

APLICAÇÃO DA TEORIA DE PERTURBAÇÃO PARA CÁLCULOS DE
SENSIBILIDADE EM NÚCLEOS DE REÁTORES PWR, USANDO
UM MODELO DE DOIS CANAIS

AUTORA: APARECIDA CELINA JARLETTI GONÇALVES DE OLIVEIRA

RECIFE - PE
DEZEMBRO - 1988

APLICAÇÃO DA TEORIA DE PERTURBAÇÃO PARA CÁLCULOS DE SENSIBILIDADE EM NÚCLEOS DE REATORES PWR, USANDO UM MODELO DE DOIS CANAIS.

Autora: Aparecida Celina Jarletti Gonçalves de Oliveira

Orientador: Fernando Roberto de Andrade Lima

Co-orientadores: Rita de Cássia Fernandes Lima

Antonio Carlos de Oliveira Barroso

Dissertação apresentada ao Departamento de Energia Nuclear da
Universidade Federal de Pernambuco, fazendo parte da Comissão
Examinadora os seguintes professores:



Barrozo Leite de Medeiros - Dr.
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte



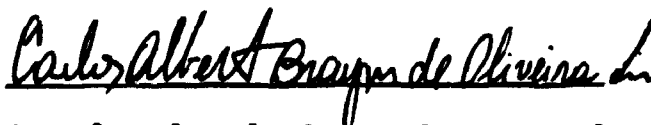
Elias Silva Filho - Dr.
Departamento de Energia Nuclear
Universidade Federal de Pernambuco



Carlos Alberto Brayner O. Lira-Dr.
Departamento de Energia Nuclear
Universidade Federal de Pernambuco

Visto e permitida a impressão

Recife, 16 de dezembro de 1988



Coordenador do Curso de Mestrado
em Ciência e Tecnologia Nuclear do
Departamento de Energia Nuclear da
Universidade Federal de Pernambuco

À José e Zilda

Cícero

Alexandre, Andressa e Arthur

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Fernando Roberto de Andrade Lima pela orientação prestada.

A Antônio Carlos Marques Alvim pelas críticas construtivas e incentivos.

A Rita de Cássia Fernandes Lima e Antônio Carlos de Oliveira Barroso pela co-orientação recebida.

A Zacharias Ernani das Candeias pelo apoio computacional.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN - pela bolsa de estudos recebida.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização do presente trabalho.

3.2.3.3 - Determinação do coeficiente de sensibilidade..... 39

Capítulo IV - Aplicação da teoria de perturbação ao modelo..	40
4.1 - Introdução.....	40
4.2 - Aplicação do formalismo matricial ao canal quente do modelo.....	40
Capítulo V - Descrição dos casos analisados.....	47
5.1 - Primeiro funcional - entalpia média do refri- gerante no canal quente ($\bar{H}_q$).....	47
5.2 - Segundo funcional - velocidade média do refri- gerante no canal quente ($\bar{V}_q$).....	48
Capítulo VI - Resultados e comparações.....	50
Capítulo VII - Conclusões e recomendações.....	61
Referências Bibliográficas.....	62

Apêndices:

A - Deduções sobre o sistema genérico considerado.....	66
B - Obtenção do sistema similar (adjunto).....	75
C - Dedução do coeficiente de sensibilidade.....	79
D - Teoria de perturbação x cálculo direto, no canal nominal	82
E - Deduções sobre o sistema de equações que descrevem o modelo considerado.....	86
F - Obtenção do sistema adjunto para o modelo de dois canais	96

G - Determinação do coeficiente de sensibilidade para o modelo considerado.....	100
H - Diagrama de blocos simplificado do programa CASNUR.FOR..	103
I - Saída típica de resultados - Caso Exemplo.....	106
J - Descrição do Programa CASNUR.FOR, suas sub-rotinas, como utilizá-lo, diagrama de blocos detalhado e listagem.....	113
J.1 - Descrição das sub-rotinas do Programa CASNUR.FOR..	113
J.2 - Como utilizar o Programa CASNUR.FOR.....	116
J.3 - Diagrama de blocos detalhado e listagem do programa.....	117

Índice das Figuras

Figura 1 - Acoplamento entre os canais quente e nominal.....	16
Figura 2 - Interação entre dois canais adjacentes.....	17
Figura 3 - Função importância para o funcional Entalpia média do refrigerante no canal quente ($\bar{H}_q$).....	59
Figura 4 - Função importância para o funcional Velocidade média do refrigerante no canal quente ($\bar{V}_q$).....	59

Índice das Tabelas

Tabela 1 - Dados de projeto do reator de ANGRA-1.....	18
Tabela 2 - Resultados de sensibilidade da entalpia média do refrigerante no canal quente com relação a massa específica no canal quente.....	52
Tabela 3 - Resultados de sensibilidade da velocidade média do refrigerante no canal quente com relação a massa específica no canal quente.....	53
Tabela 4 - Resultados de sensibilidade da entalpia média do refrigerante no canal quente com relação a área da secção reta do canal quente.....	54
Tabela 5 - Resultados de sensibilidade da velocidade média do refrigerante no canal quente com relação a área da secção reta do canal quente.....	55
Tabela 6 - Função importância para entalpia média do refrigerante no canal quente.....	57
Tabela 7 - Função importância para velocidade média do refrigerante no canal quente.....	58

SUMÁRIO

O cálculo de sensibilidade em núcleos de reatores nucleares é de fundamental importância para o projeto e análise de segurança destes reatores.

O uso de grandes códigos nucleares para este tipo de análise requer um grande tempo de computação, o que implica em altos custos. Por outro lado, o uso da teoria de perturbação permite realizar tais cálculos com grande eficiência e baixo custo computacional.

Neste trabalho aplica-se o formalismo matricial da teoria de perturbação a um modelo simplificado para análise de DNB (*Departure from Nucleate Boiling*), e obtêm-se expressões para o cálculo de coeficientes de sensibilidade da entalpia e velocidade do refrigerante com relação à massa específica do refrigerante e área do canal quente. Um programa, CASNUR, foi escrito em FORTRAN, para calcular os coeficientes de sensibilidade mencionados.

A comparação dos resultados obtidos utilizando-se o formalismo matricial da teoria de perturbação com aqueles obtidos através do método direto, demonstra claramente a eficiência e a potencialidade da teoria de perturbação para cálculos de sensibilidade em núcleos de reatores nucleares.

ABSTRACT

Sensitivity calculations are very important in design and safety of nuclear reactor cores.

Large codes with a great number of physical considerations have been used to perform sensitivity studies. However, these codes spend many computation time involving high costs. The perturbation theory has constituted in an efficient and economical method to realize sensitivity analysis.

The present work is an application of the perturbation theory (matricial formalism) to a simplified model of DNB (Departure from Nucleate Boiling) analysis to perform sensitivity calculations in PWR cores. Expressions to calculate the sensitivity coefficients of enthalpy and coolant velocity with respect to coolant density and hot channel area, were developed from the proposed model. The CASNUR.FOR code was written in FORTRAN to evaluate these sensitivity coefficients.

The comparison between results obtained from the matricial formalism of perturbation theory with those obtained directly from the proposed model, makes evident the efficiency and potentiality of this perturbation method for nuclear reactor cores sensitivity calculations.

NOTAÇÕES

a) DO MODELO DE DOIS CANAIS

A_i	= Área da seção reta do canal i .
V_{in}	= Velocidade do refrigerante em cada volume de controle no canal i ($n = 1 \rightarrow$ entrada, $n = 2 \rightarrow$ saída).
ρ_{in}	= Massa específica do refrigerante em cada volume de controle no canal i ($n = 1 \rightarrow$ entrada, $n = 2 \rightarrow$ saída).
H_{in}	= Entalpia do refrigerante em cada volume de controle do canal i ($n = 1 \rightarrow$ entrada, $n = 2 \rightarrow$ saída).
Q_i	= Taxa de geração térmica em cada volume de controle do canal i .
W_{ji}	= Vazão transversal em massa do canal j (nominal) para o canal i .
$\bar{H}$	= Entalpia média no volume de controle doador de vazão transversal em massa.
P_{in}	= Pressão do refrigerante no canal i ($n = 1 \rightarrow$ entrada, $n = 2 \rightarrow$ saída).
$\bar{V}_i$	= Velocidade média do refrigerante em cada volume de controle do canal i .

f_i	= Coeficiente de atrito corrigido pelo efeito de parede aquecida no canal i.
Δz	= Altura dos volumes de controle.
D_e	= Diâmetro equivalente do canal.
$\bar{V}$	= Velocidade axial associada com a vazão transversal em massa.
$\bar{\rho}_i$	= Massa específica média do refrigerante em cada volume de controle no canal i.
g	= Aceleração da gravidade local.
F_z	= Fator de pico axial.
F_r	= Fator de pico radial.
$\dot{q}_{o\max}$	= Fluxo de calor máximo gerado no núcleo.
$\dot{q}_o$	= Fluxo de calor médio gerado no núcleo.
ϵ	= Erro admissível.

b) DA TEORIA DE PERTURBAÇÃO

m	= Espaço de fase.
$\sim$	
r	= Vetor de posição no espaço de fase.
$\sim$	
$f(r)$	= Vetor de estado ou de campo.
$\sim \sim$	
$p(r)$	= Vetor dos parâmetros de entrada.
$\sim \sim$	
$c(f, p)$	= Condições de contorno.
$\sim \sim \sim \sim$	
$R(f, p)$	= Funcional resposta genérico.
$\sim \sim$	
H	= Operador.
$\sim$	

- $H_{\sim}^{\sim}$ = Operador adjunto estendido de $H_{\sim}$
 $f_{\sim}^{\sim}$ = Vetor adjunto de f/p_i
 $PC(f_{\sim}^{\sim}, f/p_i)_{\sim}$ = Concomitante bilinear de $f_{\sim}^{\sim}$ e f/p_i definido no contorno do espaço de fase.
 δR = Variação resultante das perturbações nos parâmetros do sistema.
 δp_i = Perturbações arbitrárias independentes do parâmetro p .
 $\frac{\delta}{\delta r_i}$ = Derivada de Fréchet.
 $H_{\sim}^{\sim}$ = Operador adjunto modificado.

c) DO FORMALISMO MATRICIAL

- $a_{ik,j,j+1}$ = Coeficientes multiplicadores de $F_{i,j+1}$
 $b_{ik,j,j+1}$ = Coeficientes multiplicadores de $F_{i,j}$
 $c_{i,j,j+1}$ = Termos independentes da Eq. (3.29)
 $F_{i,j+1}$ = Elementos do vetor de estado ou de campo na posição $j+1$.
 $F_{i,j}$ = Elementos do vetor de estado ou de campo na posição j .
 $A_{\sim,j,j+1}$ = Matriz dos coeficientes $a_{ik,j,j+1}$

$B_{\sim j, j+1}$	= Matriz dos coeficientes $b_{ik_{j, j+1}}$
$C_{\sim j, j+1}$	= Matriz dos termos independentes $c_{i_{j, j+1}}$
$F_{\sim j+1}$	= Vetor de estado ou campo na posição $j+1$.
$F_{\sim j}$	= Vetor de estado ou campo na posição j .
R	= Funcional resposta.
p	= Parâmetro arbitrário.
$\frac{dR}{dp}$	= Coeficiente de sensibilidade do funcional resposta R em relação ao parâmetro arbitrário p .
$F_{\sim j+1}^*$	= Vetor adjunto de $F_{\sim j+1}/p$
$G_{\sim j}^+$	= Termo de fonte da equação adjunta.

d) DOS RESULTADOS.

FNP	= Resposta não perturbada do funcional analisado.
FPD	= Resposta perturbada do funcional analisado, calculada através do modelo de simulação.
FMP	= Resposta perturbada do funcional analisado, calculada através do formalismo matricial da teoria de perturbação.
E	= Diferença relativa entre FMP e FPD.

- S** = Sensibilidade do funcional R relativa ao parâmetro p.
- $\delta p / p_0$** = Variação percentual no parâmetro p da análise.

e) DO PROGRAMA CASNUR.FOR.

- A** = Área de vazão efetiva para refrigeração.
- ALFA** = Fração de vazios.
- ALF1** = Fração de vazios no fim da região I.
- AN** = Área da secção reta no canal nominal.
- AQ** = Fração da secção reta do canal quente.
- CG** = Coeficiente de perda de pressão nas grades espaçadoras com aletas.
- CGS** = Coeficiente de perda de pressão nas grades espaçadoras sem aletas.
- CO** = Coeficiente de perda de carga por contração brusca.
- CP** = Calor específico a pressão constante.
- CROSS** = Constante de Crossflow.
- CTQ1** = Condutividade térmica do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal quente.
- CTQ2** = Condutividade térmica do refrigerante na saída de cada volume de controle no canal

quente.

CTN1	= Condutividade térmica do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal nominal.
CTN2	= Condutividade térmica do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal nominal.
CFNM	= Coeficiente de transferência de calor médio em cada volume de controle do canal nominal.
CFQM	= Coeficiente de transferência de calor médio em cada volume de controle do canal quente.
CTNM	= Condutividade térmica média do refrigerante em cada volume de controle do canal nominal.
DESV	= Erro na determinação da altura extrapolada.
DQ	= Diâmetro equivalente do canal quente.
DZ	= Altura dos volumes de controle.
DN	= Diâmetro equivalente do canal nominal.
DNBR	= Razão de DNB.
DPN	= Queda de pressão no canal nominal.
DPQ	= Queda de pressão no canal quente.
EPS	= Erro na diferença entre as pressões médias em cada volume de controle nos dois

canais.

EX	= Coeficiente de perda de carga por expansão brusca.
F	= Multiplicador corretivo de DNBR.
FC	= Fator de efeito de fluxo não uniforme.
FLUXT	= Fluxo médio de calor gerado no núcleo.
FM	= Vazão efetiva de refrigerante no núcleo.
FR	= Fator de pico radial de potência.
FW	= Fator de efeito de parede não aquecida.
FZ	= Fator de pico axial de potência.
FCW3	= Fluxo de calor crítico.
FISON	= Coeficiente de atrito isotérmico no canal nominal.
FISOQ	= Coeficiente de atrito isotérmico no canal quente.
FLOW	= Escoamento transversal (Crossflow).
FLUN2	= Coeficiente de calor local no canal nominal.
FLUQ2	= Coeficiente de calor local no canal quente.
FLUXN	= Fluxo médio de calor em cada volume de controle no canal nominal.
FLUXQ	= Fluxo médio de calor em cada volume de controle no canal quente.
FN	= Coeficiente de atrito corrigido pelo efeito de parede aquecida no canal nominal

FQ	= Coeficiente de atrito corrigido pelo efeito de parede aquecida no canal quente.
FS	= Fator de efeito devido a presença de grandes espaçadoras.
G	= Aceleração da gravidade local.
GC	= Fator de conversão dimensional.
GN	= Fluxo de massa do refrigerante no canal nominal.
GM	= Fluxo de massa do refrigerante no canal quente.
H	= Altura dos canais.
HENT	= Entalpia do refrigerante na entrada dos canais.
HF	= Entalpia de líquido saturado.
HG	= Entalpia de vapor saturado.
HH	= Comprimento ativo das barras de combustível.
HE	= Altura extrapolada.
HN1	= Entalpia do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal nominal.
HN2	= Entalpia do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal nominal.
HQ1	= Entalpia do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal quente.
HQ2	= Entalpia do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal quente.

H1	= Entalpia da mistura no início da região II de vazios.
H2	= Entalpia da mistura no final da região II de vazios.
M1	= Número máximo de iterações no método iterativo de Newton-Raphson.
NP	= Número de volumes de controle entre duas grades consecutivas.
PM	= Perímetro aquecido.
PQ1	= Pressão do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal quente.
PQ2	= Pressão do refrigerante na saída de cada volume de controle no canal quente.
PN1	= Pressão do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal nominal
PN2	= Pressão do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal nominal.
PQM	= Pressão média em cada volume de controle do canal quente.
PNM	= Pressão média em cada volume de controle do canal nominal.
PENT	= Pressão do refrigerante na entrada dos canais.
Q	= Taxa de geração térmica em cada volume de controle no canal quente.
ROENT	= Massa específica do refrigerante na en-

trada dos canais.

REN	= Número de Reynolds em cada volume de controle do canal nominal.
REQ	= Número de Reynolds em cada volume de controle do canal quente.
RONM	= Massa específica média do refrigerante em cada volume de controle do canal nominal.
RON1	= Massa específica do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal nominal.
RON2	= Massa específica do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal nominal.
ROQ1	= Massa específica do refrigerante na entrada de cada volume de controle do canal quente.
ROQ2	= Massa específica do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal quente.
TDC	= Coeficiente de difusão térmica.
TENT	= Temperatura do refrigerante na entrada dos canais.
TJL	= Correlação de Jeans-Lottes.
TQ2	= Temperatura do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal quente.

TN2	= Temperatura do refrigerante na saída de cada volume de controle do canal nominal.
TSAT	= Temperatura de saturação do refrigerante.
TW	= Temperatura da superfície externa do revestimento ou temperatura de parede.
VF	= Volume específico do líquido saturado.
VG	= Volume específico do vapor saturado.
VISQ1	= Viscosidade do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal quente.
VISQ2	= Viscosidade do refrigerante na saída de cada volume de controle no canal quente.
VISN1	= Viscosidade do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal nominal.
VISN2	= Viscosidade do refrigerante na saída de cada volume de controle no canal nominal.
VISNM	= Viscosidade média do refrigerante em cada volume de controle no canal nominal.
VNM	= Velocidade média do refrigerante em cada volume de controle no canal nominal.
VN1	= Velocidade do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal nominal.
VN2	= Velocidade do refrigerante na saída de cada volume de controle no canal nominal.
VQ1	= Velocidade do refrigerante na entrada de cada volume de controle no canal quente.
VQ2	= Velocidade do refrigerante na saída de

cada volume de controle no canal quente.

X = Título termodinâmico.

Z = Posição axial das grades.

ZI = Posição axial medida a partir da entrada do canal.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O cálculo de sensibilidade em núcleos de reatores nucleares é de fundamental importância para o projeto e análise de segurança destes reatores.

O emprego de grandes códigos nucleares, que tratam de um considerável número de efeitos físicos, neste tipo de análise demanda um grande tempo computacional e se torna, por isto, bastante oneroso, justificando, portanto, um maior empenho dos pesquisadores na busca de novos caminhos para solucionar este problema.

Com o emprego da teoria de perturbação é possível o desenvolvimento de módulos computacionais eficientes e mais ágeis para se realizar o estudo em questão. Os métodos de perturbação vêm sendo empregados na área de física dos reatores com grande sucesso. Gandini^(1,2) tem-se dedicado à generalização da teoria de perturbação e sugeriu a sua aplicação a outras áreas. Oblov⁽³⁾ e Weber e Oblov⁽⁴⁾ utilizando o método diferencial de perturbação, desenvolveram expressões de perturbação para um funcional genérico, num problema transitório de transferência de calor e massa, num subconjunto típico de reatores nucleares. Andrade Lima e Silva⁽⁵⁾ utilizando a formulação GPT proposta por Gandini^(1,2), obtiveram as mesmas

expressões encontrados por Oblov⁽⁸⁾ para um funcional genérico. Sanders et alii⁽⁶⁾ utilizando o formalismo diferencial da teoria de perturbação aplicado a um modelo de gerador de vapor PWR, realizaram análises de sensibilidade de respostas lineares e não lineares, obtendo resultados satisfatórios.

Pretende-se neste trabalho aplicar o método, a um problema termohidráulico, utilizando a formulação matricial da teoria de perturbação para análise de sensibilidade de entalpia e velocidade do refrigerante, com relação a massa específica do refrigerante e área do canal quente, em núcleo de um reator PWR usando o modelo de dois canais empregado por Silva Filho⁽⁷⁾.

Foram desenvolvidas expressões de perturbação utilizando-se o já mencionado formalismo matricial, que é uma variação do formalismo diferencial, e o programa CASNUR escrito em FORTRAN, para calcular a função importância (determina a importância do fenômeno físico para o funcional particular estudado), as distribuições de entalpia e velocidade no canal quente, bem como os efeitos das variações de alguns parâmetros termohidráulicos selecionados na entalpia e velocidade do refrigerante (cálculo de sensibilidade). Os resultados são comparados com aqueles obtidos através do cálculo direto.

No capítulo II deste trabalho, descreve-se sucintamente o modelo termohidráulico escolhido para estudo. No capítulo III apresenta-se a formulação da teoria de perturbação com os seus distintos formalismos. No capítulo IV aplica-se a formulação matricial da teoria de perturbação, ao modelo escolhido. No capítulo

tulo V, descrevem-se os casos analisados. No capítulo VI se obtêm os coeficientes de sensibilidade relativos aos parâmetros selecionados. No capítulo VII, apresentam-se os resultados dos cálculos de sensibilidade e estes são comparados com os resultados obtidos diretamente sem a aplicação da teoria de perturbação. O capítulo VIII destina-se às conclusões e recomendações sugeridas a estudos posteriores.

Nos apêndices apresentam-se : deduções sobre o sistema genérico e o sistema descritivo do modelo considerado, obtenção dos sistemas adjuntos (genérico e aplicado ao modelo), determinação dos coeficientes de sensibilidade (genérico e relativo ao modelo de dois canais), saída típica de resultados, diagrama de blocos e listagem do programa CASNUR.FOR.

CAPITULO II

MODELO TERMOHIDRAULICO SIMPLIFICADO DE ANÁLISE DO NÚCLEO

2.1 - Descrição do Modelo

A potência de operação de um reator PWR é limitada pela possibilidade de ocorrência de fluxo de calor crítico (DNB) no canal mais quente do núcleo.

O modelo escolhido para estudo foi o modelo de dois canais usado por Silva Filho⁽⁷⁾, no qual se considera o núcleo do reator modelado apenas por dois canais (canal quente e canal nominal) paralelos e acoplados, um deles operando em condições nominais.

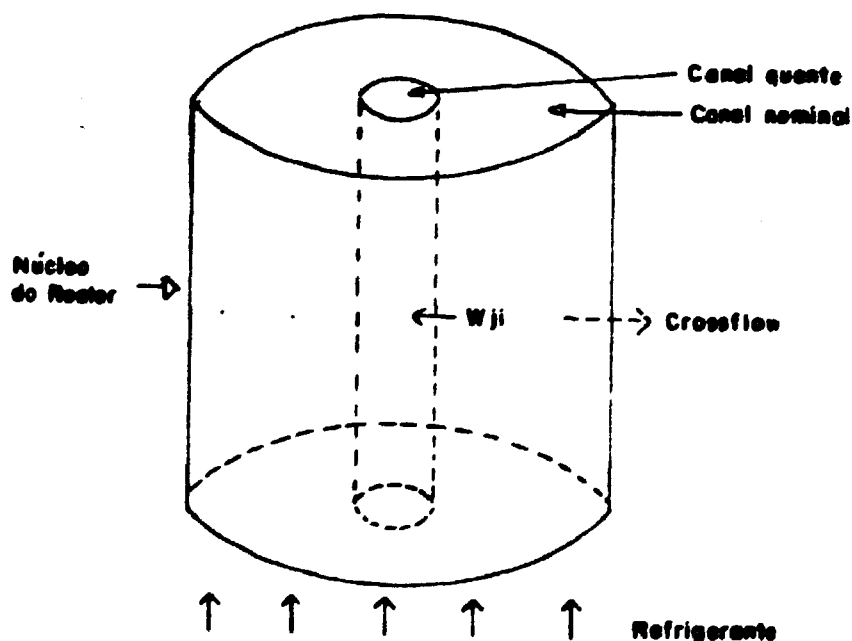


Figura 1 - Acoplamento entre os canais quente e nominal

Do acoplamento entre os canais (basicamente representado pelo escoamento transversal entre ambos - *Crossflow*) resulta a mesma distribuição axial de pressão ao longo dos mesmos.

2.2 - Considerações do modelo:

O modelo considera:

1) O canal nominal representando o acoplamento do núcleo do reator de maneira homogeneizada, tornando as propriedades do refrigerante no referido canal não afetadas pelo acoplamento com o canal quente.

2) A existência da câmara plena inferior, implicando ser o refrigerante completamente homogêneo na entrada do núcleo.

3) Os canais acoplados termohidraulicamente (fronteira de contato considerada aberta permitindo ocorrência de escoamento transversal (*Crossflow*) e mistura de fluidos (*Mixing*) entre os canais - Figura 2) através da região de contato entre eles, e divididos em uma série de passos axiais de alturas iguais, sendo cada passo tratado como um volume de controle.

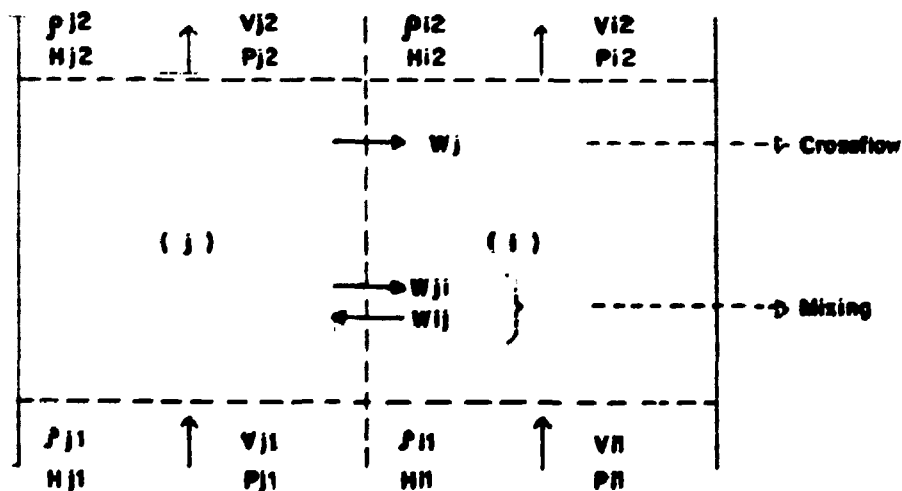


Figura 2 - Interação entre dois canais adjacentes.

4) Desprezível a mistura turbulenta de fluido (*Mixing*) entre os canais, face ao efeito redistribuidor de entalpia devido a mistura de fluidos (*Mixing*) ser pequeno em comparação ao do escoamento transversal (*Crossflow*). Na situação real o canal quente encontra-se em contato com os canais bem próximos de sua situação térmica.

Partindo-se das condições iniciais do refrigerante na entrada do núcleo e através de balanços de massa, energia e quantidade de movimento são determinadas as condições do refrigerante na saída de cada volume de controle, que por sua vez, são as condições do refrigerante na entrada do volume de controle seguinte, e assim sucessivamente até atingir o topo do núcleo.

Para testar o modelo termohidráulico simplificado de análise do núcleo, foram utilizados os dados de projeto do reator ANGRA-1 (Tabela 1), apresentando resultados satisfatórios de acordo com Silva Filho⁽⁷⁾.

Tabela 1- Dados de projeto do reator de ANGRA-1

diâmetro das barras de combustível (in)....	0,374
altura dos canais (in).....	12,533
vazão mássica (lbm/hr).....	$67,9 \times 10^6$
fluxo térmico médio (Btu/hr.ft.).....	$1,871 \times 10^5$
temperatura da água na entrada do reator (graus F).....	549,5
pressão da água na entrada do reator (psia).....	2250

2.3 - Equações de conservação em regime permanente

As equações que descrevem o modelo são:

1) Conservação de energia ;

$$A_i V_{i1} \rho_{i1} H_{i1} + Q_i + W_{ji} \bar{H} = A_i V_{i2} \rho_{i2} H_{i2} \quad (2.01)$$

2) Conservação de Massa ;

$$A_i V_{i1} \rho_{i1} + W_{ji} = A_i V_{i2} \rho_{i2} \quad (2.02)$$

3) Conservação de quantidade de movimento .

$$A_i P_{i1} + A_i \rho_{i1} V_{i1}^2 - W_{ji} \bar{V} = A_i P_{i2} + A_i \rho_{i2} V_{i2}^2 + \\ + f_i \frac{\Delta z}{D_o} A_i \frac{\rho_i \bar{V}_i^2}{2} + A_i \rho_i \Delta z \cdot g \quad (2.03)$$

Significado físico de cada termo.

$A_i V_{in} \rho_{in} H_{in}$	- Potência térmica transportada no contorno dos volumes de controle do canal i (n = 1 → entrada, n = 2 → saída) (W)
Q_i	- Potência térmica no canal i (W)
$W_{ji} \bar{H}$	- Potência térmica transportada devido vazão transversal em massa (W)
$A_i V_{in} \rho_{in}$	- Vazão Mássica no canal i (n = 1 → entrada, n = 2 → saída) (Kg/s)
W_{ji}	- Vazão mássica transversal do canal nominal (D) para o canal quente (i) (Kg/s)

$A_i P_{in}$	- Quantidade de movimento no canal i ($n = 1 \rightarrow$ entrada, $n = 2 \rightarrow$ saída) (N)
$A_i \rho_{in} V_{in}^2$	- Quantidade de movimento devido velocidade de escoamento do refrigerante (N)
$W_{ji} \bar{V}$	- Quantidade de movimento axial devido ao escoamento de massa transversalmente (N)
$f_i \frac{\Delta z}{D_o} \frac{\rho_i V_i^2}{2}$	- Perda da quantidade de movimento devido ao efeito de atrito do refrigerante com a parede aquecida do canal i (N)
$A_i \bar{\rho}_i \Delta z \cdot g$	- Perda da quantidade de movimento devido a gravidade. (N)

2.4 - Método de solução do sistema de equações.

a) Determinam-se primeiramente as condições de escoamento no canal nominal, tais como: distribuição das propriedades físicas da água, distribuição axial de pressão, vazão, etc...., obtidas através das equações de conservação (2.01), (2.02) e (2.03), impondo-se nula a vazão transversal em massa ($W_{ij} = 0$). Na entrada do núcleo todas as propriedades do refrigerante (entalpia, temperatura, densidade, viscosidade, condutividade térmica, etc...) são conhecidas.

b) Pode-se, então, determinar o fluxo de massa e velocidade do refrigerante na entrada do núcleo.

c) Determina-se a distribuição de fluxo térmico no canal com forma cosenoidal cortada (se o valor de pico axial F_z for menor ou igual a 1.57)ou estendida (se o valor de pico axial F_z for maior que 1.57), sendo o valor de F_z , definido como relação entre fluxos térmico máximo e médio no núcleo. A altura extrapolada vem da resolução da equação de F_z , e a partir da distribuição do fluxo térmico, se obtém a distribuição de entalpia, que possibilita conhecer a distribuição de temperatura.

d) As demais propriedades do fluido refrigerante (densidade, viscosidade, condutividade térmica, etc...) são obtidas por correlações empíricas dadas em função da temperatura.

e) Determina-se, finalmente, a velocidade e a pressão em cada ponto axial e as propriedades médias em cada passo Δx .

O que distingue o canal quente do canal nominal é o fator de pico radial de potência (F_R), definido como sendo a razão entre fluxo de calor máximo ($\dot{q}_{o_{max}}$) e fluxo de calor médio ($\dot{q}_o$) gerado no núcleo.

Para se calcular as condições de escoamento no canal quente (crítico), faz-se necessário o conhecimento da vazão transversal em massa, que é determinada iterativamente, de forma que a cada elevação, as pressões médias nos canais quente e nominal sejam iguais ($\bar{P}_i = \bar{P}_j$).

f) Impondo-se inicialmente vazão transversal em massa nula ($W_{ij} = 0$), determinam-se as condições no volume de controle da seguinte maneira : conhecendo-se as pressões, estima-se a vazão transversal em massa. Utilizando-se este valor estimado,

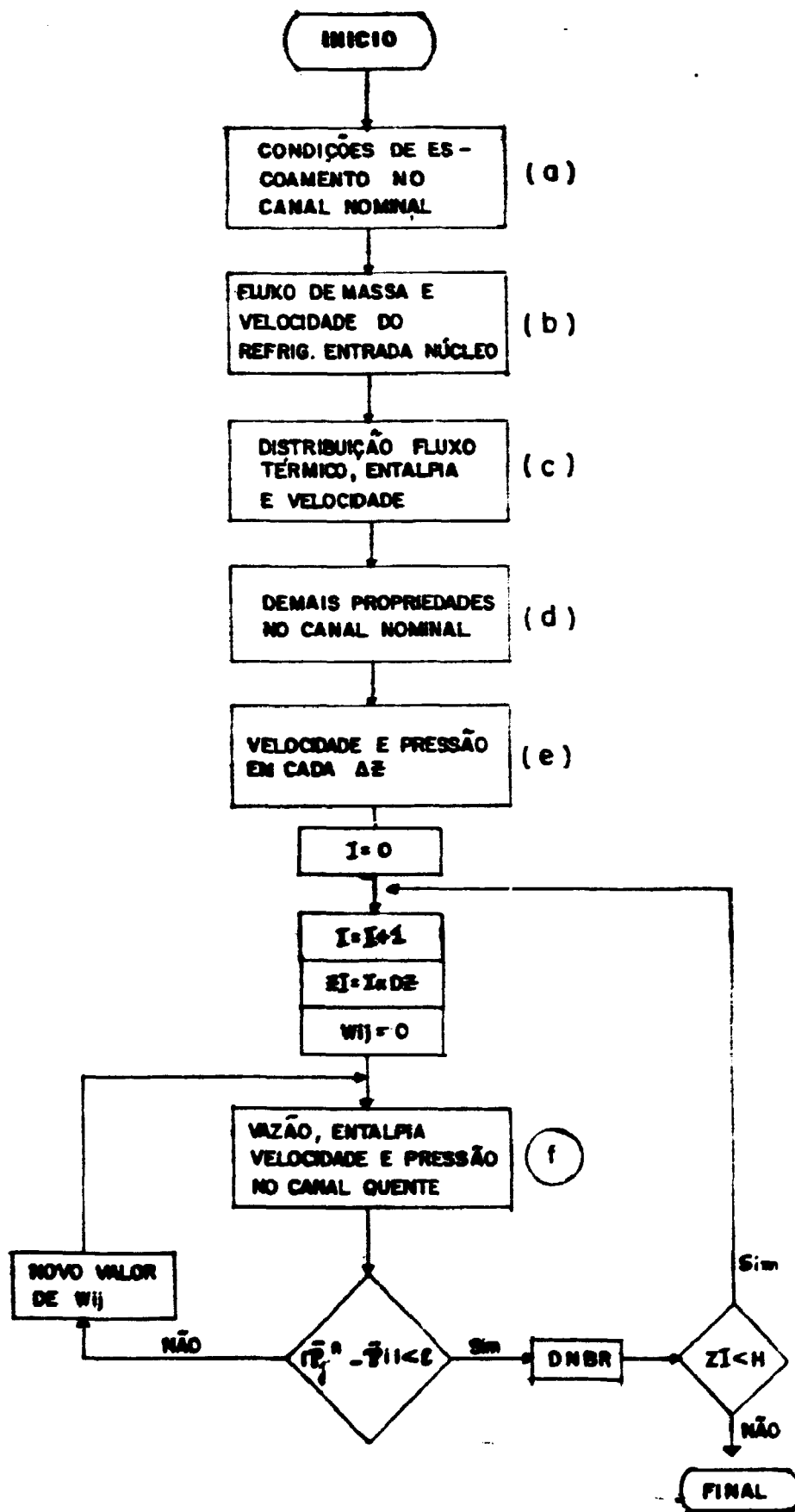
obtem-se o valor da entalpia e velocidade do refrigerante. Recalcula-se a nova pressão com os valores obtidos para entalpia e velocidade do refrigerante. Avalia-se a nova vazão transversal em massa, e assim sucessivamente.

Interrompe-se o processo quando as pressões atenderem a condição:

$$|\bar{P}_j^n - \bar{P}_i| < \epsilon \quad (2.04)$$

sendo ϵ um erro admissível, previamente estipulado. Após a obtenção de convergência, pode-se passar para o cálculo do volume de controle seguinte, e assim sucessivamente até atingir o topo dos canais.

Diagrama de blocos da solução do sistema de equações.



CAPITULO III

TEORIA DE PERTURBAÇÃO

3.1 - Introdução

O desenvolvimento de uma teoria para análise de sensibilidade, baseada no uso de funções adjuntas, teve sua primeira aplicação nos campos de Física dos Reatores⁽¹⁰⁻¹¹⁾ e Blindagens^(12,13). Cacuci⁽¹⁴⁾ e Gandini,⁽²⁾ buscando analisar problemas não lineares e operadores lineares de ordem elevada, desenvolveram formalismos rigorosos de tal teoria, sendo os mais utilizados :

- 1 - Método Variacional^(9,11,15).
- 2 - Teoria de Perturbação Generalizada (GPT)⁽²⁾.
- 3 - Método Diferencial^(14,16) e Matricial (variação do método diferencial).

