK-WD2J*ALFS)/DELTA2
PSIFUJ = (WU7J*ALFK - WU2J*ALFS)/DELTA2
PSIHDJ(K,J) = (WD2J*LGA - WDZJ*LGS)/DELTA2
PSIHUJ(K,J) = (WU2J*LGA - WUZJ*LGS)/DELTA2
FIDJ(K,J) = PSIDJ - PSIFDJ*ACOSP
FIUJ(K,J) = PSIUJ - PSIFUJ*ACOSP
PSIHDZ(K,J) = PSIHDZ(K,J) + BETA*(WD2*ASENP-WDZ*GAMA1-PSIHD*DDL2)/
CDELTA2
PSIHUZ(K,J) = PSIHUZ(K,J) + BETA*(WU2*ASENP-WUZ*GAMA1-PSIHU*DDL2)/
CDELTA2
FIDZ(K,J) = FIDZ(K,J)-ACOSP*BETA*(WDZ*GAMA2-ASENP2*WD2/2-PSIFD*DDL
C2)/DELTA2 + BETA*PSIFD*ASENP
FIUZ(K,J) = FIUZ(K,J)-ACOSP*BETA*(WU2*GAMA2-ASENP2*WU2/2-PSIFU*DDL
C2)/DELTA2 + BETA*PSIFU*ASENP
28 IF (J=2)19,21,19
21 PSIV2 = INTEG(3,3)
PSIV2Z = INTEG7(3,3)
WVZ = INTEG(3,1) - PSIV2
WVZZ = INTEG7(3,1) - PSIV2Z
WV2 = INTEG(3,2) -PSIV2
WV2Z = INTEG7(3,2) - PSIV2Z
PSIFV2 = (WV7*ALFK - WV2*ALFS)/DELTA2
IF(NESP.NE.1)PSFV2J = (WV2J*ALFK - WV2J*ALFS)/DELTA2
PSFV2Z = (WVZZ*ALFK - WV2Z*ALFS)/DELTA2
IF (K=2)22,23,22
23 DELTA1 = ASENP*ALFK - ASENP2*ALFS
PSIM = (WV7*ALFK - WV2*ALFS)/DELTA1
A2 = (0.,-1.)*V02/(60.*PSIM)
A2 = -A2/COSH2
PSIHV2 = (WV2*ASENP-WVZ*ASENP2)/DELTA1
DEL=1.0
IF(NP.EQ.0)GO TO 24
DDL1 = ACOSP*(ALFK+0.5)+GAMA2*ASENP-ACOSP2/2
IF(NESP.NE.1)PSHV2J(K) = (WV2J*ASENP-WVZJ*ASENP2)/DELTA1
IF(NESP.NE.1)PSHV2Z(K) = (WV2Z*ASENP-WVZZ*ASENP2+BETA*(ACOSP*WV2-W
CVZ*ACOSP2/2-PSIHV2*DDL1))/DELTA1
IF(NESP.EQ.1)GO TO 24
DPSIM = ((WV7Z+WVZJ)*ALFK-(WV2Z+WV2J)*ALFS+BETA*(GAMA2*WVZ-ASENP2*
CWV2/2-PSIM*DDL1))/DELTA1
DA2 = A2*(BETA*SENH2/COSH2-DPSIM/PSIM)
GO TO 24
22 DEL = 0.
PSIHV2 = (WV2*LGA-WVZ*LGS)/DELTA2
IF(NP.EQ.0)GO TO 24
PSHV2Z(K) = (WV2Z*LGA - WVZZ*LGS)/DELTA2
IF(NESP.NE.1)PSHV2Z(K)=PSHV2Z(K)+BETA*(WV2*ASENP-WVZ*GAMA1-PSIHV2*
```