Todos estes formalismos ou métodos, conduzem a expressões equivalentes para o coeficiente de sensibilidade, que são os resultados centrais a serem derivados de qualquer teoria de sensibilidade.

Andrade Lima e Alvim^(17,18) estudam a equivalência entre os formalismos GPT e diferencial, e aplicam o formalismo matricial a um problema transitório, encontrando concordância com

os cálculos diretos (aqueles obtidos através de solução numérica da equação de balanço do sistema perturbado).

O tratamento específico das condições de contorno na análise ou estudo de interesse, faz com que o emprego de um ou método, possa levar a resultados mais satisfatórios.

3.2 - Descrição da Teoria de Perturbação

Um sistema genérico de K equações não lineares acopladas, definido em toda a região do espaço de fase, pode ser escrito como :

$$\underset{\sim}{m}(\underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{r}), \underset{\sim}{p}) = 0 \quad (3.01)$$

$\underset{\sim}{m}$ inclui operações em geral, com relação as variações no espaço de fase.

O vetor de estado ou de campo

$$\underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{r}) = \left[\underset{\sim}{f}_1(\underset{\sim}{r}), \underset{\sim}{f}_2(\underset{\sim}{r}), \dots, \underset{\sim}{f}_k(\underset{\sim}{r}) \right] \quad (3.02)$$

é uma função do vetor de posição no espaço de fase:

$$\underset{\sim}{r} = \left[\underset{\sim}{r}_1, \underset{\sim}{r}_2, \dots, \underset{\sim}{r}_j \right] \quad (3.03)$$

(Por questão de conveniência, escrevem-se horizontalmente todos os vetores coluna).

As componentes $\underset{\sim}{m}_k$ ($k = 1, 2, \dots, K$) são funções não lineares de $\underset{\sim}{f}$ e do vetor dos parâmetros de entrada:

$$\underset{\sim}{p}(\underset{\sim}{r}) = \left[\underset{\sim}{p}_1(\underset{\sim}{r}), \underset{\sim}{p}_2(\underset{\sim}{r}), \dots, \underset{\sim}{p}_I(\underset{\sim}{r}) \right] \quad (3.04)$$

As condições de contorno do sistema (3.01) são escritas como:

$$\underset{\sim}{c} \left(\underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{r}), \underset{\sim}{p} \right) = 0 \quad (3.05)$$

Considere agora um funcional resposta genérico $\underset{\sim}{R}(\underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{r}), \underset{\sim}{p})$ definido por:

$$\underset{\sim}{R}(\underset{\sim}{f}, \underset{\sim}{p}) = \langle \underset{\sim}{S}^*(\underset{\sim}{r}) \underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{r}) \rangle, \quad (3.06)$$

onde $\underset{\sim}{S}^*(\underset{\sim}{r})$ é uma função conhecida e a integração é realizada em todo espaço de fase. Deseja-se calcular a variação δR resultante das perturbações. $\delta p_i (i = 1, 2, \dots, I)$ nos parâmetros do sistema.

A variação de R , (δR), pode ser obtida a partir da equação (3.06) sendo dada por:

$$\delta R = \sum_{i=1}^I \delta p_i \left[\langle \underset{\sim}{S}^* / p_i \underset{\sim}{f} \rangle + \langle \underset{\sim}{S}^* \underset{\sim}{f} / p_i \rangle \right] \quad (3.07)$$

onde

$$\underset{\sim}{S}^* / p_i = \frac{\partial \underset{\sim}{S}^*}{\partial p_i} \quad (3.08)$$

$$\frac{f}{p_i} = \frac{\partial f}{\partial p_i} \quad (3.09)$$

Para se conhecer δR , faz-se necessário determinar f/p_i .

Expandindo-se a equação perturbada

$$m' \left(\begin{matrix} f' \\ p' \end{matrix} \right) = 0 \quad (3.10)$$

ao redor de uma solução de referência de f (univocamente determinada pelo conhecimento dos parâmetros p_i) até primeira ordem, obtém-se:

$$\delta m = m' \left(\begin{matrix} f' \\ p' \end{matrix} \right) - m \left(\begin{matrix} f \\ p \end{matrix} \right)$$

$$\delta m = \sum_{i=1}^N \delta p_i \frac{dm}{dp_i} = 0$$

$$\delta m = \sum_{i=1}^N \delta p_i \left[\frac{\partial m}{\partial p_i} + H \frac{\partial f}{\partial p_i} \right] = 0 \quad (3.11)$$

onde H é um operador dado por:

$$H = \frac{\partial \tilde{m}}{\partial \tilde{f}} = \begin{vmatrix} \frac{\partial m_1}{\partial f_1} & \frac{\partial m_1}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial m_1}{\partial f_K} \\ \frac{\partial m_2}{\partial f_1} & \frac{\partial m_2}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial m_2}{\partial f_K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial m_K}{\partial f_1} & \frac{\partial m_K}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial m_K}{\partial f_K} \end{vmatrix} \quad (3.12)$$

onde $\frac{\partial}{\partial f_i}$ é uma derivada de Fréchet ⁽¹⁰⁻²³⁾

Sendo as perturbações δp_i (admitidas independentes) arbitrárias, faz-se necessário obter

$$H \tilde{f}/p_i = \tilde{S}(p_i) \quad (3.13)$$

onde

$$H = \frac{\partial \tilde{m}}{\partial \tilde{f}} \quad (3.14)$$

$$\tilde{f}/p_i = \frac{\partial \tilde{f}}{\partial p_i} \quad (3.15)$$

$$\tilde{S}(p_i) = - \frac{\partial \tilde{m}}{\partial p_i} \quad (3.16)$$

A condição de contorno para a equação (3.13) pode ser obtida de forma análoga, derivando-se a equação (3.05), obtendo-se :

$$\frac{\delta c}{\delta p_i} + \frac{\delta c}{\delta f} \cdot \frac{\delta f}{\delta p_i} = 0 \quad (r = r^S) \quad (3.17)$$

A equação (3.13) juntamente com a condição de contorno dada pela equação (3.17), permite obter f/p_i , valor este que substituído na equação (3.07), possibilita conhecer a variação δR .

Apesar da equação (3.13) ser linear (H depende de f , mas não de f/p_i), sua solução apresenta o inconveniente de depender do parâmetro p_i .

Por isto, recorre-se ao sistema de equação adjunta o qual é linear, e apresenta em relação ao anterior a vantagem de não depender de p_i , como se verá posteriormente.

3.2.1 - Formalismo Diferencial

Definindo-se um operador H^M "adjunto estendido" de H , pela expressão:

$$\langle f/p_i, H^M f^M \rangle = \langle f^M H f/p_i \rangle + P(f^M, f/p_i), \quad (3.18)$$

onde

$\tilde{f}^*$ é a adjunta de $\tilde{f}/p_i$,

$P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i)$ é o concomitante bilinear de $\tilde{f}^*$ e $\tilde{f}/p_i$ definido no contorno do espaço de fase (3.18).

É possível escrever o sistema adjunto de (3.13) e (3.17) como :

$$\tilde{H}^* \tilde{f}^* = \tilde{S}^+ \quad (3.19)$$

$$\tilde{C}^*(\tilde{f}^*) = 0 \quad (3.20)$$

onde a escolha conveniente das condições de contorno permite calcular $P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i)$ a partir de valores conhecidos de $\tilde{f}/p_i$ considerados no contorno do espaço de fase.

Então, a equação (3.18) pode ser reescrita como:

$$\langle \tilde{f}/p_i, \tilde{S}^* \rangle = \langle \tilde{f}^*, \tilde{S} p_i \rangle + P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i) \quad (3.21)$$

que substituída na equação (3.07) resulta em:

$$\delta R = \sum_{i=1}^N \delta p_i \left[\langle \tilde{f}, \tilde{S}^*/p_i \rangle + \langle \tilde{f}^*, \tilde{S} p_i \rangle + P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i) \right] \quad (3.22)$$

A equação (3.22) permite calcular δR a partir de uma solução de referência do sistema (3.01) com a condição de contorno dada por (3.05) e uma solução do sistema linear (3.18) independente de p_i , com condição de contorno dada por (3.20).

3.2.2 - Formalismo GPT

A diferença existente entre os formalismos diferencial e GPT, consiste no tratamento do concomitante bilinear $P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i)$ da equação (3.18).

No formalismo GPT, o concomitante bilinear $P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i)$ é incorporado ao operador adjunto estendido $\tilde{H}^*$, definindo um operador adjunto modificado $\tilde{\bar{H}}^*$ como sendo:

$$\tilde{\bar{H}}^* = \tilde{H}^* + h(p(r)) \delta(r-r^B) \quad (3.23)$$

onde $h(p(r))$ é obtido a partir de $P(\tilde{f}^*, \tilde{f}/p_i)$.

Neste caso, as equações (3.18) a (3.22) transformam-se respectivamente em:

$$\langle \tilde{f}/p_i, \tilde{\bar{H}}^* \tilde{f}^* \rangle = \langle \tilde{f}^*, \tilde{H} \tilde{f}/p_i \rangle \quad (3.24)$$

$$\tilde{\bar{H}}^* \tilde{f}^* = \tilde{S}^+ \quad (3.25)$$

$$\bar{c}_{\sim}^* (\bar{f}_{\sim}^*) = 0 \quad (3.26)$$

$$\langle \bar{f}_{\sim} / p_i \bar{S}_{\sim}^+ \rangle = \langle \bar{f}_{\sim}^* S_{p_i} \rangle \quad (3.27)$$

$$\delta R = \sum_{i=1}^N \delta p_i \left[\langle \bar{f}_{\sim} \bar{S}_{\sim}^+ / p_i \rangle + \langle \bar{f}_{\sim}^* S_{p_i} \rangle \right] \quad (3.28)$$

A equação (3.27) é a relação de reciprocidade da fonte utilizada por Gandini⁽²²⁾.

Cacuci et alii⁽⁴⁴⁾ sugerem o uso de um operador adjunto extendido para incorporar os efeitos do concomitante bilinear, e Gandini⁽²²⁾ sugere o uso de funções delta no termo de fonte da equação direta (3.01).

O tratamento deste problema, indispensável nas aplicações de termohidráulica de reatores, tal como apresentado por Andrade Lima e Alvim⁽⁴⁷⁾, representa um passo a mais na equivalência dos diversos formalismos da teoria de perturbação, e demonstra como é possível usar o formalismo GPT para cálculos de sensibilidade em problemas de termohidráulica de reatores.

3.2.3 - Formalismo matricial

Geralmente são utilizados métodos numéricos na solução de problemas de interesse prático e que não possuem soluções analíticas.

Cacuci et alii⁽¹⁴⁾ desenvolveram para um sistema de equações matriciais não-lineares acopladas, um formalismo denominado "formalismo matricial", a partir dos mesmos princípios para a obtenção de $\tilde{f}$ e $\tilde{f}^*$ (ou $\tilde{f}^{\bar{*}}$) de interesse em cálculos de sensibilidade.

O método apresenta a vantagem de permitir a aplicação da teoria de perturbação a parâmetros resultantes de métodos numéricos, como parâmetros de discretização associados com o espaçamento da malha ou com a natureza (explícita ou implícita) dos referidos métodos.

3.2.3.1 - Descrição do formalismo matricial de perturbação.

Considerando-se um sistema de equações genericamente descrito por:

$$a_{11,j,j+1} \cdot F_{1,j+1} + a_{12,j,j+1} \cdot F_{2,j+1} + \dots + a_{1n,j,j+1} \cdot F_{n,j+1} =$$

$$b_{11,j,j+1} \cdot F_{1,j} + b_{12,j,j+1} \cdot F_{2,j} + \dots + b_{1n,j,j+1} \cdot F_{n,j} + C_{1,j,j+1}$$

$$a_{21,j,j+1} \cdot F_{1,j+1} + a_{22,j,j+1} \cdot F_{2,j+1} + \dots + a_{2n,j,j+1} \cdot F_{n,j+1} =$$

$$b_{21,j,j+1} \cdot F_{1,j} + b_{22,j,j+1} \cdot F_{2,j} + \dots + b_{2n,j,j+1} \cdot F_{n,j} + C_{2,j,j+1}$$

.....

$$a_{n2_{j,j+1}} \cdot F_{1_{j+1}} + a_{n2_{j,j+1}} \cdot F_{2_{j+1}} + \dots + a_{nn_{j,j+1}} \cdot F_{n_{j+1}}$$

$$b_{n2_{j,j+1}} \cdot F_{1_j} + b_{n2_{j,j+1}} \cdot F_{2_j} + \dots + b_{nn_{j,j+1}} \cdot F_{n_j} + C_{n_{j,j+1}}$$

(3.29)

que pode ser representado matricialmente como:

$$A_{\sim j,j+1} \cdot F_{\sim j+1} = B_{\sim j,j+1} \cdot F_{\sim j} + C_{\sim j,j+1} \quad (3.30)$$

onde:

$$A_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} a_{11_{j,j+1}} & a_{12_{j,j+1}} & \dots & a_{1n_{j,j+1}} \\ a_{21_{j,j+1}} & a_{22_{j,j+1}} & \dots & a_{2n_{j,j+1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1_{j,j+1}} & a_{n2_{j,j+1}} & \dots & a_{nn_{j,j+1}} \end{vmatrix}$$

(3.31)

$$B_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} b_{11_{j,j+1}} & b_{12_{j,j+1}} & \dots & b_{1n_{j,j+1}} \\ b_{21_{j,j+1}} & b_{22_{j,j+1}} & \dots & b_{2n_{j,j+1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1_{j,j+1}} & b_{n2_{j,j+1}} & \dots & b_{nn_{j,j+1}} \end{vmatrix}$$

(3.32)

$$C_{\sim j, j+1} = \begin{vmatrix} C_{1j, j+1} \\ C_{2j, j+1} \\ \dots \\ C_{nj, j+1} \end{vmatrix} \quad (3.33)$$

$$F_{\sim j+1} = \begin{vmatrix} F_{1j+1} \\ F_{2j+1} \\ \dots \\ F_{nj+1} \end{vmatrix} \quad (3.34)$$

e

$$F_{\sim j} = \begin{vmatrix} F_{1j} \\ F_{2j} \\ \dots \\ F_{nj} \end{vmatrix} \quad , \quad (3.35)$$

derivando-se o sistema (3.29) em relação a um parâmetro arbitrário p , e agrupando-se termos que envolvam derivadas parciais de interesse (Apêndice A) se obtém o sistema:

$$\alpha_{\sim j, j+1} \cdot (CF_{\sim j+1})/p = \beta_{\sim j, j+1} \cdot (CF_{\sim j})/p + \gamma_{\sim j, j+1} \quad (3.36)$$

onde

$$\alpha_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} \alpha_{11}_{j,j+1} & \alpha_{12}_{j,j+1} & \dots & \alpha_{1n}_{j,j+1} \\ \alpha_{21}_{j,j+1} & \alpha_{22}_{j,j+1} & \dots & \alpha_{2n}_{j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1}_{j,j+1} & \alpha_{n2}_{j,j+1} & \dots & \alpha_{nn}_{j,j+1} \end{vmatrix} \quad (3.37)$$

$$\beta_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} \beta_{11}_{j,j+1} & \beta_{12}_{j,j+1} & \dots & \beta_{1n}_{j,j+1} \\ \beta_{21}_{j,j+1} & \beta_{22}_{j,j+1} & \dots & \beta_{2n}_{j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{n1}_{j,j+1} & \beta_{n2}_{j,j+1} & \dots & \beta_{nn}_{j,j+1} \end{vmatrix} \quad (3.38)$$

$$\gamma_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} \gamma_{1}_{j,j+1} \\ \gamma_{2}_{j,j+1} \\ \dots \\ \gamma_{n}_{j,j+1} \end{vmatrix} \quad (3.39)$$

$$\begin{matrix} (F_{j+1})/p = \begin{vmatrix} (F_{1,j+1})/p \\ (F_{2,j+1})/p \\ \dots \\ (F_{n,j+1})/p \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (3.40)$$

$$\begin{matrix} (F_j)/p = \begin{vmatrix} (F_{1,j})/p \\ (F_{2,j})/p \\ \dots \\ (F_{n,j})/p \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (3.41)$$

O sistema (3.36) é linear pois as matrizes α 's, β 's e γ 's não dependem de $(F_j)/p$ e $(F_{j+1})/p$. Entretanto para cada parâmetro p teríamos um sistema diferente de equações, o que torna penosa computacionalmente sua solução.

Para contornarmos este problema usamos o sistema similar (adjunto) de (3.36), composto de equações também lineares, porém único, qualquer que seja o parâmetro p .

3.2.3.2 - Determinação do sistema adjunto.

Através da definição de um vetor adjunto de $(F_{j+1})/p$ como sendo F_{j+1}^* e aplicando ao sistema (3.36) o processo descrito no Apêndice B, obtém-se (ver equação (B.06)).

$$\alpha_{j-1,j}^T \cdot F_j^* = \beta_{j,j+1}^T \cdot F_{j+1}^* + G_j^* \quad (3.42)$$

O sistema (3.42) é similar (adjunto) ao sistema (3.36), e G_j^* é o seu termo de fonte, o qual está associado à definição do funcional (propriedade) a ser analisado.

O sistema (3.42) é linearmente independente pois os α 's e β 's independem dos F_j^* e F_{j+1}^* .

Devido a vantagem de o sistema (3.42) ser linearmente independente e único qualquer que seja o parâmetro p , fez-se uso desse, para a determinação do coeficiente de sensibilidade, obtendo-se os resultados de interesse ao estudo em questão.

3.2.3.3 - Determinação do coeficiente de sensibilidade

Considera-se um funcional resposta R , genérico, como sendo:

$$R = \sum_{j=0}^J (G_j^*)^T F_j \quad (3.43)$$

por derivação deste, em relação a um parâmetro arbitrário p , e

conforme desenvolvimento exposto no anexo C, tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dp} = & \sum_{j=0}^J (G_j^*)^T / p \quad F_j + (G_0^*)^T F_0 / p + F_0^T / p \quad \beta_{0,1}^T F_1^* + \\ & + \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* - (F_j)^T / p \quad \alpha_{j-1,j}^T F_j^* + (G_j^*)^T F_j / p \end{aligned} \quad (3.44)$$

que é o coeficiente de sensibilidade do funcional genérico R, (propriedade a ser analisada), em relação ao parâmetro arbitrário p.

O coeficiente de sensibilidade reflete a taxa de variação de um funcional, quando ocorre uma alteração no parâmetro arbitrário.

CAPITULO IV

APLICAÇÃO DA TEORIA DE PERTURBAÇÃO AO MODELO

4.1 - Introdução

Empregou-se o método matricial de perturbação somente ao canal quente, em virtude de as equações que descrevem o canal nominal se apresentarem de forma explícita, apesar dos resultados serem os mesmos, pelo método de perturbação ou pelo cálculo direto (ver Apêndice D).

4.2 - Aplicação do formalismo matricial ao canal quente do modelo

No método direto, a análise de sensibilidade no canal quente é realizado através de processo iterativo. Para diminuir-se o tempo computacional, fez-se uso do emprego da teoria de perturbação.

Como foi visto anteriormente, são três as equações que descrevem o modelo de dois canais⁽⁷⁾: conservação de energia, conservação de massa e conservação da quantidade de movimento (equações (2.01), (2.02) e (2.03)).

De acordo com o modelo⁽⁷⁾, as equações que envolvem H , V e W podem ser escritas, para o canal quente:

$$H_q(z) = \frac{A_q \rho_q(z-\Delta z) V_q(z-\Delta z) H_q(z-\Delta z) + Q_q(z-\Delta z) + \frac{1}{2} W_{nq}(z) H_q(z-\Delta z)}{A_q \rho_q(z-\Delta z) V_q(z-\Delta z) + \frac{1}{2} W_{nq}(z-\Delta z)} \quad (4.01)$$

$$V_q(z) = \frac{A_q V_q(z-\Delta z) \rho_q(z-\Delta z) + W_{nq}(z)}{A_q \rho_q(z)} \quad (4.02)$$

$$W_{nq}^n(z) = W_{nq}^{n-1}(z) + \frac{\bar{P}_q(z) - \bar{P}_n(z)}{C_{nq}} \quad (4.03)$$

Considerando-se (z) e $(z-\Delta z)$ como $(j+1)$ e (j) respectivamente, as equações (4.01), (4.02) e (4.03) tornam-se

$$(a_{11})_{j,j+1} H_{j+1} + (a_{12})_{j,j+1} W_{j+1} = (b_{11})_{j,j} H_j + (c_1)_j \quad (4.04)$$

$$(a_{21})_{j,j+1} V_{j+1} + (a_{22})_{j,j+1} W_{j+1} = (b_{22})_{j,j} V_j \quad (4.05)$$

$$(a_{33})_{j,j+1} W_{j+1} = (c_3)_{j,j+1} \quad (4.06)$$

onde os coeficientes multiplicadores de H , V e W são respectivamente:

$$a_{11}_{j,j+1} = A \rho_j V_j + \frac{1}{2} W_{j+1} \quad (4.07)$$

$$a_{12} = 0 \quad (4.08)$$

$$a_{10j} = - (H_j)/2 \quad (4.09)$$

$$a_{21} = 0 \quad (4.10)$$

$$a_{22j+1} = A \rho_{j+1} \quad (4.11)$$

$$a_{23} = -1 \quad (4.12)$$

$$a_{31} = 0 \quad (4.13)$$

$$a_{32} = 0 \quad (4.14)$$

$$a_{33} = 1 \quad (4.15)$$

$$b_{11j} = A \rho_j V_j \quad (4.16)$$

$$b_{12} = 0 \quad (4.17)$$

$$b_{13} = 0 \quad (4.18)$$

$$b_{21} = 0 \quad (4.19)$$

$$b_{22j} = A \rho_j \quad (4.20)$$

$$b_{23} = 0 \quad (4.21)$$

$$b_{31} = 0 \quad (4.22)$$

$$b_{32} = 0 \quad (4.23)$$

$$b_{33} = 0 \quad (4.24)$$

$$C_{1j} = Q_j \quad (4.25)$$

$$C_{2j} = 0 \quad (4.26)$$

$$C_{3j+1} = W_{j+1}^{n-1} + \frac{\bar{P}_{qj+1} - \bar{P}_{nj+1}}{C_{nq}} \quad (4.27)$$

Comparando-se as equações (4.04), (4.05) e (4.06) com o sistema (3.29), observa-se que estas equações são perfeitamente adaptáveis ao sistema (3.29), considerando-o reduzido à ter-

ceira ordem.

Os vetores F_{j+1} e F_j do sistema (3.30) são respectivamente:

$$F_{j+1} = \begin{vmatrix} H_{j+1} \\ V_{j+1} \\ W_{j+1} \end{vmatrix} \quad (4.28)$$

e

$$F_j = \begin{vmatrix} H_j \\ V_j \\ W_j \end{vmatrix} \quad (4.29)$$

Escrevendo-se as equações (4.04) e (4.06) na forma matricial, tem-se:

$$\begin{vmatrix} a_{11,j,j+1} & 0 & a_{12,j} \\ 0 & a_{22,j+1} & a_{23} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} H_{j+1} \\ V_{j+1} \\ W_{j+1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11,j} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22,j} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} H_j \\ V_j \\ W_j \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} C_{1,j} \\ 0 \\ C_{2,j+1} \end{vmatrix} \quad (4.30)$$

e aplicando-se sobre (4.30) ou (4.04) e (4.06) o processo descrito no Apêndice A (ver Apêndice E) obtém-se:

$$\begin{aligned}
& \alpha_{11,j,j+1} H_{j+1/p} + \alpha_{12,j,j+1} V_{j+1/p} + \alpha_{13,j,j+1} W_{j+1/p} = \\
& = \beta_{11,j,j+1} H_{j/p} + \beta_{12,j,j+1} V_{j/p} + \beta_{13,j,j+1} W_{j/p} + \gamma_{1,j,j+1}
\end{aligned}
\tag{4.31}$$

$$\begin{aligned}
& \alpha_{21,j,j+1} H_{j+1/p} + \alpha_{22,j,j+1} V_{j+1/p} + \alpha_{23,j,j+1} W_{j+1/p} = \\
& = \beta_{21,j,j+1} H_{j/p} + \beta_{22,j,j+1} V_{j/p} + \beta_{23,j,j+1} W_{j/p} + \gamma_{2,j,j+1}
\end{aligned}
\tag{4.32}$$

$$\begin{aligned}
& \alpha_{31,j,j+1} H_{j+1/p} + \alpha_{32,j,j+1} V_{j+1/p} + \alpha_{33,j,j+1} W_{j+1/p} = \\
& = \beta_{31,j,j+1} H_{j/p} + \beta_{32,j,j+1} V_{j/p} + \beta_{33,j,j+1} W_{j/p} + \gamma_{3,j,j+1}
\end{aligned}
\tag{4.33}$$

ou na forma matricial:

$$\alpha_{i,j,j+1} F_{j+1/p} = \beta_{i,j,j+1} F_{j/p} + \gamma_{i,j,j+1}
\tag{4.34}$$

Pelo fato de o sistema (4.34) ser diferente para cada parâmetro e pelas considerações já anteriormente expostas, aplicou-se o processo descrito no anexo B para determinar-se o sistema adjunto.

A equação adjunta de (4.34) (ver Apêndice F) é:

$$\alpha_{j-1,j}^T F_{\sim j}^* = \beta_{j,j+1}^T F_{\sim j+1}^* + G_{\sim j}^* \quad (4.35)$$

onde $F_{\sim j}^*$, $F_{\sim j+1}^*$ e $G_{\sim j}^*$ são dados por :

$$F_{\sim j}^* = \begin{vmatrix} H_j^* \\ V_j^* \\ W_j^* \end{vmatrix} \quad (4.36)$$

$$F_{\sim j+1}^* = \begin{vmatrix} H_{j+1}^* \\ V_{j+1}^* \\ W_{j+1}^* \end{vmatrix} \quad (4.37)$$

$$G_{\sim j}^* = \begin{vmatrix} G_{1j}^* \\ G_{2j}^* \\ G_{zj}^* \end{vmatrix} \quad (4.38)$$

O sistema (4.35) é linearmente independente e $G_{\sim j}^*$ é o seu termo de fonte.

Tal sistema é resolvido do fim para o começo (de $j = J-1$ a $j = 1$).

A condição de contorno imposta para a solução do

sistema considera (matematicamente);

para $j = J-1$.

$$\tilde{F}_j^* = 0 \quad (4.39)$$

que fisicamente traduz a não existência de variação em H , V e W , no topo dos canais, devido a perturbação do parâmetro p .

Tal condição de contorno é bastante transparente aos nossos sentidos, pois reflete uma situação estável no topo dos canais, após variações consideradas em toda a extensão dos mesmos.

Para se resolver a equação (4.35), faz-se necessário conhecer o termo de fonte G_j^* desta equação.

Isto se torna possível com a escolha do funcional e parâmetro arbitrário, relativos a análise de sensibilidade desejada.

Resolvendo-se a equação (4.35), é possível obter-se o coeficiente de sensibilidade de interesse.

Para se avaliar os resultados, comparando métodos, fez-se uso da distribuição da entalpia e da velocidade, ao longo dos canais, sendo que, no caso do método de perturbação foi empregada a técnica de diferenças finitas para se obter a distribuição desejada.

CAPÍTULO V

DESCRIÇÃO DOS CASOS ANALISADOS

5.1 - Primeiro funcional: entalpia média do refrigerante no canal quente ($\bar{H}_q$).

$$R = \bar{H}_q \quad (5.01)$$

da equação (3.43) segue que:

$$R = \sum_{j=0}^J (\tilde{G}_j^*)^T \tilde{F}_j = \sum_{j=0}^J (H_j^* H_j + V_j^* V_j + W_j^* W_j) \quad (5.02)$$

Por definição

$$\bar{H}_q = \sum_{j=0}^J \left[\frac{\Delta z}{L} \right] H_j \quad (5.03)$$

Considerando-se (5.02) e (5.03) tem-se:

$$H_j^* = \frac{\Delta z}{L} \quad (5.04)$$

$$V_j^* = 0 \quad (5.05)$$

$$W_j^* = 0 \quad (5.06)$$

então

$$\begin{bmatrix} G_j^* \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta z}{L} , 0 , 0 \end{bmatrix} \quad (5.07)$$

Neste caso, para análise de sensibilidade foram selecionados os seguintes parâmetros.

ρ_q - massa específica no canal quente (com variação de -50% a +50%).

A_q - área da secção reta do canal quente (com variação de -25% a +25%).

5.2 - Segundo funcional - velocidade média do refrigerante no canal quente ($\bar{V}_q$).

$$R = \bar{V}_q \quad (5.08)$$

Por definição

$$\bar{V}_q = \sum_{j=0}^J \left[\frac{\Delta z}{L} \right] V_j \quad (5.09)$$

Considerando-se (5.02) e (5.09) tem-se:

$$H_j^* = 0 \quad (5.10)$$

$$V_j^* = \frac{\Delta z}{L} \quad (5.11)$$

$$W_j^* = 0 \quad (5.12)$$

então

$$\left[G_j^* \right]^T = \left[0, \frac{\Delta z}{L}, 0 \right] \quad (5.13)$$

Para análise de sensibilidade foram considerados os seguintes parâmetros:

ρ_q - massa específica no canal quente (com variação de -50% a +50%).

A_q - área da secção reta do canal quente (com variação de -25% a +25%).

A partir da equação (3.48), obtém-se a seguinte expressão para o coeficiente de sensibilidade (ver apêndice G):

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dp} = & \sum_{j=0}^{J-1} \left[G_j^* \right]_p^T F_j + G_0^T \left[F_0^T \right]_p + \left[F_0 \right]_p^T \beta_{0,1}^T F_1^* + \\ & + \sum_{j=0}^{J-1} AV_j \left[H_{j+1}^* (H_j - H_{j+1}) + V_{j+1}^* \right] \end{aligned} \quad (5.14)$$

CAPITULO VI

RESULTADOS E COMPARAÇÕES

O programa computacional desenvolvido por Silva Filho⁽⁷⁾ foi modificado com a finalidade de otimizar a sequência de cálculos e incorporar novas sub-rotinas para realizar o cálculo da função adjunta, do coeficiente de sensibilidade e das distribuições axiais dos funcionais analisados. O novo programa, escrito em FORTRAN, denomina-se CASNUR.FOR.

A tabela 2 mostra resultados do cálculo de sensibilidade do funcional entalpia média do refrigerante no canal quente, com relação ao parâmetro massa específica no canal quente.

A tabela 3 diz respeito ao funcional velocidade média do refrigerante no canal quente com relação ao parâmetro massa específica no canal quente.

A tabela 4 mostra os resultados do cálculo de sensibilidade do funcional entalpia média do refrigerante no canal quente, com relação ao parâmetro área da secção reta do canal quente.

A tabela 5 refere-se aos dados do funcional velocidade média do refrigerante no canal quente, com relação ao parâmetro área da secção reta do canal quente.

Nestas tabelas, FNP representa a resposta não perturbada do funcional analisado, FPD a resposta perturbada calculada

através do modelo de simulação e, FMP a resposta perturbada calculada através do formalismo matricial. E representa a diferença relativa entre FMP e FPD e, S representa a sensibilidade do funcional "R" relativa ao parâmetro p, sendo definida por:

$$S = \frac{\frac{\delta R}{R_0}}{\frac{\delta p}{p_0}} = \frac{\frac{FMP - FNP}{FNP}}{\frac{\delta p}{p_0}} \quad (6.01)$$

Observe que, conhecida a sensibilidade S, é possível obter o valor do funcional perturbado para qualquer outra variação do parâmetro a partir de (6.01), isto é:

$$FMP = FNP (1 + S * \frac{\delta p}{p_0}) \quad (6.02)$$

Tabela 2 - Resultados de sensibilidade da entalpia média do refrigerante no canal quente com relação a massa específica no canal quente.

R	p	FNP (J/Kg) $\times 10^3$	$\delta p / p_0$	FPD (J/Kg) $\times 10^3$	FMP (J/Kg) $\times 10^3$	E %	S
$\bar{H}_q$	ρ_q	1581,2243	+50%	1571,1543	1425,8375	9,25	-0.19654
			+40%	1573,1379	1456,9181	7,39	
			+30%	1575,0745	1487,9925	5,53	
			+20%	1577,0898	1519,0699	3,68	
			+10%	1578,1283	1550,1466	1,83	
			+ 5%	1580,1688	1565,6857	0,82	
			- 5%	1582,3972	1596,7631	0,91	
			-10%	1583,4817	1612,3015	1,82	
			-20%	1585,7016	1643,3795	3,64	
			-30%	1587,9942	1674,4572	5,44	
			-40%	1590,3649	1705,5348	7,24	
			-50%	1592,9840	1736,6124	9,02	

Tabela 3 - Resultados de sensibilidade da velocidade média do refrigerante no canal quente com relação a massa específica no canal quente.

R	p	FNP (m/s)	$\delta p/p_0$	FPD (m/s)	FMP (m/s)	E %	S
$\bar{v}_q$	ρ_q	5,735216	+50%	5,898710	5,838927	1,01	0,03616
			+40%	5,879130	5,818185	1,03	
			+30%	5,853714	5,797443	0,96	
			+20%	5,814463	5,776700	0,65	
			+10%	5,774606	5,755958	0,32	
			+ 5%	5,754836	5,745587	0,16	
			- 5%	5,723751	5,724844	0,02	
			-10%	5,704271	5,714473	0,18	
			-20%	5,665808	5,693731	0,49	
			-30%	5,628086	5,672989	0,79	
			-40%	5,541773	5,652246	1,99	
			-50%	5,495090	5,631504	2,48	

Tabela 4 - Resultados de sensibilidade da entalpia média do refrigerante no canal quente com relação a área da seção reta no canal quente.

R	p	FNP (J/Kg) $\times 10^3$	$\delta p/p_0$	FPD (J/Kg) $\times 10^3$	FMP (J/Kg) $\times 10^3$	E %	S $\times 10^{-5}$
$\bar{H}_q$	A_q	1581,2243	+25%	1533,7745	1581,2154	3,09	-2,206779
			+20%	1543,1939	1581,2173	2,46	
			+15%	1552,6129	1581,2189	1,84	
			+10%	1562,0322	1581,2208	1,23	
			+08%	1565,6019	1581,2215	0,99	
			+06%	1569,2723	1581,2222	0,76	
			+04%	1573,1509	1581,2229	0,51	
			+02%	1577,1030	1581,2236	0,26	
			-02%	1585,6293	1581,2249	0,26	
			-04%	1590,0999	1581,2256	0,56	
			-06%	1594,6376	1581,2263	0,84	
			-08%	1599,6572	1581,2270	1,15	
			-10%	1604,6766	1581,2277	1,46	
			-15%	1614,0959	1581,2296	2,03	
			-20%	1623,5176	1581,2312	2,60	
			-25%	1632,9369	1581,2331	3,16	

Tabela 5 - Resultados de sensibilidade da velocidade média do refrigerante no canal quente com relação a área da seção reta no canal quente.

R	p	FNP (m/s)	$\delta p / p_0$	FPD (m/s)	FMP (m/s)	E %	S $\times 10^{-6}$
$\bar{V}_q$	A_q	5,735216	+25%	5,434690	5,735213	5,53	-1,476187
			+20%	5,496804	5,735214	4,34	
			+15%	5,558918	5,735214	3,17	
			+10%	5,621033	5,735215	2,03	
			+08%	5,641242	5,735215	1,67	
			+06%	5,655420	5,735215	1,41	
			+04%	5,677366	5,735215	1,02	
			+02%	5,720416	5,735215	0,26	
			-02%	5,758255	5,735216	0,40	
			-04%	5,706366	5,735216	0,61	
			-06%	5,693476	5,735216	0,73	
			-08%	5,694494	5,735217	0,72	
			-10%	5,690101	5,735217	0,81	
			-15%	5,732338	5,735218	0,05	
			-20%	5,775575	5,735218	0,70	
			-25%	5,818812	5,735219	1,43	

A tabela 2 mostra que para variações na massa específica do refrigerante de até $\pm 50\%$, o erro percentual (E) na entalpia média do refrigerante no canal quente entre os dois métodos (direto e matricial), não atingiu a $\pm 10\%$.

Na tabela 3, os resultados obtidos pelos métodos direto e matricial para o funcional $\bar{V}_q$ (velocidade média do refrigerante no canal quente), não alcançaram desvios de $\pm 2,5\%$.

Salienta-se que variações percentuais elevadas nos valores da massa específica são irreais (não acontecem na realidade), porém os resultados obtidos devem ser considerados pois visam simplesmente verificar a concordância entre os métodos.

Para a análise da entalpia média do refrigerante no canal quente ($\bar{H}_q$) em relação a área da secção reta no canal quente (A_q), os resultados para os erros percentuais foram extremamente reduzidos, não atingindo sequer a $\pm 3,2\%$.