```
DDL2)/DELTA2
IF(NESP.NE.1)PSHV2J(K)=(WV2J*LGA-WVZJ*LGS)/DELTA2
24 FIV2 = PSIV2 - (1.0-DEL)*PSIFV2*ACOSP
FIV2Z(K) = PSIV2Z-(1-DEL)*PSFV2Z*ACOSP
FIV2P(K) = FIV2
PSHV2P(K) = PSIHV2
IF(NP.EQ.0)GO TO 19
IF(K.NE.2.AND.NESP.NE.1)FIV2Z(K)=FIV2Z(K)-ACOSP*BETA*(WVZ+GAMA2-AS
CENP2*WV2/2-PSIFV2*DDL2)/DELTA2+BETA*PSIFV2*ASENP
IF(NESP.NE.1)FIV2J(K) = PSIV2J -(1-DEL)*PSFV2J*ACOSP
IF(NESP.NE.1)GO TO 19
IF(K.NE.2.OR.TLOP.GT.1)GO TO 19
FIV2X = FIV2
PSHV2X = PSIHV2
```

MONTAGEM DOS COEFICIENTES DO SISTEMA DE EQUACOES

```
19 AX(K,J)= FIIJ
AX(K,J+N) = FID
AX(K+N,J) = PSIHU
AX(K+N,J+N) = PSIHD
IF(NP.EQ.0)GO TO 32
IF(NESP.NE.1.OR.J.NE.K)GO TO 32
71 AX(K,K) = FIIH(K)
AX(K,K+N) = FIDH(K)
AX(K+N,K) = PSIHUX(K)
AX(K+N,K+N) = PSIHDX(K)
32 CONTINUE
IF(NP.EQ.0)GO TO 142
IF(K.NE.2.OR.NESP.NE.1)GO TO 142
FIV2 = FIV2X
PSIHV2 = PSHV2X
142 BX(K) = -FIV2
BX(K+N) = -PSIHV2
12 CONTINUE
DO 33 K=1,N
BX(K) = BX(K)*A2
33 BX(K+N) = BX(K+N)*A2
```

INVERSAO DA MATRIZ FI,PSIHD

CALL INMACO(N2,TOL)

DETERMINACAO DOS COEF. DE DISTRIB. DE CORRENTES

X(1) A X(N)...ELEMENTOS DA MATRIZ COLUNA ≥B≥

X(N+1) A X(2N)...ELEMENTOS DA MATRIZ COLUNA ≥D≥

```
DO 94 IT=1,N2
X(IT) = (0.,0.)
DO 94 JT=1,N2
JZ = JT + N2
94 X(IT) = X(IT) + AX(IT,JZ)*BX(JT)
```

CALCULO DA DIRETIVIDADE

```
E = (0.,0.)
CAZ = (0.,0.)
```



```
DO 41 K=1,N
DIK = ( R(K) = R(2) ) * BETA
DI(K) = COS(DIK) + (0., 1.) * SIN(DIK)
E = E + DI(K) * (GMLZ(K) * X(K) + DMLZ(K) * X(K+N))
CAZ = CAZ + CONJG(DI(K)) * (GMLZ(K) * X(K) + DMLZ(K) * X(K+N))
41 CONTINUE
E = E + FX * A2
F = 60 * F * (0., 1.)
CAZ = CAZ + FX * A2
CAZ = CAZ * 60
FBR = CABS(F / CAZ)
DFBR = 20 * ALOG10(FBR)
WRITE(6, 38) DFBR
38 FFORMAT(/, > FBR = >, E10.4)
EX = A2 * SNL1(r2) + X(2) * (1. - CNL1(2)) + X(N+2) * (1. - CNL2(2))
ZIMP = V02 / EX
WRITE(6, 754) ZIMP
754 FORMAT(5X, > ZIMP >, 2E16.4)
ZADM = 1 / ZIMP
WRITE(6, 755) ZADM
755 FFORMAT(5X, > ZADM >, 2E16.4)
POT = V02 * RFAL(EX) / 2.
IF(NPERDA.EQ.1) CALL PERDAS(N, FREQ, CONDUIT, A2, X, H, R, PDB, 60, POT)
GANHO(ILOP) = (CABS(F)) ** 2 / (60. * POT)
DIZ = GANHO(ILOP) * GANAN
WRITE(6, 59) GANHO(ILOP)
59 FORMAT(/, > GANHO = >, E10.4)
GDR = 10. * ALOG10(GANHO(ILOP))
WRITE(6, 189) GDR
189 FORMAT(/, > GANHO EM DB >, E10.4)
IF(NPERDA.EQ.1) WRITE(6, 444) PDB
444 FORMAT(/, > PERDA TOTAL NOS CONDUTORES EM DB RELATIVA A POTENCIA NA
C ENTRADA DA ANTENA >, E10.4)