No caso da velocidade média do refrigerante no canal quente ($\bar{V}_q$) em relação a área da secção reta no canal quente (A_q), os erros percentuais não alcançaram a $\pm 5,6\%$.

As tabelas 6 e 7 mostram respectivamente, para os funcionais $\bar{H}_q$ (entalpia média do refrigerante no canal quente) e $\bar{V}_q$ (velocidade média do refrigerante no canal quente), os resultados da função adjunta nos nodos.

**Tabela 8- Função Importância para entalpia média do refrigerante
no canal quente**

nodo	$H^* \times 10^{-3}$	$V^* \times 10^{-3}$	$W^* \times 10^{-3}$
base	0.4468090	-0.0968025	0.0233553
01	0.4342355	-0.2469996	0.0333801
02	0.4214046	-0.3858695	0.0423949
03	0.4085603	-0.5125062	0.0504155
04	0.3959452	-0.6266421	0.0573085
05	0.3833129	-0.7270665	0.0629466
06	0.3704217	-0.8124170	0.0674458
07	0.3575375	-0.8831835	0.0707980
08	0.3446639	-0.9398539	0.0733626
09	0.3323691	-0.9845979	0.0747146
10	0.3200394	-1.0151490	0.0746606
11	0.3071372	-1.0291030	0.0740669
12	0.2947335	-1.0320000	0.0715352
13	0.2823967	-1.0248180	0.0699045
14	0.2706916	-1.0100760	0.0669866
15	0.2588971	-0.9837282	0.0627479
16	0.2460940	-0.9410922	0.0583069
17	0.2333293	-0.8904728	0.0535413
18	0.2206011	-0.8339444	0.0493637
19	0.2090894	-0.7797416	0.0445177
20	0.1974410	-0.7191849	0.0389244
21	0.1846552	-0.6478230	0.0336539
22	0.1729497	-0.5758529	0.0284405
23	0.1594645	-0.5043200	0.0241962
24	0.1479221	-0.4391237	0.0198474
25	0.1360089	-0.3726827	0.0153566
26	0.1227178	-0.3025167	0.0115563
27	0.1093157	-0.2369504	0.0082558
28	0.0958172	-0.1774571	0.0056458
29	0.0829533	-0.1269580	0.0033886
30	0.0697518	-0.0828800	0.0015362
31	0.0557851	-0.0459513	0.0003264
32	0.0417746	-0.0188420	-0.0005360
33	0.0278247	0.0000000	0.0000000
34	0.0139934	0.0000000	0.0000000
35	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Tabela 7- Função Importância para velocidade média do refrigerante no canal quente

nodo	H^*	$V^* \times 10^{-1}$	$W^* \times 10^{-1}$
base	0.0000000	0.2856746	-0.2856746
01	0.0000000	0.2857030	-0.2857030
02	0.0000000	0.2856957	-0.2856957
03	0.0000000	0.2856884	-0.2856884
04	0.0000000	0.2856812	-0.2856812
05	0.0000000	0.2856739	-0.2856739
06	0.0000000	0.2856667	-0.2856667
07	0.0000000	0.2856595	-0.2856595
08	0.0000000	0.2856524	-0.2856524
09	0.0000000	0.2856452	-0.2856452
10	0.0000000	0.2856380	-0.2856380
11	0.0000000	0.2856274	-0.2856274
12	0.0000000	0.2855216	-0.2855216
13	0.0000000	0.2856002	-0.2856002
14	0.0000000	0.2855899	-0.2855899
15	0.0000000	0.2855836	-0.2855836
16	0.0000000	0.2855767	-0.2855767
17	0.0000000	0.2855679	-0.2855679
18	0.0000000	0.2855632	-0.2855632
19	0.0000000	0.2855498	-0.2855498
20	0.0000000	0.2855466	-0.2855466
21	0.0000000	0.2855200	-0.2855200
22	0.0000000	0.2854847	-0.2854847
23	0.0000000	0.2855011	-0.2855011
24	0.0000000	0.2855180	-0.2855180
25	0.0000000	0.2855368	-0.2855368
26	0.0000000	0.2855389	-0.2855389
27	0.0000000	0.2855812	-0.2855812
28	0.0000000	0.2856035	-0.2856035
29	0.0000000	0.2856248	-0.2856248
30	0.0000000	0.2856629	-0.2856629
31	0.0000000	0.2856836	-0.2856836
32	0.0000000	0.2856899	-0.2856899
33	0.0000000	0.2854891	-0.2854891
34	0.0000000	0.2778359	-0.2778359
35	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Para melhor visualização dos valores das tabelas 6 e 7, apresenta-se, logo a seguir, gráficos correspondentes as funções importância dos funcionais analisados.

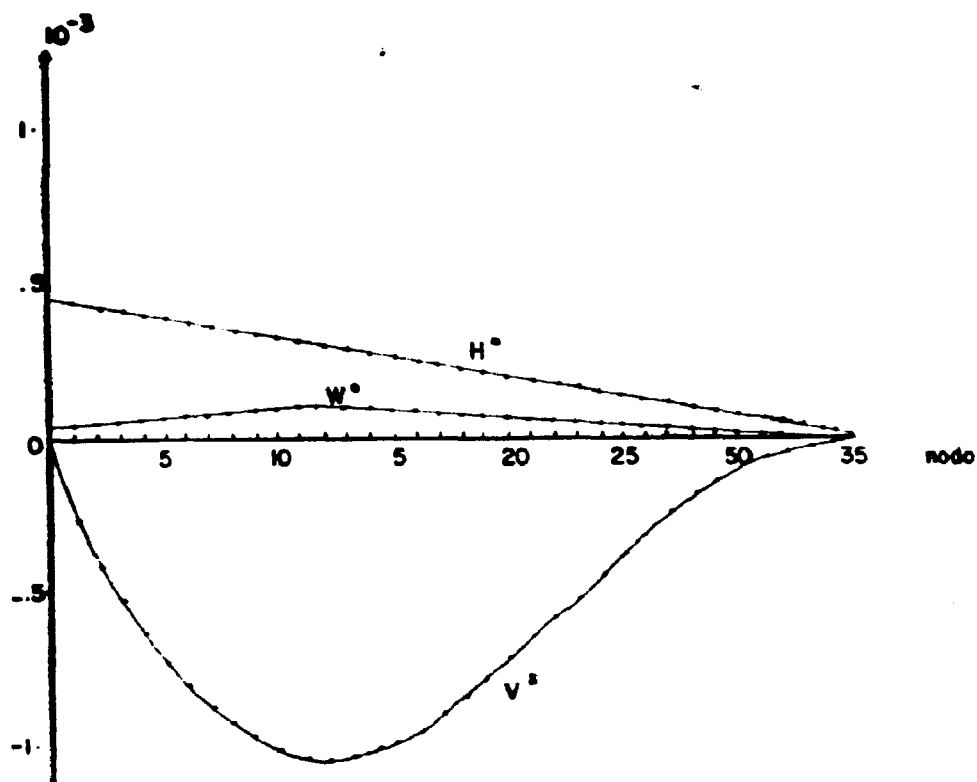


Figura 3 - Função importância para o funcional entalpia média do refrigerante no canal quente. ($\bar{H}_q$)

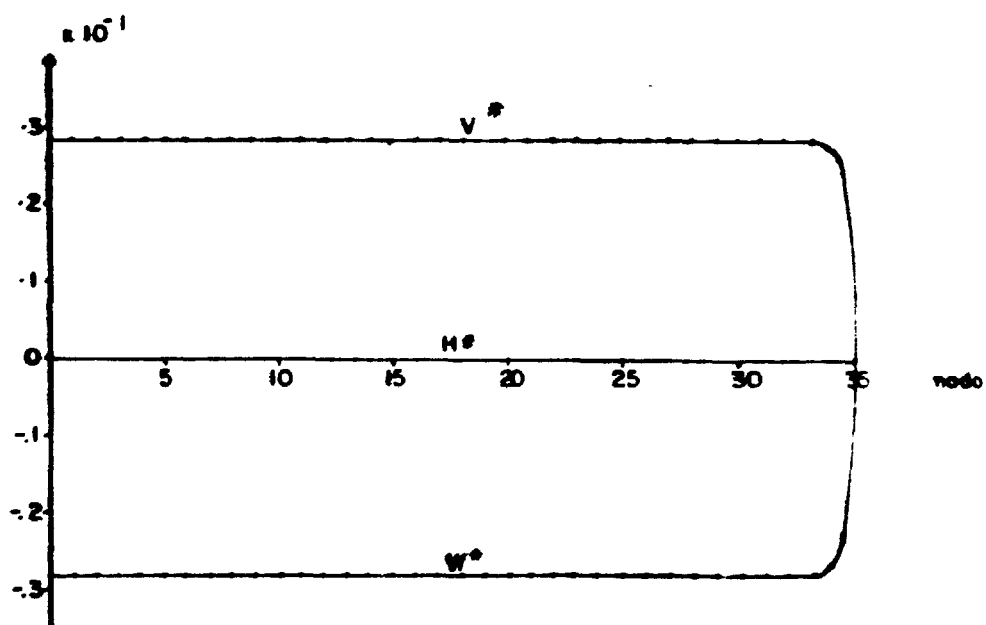


Figura 4 - Função importância para o funcional velocidade média do refrigerante no canal quente. ($\bar{V}_q$)

A Figura 3 mostra a função importância para o funcional entalpia média do refrigerante no canal quente, fornecendo informações sobre a evolução de suas componentes H^* , V^* e W^* desde a entrada até a saída do canal.

A componente H^* , da função importância é máxima na entrada e decresce até zero na saída do canal. O módulo da componente V^* da função importância cresce até aproximadamente $1/3$ do canal, para então decrescer até atingir valor nulo na saída do canal. Em relação a componente W^* da função importância, esta apresenta valores que crescem ligeiramente até aproximadamente $1/3$ do canal, para então decrescer até zero na saída do mesmo.

Isto significa que as perturbações ocorridas nos pontos próximos a entrada do canal, contribuem para a variação do funcional $\bar{H}_q$, mais fortemente do que nos demais pontos ao longo do canal.

A Figura 4- mostra a função importância para o funcional velocidade média do refrigerante no canal quente. A componente H^* da função importância, é nula em toda extensão do canal (da entrada até a saída). As componentes V^* e W^* da função importância, apresentam patamares (aproximadamente) constantes da entrada até a saída dos canais onde tornam-se nulas.

Neste caso, fica evidenciado que perturbações ocorridas em qualquer ponto do canal, contribuem igualmente para a variação do funcional velocidade média do refrigerante no canal quente ($\bar{V}_q$).

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises realizadas forneceram resultados plenamente aceitáveis, uma vez que os valores obtidos através dos métodos direto e matricial de perturbação, apresentaram erros percentuais relativamente pequenos.

O cálculo pelo método direto, isto é, a solução do sistema como o modelo foi concebido, deve ser repetido a partir do início para cada variação do parâmetro. Ao contrário, o cálculo pelo método matricial de perturbação é realizado uma única vez, pois conhecido o coeficiente de sensibilidade de um funcional relativo a um parâmetro, é possível conhecer o valor do funcional para qualquer variação do parâmetro. Desta forma o método matricial de perturbação, apresenta evidente vantagem sobre o método direto, em termos de tempo de computação.

Finalmente, pode-se concluir que o método de perturbação com formalismo matricial oferece, para os casos estudados, excelentes resultados nas análises de sensibilidade realizadas.

Recomenda-se a aplicação do formalismo matricial de perturbação a outros modelos mais realistas, que descrevam o comportamento do núcleo de reatores nucleares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GANDINI, A., Generalized Perturbation Theory for Systems from the Importance Conservation Principle, Nucl. Sci. Eng., 77 : 316-343, 1981.
- (2) GANDINI, A., Generalized Perturbation Theory (GPT) Methods. A Heuristic Approach, Advances in Nuclear Science and Technology, 18 , 1987.
- (3) OBLOW, E. M., Sensitivity Theory for Reactor Thermal-Hydraulics Problems, Nucl. Sci. Eng., 68 : 322-337, 1976.
- (4) WEBER, C. F. and OBLOW, E. M., Sensitivity Theory Applied to a Transient Thermal Hydraulics Problem, ORNL/TM-6900, 1979.
- (5) ANDRADE LIMA, F. R. de e SILVA, F. C. da, Teoria de Perturbação Generalizada Aplicada a Termohidráulica de Reatores, PEN - 125, COPPE/UFRJ, 1984.
- (6) SANDERS, R. M. G., et alli, Aplicacion de la Teoria de Perturbacion - Formalismo Diferencial - para Analisis de Sensibilidad en Generadores de Vapor de Centrales Nucleares del tipo PWR, PEN - 140, COPPE/UFRJ, 1987.

- (7) SILVA FILHO, E., Modelo Simplificado para Análise de Departure from Nucleate Boiling (DNB), Tese de Mestrado DEN/UFPE, 1979.
- (8) USACHEV, L. N., Perturbation Theory for the Breeding Ratio and for Other Number Ratios Pertaining to Various Reactor Process, J. Nucl. Energy, 18 : 571-580, 1974.
- (9) POMRANING, G. C., Variational Principle for Eigenvalue Equations, J. Math. Phys., 46 : 149-157, 1967.
- (10) GANDINI, A., A Generalized Perturbation Method for Bilinear Functionals of the Real and Adjoint Neutron Fluxes, J. Nucl. Energy, 21 : 755-765, 1967.
- (11) STACEY Jr., W. M., Varational Estimates and Generalized Perturbations Theory for the Ratios of Linear and Bilinear Functionals, J. Math. Phys., 13(8) : 1119-1125, 1972.
- (12) BARTINE, D. E., OBLow, E. M. and MYNATT, F. R., Radiation - Transport Cross-Section Sensivity Analysis - A General Approach Illustrated for a Thermonuclear Source in Air, Nucl. Sci. Eng., 55 : 147-167, 1974.

- (13) GERSTL, S. A. W. and STACEY, Jr., W.M., A Class of Second-Order Approximate Formulations of Deep Penetration Radiation Transport Problems, Nucl. Sci. Eng., 51 : 339-343, 1973.
- (14) CACUCI, D. G., et alli, Sensitivity Theory for General Systems of Nonlinear Equations, Nucl. Sci. Eng., 75 : 88-110, 1980.
- (15) WILLIAMS, M. L., Development of Depletion Perturbation Theory for Coupled Neutron/Nuclide Fields, Nucl. Sci. Eng., 70 : 20-36, 1979.
- (16) OBLow, E. M., Sensitivity Theory from a Differential Viewpoint, Nucl Sci. Eng., 59 : 187-189, 1976; também Corrigendum, Nucl. Sci. Eng., 65 : 428-428, 1978.
- (17) ANDRADE LIMA, F. R. de e ALVIM, A. C. M., Aplicação da Teoria de Perturbação para Análise de Sensibilidade num Canal Refrigerante de Reatores Nucleares, RBE-Caderno de Engenharia Nuclear, 1 : 5-36 , 1987.
- (18) ANDRADE LIMA, F. R. de, TEMPERA: V2 - Um Programa para Análise de Sensibilidades num Canal Refrigerante de Reatores Nucleares, PEN - 139, COPPE/UFRJ, 1986.

- (19) FINLAYSON, B. A., The Method of Weighted Residuals and Variational Principles, Math. Sci. Eng. Series, 87, Academic Press, Inc., New York, 1972.
- (20) SAGAN, H., Introduction to the Calculus of Variations, McGraw-Hill Book Company, 1969.
- (21) SMITH, D. R., Variational Methods in Optimization, Prentice-Hall, 1974.
- (22) BLUM, E. K., The Calculus of Variations, Functional Analysis and Optimal Control Problems in Topics in Optimization, Math. Sci. Eng. Series, 31, Academic Press, Inc., New York, 1967.
- (23) SILVA NETO, A. J. da, et alli, CRISTE - Um Subcódigo para o Cálculo da Distribuição Axial, Transiente de Temperaturas no Canal de um Reator PWR, PEN - 123, COPPE/UFRJ, 1983.

APENDICE A

DEDUÇÕES SOBRE O SISTEMA GENERICO CONSIDERADO

Considerando-se o sistema de equações:

$$a_{11,j,j+1} \cdot F_{1,j+1} + a_{12,j,j+1} \cdot F_{2,j+1} + \dots + a_{1n,j,j+1} \cdot F_{n,j+1} =$$

$$b_{11,j,j+1} \cdot F_{1,j} + b_{12,j,j+1} \cdot F_{2,j} + \dots + b_{1n,j,j+1} \cdot F_{n,j} + C_{1,j,j+1}$$

$$a_{21,j,j+1} \cdot F_{1,j+1} + a_{22,j,j+1} \cdot F_{2,j+1} + \dots + a_{2n,j,j+1} \cdot F_{n,j+1} =$$

$$b_{21,j,j+1} \cdot F_{1,j} + b_{22,j,j+1} \cdot F_{2,j} + \dots + b_{2n,j,j+1} \cdot F_{n,j} + C_{2,j,j+1}$$

.....

$$a_{n1,j,j+1} \cdot F_{1,j+1} + a_{n2,j,j+1} \cdot F_{2,j+1} + \dots + a_{nn,j,j+1} \cdot F_{n,j+1}$$

$$b_{n1,j,j+1} \cdot F_{1,j} + b_{n2,j,j+1} \cdot F_{2,j} + \dots + b_{nn,j,j+1} \cdot F_{n,j} + C_{n,j,j+1}$$

(A.01)

que pode ser escrito matricialmente como:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}_{j,j+1} \times \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{vmatrix}_{j+1} =$$

$$= \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix}_{j,j+1} \times \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{vmatrix}_j + \begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{vmatrix}_{j,j+1}$$

(A. 02)

ou ainda:

$$A_{\sim j,j+1} \cdot F_{\sim j+1} = B_{\sim j,j+1} \cdot F_j + C_{\sim j,j+1} \quad (\text{A. 03})$$

onde

$$A_{\sim j,j+1} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}_{j,j+1} = \begin{vmatrix} a_{11}_{j,j+1} & a_{12}_{j,j+1} & \dots & a_{1n}_{j,j+1} \\ a_{21}_{j,j+1} & a_{22}_{j,j+1} & \dots & a_{2n}_{j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}_{j,j+1} & a_{n2}_{j,j+1} & \dots & a_{nn}_{j,j+1} \end{vmatrix}$$

(A. 04)

$$B_{j,j+1} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix}_{j,j+1} = \begin{vmatrix} b_{11,j,j+1} & b_{12,j,j+1} & \dots & b_{1n,j,j+1} \\ b_{21,j,j+1} & b_{22,j,j+1} & \dots & b_{2n,j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1,j,j+1} & b_{n2,j,j+1} & \dots & b_{nn,j,j+1} \end{vmatrix}$$

(A. 05)

$$C_{j,j+1} = \begin{vmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_n \end{vmatrix}_{j,j+1} = \begin{vmatrix} c_{1,j,j+1} \\ c_{2,j,j+1} \\ \dots \\ c_{n,j,j+1} \end{vmatrix}$$

(A. 06)

$$F_{j,j+1} = \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{vmatrix}_{j,j+1} = \begin{vmatrix} F_{1,j,j+1} \\ F_{2,j,j+1} \\ \dots \\ F_{n,j,j+1} \end{vmatrix}$$

(A. 07)

$$F_j = \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{vmatrix}_j = \begin{vmatrix} F_{1j} \\ F_{2j} \\ \dots \\ F_{nj} \end{vmatrix} \quad (A.06)$$

Derivando-se uma equação genérica do sistema de equações (A.01) em relação a um parâmetro arbitrário p , tem-se :

$$\begin{aligned} & a_{i1} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + F_{1j+1} \cdot \left[\frac{\partial a_{i1}}{\partial p} + \left(\frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{nj}} \cdot \frac{\partial F_{nj}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial a_{i1}}{\partial F_{nj+1}} \cdot \frac{\partial F_{nj+1}}{\partial p} \right) \right] + a_{i1} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \\ & + F_{2j+1} \cdot \left[\frac{\partial a_{i2}}{\partial p} + \left(\frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{nj}} \cdot \frac{\partial F_{nj}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{nj+1}} \cdot \frac{\partial F_{nj+1}}{\partial p} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \dots + \left. \frac{\partial a_{i2}}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \right] + \dots + a_{in} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} + F_{n_{j+1}} \\
& \cdot \left[\frac{\partial a_{in}}{\partial p} + \left[\frac{\partial a_{in}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial a_{in}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial a_{in}}{\partial F_{n_j}} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} \right. \right. \\
& \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + \frac{\partial a_{in}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{in}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \\
& \left. \left. + \frac{\partial a_{in}}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \right] \right] = b_{i1} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + F_{1j} \cdot \left[\frac{\partial b_{i1}}{\partial p} + \right. \\
& + \left[\frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{n_j}} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + \right. \\
& + \frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{i1}}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \\
& \left. \left. \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \right] \right] + b_{i2} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + F_{2j} \cdot \left[\frac{\partial b_{i2}}{\partial p} + \left[\frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \right. \right. \\
& + \frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{n_j}} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{i2}}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \Bigg] + \\
& + b_{in} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + F_{n_j} \cdot \left[\frac{\partial b_{in}}{\partial p} + \left[\frac{\partial b_{in}}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial b_{in}}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{in}}{\partial F_{n_j}} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + \frac{\partial b_{in}}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{in}}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial b_{in}}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \right] \right] + \frac{\partial c_i}{\partial p} + \\
& + \frac{\partial c_i}{\partial F_{1j}} \cdot \frac{\partial F_{1j}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial F_{2j}} \cdot \frac{\partial F_{2j}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial c_i}{\partial F_{n_j}} \cdot \frac{\partial F_{n_j}}{\partial p} + \\
& + \frac{\partial c_i}{\partial F_{1j+1}} \cdot \frac{\partial F_{1j+1}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial F_{2j+1}} \cdot \frac{\partial F_{2j+1}}{\partial p} + \dots + \frac{\partial c_i}{\partial F_{n_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \\
& \cdot \frac{\partial F_{n_{j+1}}}{\partial p} \quad \quad \quad (A.08)
\end{aligned}$$

que pode ser escrito em forma resumida como :

$$\sum_{k=1}^n \left\{ a_{ik} \cdot \frac{\partial (F_{k,j+1})}{\partial p} + F_{k,j+1} \cdot \left[\frac{\partial (a_{ik})}{\partial p} + \sum_{R=1}^n \left(\frac{\partial (a_{ik})}{\partial F_{Rj}} \cdot \frac{\partial F_{Rj}}{\partial p} + \right. \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial(a_{ik})}{\partial F_{R_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{R_{j+1}}}{\partial p} \Bigg] \Bigg\} = \sum_{k=1}^n \left\{ b_{ik} \cdot \frac{\partial F_{K_j}}{\partial p} + F_{K_j} \cdot \right. \\
& \left. \left[\frac{\partial b_{ik}}{\partial p} + \sum_{R=1}^n \left(\frac{\partial b_{ik}}{\partial F_{R_j}} \cdot \frac{\partial F_{R_j}}{\partial p} + \frac{\partial b_{ik}}{\partial F_{R_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{R_{j+1}}}{\partial p} \right) \right] \right\} + \frac{\partial c_i}{\partial p} + \\
& + \sum_{R=1}^n \left(\frac{\partial c_i}{\partial F_{R_j}} \cdot \frac{\partial F_{R_j}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial F_{R_{j+1}}} \cdot \frac{\partial F_{R_{j+1}}}{\partial p} \right) \quad (A.10)
\end{aligned}$$

Agrupando-se os termos que envolvem $\frac{\partial F_{K_j}}{\partial p}$ e $\frac{\partial F_{K_{j+1}}}{\partial p}$

se obtém:

$$\sum_{k=1}^n \alpha_{ik,j,j+1} \cdot \frac{\partial F_{K_{j+1}}}{\partial p} = \sum_{k=1}^n \beta_{ik,j,j+1} \cdot \frac{\partial F_{K_j}}{\partial p} + \gamma_{i,j,j+1} \quad (A.11)$$

onde,

$$\alpha_{ik,j,j+1} = a_{ik} + \sum_{R=1}^n \left(F_{R_{j+1}} \frac{\partial a_{iR}}{\partial F_{K_{j+1}}} - F_{R_j} \frac{\partial a_{iR}}{\partial F_{K_{j+1}}} \right) - \frac{\partial c_i}{\partial F_{R_{j+1}}} \quad (A.12)$$

$$\beta_{ik,j,j+1} = b_{ik} + \sum_{R=1}^n \left(F_{R_j} \frac{\partial b_{iR}}{\partial F_{K_j}} - F_{R_j} \frac{\partial a_{iR}}{\partial F_{K_j}} \right) + \frac{\partial c_i}{\partial F_{K_j}} \quad (A.13)$$

$$\gamma_{i,j,j+1} = \sum_{R=1}^n \left[- F_{Rj} \frac{\partial a_{iR}}{\partial p} - F_{Rj} \frac{\partial b_{iR}}{\partial p} \right] - \frac{\partial c_i}{\partial p} \quad (A.14)$$

Na forma matricial tem-se o sistema:

$$\alpha_{j,j+1} \cdot \left(\frac{F_{j+1}}{\sim} \right) /_p = \beta_{j,j+1} \cdot \left(\frac{F_j}{\sim} \right) /_p + \gamma_{j,j+1} \quad (A.15)$$

onde

$$\alpha_{j,j+1} = \begin{vmatrix} \alpha_{11,j,j+1} & \alpha_{12,j,j+1} & \dots & \alpha_{1n,j,j+1} \\ \alpha_{21,j,j+1} & \alpha_{22,j,j+1} & \dots & \alpha_{2n,j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1,j,j+1} & \alpha_{n2,j,j+1} & \dots & \alpha_{nn,j,j+1} \end{vmatrix} \quad (A.16)$$

$$\beta_{j,j+1} = \begin{vmatrix} \beta_{11,j,j+1} & \beta_{12,j,j+1} & \dots & \beta_{1n,j,j+1} \\ \beta_{21,j,j+1} & \beta_{22,j,j+1} & \dots & \beta_{2n,j,j+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{n1,j,j+1} & \beta_{n2,j,j+1} & \dots & \beta_{nn,j,j+1} \end{vmatrix} \quad (A.17)$$

$$\gamma_{j,j+1} = \begin{vmatrix} \gamma_{1,j,j+1} \\ \gamma_{2,j,j+1} \\ \dots \\ \gamma_{n,j,j+1} \end{vmatrix} \quad (\text{A.18})$$

$$F_{j+1/p} = \begin{vmatrix} (CF_{1,j+1})/p \\ (CF_{2,j+1})/p \\ \dots \\ (CF_{n,j+1})/p \end{vmatrix} \quad (\text{A.19})$$

$$F_{j/p} = \begin{vmatrix} (CF_{1,j})/p \\ (CF_{2,j})/p \\ \dots \\ (CF_{n,j})/p \end{vmatrix} \quad (\text{A.20})$$

Os α 's, β 's e γ 's do sistema (A.15) são funções dos elementos das matrizes F_j e F_{j+1} , dos coeficientes a_{ik} , b_{ik} e c_i e das derivadas parciais desses coeficientes em relação aos elementos das matrizes F_j e F_{j+1} . Portanto o sistema de equações (A.15) é linearmente dependente.

APENDICE B

OBTENÇÃO DO SISTEMA SIMILAR (ADJUNTO)

Definindo-se o vetor adjunto de $(F_{j+1})/p$ como sendo F_{j+1}^* , onde:

$$F_{j+1}^* = \begin{bmatrix} F_{1,j+1}^* \\ F_{2,j+1}^* \\ \dots \\ F_{n,j+1}^* \end{bmatrix} \quad (\text{B. 01})$$

Pré-multiplicando-se o sistema (3.36) por F_{j+1}^{*T} e somando-se em todo j , vem:

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{J-1} (F_{j+1}^*)^T \alpha_{j,j+1} (F_{j+1})/p &= \sum_{j=0}^{J-1} (F_{j+1}^*)^T \beta_{j,j+1} (F_j)/p + \\ &+ \sum_{j=0}^{J-1} (F_{j+1}^*)^T \gamma_{j,j+1} \end{aligned} \quad (\text{B. 02})$$

Transpondo-se (B. 02) tem-se:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_{j+1} \right)^T / \rho \quad \underline{\alpha}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* &= \sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \quad \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* + \\
+ \sum_{j=0}^{J-1} \underline{\gamma}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* & \quad \text{(B. 03)}
\end{aligned}$$

ou

$$\begin{aligned}
\sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_{j+1} \right)^T / \rho \quad \underline{\alpha}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* &= \left(\underline{F}_0 \right)^T / \rho \quad \underline{\beta}_{0,1}^T \underline{F}_1^* + \\
+ \sum_{j=1}^{J-1} \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \quad \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* &+ \sum_{j=0}^{J-1} \underline{\gamma}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* \quad \text{(B. 04)}
\end{aligned}$$

ou ainda:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^{J-1} \left\{ \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \quad \left[\underline{\alpha}_{j-1,j}^T \underline{F}_j^* - \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* \right] \right\} &= \left(\underline{F}_0 \right)^T / \rho \quad \underline{\beta}_{0,1}^T \underline{F}_1^* + \\
+ \sum_{j=0}^{J-1} \underline{\gamma}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* - \left(\underline{F}_J \right)^T / \rho \quad \underline{\alpha}_{J-1,J}^T \underline{F}_J^* & \quad \text{(B. 05)}
\end{aligned}$$

Considerando-se

$$\underline{\alpha}_{j-1,j}^T \underline{F}_j^* = \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* + \underline{G}_j^* \quad \text{(B. 06)}$$

Pode-se escrever para (B. 05)

$$\sum_{j=0}^{J-1} \left\{ \left(\frac{F_j}{\sim j} \right)^T \cdot \left[\frac{G_j}{\sim j} \right] \right\} = \left(\frac{F_0}{\sim 0} \right)^T \beta_{0,1}^T F_1^* + \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* -$$

$$- \left(\frac{F_J}{\sim J} \right)^T \alpha_{J-1,J}^T F_J^* \quad (B.07)$$

Lembrando-se de (A.16) e (A.17) o sistema (B.06) será escrito como:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{21} & \alpha_{31} & \dots & \alpha_{n1} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{32} & \dots & \alpha_{n2} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} & & \alpha_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{1n} & \alpha_{2n} & \alpha_{3n} & \dots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}_{j-1,j} \times \begin{vmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \\ \dots \\ F_n^* \end{vmatrix}_j =$$

$$= \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} & \beta_{31} & \dots & \beta_{n1} \\ \beta_{12} & \beta_{22} & \beta_{32} & \dots & \beta_{n2} \\ \beta_{13} & \beta_{23} & \beta_{33} & & \beta_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{1n} & \beta_{2n} & \beta_{3n} & \dots & \beta_{nn} \end{vmatrix}_{j,j+1} \times \begin{vmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \\ \dots \\ F_n^* \end{vmatrix}_{j+1} + \begin{vmatrix} G_1^+ \\ G_2^+ \\ G_3^+ \\ \dots \\ G_n^+ \end{vmatrix}_j \quad (B.08)$$

isto é:

$$\alpha_{11}^{*}_{j-1,j} F_{1,j}^{*} + \alpha_{21}^{*}_{j-1,j} F_{2,j}^{*} + \dots + \alpha_{n1}^{*}_{j-1,j} F_{n,j}^{*} = \beta_{11}^{*}_{j,j+1} F_{1,j+1}^{*} +$$

$$+ \beta_{21}^{*}_{j,j+1} F_{2,j+1}^{*} + \dots + \beta_{n1}^{*}_{j,j+1} F_{n,j+1}^{*} + G_{1,j}^{*}$$

$$\alpha_{12}^{*}_{j-1,j} F_{1,j}^{*} + \alpha_{22}^{*}_{j-1,j} F_{2,j}^{*} + \dots + \alpha_{n2}^{*}_{j-1,j} F_{n,j}^{*} = \beta_{12}^{*}_{j,j+1} F_{1,j+1}^{*} +$$

$$+ \beta_{22}^{*}_{j,j+1} F_{2,j+1}^{*} + \dots + \beta_{n2}^{*}_{j,j+1} F_{n,j+1}^{*} + G_{2,j}^{*}$$

.....

$$\alpha_{1n}^{*}_{j-1,j} F_{1,j}^{*} + \alpha_{2n}^{*}_{j-1,j} F_{2,j}^{*} + \dots + \alpha_{nn}^{*}_{j-1,j} F_{n,j}^{*} = \beta_{1n}^{*}_{j,j+1} F_{1,j+1}^{*} +$$

$$+ \beta_{2n}^{*}_{j,j+1} F_{2,j+1}^{*} + \dots + \beta_{nn}^{*}_{j,j+1} F_{n,j+1}^{*} + G_{n,j}^{*}$$

(B.09)

O sistema (B.06) é adjunto (similar) ao sistema (A.15).

APENDICE C

DEDUÇÃO DO COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE

Considerando-se um funcional resposta R , genérico, como sendo:

$$R = \sum_{j=0}^J G_1^* F_{1j} + \sum_{j=0}^J G_2^* F_{2j} + \sum_{j=0}^J G_3^* F_{3j} + \dots + \sum_{j=0}^J G_n^* F_{nj} \quad (C.01)$$

ou ainda,

$$R = \sum_{j=0}^J \left(G_1^* F_{1j} + G_2^* F_{2j} + G_3^* F_{3j} + \dots + G_n^* F_{nj} \right) \quad (C.02)$$

como,

$$F_j = \begin{vmatrix} F_{1j} \\ F_{2j} \\ F_{3j} \\ \dots \\ F_{nj} \end{vmatrix} \quad (C.03)$$

$$\underset{\sim}{G}_j^+ = \begin{vmatrix} G_{1j}^+ \\ G_{2j}^+ \\ G_{3j}^+ \\ \dots \\ F_{nj}^+ \end{vmatrix} \quad (C.04)$$

então,

$$R = \sum_{j=0}^J \left(\underset{\sim}{G}_j^+ \right)^T \underset{\sim}{F}_j \quad (C.05)$$

Derivando-se (C.05) em relação a um parâmetro arbitrário p , vem:

$$\frac{dR}{dp} = \sum_{j=0}^J \left(\underset{\sim}{G}_j^+ \right)^T_{/p} \underset{\sim}{F}_j + \sum_{j=0}^J \left(\underset{\sim}{G}_j^+ \right)^T \underset{\sim}{F}_{j/p} \quad (C.06)$$

ou,

$$\frac{dR}{dp} = \sum_{j=0}^J \left(\underset{\sim}{G}_j^+ \right)^T_{/p} \underset{\sim}{F}_j + \left(\underset{\sim}{G}_0^+ \right)^T \underset{\sim}{F}_{0/p} + \sum_{j=1}^J \left(\underset{\sim}{G}_j^+ \right)^T \underset{\sim}{F}_{j/p} \quad (C.07)$$

ou ainda,

$$\frac{dR}{dp} = \sum_{j=0}^J \left(\tilde{G}_j^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_j + \left(\tilde{G}_0^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_0/p + \sum_{j=0}^{J-1} \left(\tilde{G}_{j+1}^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_{j+1}/p \quad (C.08)$$

Como as matrizes $\tilde{F}_j$ e $\left(\tilde{G}_j^* \right)_{/p}^T$ são matrizes coluna e linha respectivamente, pode-se usar a seguinte propriedade matricial: $A^T \cdot B = B^T \cdot A$, e substituindo-se (B.07) em (C.08) tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dp} = & \sum_{j=0}^J \left(\tilde{G}_j^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_j + \left(\tilde{G}_0^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_0/p + \left(\tilde{F}_0 \right)_{/p}^T \tilde{\beta}_{0,1}^T \tilde{F}_1^* + \\ & + \sum_{j=0}^{J-1} \tilde{\gamma}_{j,j+1}^T \tilde{F}_{j+1}^* - \left(\tilde{F}_j \right)_{/p}^T \tilde{\alpha}_{j-1,j}^T \tilde{F}_j^* + \left(\tilde{G}_j^* \right)_{/p}^T \left(\tilde{F}_j \right)_{/p} \end{aligned} \quad (C.09)$$

A equação (C.09) fornece o coeficiente de sensibilidade do funcional genérico R , em relação ao parâmetro p arbitrário.

APENDICE D

TEORIA DA PERTURBAÇÃO x CÁLCULO DIRETO, NO CANAL NOMINAL

Algumas das equações relativas ao canal nominal, de acordo com Silva Filho⁽⁷⁾, são:

$$\rho_n(z) = \left\{ 1.6 \times 10^{-5} T + 0.0121 + \exp \left[\frac{T - 930.435}{50.725} \right] \right\}^{-1} \quad (D.01)$$

$$\mu_n(z) = -4.7 \times 10^{-4} T + 0.495 \quad (D.02)$$

$$P_n(z) = P_0 + \rho_0 \frac{V_0^2}{2} - \rho_n(z) \frac{V_n^2(z)}{2} - \sum \Delta P_i(z) \quad (D.03)$$

onde:

- $\rho_n(z)$ - massa específica do refrigerante em cada volume de controle do canal nominal (lbm/ft³)
- T - temperatura do refrigerante no canal nominal (°F)
- $\mu_n(z)$ - viscosidade dinâmica do refrigerante em cada volume de controle no canal nominal (lbm/hr.ft)
- $P_n(z)$ - pressão do refrigerante em cada volume de controle do canal nominal (psia)
- P_0 - pressão do refrigerante na entrada dos canais (psia)

ρ_0 - massa específica do refrigerante na entrada dos canais (lbm/ft^3)

V_0 - velocidade do refrigerante na entrada dos canais (ft/hr)

$\Delta P_i(z)$ - queda de pressão ao longo do canal (psia)

Observação : As equações (D.01) a (D.03) são expressas em unidades inglesas de acordo com Silva Filho⁷.

As equações (D.01), (D.02) e (D.03) podem ser desacopladas e escritas na forma $y = f(x)$

Suponha-se

$$y = ax^2 + bx + c \quad (\text{D.04})$$

Aplicando-se a teoria de perturbação, tem-se:

$$m = y - S = 0 \quad (\text{D.05})$$

quando $S = ax^2 + bx + c \quad (\text{D.06})$

Sendo H um operador de forma que:

$$H = \frac{\bar{\partial}(m)}{\partial y} = 1 \quad (\text{D.07})$$

e,

$$S(p) = - \frac{\bar{\partial}(m)}{\partial p} = \frac{\partial S}{\partial p} \quad (\text{D.08})$$

tem-se:

$$H y/p = S(p) \quad (\text{equação derivada de (D.05)}) \quad (\text{D.09})$$

$$H^* y^* = S^+ \quad (\text{equação adjunta de (D.09)}) \quad (\text{D.10})$$

onde S^+ é o termo de fonte da equação (D.10).

Pela teoria de Perturbação temos:

$$\langle y/p, H^* y^* \rangle = \langle y^* H y/p \rangle + P \langle y/p, y^* \rangle \quad (\text{D.11})$$

onde $P \langle y/p, y^* \rangle$ é o concomitante bilinear entre y/p e y^* .

Desde que $H = 1$ implicando em $H^* = 1$

então, $P \langle y/p, y^* \rangle = 0$

$$\text{Logo } y^* = S^+ \quad (\text{D.12})$$

$$\text{Suponha-se } R = \langle S^+ y \rangle \quad (\text{D.13})$$

então,

$$\frac{\partial R}{\partial p} = \langle S/p y \rangle + \langle S^+ y/p \rangle \quad (\text{D.14})$$

logo

$$\frac{\partial R}{\partial p} = \langle S/p y \rangle + \langle y^* S(p) \rangle \quad (\text{D.15})$$

No caso de $R = y_1 = a.x_1^2 + b.x_1 + c$ e $p = a$, tem-se:

1) pela Teoria de Perturbação :

$$S^+ = \delta(x - x_1) \quad S(p) = x^2 \quad (D.16)$$

$$S_a^+ = 0 \quad (D.17)$$

$$y^* = \delta(x - x_1) \quad (D.18)$$

então,

$$\frac{\partial}{\partial a} (y_1) = \langle x^2 \delta(x - x_1) \rangle = x_1^2 \quad (D.19)$$

2) por derivação direta de y_1 com relação à a

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c$$

$$\frac{\partial}{\partial a} (y_1) = x_1^2 \quad (D.20)$$

Portanto se o funcional pode ser obtido diretamente, numa forma explícita, não existe vantagem no emprego da Teoria de Perturbação, apesar de se obter resultados idênticos (equações (D.19) e (D.20)).

APENDICE E

DEDUÇÕES SOBRE O SISTEMA DE EQUAÇÕES QUE DESCREVEM O MODELO CONSIDERADO

Lembrando as equações (4.01), (4.02) e (4.03), pode-se reescrevê-las como sendo:

$$\begin{aligned}
 H_q(z) & \cdot \left[A_q \cdot \rho_q(z-\Delta z) \cdot V_q(z-\Delta z) + \frac{1}{2} W_{nq}(z-\Delta z) \right] = \\
 & = Q_q(z-\Delta z) + A_q \cdot \rho_q(z-\Delta z) \cdot V_q(z-\Delta z) \cdot H_q(z-\Delta z) + \\
 & + \frac{1}{2} W_{nq}(z) H_q(z-\Delta z)
 \end{aligned} \tag{E.01}$$

$$V_q(z) \cdot A_q \cdot \rho_q(z) = A_q \cdot V_q(z-\Delta z) \cdot \rho_q(z-\Delta z) + W_{nq}(z) \tag{E.02}$$

$$W_{nq}^n(z) = W_{nq}^{n-1}(z) + \frac{\bar{P}_q(z) - \bar{P}_n(z)}{C_{nq}} \tag{E.03}$$

ou ainda,

$$H_q(z) \cdot \left[A_q \cdot \rho_q(z-\Delta z) \cdot V_q(z-\Delta z) + \frac{1}{2} W_{nq}(z-\Delta z) \right] =$$

$$\begin{aligned}
H_q(z-\Delta z) &= \left[A_q \cdot \rho_q(z-\Delta z) \cdot V_q(z-\Delta z) + \frac{1}{2} W_{nq}(z) \right] + \\
&+ Q_q(z-\Delta z)
\end{aligned} \tag{E.04}$$

$$V_q(z) \cdot A_q \cdot \rho_q(z) - W_{nq}(z) = V_q(z-\Delta z) \cdot A_q \cdot \rho_q(z-\Delta z) \tag{E.05}$$

$$W_{nq}^n(z) = W_{nq}^{n-1}(z) + \frac{\bar{P}_q(z) - \bar{P}_n(z)}{C_{nq}} \tag{E.06}$$

Denotando-se A_q como A , H_q como H , V_q como V , W_{nq} como W , ρ_q como ρ , Q_q como Q ; considerando-se (z) como $(j+1)$ e $(z-\Delta z)$ como (j) , e escrevendo-se as equações (E.04) a (E.06) na forma matricial, tem-se

$$\begin{vmatrix} A\rho_j V_j + \frac{1}{2} W_j & 0 & 0 \\ 0 & A\rho_{j+1} & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \neq \begin{vmatrix} H_{j+1} \\ V_{j+1} \\ W_{j+1} \end{vmatrix} =$$

$$\begin{vmatrix} A\rho_j V_j & 0 & 0 \\ 0 & A\rho_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \approx \begin{vmatrix} H_j \\ V_j \\ W_j \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} Q_j \\ 0 \\ \frac{\bar{P}_{qj+1} - \bar{P}_{nj+1}}{Cnq} + W_{nqj+1}^{n-1} \end{vmatrix} \quad (\text{E. 07})$$

ou então,

$$\begin{vmatrix} a_{11j} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22j+1} & a_{23} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{vmatrix} \approx \begin{vmatrix} H_{j+1} \\ V_{j+1} \\ W_{j+1} \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} b_{11j} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22j+1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \approx \begin{vmatrix} H_j \\ V_j \\ W_j \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} C_{1j} \\ 0 \\ C_{3j+1} \end{vmatrix} \quad (\text{E. 08})$$

que comparado as equações (A. 04) a (A. 08) tem-se:

$$A_{j,j+1} = \begin{vmatrix} A\rho_j V_j + \frac{1}{2} W_j & 0 & 0 \\ 0 & A\rho_j & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11j} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22j+1} & a_{23} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{vmatrix} \quad (\text{E. 09})$$

$$\tilde{B}_j = \begin{vmatrix} A\rho_j V_j & 0 & 0 \\ 0 & A\rho_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11j} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22j} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (E.10)$$

$$\tilde{C}_{j,j+1} = \begin{vmatrix} Q_j & \\ & 0 \\ \frac{\bar{P}_{qj+1} - \bar{P}_{nj+1}}{Cnq} + W_{nqj+1}^{n-1} & \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{1j} \\ 0 \\ C_{3j+1} \end{vmatrix} \quad (E.11)$$

$$\tilde{F}_{j+1} = \begin{vmatrix} H_{j+1} \\ V_{j+1} \\ W_{j+1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} F_{1j+1} \\ F_{2j+1} \\ F_{3j+1} \end{vmatrix} \quad (E.12)$$

$$\tilde{F}_j = \begin{vmatrix} H_j \\ V_j \\ W_j \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} F_{1j} \\ F_{2j} \\ F_{3j} \end{vmatrix} \quad (E.13)$$

Derivando-se o sistema (E.08) em relação a um parâmetro arbitrário p , para a equação i ($i = 1$ a 3) do sistema, vem:

$$\begin{aligned}
& a_{i1} \cdot \frac{\partial CH_{j+1}}{\partial p} + H_{j+1} \left[\frac{\partial a_{i1}}{\partial p} + \left(\frac{\partial a_{i1}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} \right) \right. \\
& \left. + \frac{\partial a_{i1}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right] + a_{i2} \cdot \frac{\partial CV_{j+1}}{\partial p} + V_{j+1} \left[\frac{\partial a_{i2}}{\partial p} + \left(\frac{\partial a_{i2}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} \right) \right. \\
& \left. + \frac{\partial a_{i2}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right] + a_{i3} \cdot \frac{\partial CW_{j+1}}{\partial p} + \\
& + W_{j+1} \left[\frac{\partial a_{i3}}{\partial p} + \left(\frac{\partial a_{i3}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} \right) \right. \\
& \left. + \frac{\partial a_{i3}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right] = b_{i1} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + H_j \cdot \left[\frac{\partial b_{i1}}{\partial p} + \left(\frac{\partial b_{i1}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} \right) \right. \\
& \left. + \frac{\partial b_{i1}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} \\
& \cdot \left[\frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right] + b_{i2} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + v_j \cdot \left[\frac{\partial b_{i2}}{\partial p} + \left(\frac{\partial b_{i2}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i2}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right) \right] + b_{i3} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} + w_j \cdot \left[\frac{\partial b_{i3}}{\partial p} + \left(\frac{\partial b_{i3}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right) \right] + \\
& \cdot \left[\frac{\partial b_{i3}}{\partial p} + \left(\frac{\partial b_{i3}}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p} \right) \right] + \\
& + \frac{\partial c_i}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial H_{j+1}} \cdot \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial V_{j+1}} \cdot \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial W_{j+1}} \cdot \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial H_j} \cdot \frac{\partial H_j}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial V_j} \cdot \frac{\partial V_j}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial W_j} \cdot \frac{\partial W_j}{\partial p}
\end{aligned}$$

(E.14)

Agrupando-se os termos que envolvam as derivadas em relação ao parâmetro p , das componentes das matrizes F_{j+1} e F_j , tem-se:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial H_{j+1}}{\partial p} \cdot \left[a_{i1} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial H_{j+1}} \cdot H_{j+1} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial H_{j+1}} \cdot V_{j+1} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial H_{j+1}} \cdot W_{j+1} - \right. \\ & \left. - \frac{\partial b_{i1}}{\partial H_{j+1}} \cdot H_j - \frac{\partial b_{i2}}{\partial H_{j+1}} \cdot V_j - \frac{\partial b_{i3}}{\partial H_{j+1}} \cdot W_j - \frac{\partial c_i}{\partial H_{j+1}} \right] + \\ & + \frac{\partial V_{j+1}}{\partial p} \cdot \left[a_{i2} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial V_{j+1}} \cdot H_{j+1} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial V_{j+1}} \cdot V_{j+1} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial V_{j+1}} \cdot W_{j+1} - \right. \\ & \left. - \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_{j+1}} \cdot H_j - \frac{\partial b_{i2}}{\partial V_{j+1}} \cdot V_j - \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_{j+1}} \cdot W_j - \frac{\partial c_i}{\partial V_{j+1}} \right] + \\ & + \frac{\partial W_{j+1}}{\partial p} \cdot \left[a_{i3} + \frac{\partial a_{i1}}{\partial W_{j+1}} \cdot H_{j+1} + \frac{\partial a_{i2}}{\partial W_{j+1}} \cdot V_{j+1} + \frac{\partial a_{i3}}{\partial W_{j+1}} \cdot W_{j+1} - \right. \\ & \left. - \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_{j+1}} \cdot H_j - \frac{\partial b_{i2}}{\partial W_{j+1}} \cdot V_j - \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_{j+1}} \cdot W_j - \frac{\partial c_i}{\partial W_{j+1}} \right] = \frac{\partial H_j}{\partial p} \cdot \\ & \cdot \left[b_{i1} - \frac{\partial a_{i1}}{\partial H_j} \cdot H_{j+1} - \frac{\partial a_{i2}}{\partial H_j} \cdot V_{j+1} - \frac{\partial a_{i3}}{\partial H_j} \cdot W_{j+1} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial b_{i1}}{\partial H_j} H_j + \frac{\partial b_{i2}}{\partial H_j} V_j + \frac{\partial b_{i3}}{\partial H_j} W_j + \frac{\partial c_i}{\partial H_j} \left] + \frac{\partial V_j}{\partial p} \cdot \left[b_{i2} - \right. \right. \\
& - \frac{\partial a_{i1}}{\partial V_j} \cdot H_{j+1} - \frac{\partial a_{i2}}{\partial V_j} V_{j+1} - \frac{\partial a_{i3}}{\partial V_j} W_{j+1} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial V_j} H_j + \\
& + \frac{\partial b_{i2}}{\partial V_j} V_j + \frac{\partial b_{i3}}{\partial V_j} W_j + \frac{\partial c_i}{\partial V_j} \left] + \frac{\partial W_j}{\partial p} \cdot \left[b_{i3} - \frac{\partial a_{i1}}{\partial W_j} \cdot H_{j+1} - \right. \right. \\
& - \frac{\partial a_{i2}}{\partial W_j} V_{j+1} - \frac{\partial a_{i3}}{\partial W_j} W_{j+1} + \frac{\partial b_{i1}}{\partial W_j} H_j + \frac{\partial b_{i2}}{\partial W_j} V_j + \\
& + \frac{\partial b_{i3}}{\partial W_j} W_j + \frac{\partial c_i}{\partial W_j} \left] - H_{j+1} \cdot \frac{\partial a_{i1}}{\partial p} - V_{j+1} \cdot \frac{\partial a_{i2}}{\partial p} - W_{j+1} \cdot \right. \\
& \cdot \frac{\partial a_{i3}}{\partial p} + H_j \cdot \frac{\partial b_{i1}}{\partial p} + V_j \cdot \frac{\partial b_{i2}}{\partial p} + W_j \cdot \frac{\partial b_{i3}}{\partial p} + \frac{\partial c_i}{\partial p}
\end{aligned}$$

(E.15)

Que pode ser escrito como:

$$\begin{aligned}
& \alpha_{11,j,j+1} \frac{H_{j+1}}{p} + \alpha_{12,j,j+1} \frac{V_{j+1}}{p} + \alpha_{13,j,j+1} \frac{W_{j+1}}{p} = \\
& = \beta_{11,j,j+1} \frac{H_j}{p} + \beta_{12,j,j+1} \frac{V_j}{p} + \beta_{13,j,j+1} \frac{W_j}{p} + \gamma_{1,j,j+1}
\end{aligned}$$

(E.16)

$$\begin{aligned}
& \alpha_{21} \frac{H_{j+1}}{\rho} + \alpha_{22} \frac{V_{j+1}}{\rho} + \alpha_{23} \frac{W_{j+1}}{\rho} = \\
& = \beta_{21} \frac{H_j}{\rho} + \beta_{22} \frac{V_j}{\rho} + \beta_{23} \frac{W_j}{\rho} + \gamma_{2,j+1}
\end{aligned}
\tag{E.17}$$

$$\begin{aligned}
& \alpha_{31} \frac{H_{j+1}}{\rho} + \alpha_{32} \frac{V_{j+1}}{\rho} + \alpha_{33} \frac{W_{j+1}}{\rho} = \\
& = \beta_{31} \frac{H_j}{\rho} + \beta_{32} \frac{V_j}{\rho} + \beta_{33} \frac{W_j}{\rho} + \gamma_{3,j+1}
\end{aligned}
\tag{E.18}$$

ou na forma matricial:

$$\alpha_{i,j+1} \frac{F_{j+1}}{\rho} = \beta_{i,j+1} \frac{F_j}{\rho} + \gamma_{i,j+1}
\tag{E.19}$$

onde os a , b e c são dados pelas equações (4.07) a (4.27) e os α 's, β 's e γ 's (definidos através das equações (A.12), (A.13) e (A.14)) tornam-se:

$$\alpha_{11} = A \rho_j V_j + \frac{1}{2} W_{j+1}
\tag{E.20}$$

$$\alpha_{12} = 0
\tag{E.21}$$

$$\alpha_{13} = \frac{1}{2} (H_j - H_{j+1})
\tag{E.22}$$

$$\alpha_{21} = 0
\tag{E.23}$$

$$\alpha_{22} = A \rho_{j+1}
\tag{E.24}$$

$$\alpha_{23} = 1
\tag{E.25}$$

$$\alpha_{21} = 0 \quad (E. 26)$$

$$\alpha_{22} = -1 \quad (E. 27)$$

$$\alpha_{23} = 1 \quad (E. 28)$$

$$\beta_{11} = A \rho_j V_j + \frac{1}{2} W_{j+1} \quad (E. 29)$$

$$\beta_{12} = A \rho_j (H_j - H_{j+1}) \quad (E. 30)$$

$$\beta_{13} = 0 \quad (E. 31)$$

$$\beta_{21} = 0 \quad (E. 32)$$

$$\beta_{22} = A \rho_j \quad (E. 33)$$

$$\beta_{23} = 0 \quad (E. 34)$$

$$\beta_{31} = 0 \quad (E. 35)$$

$$\beta_{32} = 0 \quad (E. 36)$$

$$\beta_{33} = 1 \quad (E. 37)$$

$$\gamma_1 = A V_j (H_j - H_{j+1}) \quad (E. 38)$$

$$\gamma_2 = A V_j \quad (E. 39)$$

$$\gamma_3 = 0 \quad (E. 40)$$

Os α 's, β 's e γ 's são funções de H_{j+1} , H_j , V_j , e W_{j+1} , ou seja, das componentes dos vetores $\tilde{F}_{j+1}$ e $\tilde{F}_j$, evidenciando ser o sistema (E.19) linearmente dependente.

APENDICE F

OBTENÇÃO DO SISTEMA ADJUNTO PARA O MODELO DE DOIS CANAIS

Definindo-se um vetor adjunto de $[F_{j+1}]_p$ como sendo F_{j+1}^* , onde:

$$F_{j+1}^* = \begin{bmatrix} H_{j+1}^* \\ V_{j+1}^* \\ W_{j+1}^* \end{bmatrix} \quad (\text{F.01})$$

Lembrando que as equações (4.33) a (4.35) podem ser escritas como o sistema (4.36), isto é :

$$\alpha_{j,j+1} \cdot [F_{j+1}]_p = \beta_{j,j+1} \cdot [F_j]_p + \gamma_{j,j+1} \quad (\text{F.02})$$

Pré-multiplicando-se o sistema (F.02) por F_{j+1}^{*T} e somando-se um todo j , vem de acordo com a equação (B.02):

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{J-1} \left(F_{j+1}^* \right)^T \alpha_{j,j+1} \left(F_{j+1} \right)_p &= \sum_{j=0}^{J-1} \left(F_{j+1}^* \right)^T \beta_{j,j+1} \left(F_j \right)_p + \\ &+ \sum_{j=0}^{J-1} \left(F_{j+1}^* \right)^T \gamma_{j,j+1} \end{aligned} \quad (\text{F.03})$$

Transpondo-se (F.03) tem-se:

$$\sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_{j+1} \right)^T / \rho \underline{\alpha}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* = \sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* +$$

$$+ \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* \quad (\text{F.04})$$

ou

$$\sum_{j=0}^{J-1} \left(\underline{F}_{j+1} \right)^T / \rho \underline{\alpha}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* = \left(\underline{F}_0 \right)^T / \rho \underline{\beta}_{0,1}^T \underline{F}_1^* +$$

$$+ \sum_{j=1}^{J-1} \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* + \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* \quad (\text{F.05})$$

ou ainda:

$$\sum_{j=1}^{J-1} \left\{ \left(\underline{F}_j \right)^T / \rho \left[\underline{\alpha}_{j-1,j}^T \underline{F}_j^* - \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* \right] \right\} = \left(\underline{F}_0 \right)^T / \rho \underline{\beta}_{0,1}^T \underline{F}_1^* +$$

$$+ \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* - \left(\underline{F}_J \right)^T / \rho \underline{\alpha}_{J-1,J}^T \underline{F}_J^* \quad (\text{F.06})$$

Considerando-se

$$\underline{\alpha}_{j-1,j}^T \underline{F}_j^* = \underline{\beta}_{j,j+1}^T \underline{F}_{j+1}^* + \underline{G}_j^* \quad (\text{F.07})$$

Pode-se escrever para (F.06)

$$\sum_{j=0}^{J-1} \left\{ \left(\frac{F_j}{\rho} \right)^T \cdot \begin{bmatrix} G_j^* \end{bmatrix} \right\} = \left(\frac{F_0}{\rho} \right)^T \beta_{0,1}^T F_1^* + \sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* - \left(\frac{F_J}{\rho} \right)^T \alpha_{J-1,J}^T F_J^* \quad (F.08)$$

O sistema (F.07) pode ser escrito como:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{21} & \alpha_{31} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{32} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{bmatrix}_{j-1,j} \begin{bmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} & \beta_{31} \\ \beta_{12} & \beta_{22} & \beta_{32} \\ \beta_{13} & \beta_{23} & \beta_{33} \end{bmatrix}_{j,j+1} \begin{bmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \end{bmatrix}_{j+1} + \begin{bmatrix} G_1^* \\ G_2^* \\ G_3^* \end{bmatrix}_j \quad (F.09)$$

e utilizando-se as equações (E.20) a (E.40), tem-se:

$$\begin{bmatrix} A\rho_j V_j + \frac{1}{2} W_j & 0 & 0 \\ 0 & A\rho_{j+1} & -1 \\ \frac{1}{2} (H_j - H_{j+1}) & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_j^* \\ V_j^* \\ W_j^* \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} Ap_j V_j + \frac{1}{2} W_{j+1} & 0 & 0 \\ Ap_j (H_j - H_{j+1}) & Ap_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} H_{j+1}^* \\ V_{j+1}^* \\ W_{j+1}^* \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} G_{1j}^* \\ G_{2j}^* \\ G_{3j}^* \end{vmatrix} \quad (F.10)$$

Os componentes das matrizes α e β independem dos valores das componentes de F_{j+1}^* e F_j^* como demonstrado acima, e portanto o sistema (F.10) obtido através do processo descrito é linear.

APENDICE G

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE PARA O MÓDULO CONSIDERADO.

Lembrando-se a definição do coeficiente de sensibilidade obtida na equação (3.44), tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dp} = & \sum_{j=0}^{J-1} \left(\tilde{G}_j^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_j + \left(\tilde{G}_0^* \right)_{/p}^T \tilde{F}_0 + \left(\tilde{F}_0^T \right)_{/p} \tilde{\beta}_{0,1}^T \tilde{F}_1^* + \\ & + \sum_{j=0}^{J-1} \tilde{\gamma}_{j,j+1}^T \tilde{F}_{j+1}^* - \left(\tilde{F}_j \right)_{/p}^T \tilde{\alpha}_{j-1,j}^T \tilde{F}_j^* + \left(\tilde{G}_j^* \right) \left(\tilde{F}_j \right)_{/p} \end{aligned} \quad (G.01)$$

Os dois primeiros termos da equação (G.01) dependem da matriz $\tilde{G}^*$, a qual está associada a definição do funcional a ser analisado. De acordo com a escolha feita para o funcional de interesse, facilmente se determina a matriz $\tilde{G}^*$, e os valores dos dois primeiros termos da equação (G.01) são avaliados pelo produto matricial neles contido.

O terceiro termo da equação (G.01) depende do parâmetro arbitrário, e o resultado do produto de matrizes, torna-se diferente para cada parâmetro escolhido na análise pretendida.

O quarto termo $\sum_{j=0}^{J-1} \gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^*$ é facilmente determinado considerando-se:

$$\gamma_{j,j+1}^T = \begin{bmatrix} \gamma_{1,j+1} \\ \gamma_{2,j+1} \\ \gamma_{3,j+1} \end{bmatrix} \quad (G.02)$$

$$\gamma_{j,j+1}^T = [\gamma_{1,j+1} \quad \gamma_{2,j+1} \quad \gamma_{3,j+1}] \quad (G.03)$$

resultando para o produto matricial:

$$\gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* = [\gamma_{1,j+1} \quad \gamma_{2,j+1} \quad \gamma_{3,j+1}] \cdot \begin{bmatrix} H_{j+1}^* \\ V_{j+1}^* \\ W_{j+1}^* \end{bmatrix} \quad (G.04)$$

ou ainda,

$$\gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* = \left[\gamma_{1,j+1} H_{j+1}^* + \gamma_{2,j+1} V_{j+1}^* + \gamma_{3,j+1} W_{j+1}^* \right] \quad (G.05)$$

De acordo com (E.38) a (E.40) tem-se então:

$$\gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* = AV_j (CH_j - H_{j+1}) H_{j+1}^* + AV_j V_{j+1} + 0$$

(G.06)

ou ainda,

$$\gamma_{j,j+1}^T F_{j+1}^* = AV_j \left[H_{j+1}^* (CH_j - H_{j+1}) + V_{j+1}^* \right]$$

(G.07)

Os termos $\left(F_j \right)_{/p}^T \alpha_{j-1,j}^T F_j^*$ e $\left(G_j^* \right)^T \left(F_j \right)_{/p}$ desaparecem visto a matriz $\left(F_j \right)_{/p}$ ser nula, ou seja, F_j não depende dos parâmetros analisados.

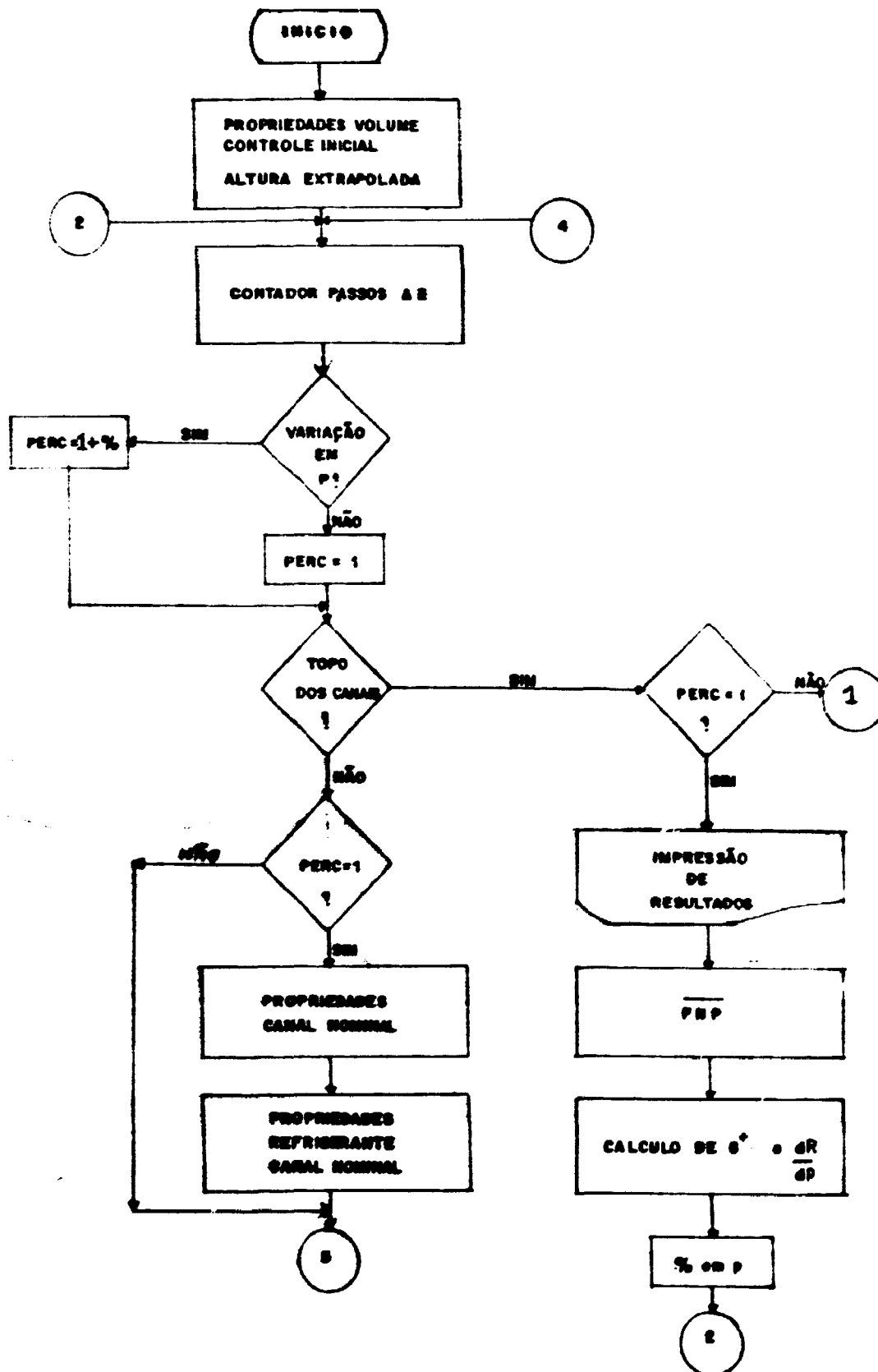
Desta forma o coeficiente de sensibilidade torna-se:

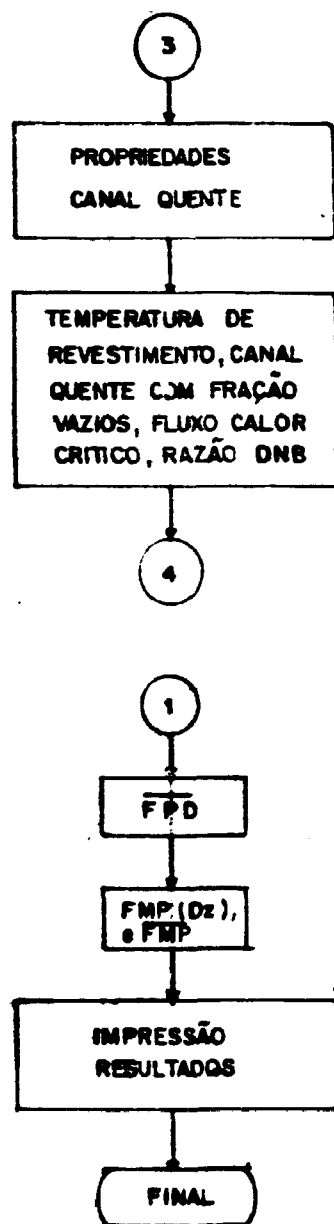
$$\begin{aligned} \frac{dR}{dp} = & \sum_{j=0}^{J-1} \left(G_j^* \right)_{/p}^T F_j + G_0^T \left(F_0^* \right)_{/p} + \left(F_0 \right)_{/p}^T \beta_{0,1}^T F_1^* + \\ & + \sum_{j=0}^{J-1} AV_j \left[H_{j+1}^* (CH_j - H_{j+1}) + V_{j+1}^* \right] \end{aligned} \quad (G.08)$$

APENDICE H

DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DO PROGRAMA CASNUR.FOR

Para obter-se os resultados de interesse, foi desenvolvido um programa em FORTRAN, cujo diagrama simplificado de blocos encontra-se a seguir:





APENDICE I

SAIDA TIPICA DE RESULTADOS - CASO EXEMPLO

Os resultados que se seguem, dizem respeito ao funcional entalpia média do refrigerante no canal quente, com relação ao parâmetro massa específica no canal quente com uma variação percentual de + 5%.

As tabela I.01 e I.02 contém os dados relativos ao método direto, sem perturbação do parâmetro.

A tabela I.03 nos dá os resultados da função adjunta nos nodos e nos volumes de controle, bem como o coeficiente de sensibilidade e o termo de fonte da equação adjunta.

As tabelas I.04 e I.05 contém os resultados pelo método direto com variação no parâmetro de análise.

A tabela I.06 contém as distribuições ao longo do canal do funcional em estudo, obtidas pelos métodos direto e de perturbação.