IF(NP.EQ.0) GO TO 111
IF(DIZ.GE.0) GO TO 788
DO 777 ILX=1,N
IF(NESP.EQ.1) R(ILX) = RD(ILX)
IF(NFSP.NE.1) H(ILX) = RD(ILX)
777 CONTINUE
788 CONTINUE
IF(ILOP.GT.NITER) GO TO 111
DO 54 K=1,N
IF(NESP.EQ.1) GO TO 18

CALCULOS DE PU=P2 E PD=P3 ( OTIMIZACAO DAS ALTURAS )

DO 54 M=1,N
DELJ2 = 0.
IF(M.EQ.2) OFI J2=1.
P2(K,M) = -(FIUJ(K,M) * X(M) + FIDJ(K,M) * X(N+M) + DELJ2 * (FIV2P(K) * DA2 + FI
CV2J(K) * A2))
P2(K+N,M) = -(PSIHUJ(K,M) * X(M) + PSIHJ(K,M) * X(N+M) + DELJ2 * (PSHV2P(K) * D
CA2 + PSHV2J(K) * A2))
IF(K.NE.M) GO TO 54
P2K = (0., 0.)
P3K = (0., 0.)
DO 48 IV=1,N
P2K = P2K - FIUJ(K,IV) * X(IV) - FIDJ(K,IV) * X(N+IV)
```

```
48 P3K = P3K - PSTHUZ(K,IV)*X(IV) - PSIH0Z(K,IV)*X(N+IV)
P2(K,K) = P2(K,K)+P2K=FIV2Z(K)*A2
P2(K+N,K) = P2(K+N,K) + P3K - PSHV2Z(K)*A2
GO TO 54
```

CALCULOS DE PU=P2 E PD=P3 (OTIMIZACAO DOS ESPACAMENTOS)

```
18 DO 54 J=1,N
IF(K.EQ.J)GO TO 55
P2(K,J) = FIUZ(K,J)*X(J)+FIDZ(K,J)*X(N+J)
P2(K+N,J) = PSIHUZ(K,J)*X(J) + PSIH0Z(K,J)*X(J+N)
IF(J.NE.2)GO TO 54
P2(K,2) = P2(K,2)+FIV2Z(K)*A2
P2(K+N,2) = P2(K+N,2) + PSHV2Z(K)*A2
GO TO 54
55 P2K = (0.,0.)
P3K = (0.,0.)
DO 57 IX=1,N
DELKI = 0.
IF(IX.EQ.K)DELKI=1.
P2K = P2K-(1-DELKI)*(FIUZ(K,IX)*X(IX)+FIDZ(K,IX)*X(N+IX))
57 P3K = P3K + (1.-DELKI)*(PSIHUZ(K,IX)*X(IX) + PSIH0Z(K,IX)*X(IX+N
C))
P2(K,K) = P2K=FIV2Z(K)*A2
P2(K+N,K) = -PSHV2Z(K)*(1.-DELK2)*A2 - P3K
54 CONTINUE
```

CALCULO DE Q1=Q2 F Q0=Q3

```
DO 34 I=1,N
DO 34 K=1,N
Q2(K,I) = (0.,0.)
Q3(K,I) = (0.,0.)
DO 34 LX = 1,N2
JX = LX + N2
Q2(K,I) = Q2(K,I) + AX(K,JX)*P2(LX,I)
34 Q3(K,I) = Q3(K,I) + AX(K+N,JX)*P2(LX,I)
```

CALCULO DE FTETL(K) = DK(K)