Tabela I.01

TABELA DE RESULTADOS

POSICAO AXIAL	QUEDA PRESSAO CANAL MONTADA (PSIA)	QUEDA PRESSAO CANAL QUINTA (PSIA)	FLUIDO MASSA CANAL QUINTA (LBM/HR.FT2)	CROSS-SECTION CANAL QUINTA (LBM/HR)	TEMPERATURA PARQUE (F)	TITULO CANAL QUINTA	RAZAO DE DNR
0.2857143E+01	0.1968007E+01	0.1968139E+01	0.2560525E+07	-0.2128459E+01	0.5587883E+03	-0.3409248E+00	0.2178761E+01
0.5711286E+01	0.2247514E+01	0.2247764E+01	0.2560691E+07	0.1446330E+00	0.5660975E+03	-0.3384109E+00	0.2120400E+01
0.8571429E+01	0.2526200E+01	0.2526322E+01	0.2570247E+07	0.4843224E+00	0.5737441E+03	-0.3347771E+00	0.2068318E+01
0.1142857E+00	0.2804093E+01	0.2804345E+01	0.2570629E+07	0.3319798E+00	0.5817863E+03	-0.3294571E+00	0.2051424E+01
0.1428571E+00	0.5781841E+01	0.5782225E+01	0.2568288E+07	-0.2055260E+01	0.5870654E+03	-0.3226437E+00	0.2055647E+01
0.1714286E+00	0.6058327E+01	0.6057848E+01	0.2568751E+07	0.4284801E+00	0.5925010E+03	-0.3145327E+00	0.2149745E+01
0.2000000E+00	0.8334182E+01	0.8334929E+01	0.2569849E+07	0.9562798E+00	0.6070379E+03	-0.3050444E+00	0.2218311E+01
0.2285714E+00	0.6609400E+01	0.660913E+01	0.2570347E+07	0.4336524E+00	0.6156168E+03	-0.2943609E+00	0.2350401E+01
0.2571429E+00	0.6884188E+01	0.6884555E+01	0.2571406E+07	0.9270321E+00	0.6241487E+03	-0.2847455E+00	0.2467509E+01
0.2857143E+00	0.9897374E+01	0.9897118E+01	0.2563067E+07	-0.7260169E+01	0.6327430E+03	-0.2760607E+00	0.2567541E+00
0.3142857E+00	0.1017151E+02	0.1017165E+02	0.2564478E+07	0.9231445E+00	0.6410026E+03	-0.2654754E+00	0.2612305E+00
0.3428571E+00	0.1046599E+02	0.1046523E+02	0.2564748E+07	0.5402077E+00	0.6490040E+03	-0.254713E+00	0.2709213E+00
0.3714286E+00	0.1071942E+02	0.1071978E+02	0.2557276E+07	-0.6505076E+01	0.6578450E+03	-0.2435213E+00	0.2810015E+00
0.4000000E+00	0.1090031E+02	0.1090317E+02	0.2556083E+07	-0.1034868E+01	0.6577370E+03	-0.2344605E+00	0.2903444E+01
0.4285714E+00	0.1406748E+02	0.1406824E+02	0.2535911E+07	-0.1756202E+02	0.6577370E+03	-0.2240231E+00	0.3004405E+00
0.4571429E+00	0.1434736E+02	0.1434736E+02	0.2534535E+07	-0.1197853E+01	0.6577370E+03	-0.2135105E+00	0.3104405E+00
0.4857143E+00	0.1461724E+02	0.1461756E+02	0.2532990E+07	-0.1345046E+01	0.6577370E+03	-0.2030670E+01	0.3203250E+01
0.5142857E+00	0.1489262E+02	0.1489241E+02	0.2530460E+07	-0.2201072E+01	0.6577017E+03	-0.1936770E+01	0.3303250E+01
0.5428571E+00	0.1516859E+02	0.1516893E+02	0.2527606E+07	-0.2494823E+01	0.6576710E+03	-0.1844405E+00	0.3403250E+01
0.5714286E+00	0.1832447E+02	0.1832464E+02	0.2495024E+07	-0.2836643E+01	0.6574554E+03	-0.1744405E+00	0.3503250E+01
0.6000000E+00	0.1860223E+02	0.1860256E+02	0.2491492E+07	-0.3074755E+01	0.6573107E+03	-0.1644405E+00	0.3603250E+01
0.6285714E+00	0.1888035E+02	0.1888016E+02	0.2488844E+07	-0.8920841E+01	0.6572403E+03	-0.1544405E+00	0.3703250E+01
0.6571429E+00	0.1915424E+02	0.1915458E+02	0.2474597E+07	-0.8920841E+01	0.6572403E+03	-0.1444405E+00	0.3803250E+01
0.6857143E+00	0.1943440E+02	0.1943469E+02	0.2464664E+07	-0.8663331E+01	0.6572403E+03	-0.1344405E+00	0.3903250E+01
0.7142857E+00	0.2268212E+02	0.2268231E+02	0.2404288E+07	-0.4210050E+02	0.6569246E+03	-0.1244405E+00	0.4003250E+01
0.7428571E+00	0.2286310E+02	0.2286291E+02	0.2409585E+07	-0.5835775E+01	0.6569246E+03	-0.1144405E+00	0.4103250E+01
0.7714286E+00	0.2324406E+02	0.2324410E+02	0.2404105E+07	-0.4771330E+01	0.6569246E+03	-0.1044405E+00	0.4203250E+01
0.8000000E+00	0.2352704E+02	0.2352687E+02	0.2395319E+07	-0.4165575E+01	0.6569246E+03	-0.0944405E+00	0.4303250E+01
0.8285714E+00	0.2380972E+02	0.2380972E+02	0.2351670E+07	-0.3840504E+02	0.6560233E+03	0.1210804E+01	0.4403250E+01
0.8571429E+00	0.2711726E+02	0.2711704E+02	0.2351670E+07	-0.1427405E+01	0.6567458E+03	0.1410517E+01	0.4503250E+01
0.8857143E+00	0.2780054E+02	0.2780064E+02	0.2353309E+07	0.1942461E+01	0.6567458E+03	0.2255624E+01	0.4603250E+01
0.9142857E+00	0.2768398E+02	0.2768377E+02	0.2355566E+07	0.1942461E+01	0.6567458E+03	0.2255624E+01	0.4703250E+01
0.9428571E+00	0.2796751E+02	0.2796760E+02	0.2358001E+07	0.2112333E+01	0.6567458E+03	0.2413610E+01	0.4803250E+01
0.9714286E+00	0.2925106E+02	0.2925084E+02	0.2359812E+07	0.1566617E+01	0.6567458E+03	0.2413610E+01	0.4903250E+01
0.1000000E+01	0.3157457E+02	0.3157400E+02	0.2330715E+07	-0.25333203E+02	0.6562644E+03	0.2471614E+01	0.5003250E+01

ATINGIU-SE O TIPO DOS CANAIS 11

MINIMA RAZAO DE DNR = 0.2051424E+01

POSICAO AXIAL DE MINIMA RAZAO DE DNR = 0.6000000E+00

Tabela 1.02

TABELA DE RESULTADOS
=====

POSICAO ALAR.	ENTALPIA CANAL QUENTE (RTU/LRM)	TEMPERATURA CANAL QUENTE (F)	DENSIDADE CANAL QUENTE (LRM/FT ³)	ENTALPIA CANAL FOMINAR (RTU/LRM)	TEMPERATURA CANAL FOMINAR (F)	DENSIDADE CANAL FOMINAR (LRM/FT ³)	FRACAO VAZIOS CANAL QUENTE
0.2457143E+01	0.5498349E+03	0.5521682E+03	0.4648578E+02	0.5497218E+03	0.5496535E+03	0.4663352E+02	0.0000000E+00
0.5714286E+01	0.5508227E+03	0.5529120E+03	0.4644158E+02	0.5503555E+03	0.5501127E+03	0.4660670E+02	0.0000000E+00
0.8571428E+01	0.5524528E+03	0.5541438E+03	0.4636822E+02	0.5514055E+03	0.5508736E+03	0.4656710E+02	0.0000000E+00
0.1142857E+00	0.5547148E+03	0.5558522E+03	0.4626548E+02	0.5528629E+03	0.5519296E+03	0.4649944E+02	0.0000000E+00
0.1428571E+00	0.5575907E+03	0.5585027E+03	0.4613348E+02	0.5547149E+03	0.5537717E+03	0.4640207E+02	0.0000000E+00
0.1714286E+00	0.5610558E+03	0.5606341E+03	0.4597223E+02	0.5569457E+03	0.5548844E+03	0.4632356E+02	0.0000000E+00
0.2000000E+00	0.5644791E+03	0.5636616E+03	0.4578198E+02	0.5595359E+03	0.5567651E+03	0.4621015E+02	0.0000000E+00
0.2245714E+00	0.5689272E+03	0.5679757E+03	0.4556288E+02	0.5624632E+03	0.5585554E+03	0.4608011E+02	0.0000000E+00
0.2571428E+00	0.5744493E+03	0.5704437E+03	0.4531509E+02	0.5657023E+03	0.5612336E+03	0.4593145E+02	0.0000000E+00
0.2857143E+00	0.5801245E+03	0.5749361E+03	0.4503841E+02	0.5692753E+03	0.5637664E+03	0.4577406E+02	0.0000000E+00
0.3142857E+00	0.5860019E+03	0.5793334E+03	0.4473310E+02	0.5730017E+03	0.5665240E+03	0.4559458E+02	0.0000000E+00
0.3428571E+00	0.5922207E+03	0.5839249E+03	0.4440022E+02	0.5769949E+03	0.5694194E+03	0.4540051E+02	0.0000000E+00
0.3714286E+00	0.5987342E+03	0.5897315E+03	0.4416130E+02	0.5811824E+03	0.5723510E+03	0.4520744E+02	0.1225055E+01
0.4000000E+00	0.6055017E+03	0.5964598E+03	0.4315578E+02	0.5855161E+03	0.5755914E+03	0.4490314E+02	0.1444036E+01
0.4285714E+00	0.6124642E+03	0.6007342E+03	0.4265640E+02	0.5894526E+03	0.5784145E+03	0.4470414E+02	0.1714004E+01
0.4571429E+00	0.6195034E+03	0.6034682E+03	0.4213182E+02	0.5944834E+03	0.5820844E+03	0.4454341E+02	0.2033685E+01
0.4857143E+00	0.6267542E+03	0.6088602E+03	0.4157925E+02	0.5990396E+03	0.5855341E+03	0.4429012E+02	0.2377407E+01
0.5142857E+00	0.6330332E+03	0.6139784E+03	0.4099981E+02	0.6035917E+03	0.5884555E+03	0.4403371E+02	0.2770237E+01
0.5428571E+00	0.6410451E+03	0.6194633E+03	0.4039291E+02	0.6081005E+03	0.5919540E+03	0.4370021E+02	0.3149773E+01
0.5714286E+00	0.6498777E+03	0.6235844E+03	0.3973178E+02	0.6125271E+03	0.5951545E+03	0.4353144E+02	0.3744095E+01
0.6000000E+00	0.6593968E+03	0.6280030E+03	0.3906081E+02	0.6168433E+03	0.5972549E+03	0.4327947E+02	0.4404672E+01
0.6285714E+00	0.6684270E+03	0.6323071E+03	0.3829441E+02	0.6209816E+03	0.6012941E+03	0.4302733E+02	0.5065490E+01
0.6571429E+00	0.6679410E+03	0.6363909E+03	0.3735828E+02	0.6249366E+03	0.6021549E+03	0.4274027E+02	0.7100070E+01
0.6857143E+00	0.6740057E+03	0.6397116E+03	0.3649830E+02	0.6286530E+03	0.6025570E+03	0.4259115E+02	0.8665564E+01
0.7142857E+00	0.6796746E+03	0.6424612E+03	0.3570624E+02	0.6321314E+03	0.6029370E+03	0.4231401E+02	0.1012532E+00
0.7428571E+00	0.6849290E+03	0.6456528E+03	0.3498969E+02	0.6351092E+03	0.6116473E+03	0.4210045E+02	0.1143010E+00
0.7714286E+00	0.6896710E+03	0.6479668E+03	0.3436198E+02	0.6381698E+03	0.6137528E+03	0.4190515E+02	0.1271923E+00
0.8000000E+00	0.6938551E+03	0.6498906E+03	0.3342413E+02	0.6406884E+03	0.6155714E+03	0.4172931E+02	0.1400337E+00
0.8285714E+00	0.6974413E+03	0.6514458E+03	0.3317621E+02	0.6428435E+03	0.6171340E+03	0.4157649E+02	0.1473436E+00
0.8571429E+00	0.7004211E+03	0.6529245E+03	0.3301196E+02	0.6446163E+03	0.6181717E+03	0.4139258E+02	0.1550490E+00
0.8857143E+00	0.7027534E+03	0.6542927E+03	0.3280277E+02	0.6459915E+03	0.6191118E+03	0.4130970E+02	0.1611412E+00
0.9142857E+00	0.7043901E+03	0.6559900E+03	0.3267865E+02	0.6469573E+03	0.6201110E+03	0.4127513E+02	0.1653157E+00
0.9428571E+00	0.7053174E+03	0.6572885E+03	0.3260374E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123849E+02	0.1678508E+00
0.9714286E+00	0.7053179E+03	0.6572886E+03	0.3257100E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123849E+02	0.1678508E+00
0.1000000E+01	0.7053179E+03	0.6572886E+03	0.3259245E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123849E+02	0.1678508E+00

Tabela 1.04

TABELA DE RESULTADOS

POSICAO ANIL	QUEDA PRESSAO CANAL. MONTAL	QUEDA PRESSAO CANAL. QUENTE	FLUXO MASSA CANAL. QUENTE	CROSSFLOW CANAL. QUENTE	TEMPERATURA PARQUE	TITULO CANAL. QUENTE	RAZAO DE DNR
	(PSIA)	(PSIA)	(LBM/HR. FT2)	(LBM/HR)	(F)		
0.2857143F+01	0.1968007F+01	0.1968127F+01	0.2671126F+07	-0.6916240F+02	0.5545754F+03	-0.3409510F+00	0.2180574F+01
0.5714286F+01	0.2247514F+01	0.2247515F+01	0.2619290F+07	-0.1509522F+01	0.5754714F+03	-0.3346414F+00	0.2120037F+01
0.8571429F+01	0.2526200F+01	0.2526332F+01	0.2617764F+07	-0.1335974F+01	0.5734523F+03	-0.3340100F+00	0.2071440F+01
0.1142857F+00	0.2804093F+01	0.2804095F+01	0.2616319F+07	-0.1235596F+01	0.5413167F+03	-0.3290434F+00	0.2050027F+01
0.1428571F+00	0.5701881F+01	0.5702000F+01	0.2593351F+07	-0.1985382F+02	0.5847900F+03	-0.3230225F+00	0.2703154F+01
0.1714286F+00	0.4058327F+01	0.4058314F+01	0.2593272F+07	-0.2486945F+00	0.5900031F+03	-0.3149411F+00	0.2703154F+01
0.2000000F+00	0.4334142F+01	0.4334273F+01	0.2593110F+07	-0.1033930F+00	0.6045455F+03	-0.3054714F+00	0.2703154F+01
0.2285714F+00	0.6609400F+01	0.6609394F+01	0.2592929F+07	-0.1572090F+00	0.6150985F+03	-0.2994854F+00	0.2703154F+01
0.2571429F+00	0.6884148F+01	0.6884148F+01	0.2592846F+07	-0.7230550F+01	0.6735710F+03	-0.2832633F+00	0.2703154F+01
0.2857143F+00	0.9807374F+01	0.9807370F+01	0.2575272F+07	-0.1533852F+02	0.6327730F+03	-0.2700704F+00	0.2703154F+01
0.3142857F+00	0.1017151F+02	0.1017140F+02	0.2575640F+07	0.3592473F+00	0.7300005F+03	-0.2547111F+00	0.2703154F+01
0.3428571F+00	0.1044540F+02	0.1044548F+02	0.2575900F+07	0.3045103F+00	0.6304062F+03	-0.2421501F+00	0.2703154F+01
0.3714286F+00	0.1071954F+02	0.1071954F+02	0.2568016F+07	-0.6942746F+01	0.6570000F+03	-0.2260475F+00	0.2703154F+01
0.4000000F+00	0.1099341F+02	0.1099340F+02	0.2566599F+07	-0.1233542F+01	0.657304F+03	-0.2110414F+00	0.2703154F+01
0.4285714F+00	0.1406740F+02	0.1406803F+02	0.2542101F+07	-0.2132933F+02	0.6577174F+03	-0.1947111F+00	0.2703154F+01
0.4571429F+00	0.1434235F+02	0.1434235F+02	0.2540677F+07	-0.1239785F+01	0.6577370F+03	-0.1769225F+00	0.2703154F+01
0.4857143F+00	0.1490262F+02	0.1490260F+02	0.2536274F+07	-0.2221779F+01	0.6577248F+03	-0.1611501F+00	0.2703154F+01
0.5142857F+00	0.1516959F+02	0.1516971F+02	0.2533161F+07	-0.2709207F+01	0.6576710F+03	-0.1443425F+00	0.2703154F+01
0.5428571F+00	0.1832187F+02	0.1832487F+02	0.2498985F+07	-0.2975417F+02	0.6574555F+03	-0.1111505F+00	0.2703154F+01
0.5714286F+00	0.1860223F+02	0.1860235F+02	0.2495320F+07	-0.3190396F+01	0.6573969F+03	-0.0940750F+01	0.2703154F+01
0.6000000F+00	0.1915021F+02	0.1915035F+02	0.2488266F+07	-0.6141712F+01	0.6573147F+03	-0.7435100F+01	0.2703154F+01
0.6285714F+00	0.1943800F+02	0.1943891F+02	0.2477892F+07	-0.9031058F+01	0.6572903F+03	-0.6430854F+01	0.2703154F+01
0.6571429F+00	0.2268202F+02	0.2268209F+02	0.2468068F+07	-0.8553039F+01	0.6572912F+03	-0.5026577F+01	0.2703154F+01
0.6857143F+00	0.2296310F+02	0.2296313F+02	0.2418945F+07	-0.4273181F+02	0.6572923F+03	-0.3605010F+01	0.2703154F+01
0.7142857F+00	0.2324100F+02	0.2324100F+02	0.2412409F+07	-0.5724493F+01	0.6544735F+03	-0.2460711F+01	0.2703154F+01
0.7428571F+00	0.2352700F+02	0.2352708F+02	0.2406791F+07	-0.4891502F+01	0.6544735F+03	-0.1446720F+01	0.2703154F+01
0.7714286F+00	0.2711725F+02	0.2711725F+02	0.2354200F+07	-0.3850102F+02	0.6544735F+03	-0.3438054F+02	0.2703154F+01
0.8000000F+00	0.2740054F+02	0.2740042F+02	0.2355063F+07	0.7511414F+00	0.6544735F+03	0.3746620F+02	0.2703154F+01
0.8285714F+00	0.2768309F+02	0.2768309F+02	0.2357459F+07	0.2066753F+01	0.6544735F+03	0.3746620F+02	0.2703154F+01
0.8571429F+00	0.2796751F+02	0.2796730F+02	0.2350754F+07	0.1997250F+01	0.6544735F+03	0.2111337F+01	0.2703154F+01
0.8857143F+00	0.2825105F+02	0.2825104F+02	0.2361643F+07	0.1644913F+01	0.6544735F+03	0.2324354F+01	0.2703154F+01
0.9142857F+00	0.1574555F+02	0.1574555F+02	0.2332309F+07	-0.2553819F+02	0.6544735F+03	0.2324354F+01	0.2703154F+01

ATTENCAO: SE O TOPO DOS CANAIS II

MINIMA RAZAO DE DNR = 0.2059928F+01

POSTICAO ANIL DE MINIMA RAZAO DE DNR = 0.6000000F+00

TABELA DE RESULTADOS

=====

POSICAO AXIAL	ENTALPIA CANAL QUENTE (RTU/LBM)	TEMPERATURA CANAL QUENTE (F)	DENSIDADE CANAL QUENTE (LBM/FT3)	ENTALPIA CANAL NOMINAL (RTU/LBM)	TEMPERATURA CANAL NOMINAL (F)	DENSIDADE CANAL NOMINAL (LBM/FT3)	FRACAO VAZIOS CANAL QUENTE
0.2957143E+01	0.5498276E+03	0.5521597E+03	0.4648627E+02	0.5497218E+03	0.5496535E+03	0.4663352E+02	0.0000000E+00
0.5714286E+01	0.5507025E+03	0.5528997E+03	0.4644303E+02	0.5503555E+03	0.5501127E+03	0.4660670E+02	0.0000000E+00
0.8571429E+01	0.5523924E+03	0.5540982E+03	0.4637095E+02	0.5514055E+03	0.5518736E+03	0.4656210E+02	0.0000000E+00
0.1142857E+02	0.5546142E+03	0.5557762E+03	0.4627007E+02	0.5528629E+03	0.5519296E+03	0.4649988E+02	0.0000000E+00
0.1428571E+02	0.5574500E+03	0.5579168E+03	0.4613992E+02	0.5547149E+03	0.5532717E+03	0.4642024E+02	0.0000000E+00
0.1714286E+02	0.5608428E+03	0.5605038E+03	0.4598033E+02	0.5569457E+03	0.5544882E+03	0.4632158E+02	0.0000000E+00
0.2000000E+02	0.5648681E+03	0.5635036E+03	0.4579200E+02	0.5595359E+03	0.5567651E+03	0.4621015E+02	0.0000000E+00
0.2285714E+02	0.5693722E+03	0.5668879E+03	0.4557506E+02	0.5624632E+03	0.5588864E+03	0.4608011E+02	0.0000000E+00
0.2571429E+02	0.5743564E+03	0.5706245E+03	0.4532969E+02	0.5657923E+03	0.5612336E+03	0.4593445E+02	0.0000000E+00
0.2857143E+02	0.5797960E+03	0.5746909E+03	0.4505522E+02	0.5692253E+03	0.5637163E+03	0.4577400E+02	0.0000000E+00
0.3142857E+02	0.5856433E+03	0.5790491E+03	0.4475182E+02	0.5730017E+03	0.5664230E+03	0.4559464E+02	0.0000000E+00
0.3428571E+02	0.5918379E+03	0.5836416E+03	0.4442102E+02	0.5769989E+03	0.5694195E+03	0.4540951E+02	0.0000000E+00
0.3714286E+02	0.5983274E+03	0.5884294E+03	0.4364235E+02	0.5811424E+03	0.5724510E+03	0.4520734E+02	0.1206244E+01
0.4000000E+02	0.6050673E+03	0.5933655E+03	0.4318864E+02	0.5855161E+03	0.5755913E+03	0.4493333E+02	0.3421636E+01
0.4285714E+02	0.6120076E+03	0.5984143E+03	0.4269126E+02	0.5899626E+03	0.5788135E+03	0.4476419E+02	0.1694648E+01
0.4571429E+02	0.6191049E+03	0.6035223E+03	0.4217018E+02	0.5944831E+03	0.5820494E+03	0.4453415E+02	0.1976427E+01
0.4857143E+02	0.6262624E+03	0.6096104E+03	0.4162135E+02	0.5990396E+03	0.5853410E+03	0.4429182E+02	0.2244380E+01
0.5142857E+02	0.6334198E+03	0.6136229E+03	0.4104526E+02	0.6035917E+03	0.5884396E+03	0.4404321E+02	0.2661320E+01
0.5428571E+02	0.6405169E+03	0.6185040E+03	0.4044406E+02	0.6081065E+03	0.5919559E+03	0.4374021E+02	0.3084718E+01
0.5714286E+02	0.6475362E+03	0.6232273E+03	0.3978785E+02	0.6125271E+03	0.5951636E+03	0.4353496E+02	0.3691533E+01
0.6000000E+02	0.6544163E+03	0.6277368E+03	0.3912355E+02	0.6168332E+03	0.5982849E+03	0.4327942E+02	0.4323085E+01
0.6285714E+02	0.6610587E+03	0.6319589E+03	0.3832783E+02	0.6204816E+03	0.6012910E+03	0.4302733E+02	0.5445403E+01
0.6571429E+02	0.6674135E+03	0.6358493E+03	0.3740732E+02	0.6244366E+03	0.6041569E+03	0.4278025E+02	0.7071761E+01
0.6857143E+02	0.6734270E+03	0.6393745E+03	0.3655197E+02	0.6284663E+03	0.6068579E+03	0.4254148E+02	0.8610855E+01
0.7142857E+02	0.6790842E+03	0.6425444E+03	0.3576346E+02	0.6321314E+03	0.6093706E+03	0.4231601E+02	0.1098841E+02
0.7428571E+02	0.6843372E+03	0.6453225E+03	0.3504975E+02	0.6353092E+03	0.6116733E+03	0.4210066E+02	0.1140461E+02
0.7714286E+02	0.6890737E+03	0.6476405E+03	0.3434212E+02	0.6381698E+03	0.6137162E+03	0.4189515E+02	0.1281870E+02
0.8000000E+02	0.6932531E+03	0.6491298E+03	0.3388772E+02	0.6406884E+03	0.6155713E+03	0.4172924E+02	0.1369081E+02
0.8285714E+02	0.6968335E+03	0.6511918E+03	0.3344075E+02	0.6428435E+03	0.6171330E+03	0.4157640E+02	0.1461085E+02
0.8571429E+02	0.6998114E+03	0.6524062E+03	0.3307696E+02	0.6446163E+03	0.6184176E+03	0.4144954E+02	0.1537265E+02
0.8857143E+02	0.7021420E+03	0.6529275E+03	0.3284193E+02	0.6459915E+03	0.6194414E+03	0.4134979E+02	0.1597615E+02
0.9142857E+02	0.7037774E+03	0.6529040E+03	0.3271920E+02	0.6469573E+03	0.6201140E+03	0.4127913E+02	0.1639902E+02
0.9428571E+02	0.7047014E+03	0.6528854E+03	0.3264507E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123684E+02	0.1664051E+02
0.9714286E+02	0.7047014E+03	0.6528854E+03	0.3261264E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123684E+02	0.1664051E+02
1.0000000E+02	0.7047014E+03	0.6528854E+03	0.3263427E+02	0.6475053E+03	0.6205111E+03	0.4123684E+02	0.1664051E+02

Tabela 1.05

Tabela I.06

TABELA DE RESULTADOS

- FUNCIONAL ANALISADO = NO -
 - PARAMETRO = NO -
 - VARIACAO DO PARAMETRO = 5.0% -

POSTCAO	FUNCIONAL	FUNC PERTURBADO	FUNC PERTURBADO
AXIAL	NÃO PERTURBADO	METODO DIRETO	MET. MATRICIAL
0.0000000E+00	0.5495100E+03	0.5495100E+03	0.5474964E+03
0.2857143E-01	0.5498388E+03	0.5498276E+03	0.5431626E+03
0.5714286E-01	0.5508227E+03	0.5507025E+03	0.5441727E+03
0.8571429E-01	0.5524528E+03	0.5523924E+03	0.5458131E+03
0.1142857E+00	0.5547148E+03	0.5546142E+03	0.5480896E+03
0.1428571E+00	0.5575907E+03	0.5574509E+03	0.5509641E+03
0.1714286E+00	0.5610558E+03	0.5608928E+03	0.5544721E+03
0.2000000E+00	0.5650781E+03	0.5648691E+03	0.5585213E+03
0.2285714E+00	0.5696274E+03	0.5693722E+03	0.5630967E+03
0.2571429E+00	0.5746493E+03	0.5743564E+03	0.5681588E+03
0.2857143E+00	0.5801245E+03	0.5797060E+03	0.5736732E+03
0.3142857E+00	0.5860018E+03	0.5856443E+03	0.5794940E+03
0.3428571E+00	0.5922707E+03	0.5918379E+03	0.5856503E+03
0.3714286E+00	0.5987382E+03	0.5983274E+03	0.5924693E+03
0.4000000E+00	0.6055012E+03	0.6050623E+03	0.5993172E+03
0.4285714E+00	0.6124692E+03	0.6120078E+03	0.6063564E+03
0.4571429E+00	0.6195838E+03	0.6191040E+03	0.6135456E+03
0.4857143E+00	0.6267582E+03	0.6262624E+03	0.6207966E+03
0.5142857E+00	0.6339320E+03	0.6334198E+03	0.6280540E+03
0.5428571E+00	0.6410451E+03	0.6405169E+03	0.6352541E+03
0.5714286E+00	0.6480777E+03	0.6475262E+03	0.6423807E+03
0.6000000E+00	0.6549645E+03	0.6544163E+03	0.6493660E+03
0.6285714E+00	0.6616206E+03	0.6610557E+03	0.6561328E+03
0.6571429E+00	0.6679840E+03	0.6674135E+03	0.6628278E+03
0.6857143E+00	0.6740057E+03	0.6734270E+03	0.6697720E+03
0.7142857E+00	0.6796746E+03	0.6790885E+03	0.6745536E+03
0.7428571E+00	0.6849290E+03	0.6843372E+03	0.6794103E+03
0.7714286E+00	0.6896710E+03	0.6890737E+03	0.6847419E+03
0.8000000E+00	0.6938551E+03	0.6932531E+03	0.6890024E+03
0.8285714E+00	0.6974413E+03	0.6968352E+03	0.6926531E+03
0.8571429E+00	0.7004211E+03	0.6998115E+03	0.6956242E+03
0.8857143E+00	0.7027534E+03	0.7021420E+03	0.6980504E+03
0.9142857E+00	0.7043901E+03	0.7037774E+03	0.6997051E+03
0.9428571E+00	0.7053178E+03	0.7047064E+03	0.7006435E+03
0.9714286E+00	0.7053178E+03	0.7047064E+03	0.7006435E+03
1.0000000E+01	0.7053178E+03	0.7047064E+03	0.7006435E+03
VALORES MEDIOS:	0.6797237E+03	0.6792700E+03	0.6730441E+03
VALORES MAXIMOS:	0.7053178E+03	0.7047064E+03	0.7006435E+03

APENDICE J

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA CASNUR.FOR, SUAS SUBROTINAS, COMO UTILIZA-LO, DIAGRAMA DE BLOCOS DETALHADO E LISTAGEM

J.1 - Descrição das Sub-rotinas do Programa FUNCIO.FOR

J.1.1 - MAIN (Programa Principal)

Simula o funcionamento do reator PWR, modelado por dois canais, calculado através do método direto (sem perturbação) e processa análises de funcionais com relação a parâmetros visando comparação de resultados (método direto x método matricial).

J.1.2 - Sub-rotina ALTEXT

Realiza o cálculo da altura extrapolada.

J.1.3 - Sub-rotina ALFBET

Calcula as matrizes α e β da equação adjunta (equação (G.04)).

J.1.4 - Sub-rotina COSEN

Determina o coeficiente de sensibilidade relativo a análise de interesse (funcional e parâmetro previamente estabelecidos).

J.1.5 - Sub-rotina DIPCAN

Calcula a distribuição de pressão no canal nominal.

J.1.6 - Sub-rotina EQADJ

Resolve a equação adjunta (G.04) determinando a função importância e imprime resultados de interesse.

J.1.7 - Sub-rotina FCCDNB

Calcula o fluxo de calor crítico e a razão DNB, pelo método direto.

J.1.8 - Sub-rotina FMATIT

Determina o fluxo de massa e o título termodinâmico.

J.1.9 - Sub-rotina FMCECL

Calcula o fluxo médio de calor, entalpia e fluxo de calor local, no canal nominal.

J.1.10 - Sub-rotina GAMAS

Calcula a matriz γ da equação adjunta (G.04)

J.1.11 - Sub-rotina GMAT

Determina o termo de fonte da equação adjunta (matriz G^+).

J.1.12 - Sub-rotina GMOT

Calcula a matriz G^* na origem (base dos canais).
~

J.1.13 - Sub-rotinas IMPR1, IMPR3, IMPR5, IMPR7 e IMPR9

Destinam-se a impressões de resultados de interesse

J.1.14 - Sub-rotina PRDZCN

Calcula as propriedades do refrigerante do volume de controle (Δz), no canal nominal.

J.1.15 - Sub-rotina PROCAQ

Determina as propriedades do refrigerante no canal quente do modelo considerado.

J.1.16 - Sub-rotina TCANAT

Verifica se o topo dos canais ou o topo do núcleo foi atingido.

J.1.17 - Sub-rotina TRCPCQ

Calcula a temperatura de revestimento corrigida pela correlação Jeans-Lottes e determina as propriedades do canal quente considerando frações de vazios.

J.1.18 - Sub-rotina TSATRE

Determina temperaturas de saturação e de revestimento.

J.1.19 - Sub-rotina VALMED

Calcula o valor médio de uma função qualquer.

J.2. Como Utilizar o Programa CASNUR.FOR

J.2.1 - Análises Programadas

São quatro as análises possíveis de serem realizadas.

Análise	Funcional	Parâmetro
1	H_q	ρ_q
2	V_q	ρ_q
3	H_q	A_q
4	V_q	A_q

De acordo com o interesse faz-se uso da atribuição a variável IFUNC, no BLOCK DATA, do valor 1 ou 2 ou 3 ou 4.

Em função da análise escolhida pode-se atribuir variações ao parâmetro arbitrário.

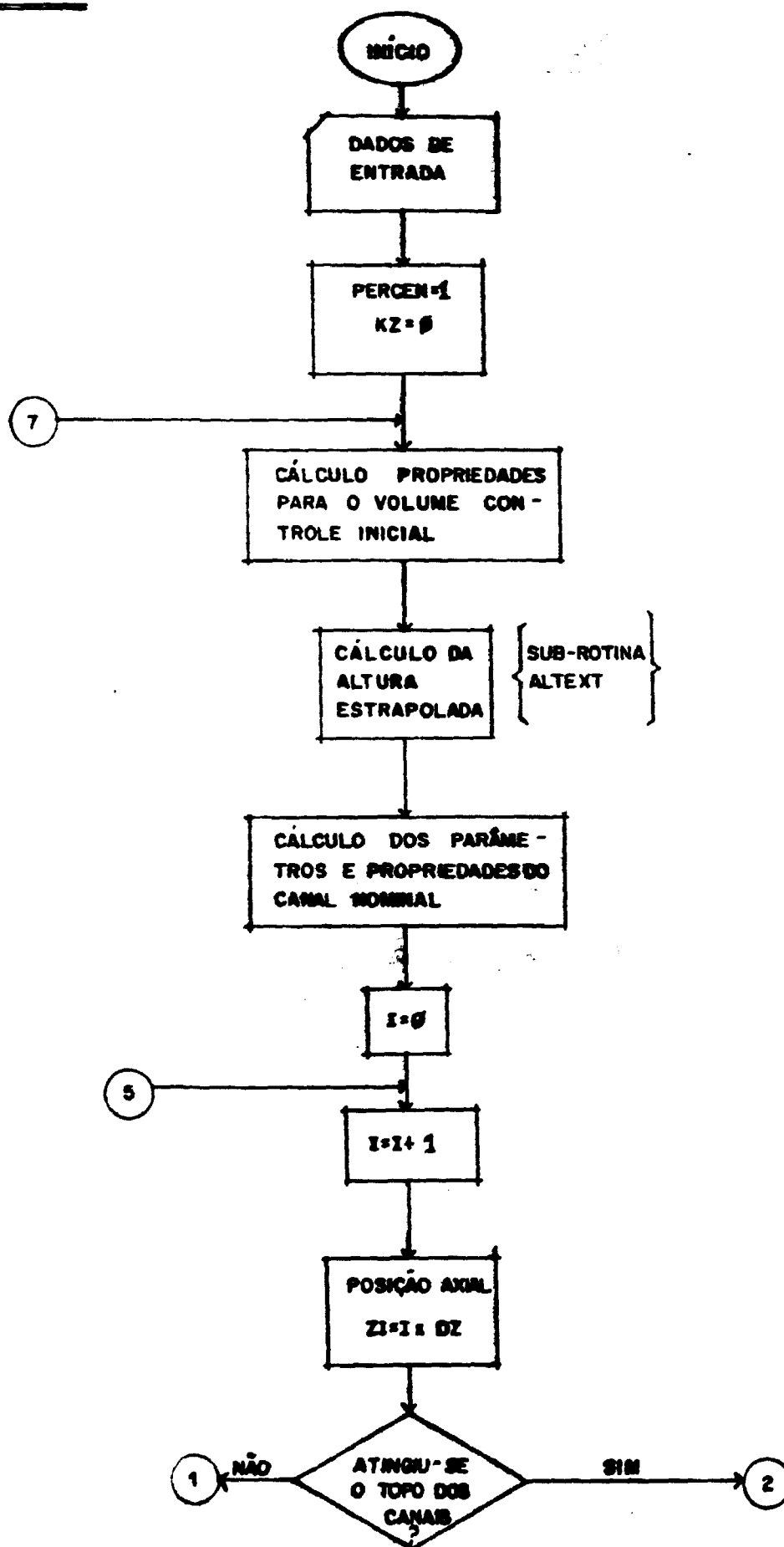
Se a análise for 1 ou 2, as variações devem ser no intervalo de - 50% a + 50% (ver tabelas 2 e 3).

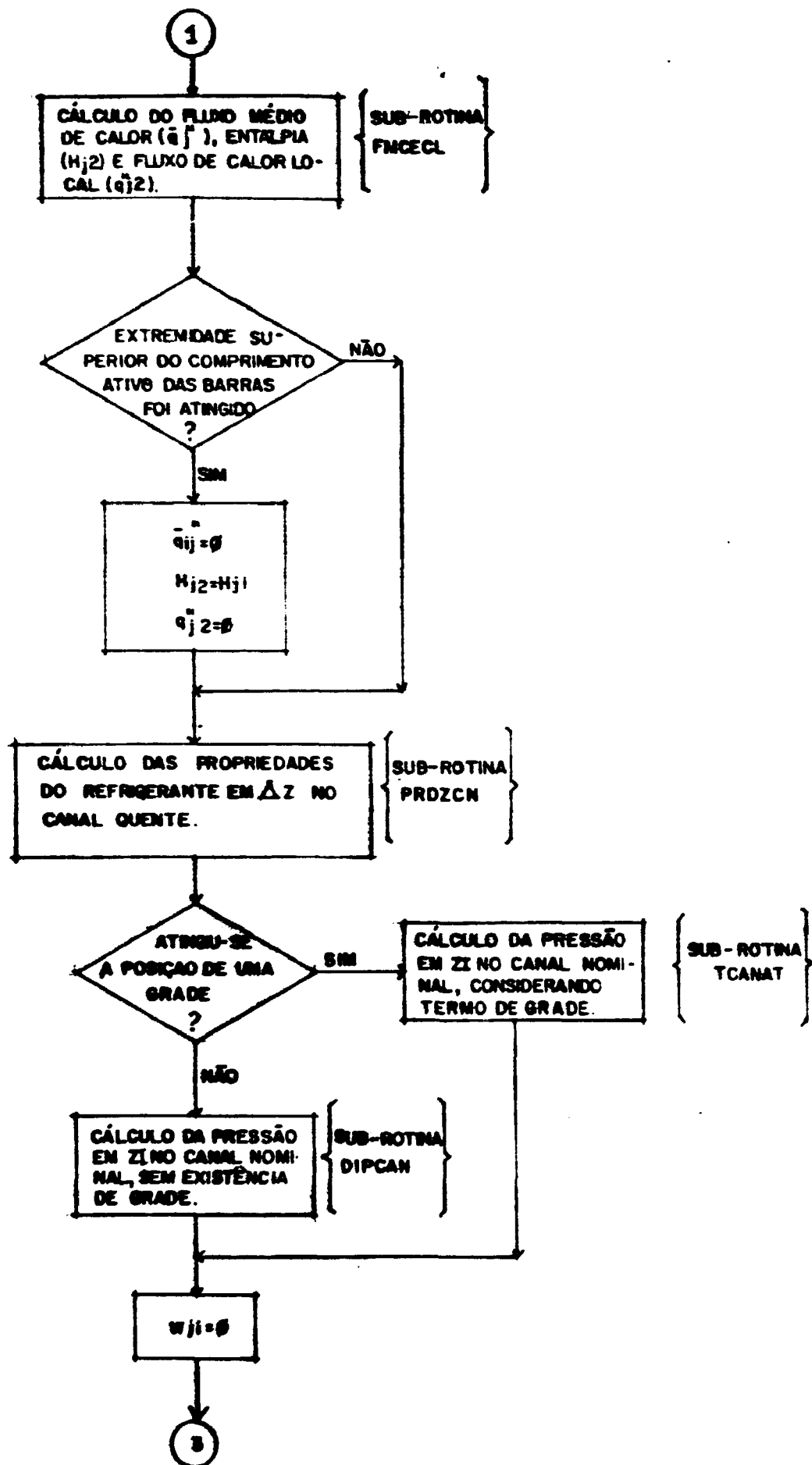
Se a análise for 3 ou 4, as variações devem estar contidas no intervalo de - 25% a + 25% (ver tabelas 4 e 5).

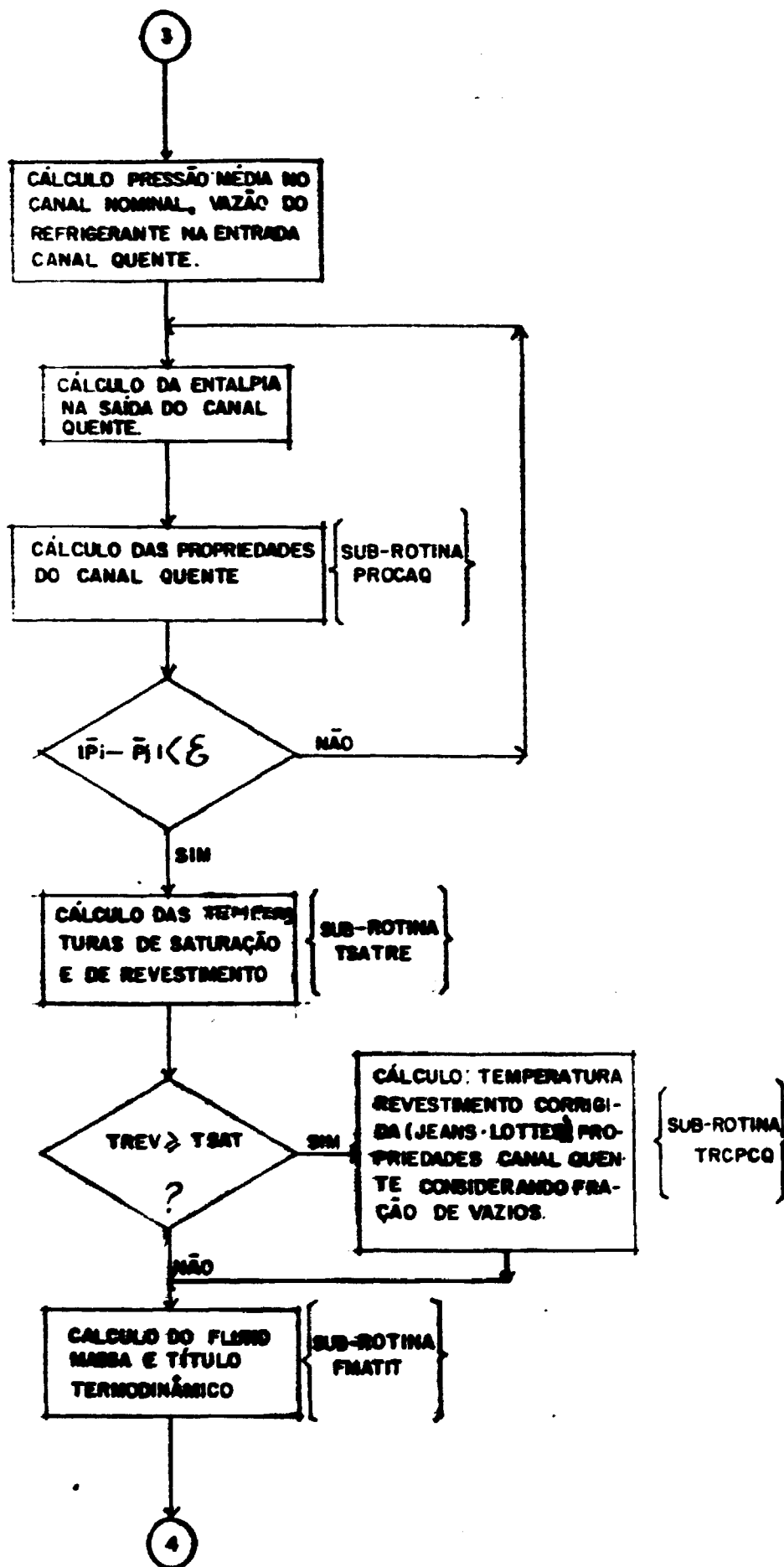
A atribuição de perturbações são feitas através da variável PERC em instrução contida no MAIN.

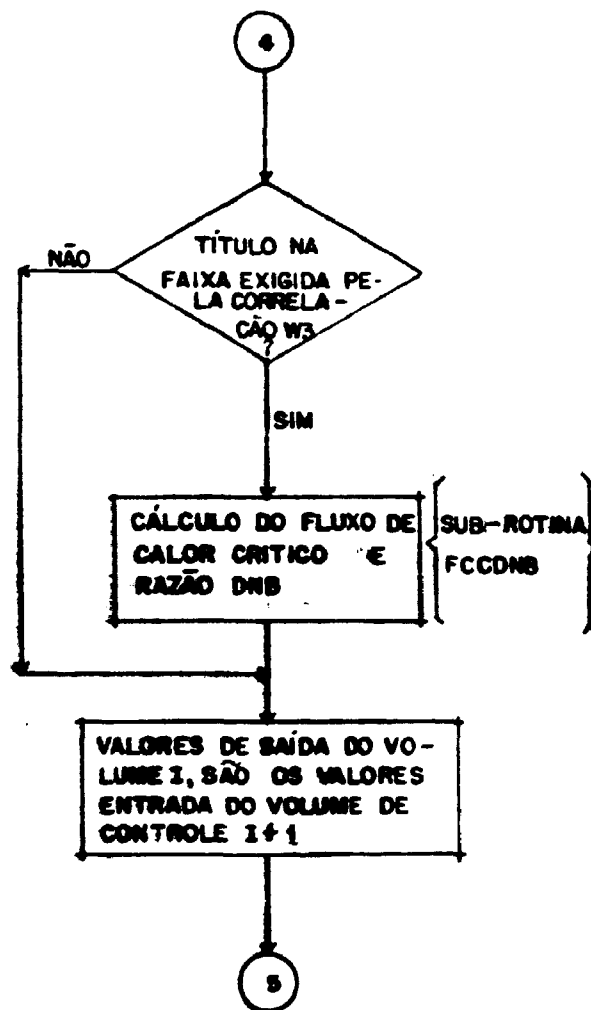
3. Diagrama de blocos detalhado e listagem do programa.

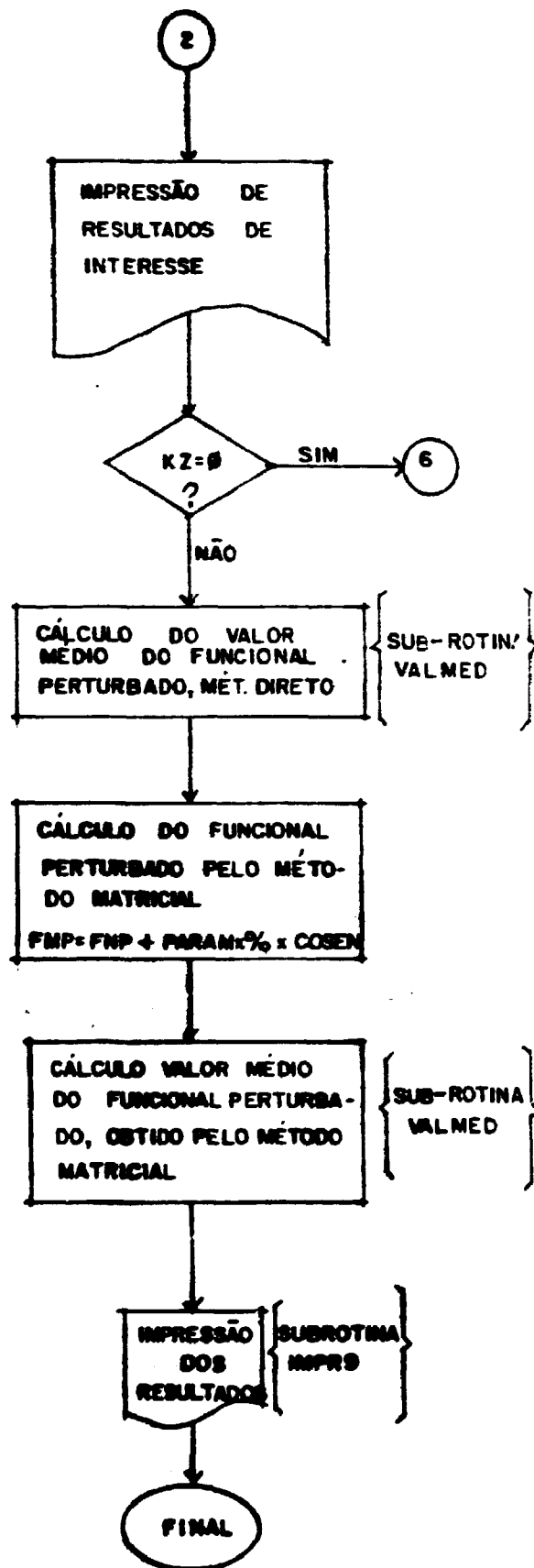
PROGRAMA PRINCIPAL

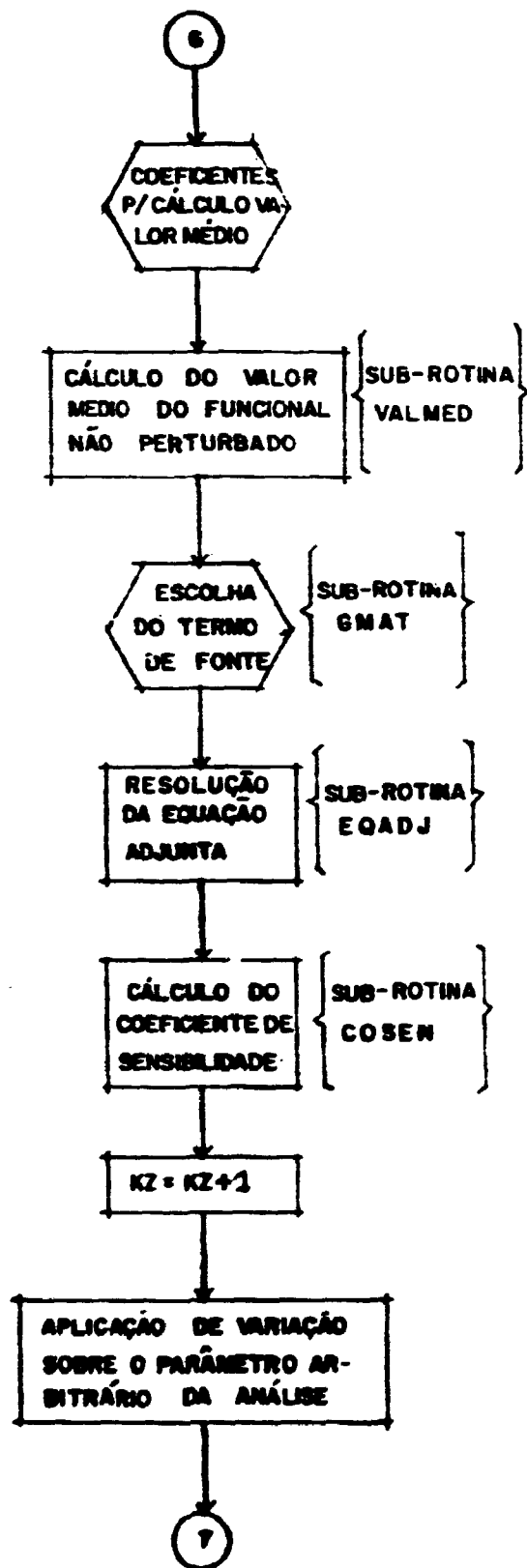












```

C *****
C *****
BLOCK DATA
C *****
C *****
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SEC1/FZ.HH.FR.DZ.A.FF
COMMON /SEC2/GC.CGS
COMMON /SEC3/CO.G.EA
COMMON /SEC3/DO.CP.H.NF
COMMON /SEC4/PM.TENT.HENT.RLEN1
COMMON /SEC5/CROSS.DESV.EPS.M1
COMMON /SEC6/HF.HG.VG.VF
COMMON /SEC7/SK.TDC.Fw.FC.F
COMMON /SEC8/IFUNC
DATA FZ.HH.FR.DZ.A.FF/1.55,12.0,1.55,0.36,26.4,0.679E6/
DATA GC.CGS/0.417E9,1.029/
DATA CO.G.FX/0.4,0.417E9,1.0/
DATA DO.CP.H.NP/0.356E-1,1.38,12.6,5/
DATA PM.TENT.HENT.RUENT/0.0979,549.50,549.51,46.65/
DATA CROSS.DESV.EPS.M1/1.0,1.E-4,0.01,100/
DATA HF.HG.VG.VF/694.6,1120.0,0.16,0.027/
DATA SK.TDC.Fw.FC.F/0.066,0.036,1.0,1.07,0.61/
DATA IFUNC/4/
END

```

```

C *****
C *****
C          P R O G R A M   F I N C I P A L
C *****
C *****
C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION S1(35),HQ(37),S3(35),RCQ(36),S5(35),S6(35),S7(35)
DIMENSION S8(35),R1(35),R2(35),R3(35),FLQ(37),R5(35),R6(35)
DIMENSION R7(35),VO(36),GMAIS(3),FESTM(36,3),AI(3,3),GAM(3)
DIMENSION BETA(3,3),C(3,3),II(4),FESTM(35,3),AM(3),FP(3)
DIMENSION GMATP(3),GMAOT(3),FLE(36),FAP(36),FUNC(36),FNF(36)
COMMON /SEC1/FZ.HH.FR.DZ.A.FF
COMMON /SEC2/GC.CGS
COMMON /SEC3/CO.G.EA
COMMON /SEC3/DO.CP.H.NF
COMMON /SEC4/PM.TENT.HENT.RUENT

```

```

COMMON /SEC5/CROSS.DESV.EPS,M1
COMMON /SEC6/HF.HG.VG.VF
COMMON /SEC7/SK.TDC.FW.FC.F
COMMON /SECH/IFUNC
1 PERCFN=1.
  AD=0.8706E-3
  R7=0

C
C  INICIO DO PROCESSAMENTO
5 FLUXT=0.1871E6
  XN=3.0
  PO1=0.328498E6
  CG=2.276
  VISC1=0.237
  CTG1=0.334
  DNRHAB=1000.0
  ALFA=0.0

C
C  -----
C  CALCULO DAS PROPRIEDADES PARA O VOLUME DE CONTROLE INICIAL
C  -----
C  CALCULO DO FLUXO MEDIO DE CALOR GERADO
  FLUXT=F2*FLUX1
C  CALCULO DA AREA DA SECCAO RETA DO CANAL NOMINAL
  AN=AO
C  CALCULO DO DIAMETRO EQUIVALENTE DO CANAL NOMINAL
  DN=DO
C  CALCULO DA PRESSAO DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO VOLUME DE
C  CONTROLE NO CANAL NOMINAL
  PN1=PO1
C  CALCULO DA ENTALPIA DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO VOLUME DE
C  CONTROLE NO CANAL QUENTE
  HO1=HEHT
C  CALCULO DA DENSIDADE DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO VOLUME DE
C  CONTROLE NOS CANAIS NOMINAL E QUENTE
  RHO1=ROENT
  IF(IFUNC.EQ.3) GO TO 7
  RHO1=ROENT
  GO TO 6
7 RHO1=ROENT*PERCFN
C  CALCULO DA VISCOSIDADE DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO VOLUME
C  DE CONTROLE DO CANAL NOMINAL
6 VISC1=VISC1
C  CALCULO DA CONDUTIVIDADE TERMICA DO REFRIGERANTE NA ENTRADA
C  DO VOLUME DE CONTROLE NO CANAL NOMINAL
  CTN1=CTG1
C  CALCULO DA PRESSAO DE ENTRADA EM PSIA
  PENT=PO1/144
C  CALCULO DO FLUXO DE MASSA DO REFRIGERANTE NO CANAL NOMINAL
  GN=FM/3
C  CALCULO DA VELOCIDADE DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO CANAL
C  NOMINAL
  VN1=GN/RHO1
C  CALCULO DA FRACAO DE VAZIOS NO FINAL DA PRIMEIRA REGIAO

```



```

      ALF1=0.008/(6*DO)
C     CALCULO DA ENTALPIA DA MISTURA NO FINAL DA SEGUNDA REGIAO
      HN2=0.18*VF+0.82*VG
      HN2=0.18*VF*HG+0.82*VG*HF
      H2=HN2/HN2
C     CALCULO DO DIAMETRO EQUIVALENTE DO CANAL (EM POLEGADAS)
      DE=DO*12.
C     -----
C     CALCULO DA ALTURA EXTRAPOLADA
C     -----
C     METODO ITERATIVO DE NEWTON-RAPHSON
C     INICIO DAS ITERACOES
      I1=0
10  CALL _LITEXT(11,X0,H2)
C     -----
C     CALCULO DOS PARAMETROS E PROPRIEDADES DO CANAL NOMINAL
C     -----
C     VELOCIDADE DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DO CANAL QUEMIE
      VO1=VM1
      FLO11=0.0
      RO11=RO1
      HO11=HO1
      VO11=VO1
      FLO121=0.
      HO121=0.
      IF (TE11,FO.1) GO TO 11
      IF (TE11,FO.3) GO TO 11
      FDF11=VO1
      FNF11=VO1
      GO TO 15
11  FDF11=HO1
      FNF11=HO1
15  FFSTR(36,1)=0.0
      FFSTR(36,2)=0.0
      FFSTR(36,3)=0.0
C     POSICIONAMENTO DO PRIMEIRO ELEMENTO NA SEGUNDA TABELA
      KK=1
C     TERMO DE QUEDA DE PRESSAO DEVIDO A GRADE INICIAL MAIS
C     CONTRACAO BRUSCA NA ENTRADA DOS CANAIS
      L=1
C     POSICAO DA GRADE QUE SEGUE A GRADE INICIAL
      J=1
C     ELIMINACAO DO TERMO DE QUEDA DE PRESSAO DEVIDO A EXPANSAO
C     BRUSCA NOS DOIS CANAIS
      K=0
C     CONTADOR DE PASSOS
      I=0
20  I=I+1
C     POSICAO AXIAL DA EXTREMIDADE SUPERIOR DE CADA PASSO
      Z1=I*07
C     POSICAO AXIAL ADIMENSIONAL
      A21=Z1/H
C     VERIFICACAO SE O TOPO DOS CANAIS FOI ATINGIDO

```

```

      RA=36*RZ/H: IF(AZI.LT.RA) GO TO 40
C      IMPRESSAO DOS RESULTADOS
30  N2=0
      IF(K7.EQ.1) GO TO 33
      N2=1
33  CALL IMPR5
      DO 36 N2=1,35
      IF(K7(N2)/220,34,35
34  CALL IMPR5(S1(N2),R1(N2),R2(N2),R3(N2),FLU(N2+1),R5(N2),
      *RA(N2))
      GO TO 36
35  CALL IMPR7(S1(N2),R1(N2),R2(N2),R3(N2),FLU(N2+1),R5(N2),
      *RA(N2),R7(N2))
36  CONTINUE
37  NV=-1
      CALL LOCADAT(N1,RN1,RON1,VN1,L,FN,RONN,VNN,EN,RON2,VN2,K,CG,FL2)
      IF(N2.EQ.1) GO TO 39
      CALL IMPR3(DNHRK,7DNHRM)
      DO 38 N2=1,35
      CALL IMPR7(S1(N2),HU(N2+1),S3(N2),ROG(N2+1),S5(N2),S6(N2),
      *S7(N2),SR(N2))
38  CONTINUE
39  IF(K7/220,230,240
C      CALCULO DO FLUXO MEDIO DE CALOR, ENTALPIA E FLUXO DE CALOR
C      LOCAL NO CANAL NOMINAL
40  CALL PROCELRN,ZI,DN,GR,FLUAT,FLUXN,HN2,FLUN2)
C      VERIFICACAO SE A EXTREMIDADE SUPERIOR DO COMPRIMENTO ATIVO
C      DAS BARRAS FOI ATINGIDA
      IF(ZI-HN155,55,50
C      FLUXO MEDIO DE CALOR, ENTALPIA E FLUXO DE CALOR LOCAL NA
C      REGIAO ACIMA DA EXTREMIDADE SUPERIOR DO COMPRIMENTO ATIVO
C      DAS BARRAS
50  FLUXN=0.0
      HN2=HN1
      FLUN2=0.0
C      FLUXO DE CALOR LOCAL NA SAIDA DE CADA PASSO DELTA Z NO
C      CANAL QUENTE
55  FLUN2=FR*FLUN2
C      FLUXO MEDIO DE CALOR EM UM PASSO DELTA Z NO CANAL QUENTE
      FLUXO=FR*FLUXN
C      CALOR MEDIO GERADO EM UM PASSO DELTA Z NO CANAL QUENTE
      Q=FLUXO*PM*DZ
C      -----
C      DETERMINACAO DAS PROPRIEDADES DE REFRIGERANTE EM DELTA Z NO
C      CANAL NOMINAL
C      -----
60  CALL PROZCN(HN2,FLUXN,GN,VN1,RON1,VISN1,CIN1,DN,IN2,RON2,
      *VISN2,CTN2,VN2,VNN,RONN,VISNN,CINN,REN,FISCN,CFNM,FN)
C      POSICAO DAS GRADES COM EXCECAO DA PRIMEIRA GRADE
      Z=NP*J*DZ
C      VERIFICACAO DA EXISTENCIA DE GRADE NO CANAL I
      IF(ZI-7)70,80,70
C      CALCULO DA DISTRIBUICAO DE PRESSAO NO CANAL NOMINAL SEM A

```

```

C      EXISTENCIA DE GRADE
70 CALL DTPCAN(PN1,RON1,VN1,L,FN,RONM,VNM,DN,RON2,VN2,PN2)
C      CONSIDERACAO DA QUEDA DE PRESSAO DEVIDO A UMA GRADE NO CANAL
C      QUENTE ( NAO EXISTE GRADE NA SAIDA DE PASSO )
      M=0
      GO TO 90
C      VERIFICACAO SE O TOPO DOS CANAIS FOI ATINGIDO
80 IF(2-H)*4.82,84
82 K=1
      CG=CGS
C      GO TO 84
C      H3 NV=1
C      GO TO 85
84 NV=0
C      CALCULO DA DISTRIBUICAO DE PRESSAO NO CANAL NOMINAL COM A
C      EXISTENCIA DE GRADE
85 CALL ICANAT(NV,PN1,RON1,VN1,L,FN,RONM,VNM,DN,RON2,VN2,K,CG,
      *PN2)
C      IF(NK-0)220,86,200
C      POSICIONAMENTO E CONTAGEM DAS GRADES
86 J=J+1
C      CONSIDERACAO DO TERMO DE QUEDA DE PRESSAO DEVIDO GRADES NO
C      CANAL QUENTE
      M=1
C      CROSS-SECTION ZERO NA ENTRADA DE CADA PASSO
90 FLOW=0.0
C      PRESSAO MEDIA EM UM PASSO DELTA 2 NO CANAL NOMINAL
      PM=(PN1+PN2)/2
C      VAZAO DO REFRIGERANTE NA ENTRADA DE CADA PASSO DELTA 2 NO
C      CANAL QUENTE
      VEQ=AO*VO1*ROQ1
C      ENTALPIA DO REFRIGERANTE NA SAIDA DE CADA PASSO DELTA 2 NO
C      CANAL QUENTE
95 HQ2=(VEQ*HQ1+Q+FLOW*HQ1/2)/(VEQ+FLOW/2)
-----
C      CALCULO DAS PROPRIEDADES DO CANAL QUENTE
-----
100 CALL PROCAO(AQ,HQ2,VEQ,FLOW,ROQ1,VO1,FLUXO,L,M,K,PM,HQ1,Q,CTQ1,
      *PO1,CG,VTSQ1,TQ2,ROQ2,VEQ2,ROQ2,VISQ2,CTQ2,VO2,REQ,FISQ,CFQ,
      *FO,PO2,PM,PM1,PM3,NW)
      IF(NK)220,95,110
C      CALCULO DAS TEMPERATURAS DE SATURACAO E DE REVESTIMENTO
110 CALL ISATHE(PO2,ROQ2,VO2,VISQ2,CTQ2,TQ2,FLUXO,PO,ISAT,TW,CFQ2)
C      VERIFICACAO SE A TEMPERATURA DO REVESTIMENTO E' MAIOR QUE A
C      TEMPERATURA DE SATURACAO
      IF(TW-TSAT)130,130,120
-----
C      CALCULO DA TEMPERATURA DE REVESTIMENTO CORRIGIDA PELA CORRELA
C      CAO DEANS-LOTES E CALCULO DAS PROPRIEDADES DO CANAL QUENTE
C      CONSIDERANDO-SE ENCAIXO DE VAZIOS
-----
120 CALL TRPCO(AQ,FLUXO,PO,TSAT,HQ2,H2,ALF1,VISQ2,CTQ2,CFQ2,Q,CTQ1,
      *PO1,ALFA,VTSQ1,CG,PM1,PM3,H1,TQ2,VEQ,HQ1,ROQ1,VO1,FLUXO,

```

```

      *CEOM,M,K,PNM,FLNW,TUL,TW,RCG2,VG2,FISUC,REG,FQ,PO2,PON)
C      CALCULO DO FLUXO DE MASSA E TITULO TERMODINAMICO
130 CALL FMATIT(PN2,PEN1,PO2,RCG2,VG2,HQ2,DEN,DPO,GM,X,PG,PN)
C      ANALISE SE O TITULO ESTA NA FAIXA EXIGIDA PELA CORRELACAO W3
      IF(X-(-0.15))160,140,140
140 IF(X-0.15)150,150,160
150 IF(71-HH)170,170,160
160 N=1
      GO TO 190
C      CALCULO DO FLUXO DE CALOR CRITICO E FAZAO DE UNB
170 CALL FCOENH(PG,X,GM,DP,FLUG2,AZ1,DNRB,DNRB1,DNRB2,DNRB3)
180 N=0
C      OS VALORES OBTIDOS NA SAIDA DO VOLUME DE CONTROLE SAO AS CON-
C      DICOES INICIAIS DO VOLUME DE CONTROLE SEGUINTE
190 EN1=PN2
      RDN1=RCN2
      VN1=VG2
      VISM1=VISM2
      CTN1=CTN2
      HQ1=HQ2
      FQ1=FQ2
      RCG1=RCG2
      VG1=VG2
      FISQ1=FISQ2
      CTQ1=CTQ2
      HN1=HN2
      L=0
      R1(KK)=DPR
      R2(KK)=DPL
      R3(KK)=GM
      F1D(KK+1)=F1D1
      R5(KK)=TW
      R6(KK)=X
      IF(NW,FQ,1) R7(KK)=0.0
      IF(NW,NF,1) R7(KK)=DNRB
C      ARMAZENAMENTO DOS VALORES OBTIDOS EM MATRIZES COLUNAS PARA
C      POSTERIOR IMPRESSAO
      S1(KK)=AZ1
      IF(1FUNC,FQ,2) GO TO 195
      IF(1FUNC,FQ,4) GO TO 195
C      PARA O CASO DE FUNCIONAL HQ
      IF(K2,FQ,1) FDP(KK+1)=HQ2
      IF(K2,FQ,0) F1P(KK+1)=HQ2
      GO TO 196
C      PARA O CASO DE FUNCIONAL VG
195 IF(K2,FQ,1) FDP(KK+1)=VG2
      IF(K2,FQ,0) FNP(KK+1)=VG2
196 HQ(KK+1)=HQ2
      S2(KK)=TQ2
      RND(KK+1)=RND2
      S5(KK)=HN2
      S6(KK)=TH2
      S7(KK)=RCN2

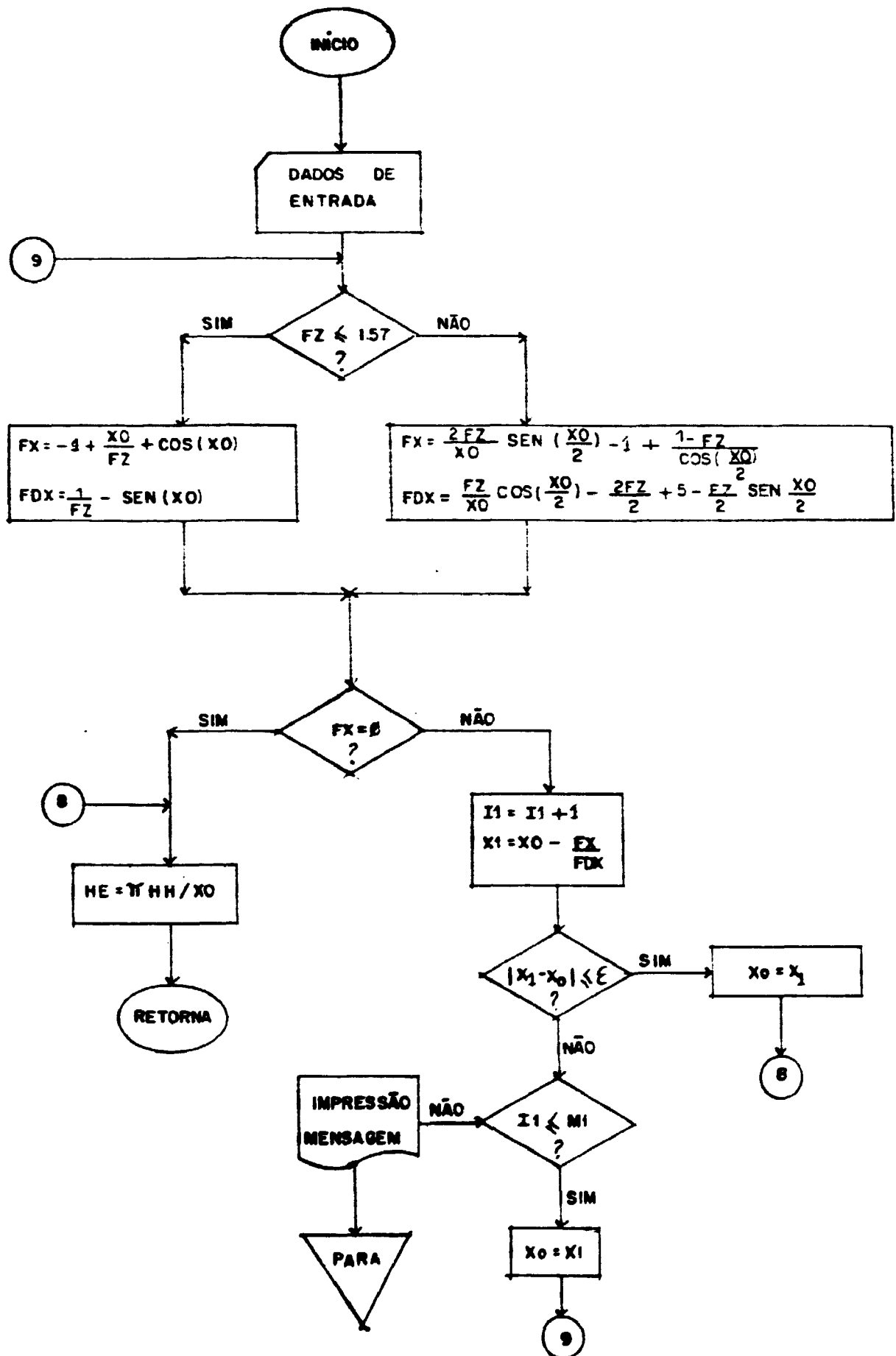
```

```

SW(NK)=ATFZ
VU(NK+1)=VGZ
K=K+1
GO TO 20
200 CONTINUE
210 STOP
C CHAMADA DA SUBROTINA QUE DETERMINA AS VARIACOES DO VALOR
C MEDIO PELA F. FUNCIONAL
230 CALL COEFUN(DELTA,NOM,INIC,IFIP)
C CHAMADA DA SUBROTINA QUE CALCULA O VALOR MEDIO DO FUNCIO
C NAL NAQ PERTURBADA OBTIDO PELA METODO DIRETO
CALL VALMED(DELTA,NOM,INIC,IFIP,FNF,FMDNF)
C
C -----
C CALCULO DE SENSIBILIDADE USANDO A TECNICA DE PERTURBACAO
C GENERALIZADA
C
C -----
C CHAMADA DA SUBROTINA QUE ESCOLHE E CALCULA A MATRIZ G
C ( TERMO DE FONTE DA EQUACAO ADJUNTA )
CALL GMAT(GMBIS)
C CHAMADA DA SUBROTINA QUE RESOLVE A EQUACAO ADJUNTA
CALL FOMD(INZ,AG,S1,RG,VG,FID,FG,GMAIS,FESTF,FESIF)
C CHAMADA DA SUBROTINA PARA CALCULO DO COEFICIENTE DE SENSIBI
C LIDADE
CALL COSEN(AG,GMAIS,HG,VG,FID,FESTF,FG,DRDF)
C RECALCULO DO CANAL QUENTE CONSIDERANDO-SE UMA PERTURBACAO
C NO PARAMETRO DE REFERENCIA
240 K2=K2+1
PERC=.02
PERCFN=PERCFN+PERC
IF(IFUNC,GT,2) AO=AO*PERCFN
GO TO 5
C CALCULO DO VALOR MEDIO DO FUNCIONAL PERTURBADO - M. DIRETO
290 CALL VALMED(DELTA,NOM,INIC,IFIP,FDF,FMDF)
C CALCULO DO FUNCIONAL APUS A PERTURBACAO
DO 400 I=1,36
IF(IFUNC,GT,2) GO TO 295
FMP(I)=FNP(I)+RND(I)*(PERCFN-1)*DRDF
GO TO 300
295 FMP(I)=FNP(I)+AO*(PERCFN-1)*DRDF
300 CONTINUE
C CALCULO DO VALOR MEDIO - FUNCIONAL PERTURBADO - MET. MATRICIAL
PERC=(PERCFN-1)
IF(IFUNC,LT,3) GO TO 310
IF(IFUNC,GT,2) GO TO 320
310 FMMP=FMONP+DRDP*(PERCFN-1)*RGNS
GO TO 330
320 FMMP=FMONP+DRDP*(PERCFN-1)*AG
330 PERC=(PERCFN-1)*100
CALL IMPR9(FMONP,FMDP,FMMP,FENC,S1,FDF,FNF,FMP)
END

```

C

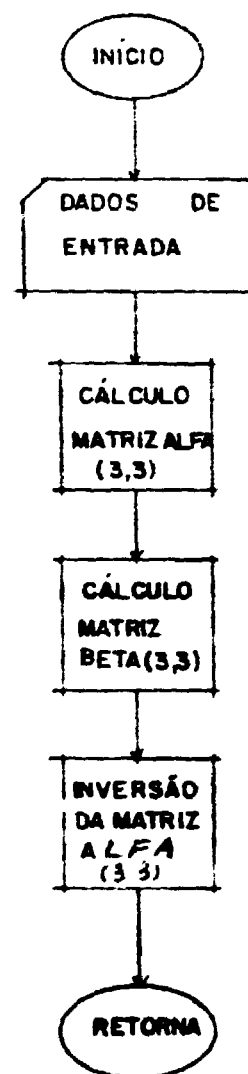


```

C
C      ****
C      ****
C      SUBROUTINE ALGEXT(I1,XC,HL)
C      ****
C      ****
C      CALCULO DA ALTURA EXTRAPOLADA
C      ****
C      JAF=1079 NFAT=6 (N-H,Q-2)
C      COEF=1/2*F1/F2.HH.FR.D2.A.FF
C      COEF=1/2*F1/F2/CRSS.DESV.FPS.H1
10  IF(F2=1.57)GOTO.20.30
20  F1=1.+X0/F2+DCOS(X0)
   F1X=1./F2-DSIN(X0)
   GO TO 40
30  F1=(2+F2/X0)*DSIN(X0/2)-1.+(1.-F2)*DCOS(X0/2)
   F1X=(F2/X0)*DCOS(X0/2)-(2+F2/(X0**2)+.5-F2/2)*DSIN(X0/2)
40  IF(F1=0.)GOTO.70.50
50  I1=I1+1
   X1=X0-F1/F1X
   IF(ABS(X1-X0)-DESV)60.60.80
60  X0=X1
C      VALOR DA ALTURA EXTRAPOLADA
70  H1=3.1416+HH/X0
   GO TO 90
80  IF(I1=4)GOTO.90.100
90  X0=X1
   GO TO 10
100 WRITE(3,110)
110 FORMAT(7,'X1 NAO CONVERGE EM 41 ITERACOES !.')
   STOP
120 RETURN
   END
C
C