```
DO 35 K=1,N
DELK2 = 0.
IF(K.EQ.2)DELK2=1.
DKK = (0.,0.)
DO 31 I=1,N
31 DKK = DKK + OI(I)*(GMLZ(I)*Q2(I,K) + DMLZ(I)*Q3(I,K))
IF(NESP.FQ.1)GO TO 39
IF(K.EQ.2)DKK= DKK+DA2*FX+A2*BETA*SNL1(2)
DK(K) = (0.,1.)*60*(BETA*BETAL(K)*DI(K)*(X(K)*SNL1(K)+X(N+K)*SNL2(
C K)/2)+DKK)
GO TO 35
39 DK(K) = (0.,1.)*60.*(0.,1.)*OI(K)*BETA*(GMLZ(K)*X(K) + DMLZ(K)*X(
CK+N) + FX*A2*DELK2) + DKK)
35 CONTINUE
```

DETERMINACAO DAS NOVAS ALTURAS SE NESP.NE.1, OU DOS NOVOS
ESPACAMENTOS SE NESP=1

```
IF(DIZ.LT.0)GO TO 88
IF(DJZ.GT.0)GANAN = GANH0(ILOP)
BOCA = 0.
DO 29 K=1,N
DCON = E*CONJG(DK(K))
QCON = Q2(2,K)*(1.-CNL1(2)) + Q3(2,K)*(1.-CNL2(2))
IF(NESP.NE.1.AND.K.EQ.2)QCON = QCON+BETA*(X(2)*SNL1(2)+X(N+2)*SNL2
C(2)/2+A2*CNL1(2))+DA2*SNL1(2)
B1 = REAL(DCON)
B2 = V02*REAL(QCON)/2.
RB(K) = 2.*B1 - 60.*GANHO(ILOP)*B2
DB(K) = R(K)
IF(NESP.NE.1)DB(K) = H(K)
BD(K) = DB(K)
IF(ILOP.EQ.1)BOCA = BOCA + RB(K)**2
29 CONTINUE
88 CONTINUE
IF(DIZ.LT.0)ALFA = ALFA/2
IF(ILOP.EQ.1)ALFA = ALVO/SGRT(BOCA)
WRITE(6,883)ALFA
883 FORMAT(/,≥ ALFA = ≥,E10.4,////)
DO 192 K=1,N
DL(K) = ALFA*RB(K)
IF(DIZ.LT.0)DB(K) = BD(K)
DB(K) = DB(K) + DL(K)
IF(NESP.EQ.1)R(K) = DB(K)
IF(NESP.NE.1)H(K) = DB(K)
192 CONTINUE
B1 = R(1)
DO 914 JR=1,N
R(JR) = R(JR) - B1.
914 CONTINUE
WRITE(6,884)ILOP
884 FORMAT(/,≥ PERTURBACAO ≥,I3)
IF(NESP.EQ.1)GO TO 42
WRITE(6,43)(H(J),J=1,N)
43 FORMAT(/,≥ ALTURAS ≥,10F8.4)
GO TO 44
42 CONTINUE
WRITE(6,52)(R(J),J=1,N)
52 FORMAT(/,≥ COORDENADS ≥,10F8.4)
44 ILOP = ILOP + 1
IF(NESP.NE.1)GO TO 3
GO TO 51
111 CONTINUE
IF(NDIAG.NE.1)GO TO 45

OBTENCAO DE DIAGRAMA DE IRRADIACAO

CALL DIARD(N,R,H,A2,X,CAMPL,LAMBDA,90)
YLIMS(1,1)=-50.
YLIMS(1,2)=0.
YLIMS(2,1)=-50.
YLIMS(2,2)=0.
CALL RPLOT(2,91,YLIMS,2.,0.,CAMPL,0,NPT,PT,0)
45 CONTINUE
RETURN
END
```