```

SUB-ROTINA ALFBET

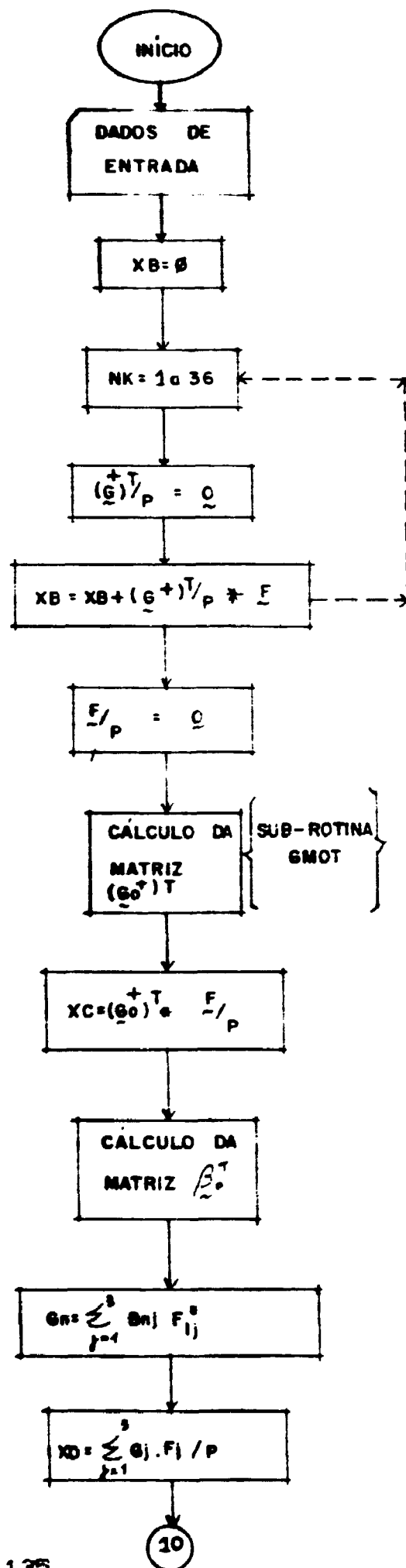


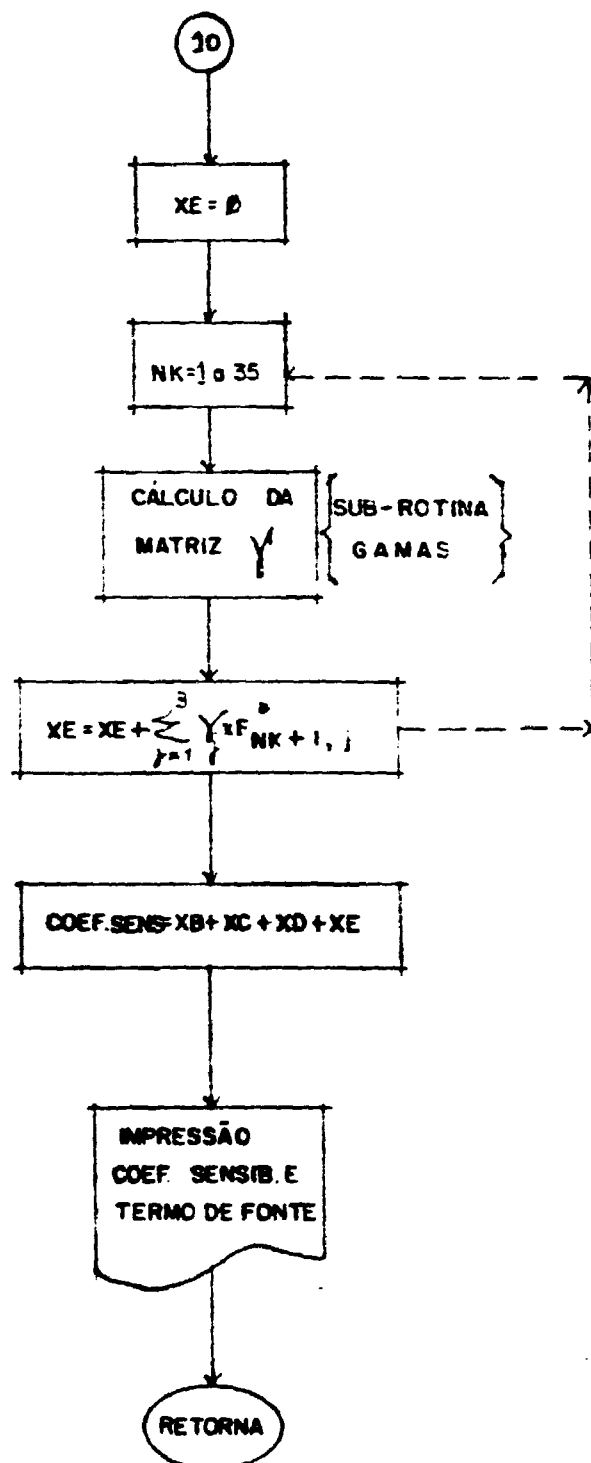

```

C
C
C
C *****
C *****
SUBROUTINE ALFBET(AQ,RQA,VQA,FLCF,HQA,RQCF,VQB,FLQC,HQB,HQC,
*AL,BETA)
C *****
C *****
C CALCULO DAS MATRIZES ALFA E BETA
C *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION AL(3,3),BETA(3,3),C(3,3),IT(4)
COMMON /SF02/CC,CGS
DATA IT(1),IT(2),IT(3),IT(4)/2,3,1,2/
AL(1,1)=AQ*RQA*VQA+FLCF/2
AL(1,2)=0.
AL(1,3)=0.
AL(2,1)=0.
AL(2,2)=AQ*HQA
AL(2,3)=-1.
AL(3,1)=(HQB-HQA)/2.
AL(3,2)=1.
AL(3,3)=1.
BETA(1,1)=AQ*HQB*VQB+FLQC/2
BETA(1,2)=0.
BETA(1,3)=0.
BETA(2,1)=2C*HQB*(HQB-HQA)
BETA(2,2)=AQ*HQB
BETA(2,3)=0.
BETA(3,1)=0.
BETA(3,2)=0.
BETA(3,3)=0.
C INVERSAO DA MATRIZ AL E ATRIBUICAO DE C
DO 10 J=1,3
JA=IT(J)
JK=IT(J+1)
DO 10 K=1,3
KA=IT(K)
KB=IT(K+1)
C(1,1)=AL(JA,KA)*AL(JK,KB)-AL(JA,KB)*AL(JK,KA)
10 CONTINUE
DEF=AL(1,1)*C(1,1)+AL(1,2)*C(2,1)+AL(1,3)*C(3,1)
DO 20 J=1,3
DO 20 K=1,3
C(J,K)=C(J,K)/DEF
20 CONTINUE
DO 30 J=1,3
DO 30 K=1,3
AL(J,K)=C(J,K)
30 CONTINUE
RETURN
END
C
C

```

SUB-ROTINA COSEN



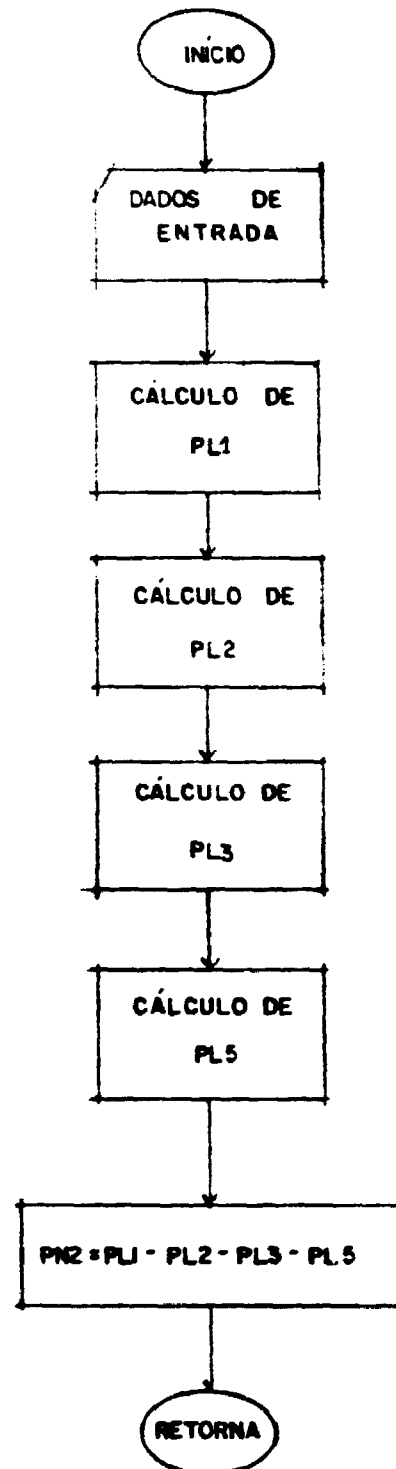



```

C      GR=F1*FESTR(1,1)+F2*FESTR(1,2)+L33*FESTR(1,3)
C      CALCULO DO PRODUTO F0ZF TRANSPOSTA * BEIA C * F1 ESTRELA TRANS
C      POSTA
      XR=F01*G1+F02+G2+F03*G3
C      CALCULO DO QUARTO TERMO DA EQUACAO
      XF=0.
      DO 20 NK=1,45
      CALL GAMES(A0,VG(NK),VG(NK+1),FC(LF),FG(NK+1),POO(NK),GM)
      XF=XF+GM(1)*FESTR(NK+1,1)+GM(2)*FESTR(NK+1,2)+GM(3)*
      *FESTR(NK+1,3)
20 CONTINUE
C      SOMA DOS TERMOS
      DRDP=XR+YC+XD+XF
      WRITE(3,100)DRDP,GMAIS(1),GMAIS(2),GMAIS(3)
100 FORMAT(7////,4X,'DRDP=',F14.7,10X,'TERMO DE FUNCE : G+ = ',
      *3(X,F14.7,X),'//.5(//)
      RETURN
      END
C
C

```

SUB - ROTINA DPCAN

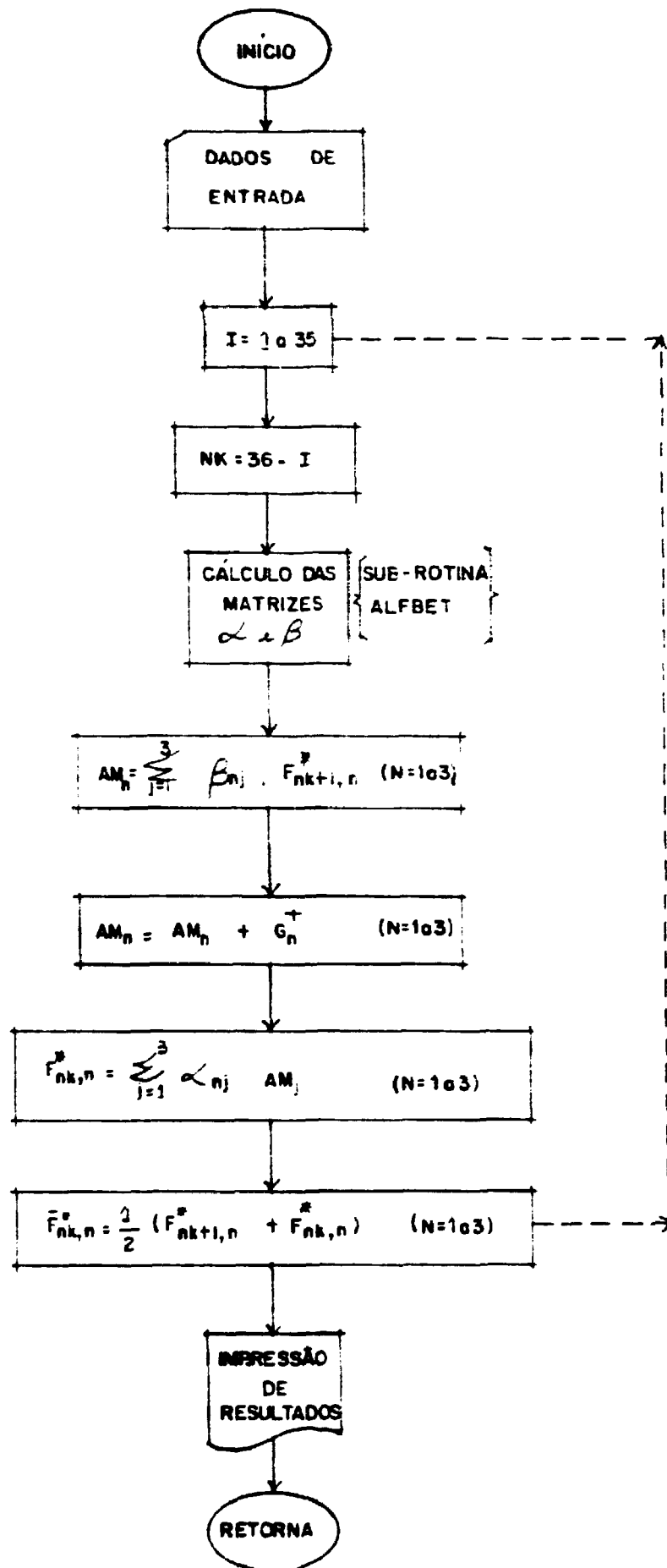


```

C
C
C
C *****
C *****
C SUBROUTINE DTPCAN(PN1,RON1,VN1,L,FN,RONM,VNM,DN,RON2,VN2,PN2)
C *****
C *****
C CALCULO DA DISTRIBUICAO DE PRESSAO NO CANAL NOMINAL
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SEC2/CC,CUS
COMMON /SEC3/CG,G,FA
COMMON /SEC1/E2,HM,FR,DZ,A,FF
PI1=PN1+RON1*VN1**2/GC
PI2=1*(CGS+CG)*RON1*VN1**2/(2*CC)
PI3=(FN*DZ*RONM*VNM**2)/(DN*2*CC)+RONM*DZ*G/GC
PI5=RON2*VN2**2/GC
PN2=PI1-PI2-PI3-PI5
RETURN
END
C
C

```

SUB-ROTINA EQADJ

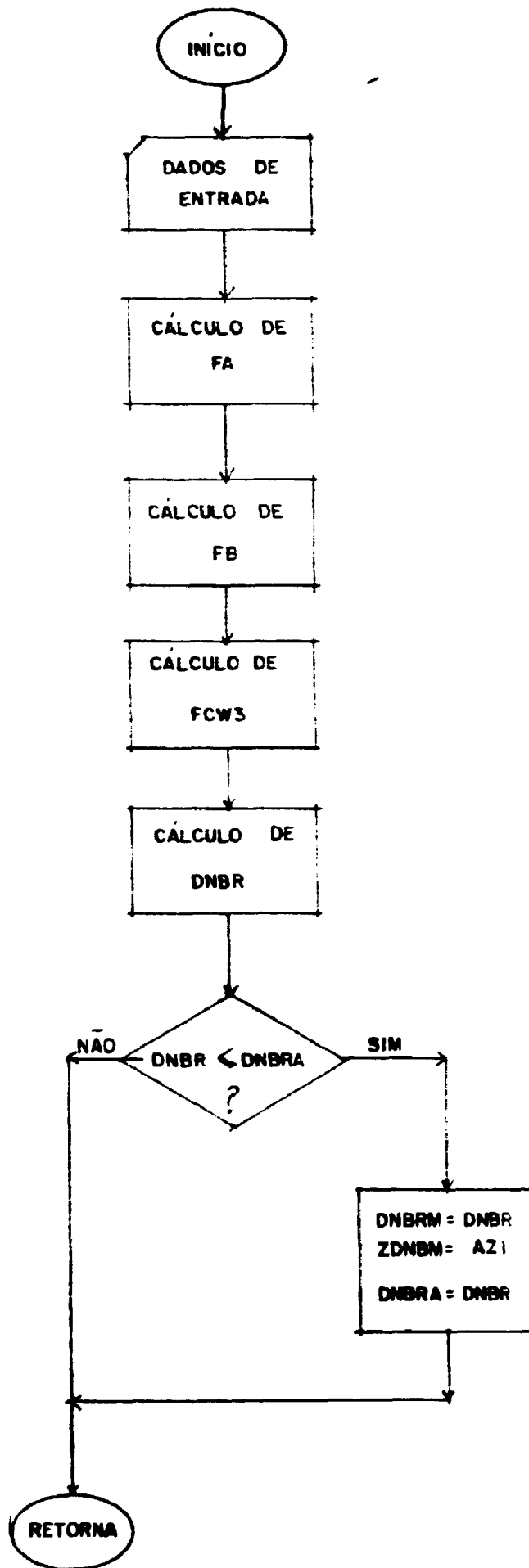



```

C
C
C *****
C *****
SUBROUTINE EQADJ(N7,AG,S1,RUC,VG,FIL,HC,GRAIS,FESTR,FESTM)
C *****
C *****
C RESOLUCAO DA EQUACAO ADJUNTA
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C DIMENSION AL(3,3),PE1A(3,3),GRAIS(3),FESTR(36,3),A(3),S1(35)
C DIMENSION FESTM(35,3),RUC(36),VG(36),FIL(37),FG(37)
C DO 50 I=1,35
C   NK=4A-I
C   CALL ATRPT(AL,FGV(NK),VG(NK),FRC(NK+1),FRC(NK),RUC(NK+1),VG(NK+1),
C   +FRC(NK+2),RUC(NK+1),FG(NK+2),AL,PE1A)
C
C   AM(1)=PE1A(1,1)*FESTR(NK+1,1)+PE1A(1,2)*FESTR(NK+1,2)+
C   +PE1A(1,3)*FESTR(NK+1,3)
C   AM(2)=PE1A(2,1)*FESTR(NK+1,1)+PE1A(2,2)*FESTR(NK+1,2)+
C   +PE1A(2,3)*FESTR(NK+1,3)
C   AM(3)=PE1A(3,1)*FESTR(NK+1,1)+PE1A(3,2)*FESTR(NK+1,2)+
C   +PE1A(3,3)*FESTR(NK+1,3)
C
C   AM(1)=Z+FI(1)+GRAIS(1)
C   AM(2)=Z+FI(2)+GRAIS(2)
C   AM(3)=Z+FI(3)+GRAIS(3)
C
C   FESTR(NK,1)=AL(1,1)*AM(1)+AL(1,2)*AM(2)+AL(1,3)*AM(3)
C   FESTR(NK,2)=AL(2,1)*AM(1)+AL(2,2)*AM(2)+AL(2,3)*AM(3)
C   FESTR(NK,3)=AL(3,1)*AM(1)+AL(3,2)*AM(2)+AL(3,3)*AM(3)
C
C   FESTM(NK,1)=(FESTR(NK+1,1)+FESTR(NK,1))/2.
C   FESTM(NK,2)=(FESTR(NK+1,2)+FESTR(NK,2))/2.
C   FESTM(NK,3)=(FESTR(NK+1,3)+FESTR(NK,3))/2.
50 CONTINUE
C   GO TO 120
C   IF(NZ,NF,1) GO TO 110
C   WRITE(3,55)
55 FORMAT(15(/),50X,'TABELA DE RESULTADOS',/50X,20('=',/)/)
C   WRITE(3,60)
60 FORMAT(2(/),6X,'POSICAO',10X,'V A L O R E S   D A   F U N C A O',
C   +',',10X,'A D J U N T A',8X,'V A L O R E S   D A   F U N C A O',
C   +',',10X,'A D J U N T A')
C   WRITE(3,70)
70 FORMAT(7X,'AXIAL',20X,'M O D O   M E M B R O S',25X,'M O D O   V L L',
C   +',',10X,'D E   C O N T R O L E',/)
C   WRITE(3,80)
80 FORMAT(7X,'A 2 1',10X,'H *',10X,'V *',10X,'W *',10X,'H *',10X,
C   +',',10X,'W *',10X,'/ / /')
C   A7I=0.
C   WRITE(3,90)A7I,FESTR(1,1),FESTR(1,2),FESTR(1,3)
90 FORMAT(3X,4(E14.7,5X))
C   DO 110 NK=1,35
100 FORMAT(4X,7(E14.7,5X))
C   WRITE(3,100)S1(NK),FESTR(NK+1,1),FESTR(NK+1,2),FESTR(NK+1,3),
C   +FESTM(NK,1),FESTM(NK,2),FESTM(NK,3)
110 CONTINUE
120 RETURN
C   ENF

```

SUB-ROTINA FCCDNB

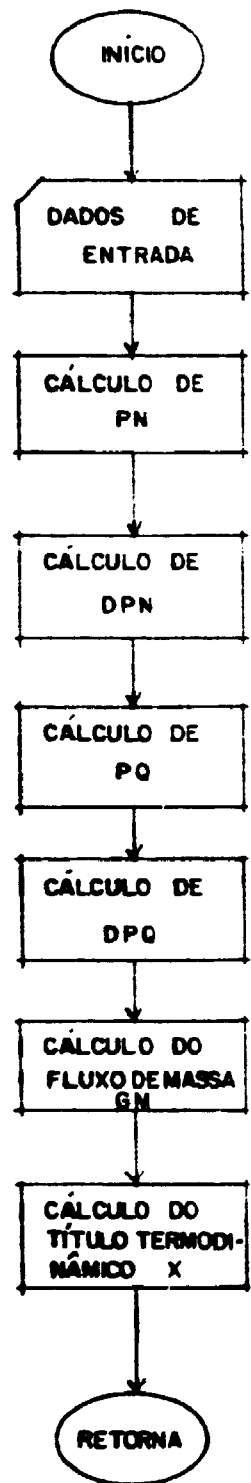


```

C      *****
C      *****
C      SHROUFIN = CODNRP/PG.XIGR.DELFLUC2.AZ1.DNBR,DNBRM,ZDNBM,DNBR=
C      *****
C      *****
C      CATCHER DE FLOUX DE CALER CRITICO E RAZAO DE LNE
C      *****
C      IMPRIMO: HEAD=8 (A=M,P=2)
C      COMMON /SF05/PI.HG.VG.VF
C      COMMON /SF07/SK.IDC.FW.FC.F
C      COMMON /SF05/CRUSS.DFSV.BFS,A1
C      COMMON /SF01/PZ.HB.FR.DZ.A1:Y
C      COMMON /SF04/PR.TRN1.MENT.FCEN1
C      FA=DEXP(1/P.177-0.004129*PG)*A)
C      FL=10.1722-0.0000984*PG)*P2
C      FA=2.022-0.0004302*P0+FA
C      FR=0.1484-1.546*A+0.1729*A*DLCS(X)
C      FR=1.037+R*GR*1.E-C
C      FR=FR*(1.157-0.869*A)
C      FR=FR*(0.2664-0.8357*DEXP(-3.151*DE))
C      FR=FR*(0.8258+0.000794*(HF-HFNT))
C      FCW3=FR*FR*1.E6
C      FS=(PG/2/5.896)*+.5)*(1.445-.0371*FR)*DEXP((X-.2)*+2)-.13 -
C      *SK*(GM/1.16)*((TDC/0.019)*+0.35)
C      FCW3=FCW3*FW*FS/FC
C      DNBR=FCW3/FLUC2
C      IF(DNBR-DNBRM)10,10,20
10  DNBRM=DNBR
    ZDNBM=AZ1
    DNBRM=DNBR
20  RETURN
    END

```

SUB-ROTINA FMATIT

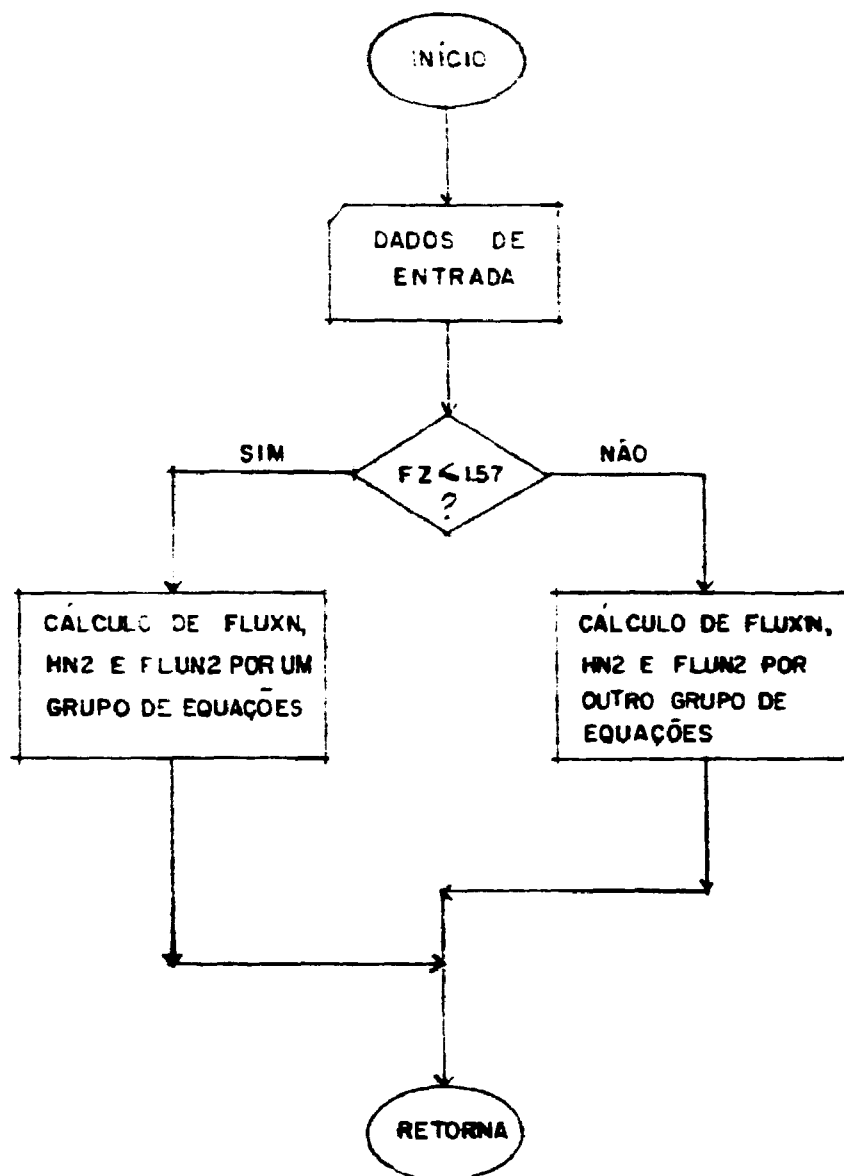


```

C
C
C *****
C *****
C SUBROUTINE FMATIT(P02,PEM1,PG2,RCG2,VG2,HG2,DPR,DPG,GM,A,PG,
*PNO)
C *****
C *****
C CALCULO DO FLUXO DE MASSA E TITULO TERMODINAMICO
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-D,Z)
C COMMON /ZSGO/HF,HG,VG,Vr
C P0=P02/144
C DPR=PEM1-P0
C P0=P02/144
C DPG=PEM1-P0
C GM=RCG2*VG2
C A=(HG2-HF)/(HG-HF)
C RETURN
C
C
C

```

SUB-ROTINA FMCECL

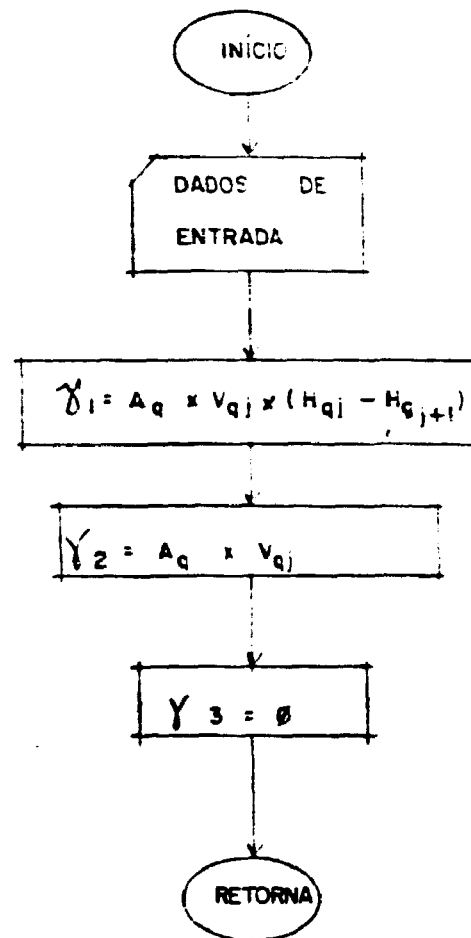


```

C
C      ****
C      ****
SUBROUTINE PROCELS(Z1,DN,GN,FLUXT,FLUXN,HN2,FLUX2)
C      ****
C      ****
C      CALCULO DE FLUXO MEDIO DE CALOR ENTALPIA E FLUXO DE CALOR
C      LOCAL NO CAMA NOMINAL
C      ****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SECT/ Z1,DN,GN,FP,DZ,A,FP
COMMON /SECT4/HENT,HEHT,HEHT,PCEHT
IA(FZ-1.57)10.10.20
10 DEF3=(FLUXT*HE)/(DZ*3.1416)
DEF4=(Z1-DZ)*3.1416/HF
FLUXN=DEF3*(DCOS(DEF4)-DCOS(3.1416*Z1/HE))
DEF5=(4.*FLUXT*HE)/(FZ*DN*GN)
DEF6=1.-DCOS(3.1416*Z1/HE)
DEF7=1.-DCOS(3.1416*HH/HE)
HN2=HEHT+DEF5*(DEF6/DEF7)
FLUX2=FLUXT*DSIN(3.1416*Z1/HE)
GO TO 30
20 CEN1=(FLUXT/DZ)/(1.-DCOS(3.1416*FH/(2.*HE)))
CEN2=(3.1416/HF)*(Z1-HH/2)
CEN3=(HF/3.1416)*(DSIN(CEN2)-DSIN(CEN2-3.1416*DZ/HE))
FLUXN=CEN1*(CEN3-DZ*DCOS(3.1416*FH/(2.*HE)))
CEN4=(4.*FLUXT*HE)/(FZ*DN*GN)
CEN5=DSIN(CEN2)+DSIN(3.1416*HH/(2.*HE))
CEN5=(HF/3.1416)*CEN5-Z1*DCOS(3.1416*HH/(2.*HE))
CEN6=(2.*HE/3.1416)*DSIN(3.1416*FH/(2.*HE))
CEN6=CEN6-HH*DCOS(3.1416*HH/(2.*HE))
HN2=HEHT+CEN4*(CEN5/CEN6)
FLUX1=DCOS(CEN2)-DCOS(3.1416*FH/(2.*HE))
FLUX2=1.-DCOS(3.1416*HH/(2.*HE))
FLUX2=FLUXT*(FLUX1/FLUX2)
30 RETURN
END
C
C

```

SUB-ROTINA GAMAS

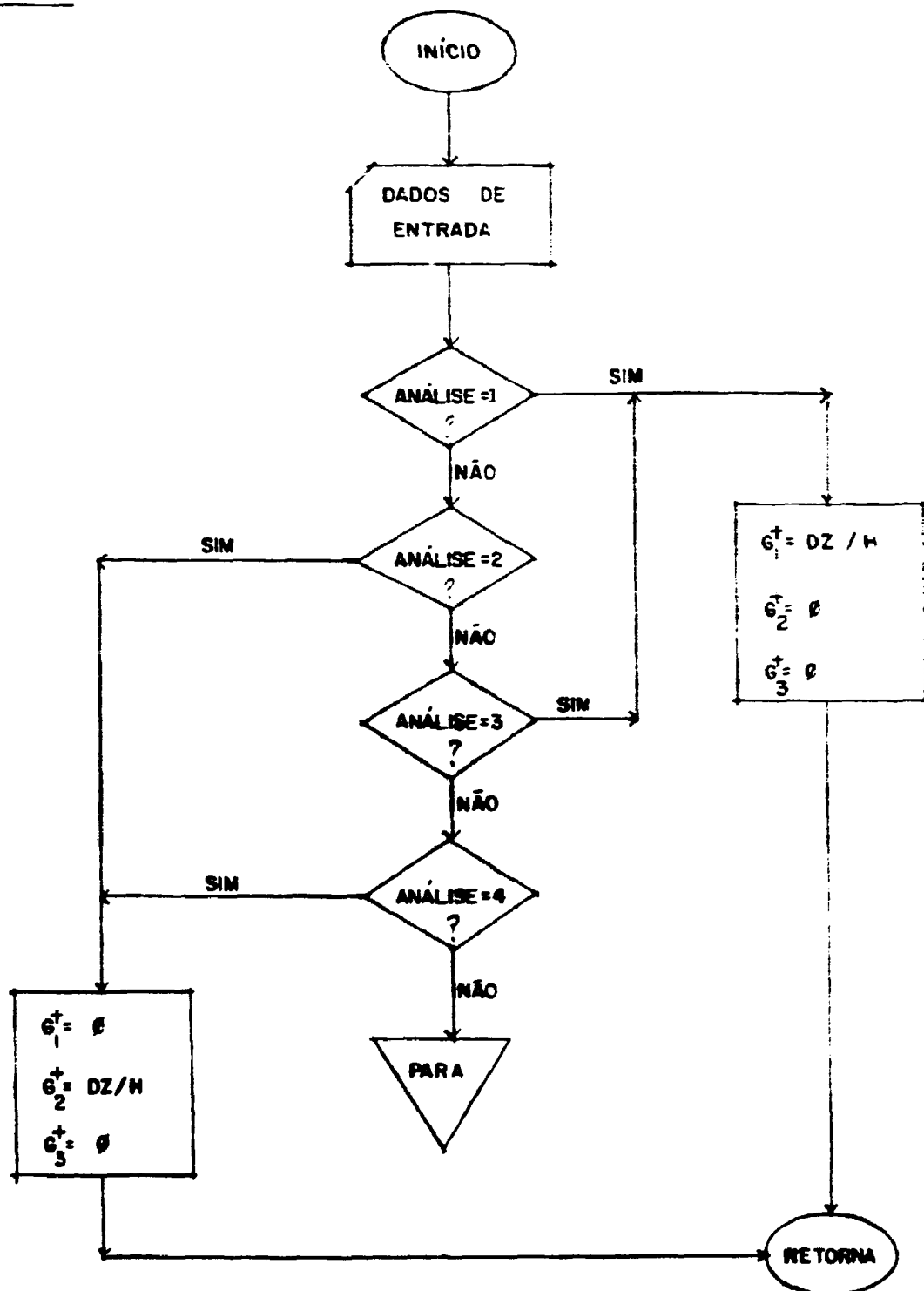



```

-
C
C
C      ****
C      ****
C      SUBROUTINE GAMAS(AG,VGA,VGE,HGA,HGE,PUGA,GAM)
C      ****
C      ****
C      CALCULATE GAMAS
C      ****
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      DIMENSION GAM(3),VG(36),PG(37),RCG(36)
C      GAM(1)=AG*VGA+(HGA-HGE)
C      GAM(2)=AG*VGA
C      GAM(3)=0.
C      90 RETURN
C      100 STOP
C      END
C

```

SUB - ROTINA GMA7

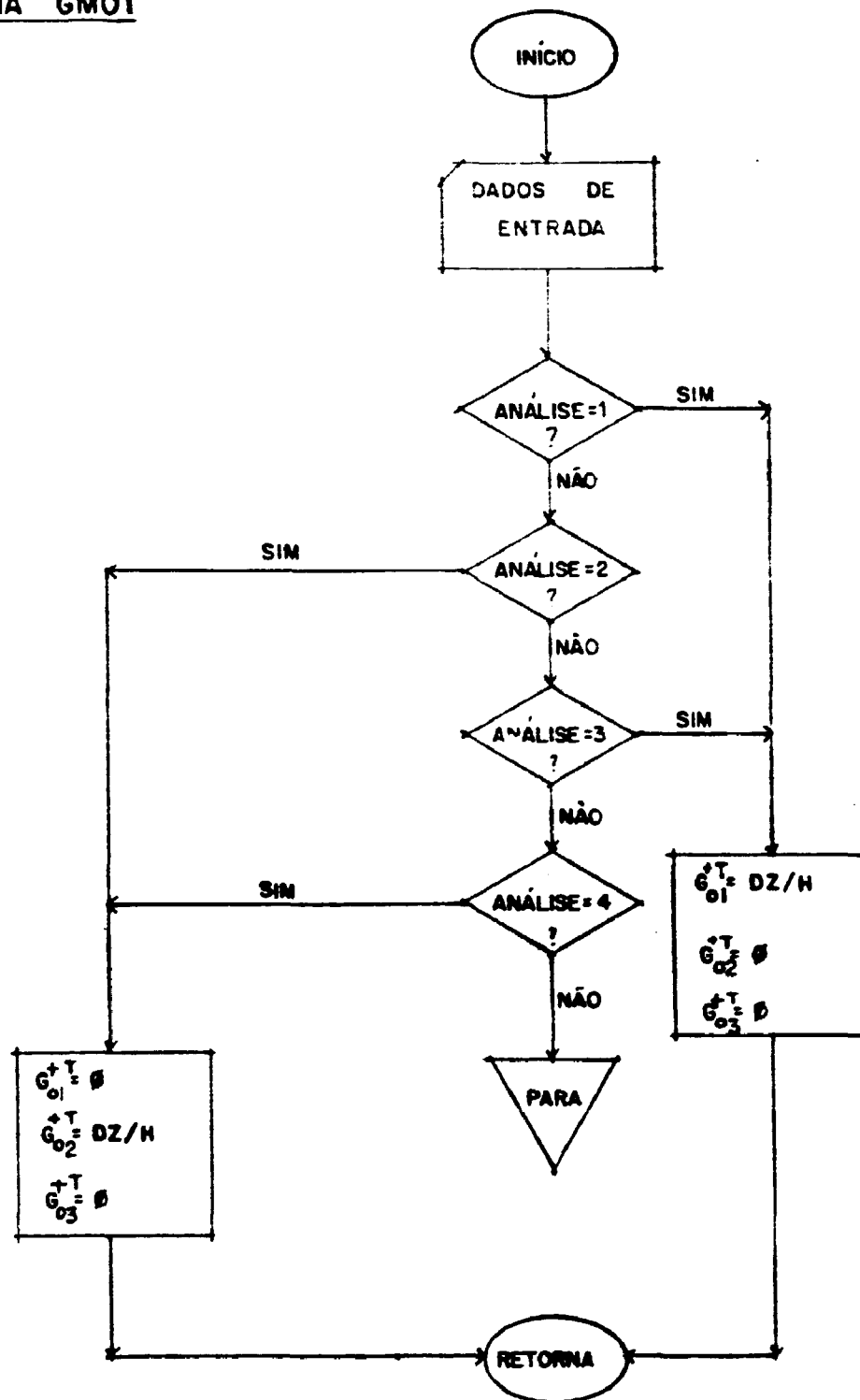


```

C
C *****
C *****
C SUBROUTINE GMAT(GMAIS)
C *****
C *****
C CALCULE DE MATRIZ G PAIS (TERM( LE FONTE)
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C DIMENSION GMAIS(3)
C COMMON /SPEC1/F7,FR,FR,D2,A,PI
C COMMON /SPEC3/DG,Cr,D,NF
C COMMON /SPEC6/IFUNC
C IF(IFUNC.EQ.1) GO TO 5
C IF(IFUNC.EQ.2) GO TO 15
C IF(IFUNC.EQ.3) GO TO 5
C IF(IFUNC.EQ.4) GO TO 15
C GO TO 210
5 GMAIS(1)=D7/(H)
  GMAIS(2)=0.
  GMAIS(3)=0.
  GO TO 100
15 GMAIS(1)=0.
  GMAIS(2)=D2/(H)
  GMAIS(3)=0.
100 RETURN
210 STOP
  END
C

```

SUB-ROTINA GMOT



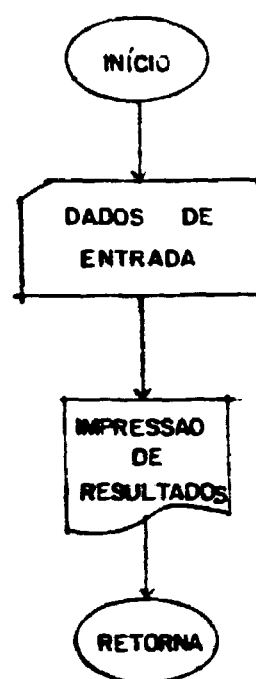
```

C
C *****
C *****
SUBROUTINE GMUT(GMAUT)
C *****
C *****
C CLONED DA MATRIX G O MATS TRANSPLA
C *****

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION GMAUT(3)
COMMON /SPEC/IFUNC
COMMON /SPEC1/P2,HR,FP,D2,L,FM
COMMON /SPEC3/DG,CH,B,NE
IF(IFUNC.EQ.1) GO TO 10
IF(IFUNC.EQ.2) GO TO 60
IF(IFUNC.EQ.3) GO TO 10
IF(IFUNC.EQ.4) GO TO 60
GO TO 100
10 GMAUT(1)=D2/(H)
   GMAUT(2)=0.
   GMAUT(3)=0.
   GO TO 60
60 GMAUT(1)=0.
   GMAUT(2)=D2/(H)
   GMAUT(3)=0.
90 RETURN
100 STOP
   END

```

SUB-ROTINAS IMPR1, IMPR3, IMPR5, IMPR7



```

C      ****
C      ****
C      SUBROUTINE IMPR1
C      ****
C      ****
      WRITE(3,10)
10  FORMAT(//,50X,'TABELA DE RESULTADOS',/,50X,'=====
      *'=====')
      WRITE(3,20)
20  FORMAT(5X,'POSICAO',5X,'QUEDA PRESSAO',2X,'QUEDA PRESSAO',3X,
      *'FLUXO MASSA',5X,'CROSSFLOW',5X,'TEMPERATURA',6X,'TITULO',6X,
      *'RAZAO DE',/,6X,'AXIAL',6X,'CANAL NOMINAL',2X,'CANAL QUENTE',
      *3X,'CANAL QUENTE',3X,'CANAL QUENTE',5X,'PAREDE',6X,
      *'CANAL QUENTE',9X,'DNB',/)
      WRITE(3,30)
30  FORMAT(20X,'(PSIA)',9X,'(PSIA)',6X,'(DNB/REF.F12)',6X,
      *'(LBM/HR)',9X,'( F )',/)
      RETURN
      END
C

C
C      ****
C      ****
C      SUBROUTINE IMPR3(DNBDM,2DNBM)
C      ****
C      ****
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      WRITE(3,10)
10  FORMAT(//,2X,'ATINGIU-SE O TIPO DOS CANAIS ',/,2X,'=====',
      *'=====')
      WRITE(3,20)DNBDM
20  FORMAT(//,40X,'MINIMA RAZAO DE DNB =',E14.7)
      WRITE(3,30)2DNBM
30  FORMAT(//,10X,'POSICAO AXIAL DE MINIMA RAZAO DE DNB =',E14.7)
      WRITE(3,40)
40  FORMAT(//,50X,'TABELA DE RESULTADOS',/,50X,'=====',
      *'=====')
      WRITE(3,50)
50  FORMAT(5X,'POSICAO',7X,'ENTALPIA',6X,'TEMPERATURA',5X,
      *'DENSIDADE',6X,'ENTALPIA',6X,'TEMPERATURA',5X,'DENSIDADE',
      *4X,'FRACAO VAZIOS')
      WRITE(3,60)
60  FORMAT(6X,'AXIAL',6X,'CANAL QUENTE',3X,'CANAL QUENTE',3X,
      *'CANAL QUENTE',3X,'CANAL NOMINAL',2X,'CANAL NOMINAL',2X,
      *'CANAL NOMINAL',2X,'CANAL QUENTE',/)
      WRITE(3,70)
70  FORMAT(19X,'(BTU/LBM)',8X,'( F )',9X,'(LBM/FT3)',6X,
      *'(FID/HR)',8X,'( F )',9X,'(LBM/FT3)',/,)
      RETURN
      END
C

```

```

C
C *****
C *****
C SUBROUTINE IMPR5(A71,DPK,DPO,GM,FLOC,1W,X)
C *****
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C WRITE(3,10)A71,DPK,DPO,GM,FLOC,1W,X
10 FORMAT(10X,E14.7)
C RETURN
C END

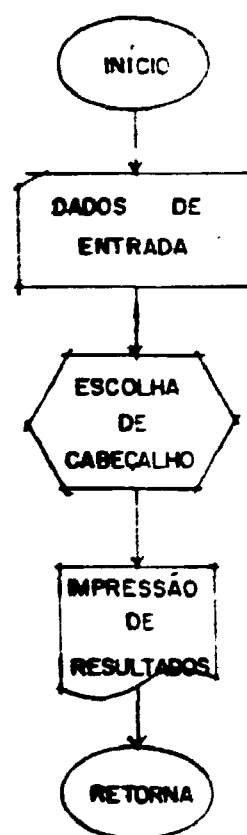
```

```

C
C *****
C *****
C SUBROUTINE IMPR7(VA1,VA2,VA3,VA4,VA5,VA6,VA7,VAB)
C *****
C *****
C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C WRITE(3,10)VA1,VA2,VA3,VA4,VA5,VA6,VA7,VAB
10 FORMAT(10X,E14.7)
C RETURN
C END

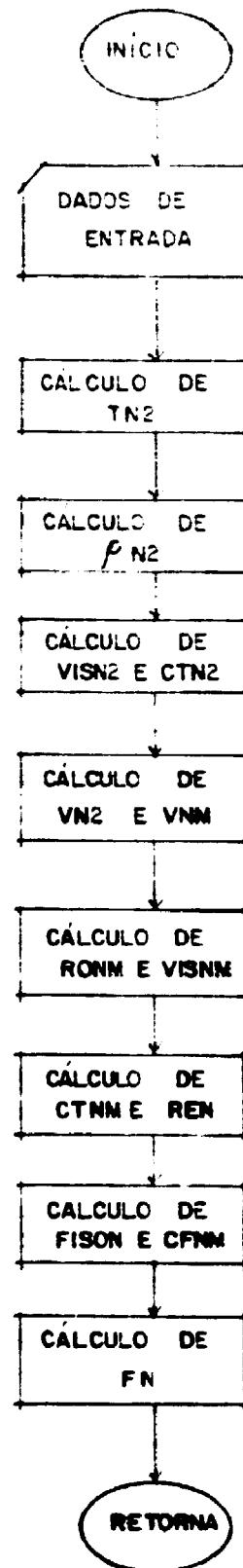
```


SUB-ROTINA IMPR9



[illegible]

SUB-ROTINA PRDZCN

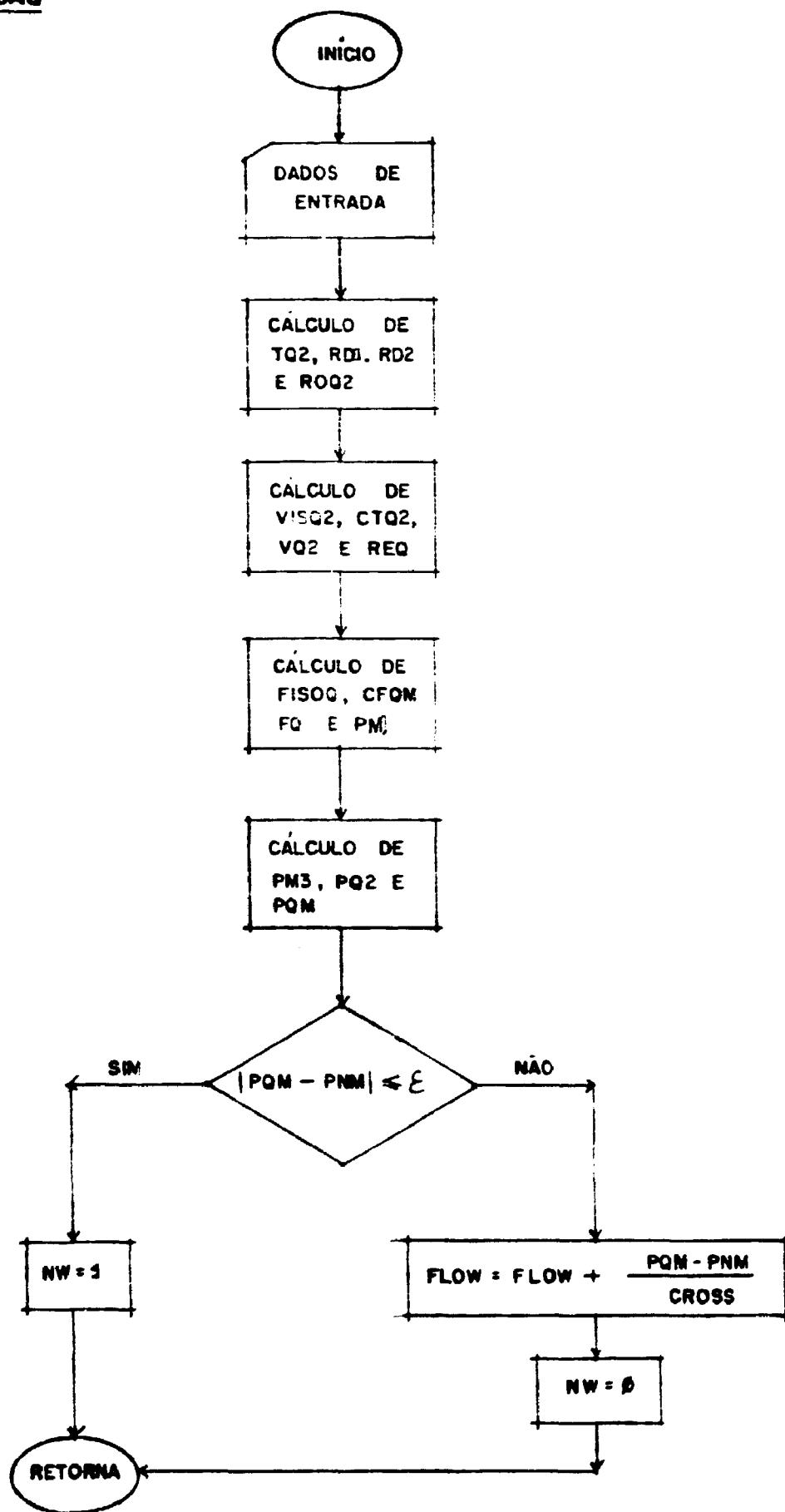


```

C
C *****
C *****
C SUBROUTINE PRZCNHN2,FLUXN,GN,VN1,REN1,VISN1,CIN1,DN,TN2,
+RON2,VTSN2,CTN2,VN2,VNM,RONM,VISM,CTNM,FEN,EISON,CENM,FN)
C *****
C *****
C DETERMINA LAS PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE EN DELTA 2 MC
C CALI EN EL
C *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SECS/DG,CP,RNF
COMMON /SECS/PM,TEN1,RENT,RENT1
INDENT1=(TEN2-RENT)/CP
DETF=1.0-0.50.435)/50.725
DEN=DETF*(DN*DG)
RON2=1.5*TN2*1.E-5+0.0121+DEN9
RON2=1/RON2
VTSN2=-4.7*TN2*1.E-4+0.495
CTN2=1.8*2*TN2*1.E-3-2.26*TN2**2*1.E-6-0.01766
VN2=GN/RON2
VNM=(VN1+VN2)/2.
RONM=(RON1+RON2)/2.
VISM=(VTSN1+VISM2)/2.
CTNM=(CTN1+CTN2)/2.
REN=GN*DN/VISM
REF=REF**(-0.32)
EISON=0.5*REN+0.0056
CENM=(0.023*CP**0.4*GN**0.8*CTNM**0.6)/(DN**0.2*VISM**0.4)
FEN=EISON*(1.-0.0025*FLUXN/CENM)
RETURN
END

```

SUB - ROTINA PROCAO

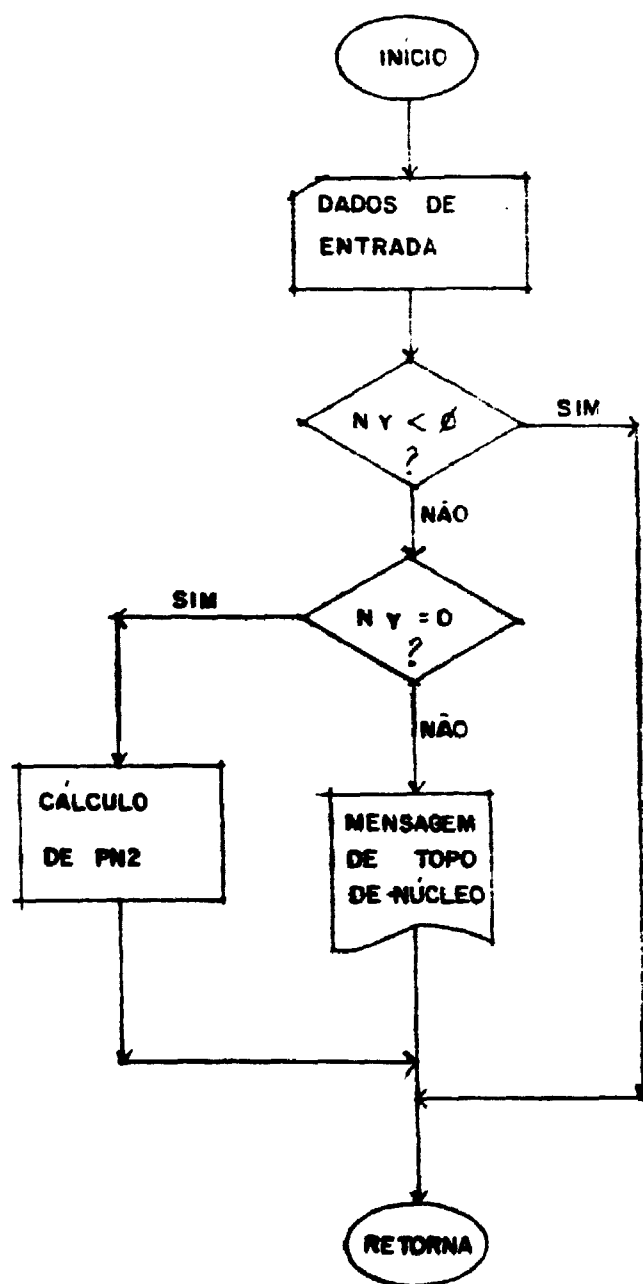


```

C      *****
C      *****
C      SUBROUTINE PRDCAD(AQ,HC2,VFC,FLOU,FLO1,VG1,FLUXG,L,N,K,PNM,HQ1,
*Q,CTG1,PQ1,CG,VISQ1,TG2,RDE1,RLE2,RG2,VISQ2,CTG2,VQ2,REQ,
*FTSQ,CFOM,FG,PQ2,PM,FH3,NK)
C      *****
C      *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SEC4/PH,TEN1,HEHT,FLUHT
COMMON /SEC2/GC,CGS
COMMON /SEC6/CG,C,FA
COMMON /SEC3/DQ,CF,B,NF
COMMON /SEC5/CROSS,DESV,FHS,I1
COMMON /SEC1/RZ,BE,FR,E2,NR1
TG2=0.764*HC2+132.-DEXP((HC2-192.)/40.)
RDE1=(TG2-930.435)/50.725
RDE2=FA*P(RDE1)
RQ2=1.-R*102+1.-F-B+0.0121+RDE2
RQ2=1/RQ2
VISQ2=-4.7*162*1.-F-B+0.49
CTG2=1.-R2*102+1.-F-B-2.26*VQ2**2*1.-F-B-0.0176
VQ2=(VFC+FLOU)/(AQ*HQ2)
FV=VISQ1+VISQ2
FV=(FQ1+RG2)/(VG1+VG2)
RDE=(FV*HQ1)/(2*FV)
RDE=FR**(-0.32)
FTSQ=0.5*FR+0.005C
FK=(CTG1+CTG2)**0.6
FV1=FV**0.4
FRV1=FR**0.6
FK1=(CP**0.4)/(DQ**0.2)
CFOM=0.005*1.-3*FK1*FRV1*FR/FV1
FG=FTSQ*(1.-0.0025*FLUXG/CFOM)
PM1=AQ*PQ1+AQ*RQ1*VQ1**2/GC
PM2=FLU***(VQ1+VQ2)/(2*GC)
PM3=1*(CGS+CG)*AQ*PQ1*VQ1**2/2/GC
PM4=FG*Q2*AQ*(RQ1+RQ2)*(VQ1+VQ2)**2/(16*DQ*GC)
PM5=AQ*(RQ1+RQ2)*Q2*G/(2*GC)
PM6=**CG*AQ*RQ2*VQ2**2/2/GC
PM7=AQ*RQ2*VQ2**2/GC
PM8=K*FX*AQ*RQ2*VQ2**2/2/GC
PQ2=(PM1-PM2-PM3-PM4-PM5-PM6-PM7-PM8)/AQ
POM=(PQ1+PQ2)/2
IF(DABS(POM-PNM)-EPS)20,20,10
10 FLOW=FLOW+(POM-PNM)/CROSS
NM=0
GO TO 30
20 NM=1
30 RETURN
END

```

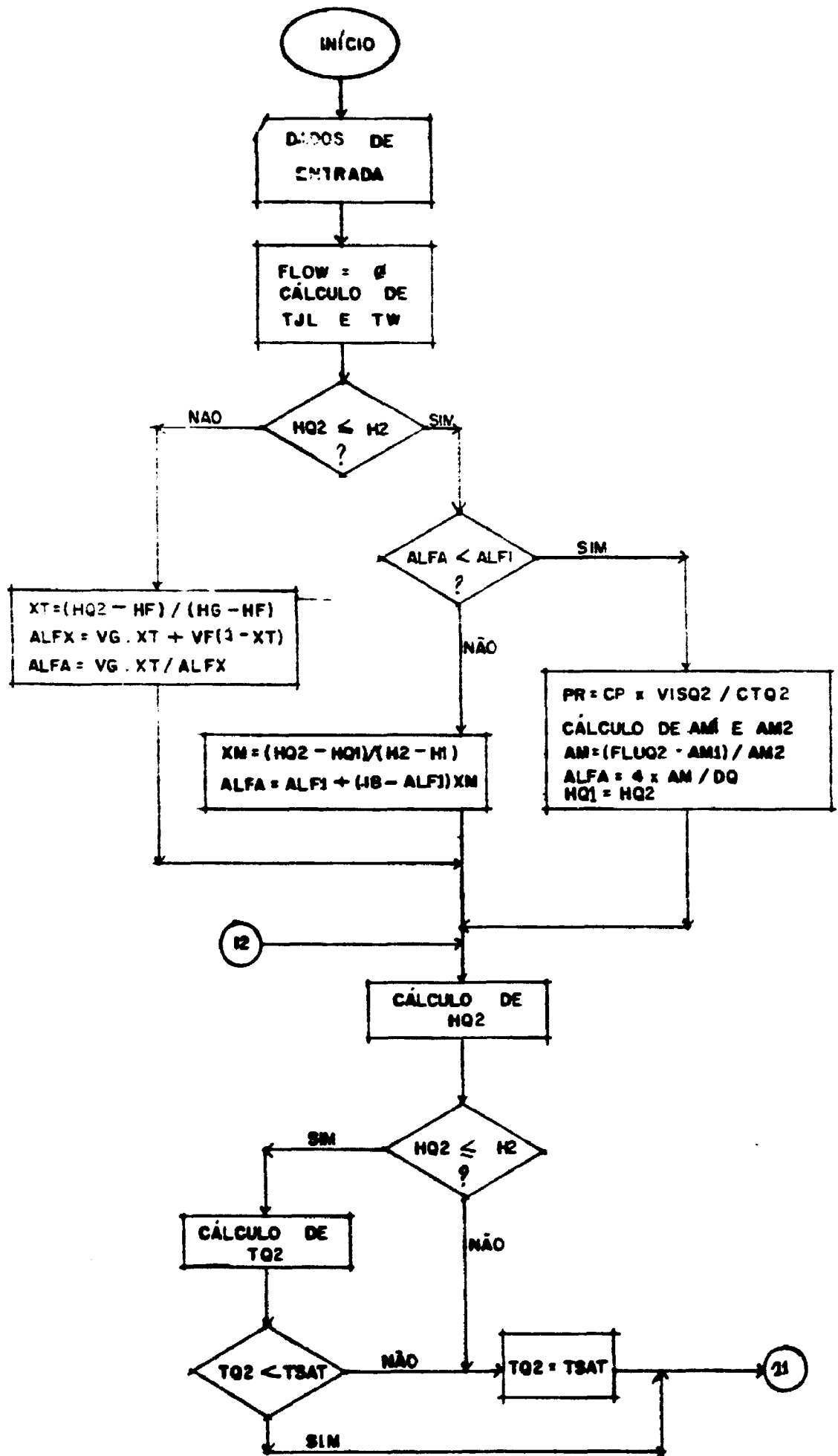
SUB-ROTINA TCANAT

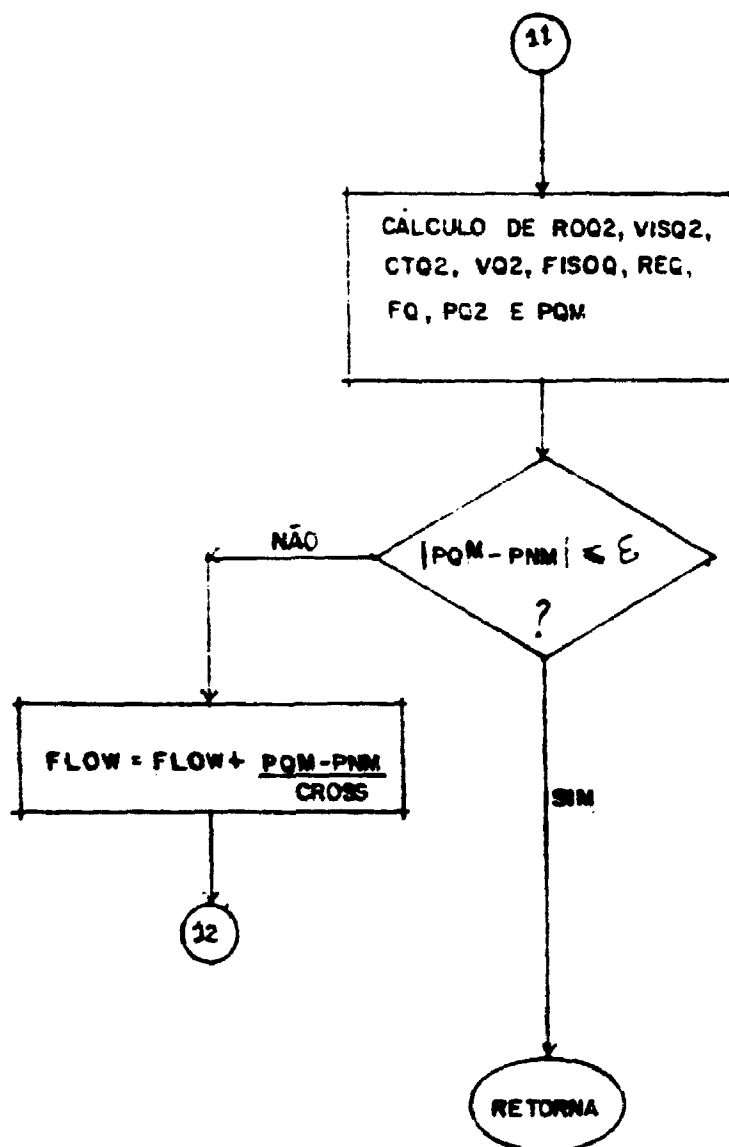


```

C
C      *****
C      *****
SUBROUTINE TCANAT(N1,PR1,RON1,VN1,L,FN,RCNM,VNM,DN,RON2,VN2,
*K,CG,PN2)
C      *****
C      *****
C      VERIFICACAO SE O TOPO DO CANAL FOI ATINGIDO
C      *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SEC2/GC,CGS
COMMON /SEC6/CD,G,FA
COMMON /SEC1/PZ,H1,FH,DZ,A,FF
IF (NY=0) 50,20,30
20 PI1=PN1+RON1*VN1**2/GC
PI2=1+(CGS+CD)*RON1*VN1**2/2/GC
PI3=(FF*DZ*RON1*VN1**2)/(L1*2*GC)+RON1*DZ*G/GC
PI4=CG*RON2*VN2**2/2/GC
PI5=RON2*VN2**2/GC
PI6=K*FA*RON2*VN2**2/2/GC
PN2=PI1-PI2-PI3-PI4-PI5-PI6
GO TO 50
30 WRITE(3,40)
40 FORMAT(//,2X,'ATINGIU-SE O TOPO DO NUCLEO',/)
50 RETURN
END

```



```

C
C
C *****
C *****
C SUPROUTINE TROPOM (AG, FLUG2, FG, TSA1, HG2, H2, ALF1, VISQ2, CTQ2, CFQ2,
*G, CTQ1, P01, ALFA, VISQ1, CG, PF1, PF3, H1, TG2, VEG, HQ1, RUQ1, VQ1,
*FLUG, CHG, N, N, PPF, FLUX, TOL, TW, RCQ2, VG2, FISSQ, REG, FQ, PQ2, PQM)
C *****
C *****
C CALCULO DA TEMPERATURA DE REVESTIMENTO CORRIGIDA PELA CORRELA
C CAO ENTRE AS DUTTES E CALCULO DAS PROPRIEDADES DO CANAL CUENTE
C CONSIDERANDO-SE FRACAO DE VAZIOS
C *****
C IMPL0011 PPA1*P (A=B, C=2)
C CORR01 /SE C4/FF, TEND, PENT, RUENT
C CORR02 /SE C2/AG, CGS
C CORR03 /SE C6/CT, G, EX
C CORR04 /SE C5/AL, CH, R, RF
C CORR05 /SE C5/CRUSS, DESV, FFS, M1
C CORR06 /SE C1/F7, PF, PF, PZ, A, FA
C CORR07 /SE C6/FE, NG, VF, VG
C FLUG=0.0
C TOL=(1.4*(FLUG2**0.25))/DEXP(FG/500)
C TW=TSAT+TOL
C IF (HC2=H2) 10, 10, 40
10 IF (PA1FA-B1F1) 20, 30, 50
20 PF=(P+VISQ2/CTQ2)
C AM1=CFQ2*(TV-TG2)*FF*CTQ2
C AM2=1.07*(TSA1-TG2)+(CFQ2**2)
C AX=(FLUG2-AM1)/AM2
C ALFA=6*AX/DL
C H1=HG2
C GR=10.5
30 XM=(HQ2-H1)/(H2-H1)
C ALFA=ALF1+(0.18-ALF1)*XF
C GR=10.50
40 XT=(HQ2-HF1)/(HG-HF1)
C ALFA=VG*XT+VF*(1.-XT)
C ALFA=(VG*XT)/ALF1
50 HQ2=(VFQ*HQ1+(P+FLUG*HQ1/2))/(VEG+FLUG/2)
60 IF (HC2=H2) 70, 70, 80
70 TG2=0.764E*HQ2+137.-DEXP((HG2-592.)/40.)
C IF (TG2-TSAT) 90, 60, 80
80 TG2=TSAT
90 RDE1=(TG2-930.435)/50.725
C RDE2=DEXP(RDE1)
C RQG2=1.6*TG2*1.E-5+0.0121+RDE2
C RQG2=1/RQG2
C VISQ2=-4.7*TG2*1.E-4+0.495
C CTQ2=1.8E2*TG2*1.E-3-2.26*TG2**2*1.E-6-0.0176E
C RNV=0.043929*TW-52.604
C RQ1=RUQ2

```

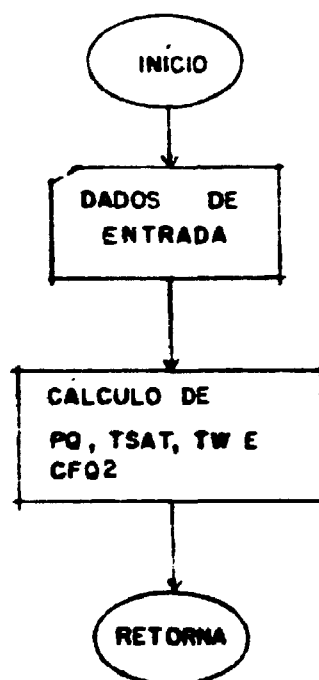
```

R002=ATF2+REV+(1.-ALFA)*P01
V02=(VFN+FLNF)/(20*R02)
FV=VTSQ1+VTSQ2
FV1=(R001+R002)*(V01+V02)
R00=(FV1*10)/(2*FV)
RFG=RFG+(-0.32)
FTSQ0=0.5*RFG+0.0050
FK=(C101+C102)+0.6
FV1=FV**0.4
FV11=FV**0.8
FK1=(CF**0.4)/(FG**0.2)
CF0M=0.005*1.7-3*FK1*FV1+FK/FV1
FG=FTSQ0*(1.-0.0025*FLDAG/CF0F)
P02=FLD0*(V01+V02)/(2*GC)
PM4=FG*FK*AK*(R001+R002)*(V01+V02)**2/(16+10*GC)
PM5=AK*(R001+R002)*L2*G/(2*GC)
PM6=M*CG*AC*H102*V02**2/(2*GC)
PM7=L0*R002*V02**2/GC
PM8=M*1*10*F002*V02**2/(2*GC)
P02=(FV1-PM2-PM4-PM5-PM6-PM7-PM8)/AL
P01=(P01+P02)/2
IF(DABS(P01-PM1)-EPS)100,100,95
95 FJ0K=FT0K+(P01-PM1)/CHSS
GO TO 50
100 RETURN
END

```

C

SUB - ROTINA TSATRE

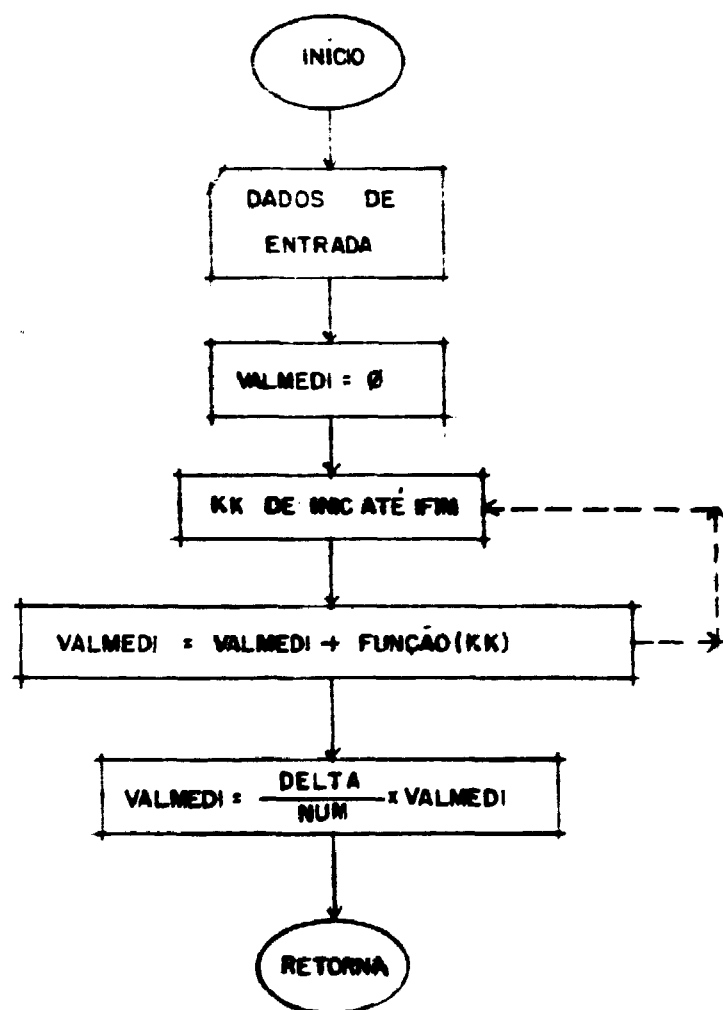


```

C
C *****
C *****
C SUBROUTINE ISATHE(PQ2,VO2,VISQ2,CTQ2,TQ2,FLUQ2,FC,TSAT,
*Tw,CFQ2)
C *****
C *****
C CALCUL DAS TEMPERATURAS DE SATURACAO E REVESTIMENTO
C *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SECO3/DO,CP,DP,NF
PQ=PQ2/144
TSAT=0.06545*PQ+505.409
REQ2=(PQ2*VO2*DO)/VISQ2
REQ2=REQ2**0.8
PRQ2=(CP*VISQ2)/CTQ2
PRQ2=PRQ2**0.4
PKD=(0.023*CTQ2)/DO
CFQ2=PKD*REQ2*PRQ2
Tw=TQ2+FLUQ2/CFQ2
RETURN
END
C

```

SUB - ROTINA VALMED



```

C
C
C *****
C *****
SUBROUTINE COEFVM(DELTA,NUM,INIC,IFIM)
C *****
C *****
C DETERMINACAO DOS COEFICIENTES PARA O CALCULO DO VALOR MEDIO
C DE FUNCAOAL A SER ANALISADA
C *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON /SF03/NO,CH,D,NE
COMMON /SF01/7,RE,ER,LEZ,A,FA
DIMENSION
NHE=2+H
INIC=1
IFIM=16
RETURN
END

```

C
C

```

C *****
C *****
SUBROUTINE VALMED(DELTA,NUM,INIC,IFIM,FUNC,VAMEDI)
C *****
C *****
C CALCULO DO VALOR MEDIO DE UMA FUNCAO QUALQUER
C *****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION FDP(36),FMP(36),FUNC(36),FNF(36)
VAMEDI=0.
DO 50 KK=INIC,IFIM
VAMEDI=VAMEDI+FUNC(KK)
50 CONTINUE
VAMEDI=VAMEDI*DELTA/NHE
RETURN
END

```

C
C
C
C
C

END DO PROGRAMA