



UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR IBM 1620 PARA ESTI-
MATIVAS DA CURVATURA MATERIAL DE ARRANJOS
MULTIPLICADORES

H. R. FRANZEN e ELENICE MAZZILLI

PUBLICAÇÃO IEA N.º **128**

Novembro — 1966



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR IBM 1620 PARA ESTIMATIVAS
DA CURVATURA MATERIAL DE ARRANJOS MULTIPLICADORES

H. R. Franzen e Elenice Mazzilli

Serviço de Cálculo Analógico e Digital
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil



Publicação IEA nº 128

Novembro - 1966

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof. Dr. Luiz Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof. Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof. Dr. José Augusto Martins		
Prof. Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof. Dr. Theodoro H. I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Marcello D. S. Santos

Divisão de Radioquímica -

Chefe: Prof. Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -

Chefe: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Tharcísio D. S. Santos

Divisão de Engenharia Química -

Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -

Chefe: Eng^o Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Eng^o Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Divisão de Ensino e Formação -

UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR IBM 1620 PARA ESTIMATIVAS
DA CURVATURA MATERIAL DE ARRANJOS MULTIPLICADORES

H. R. Franzen e Elenice Mazzilli

RESUMO

O programa Framas, desenvolvido para o computador IBM 1620, modelo II, permite estimar a curvatura material de arranjos de óxido de urânio moderados por misturas de água leve e água pesada.

No presente trabalho, foram calculadas as curvaturas materiais de 15 arranjos ligeiramente enriquecidos em U^{25} , com encamisamento de aço e as concentrações de água pesada foram as seguintes: 99,4%, 81,0% e 55,0%. Todos os resultados obtidos são considerados satisfatórios dentro do objetivo deste trabalho.

São apresentados também método de programação para o IBM 1620, diagrama bloco, forma de entrada e saída de dados e um exemplo numérico completo.

RESUME

Le programme "Framas", utilisé avec le calculateur IBM 1620 modèle II permet d'estimer le laplacien matière d'arrangement d'oxyde d'uranium modéré par un mélange d'eau légère et d'eau lourde.

Ce travail présente le calcul du laplacien matière de quinze arrangements légèrement enrichis en U^{25} avec une gaine en acier. Les concentrations en eau lourde furent les suivantes: 99,4%, 81,0% et 55,0%. Tous les résultats obtenus sont considérés satisfaisants dans l'objectif de ce travail.

Il est aussi présenté une méthode de programmation pour un IBM 1620: diagramme bloc, formes d'entrée et de sortie d'information ainsi qu'un exemple numérique complet.

RESUME

The Frama program, developed for IBM 1620, model II, permits to evaluate the material bucklings of uranium oxide moderated by D_2O/H_2O mixtures.

In the present report, are given the material bucklings values obtained for 15 uranium oxide lattices slightly enriched in U^{25} ; classing 304 stainless steel; D_2O/H_2O concentrations: 99,4%, 81,0% and 55,0%. Within the scope of this report, all results were considered satisfactory.

It is also presented the Fortran list, the output-input data, flow chart as well as a numerical example.

I. INTRODUÇÃO

Através do programa FRAMA, foi efetuado um estudo sistemático da curvatura material de arranjos de óxido de urânio ligeiramente enriquecido e moderados por misturas de água leve e água pesada (1,2).

As características dos elementos combustíveis são as seguintes: óxido de urânio, 3% enriquecido em U^{25} , densidade do óxido 9.28 g/cm^3 , diâmetro das pastilhas de óxido 1.128 cm; encamisamento de aço tipo 304, densidade 8.03 g/cm^3 , espessura 0.07 cm. O peso de óxido de urânio por elemento combustível é de 1 600 g e com um comprimento efetivo de 170.18 cm.

Os espaçamentos entre os elementos combustíveis e as concentrações de água pesada e água leve são os seguintes:

T A B E L A I

nº do caso	espaçamento (cm)	Conc. D ₂ O %
1	10.000	99.4
2	6.544	"
3	4.908	"
4	3.658	"
5	3.272	"
6	2.314	"
7	1.636	"
8	3.800	81.00
9	3.272	"
10	2.687	"
11	2.314	"
12	1.636	"
13	3.272	55.00
14	2.687	"
15	2.314	"
16	1.900	"

II. NOTAÇÃO (3)

E_D enriquecimento normal em U²⁵ no urânio natural

E enriquecimento em U²⁵ utilizado

M_c massa molecular do oxigênio

M_{28} massa molecular do U²⁸

M_{25} massa molecular do U²⁵

ρ_{UO_2}	densidade do óxido de urânio
N_{25}	número de átomos de U^{25} por cm^3
N_{28}	número de átomos de U^{28} por cm^3
N_o	número de átomos de oxigênio por cm^3
A	número de Avogadro
N_{cl}	número de átomos do encamisamento por cm^3
ρ_{cl}	densidade do encamisamento (alumínio ou aço)
V_{cl}	volume do encamisamento
R_2	raio do combustível + encamisamento
R_o	raio do combustível
δ	fração de água leve
α_v	fração de vazios
ρ_{H_2O}	densidade da água leve
ρ_{D_2O}	densidade da água pesada
M_{H_2O}	massa molecular da água leve
M_{D_2O}	massa molecular da água pesada
T	temperatura ambiente $^{\circ}K$
T_o	$273^{\circ}K$
V_t	volume total da célula unitária
V_f	volume de combustível
P	espaçamento entre os elementos combustíveis
$N_{h,i}$	número de átomos homogeneizados da região i
$R_{sp_{28}}$	integral de ressonância do U^{28} considerando um só elemento
$R_{sp_{28}}(T,E)$	integral de ressonância do U^{28} considerando o enriquecimento E.

$\int_{p_{25}}$	integral de ressonância - absorção no U^{25} considerando um só elemento combustível
$\int_{f_{25}}$	integral de ressonância - fissão no U^{25} considerando um só elemento combustível
Σ_m	seção de choque macroscópica total de espalhamento do moderador
τ_1	índice de geometria
K_1^r	integral de ressonância do arranjo no qual deve-se aplicar a correção de Dancoff
R_1^{resv}	integral de ressonância resolvida
$R_1^{l=0}$	integral de ressonância não resolvida
j	fator Dancoff
μ	fator "sombra" do óxido de urânio
ν_t	número médio de nêutrons rápidos emitidos
Σ_m	seção de choque macroscópica de fissão do U^{25}
Σ_a	seção de choque macroscópica de absorção do óxido
f	fator de utilização térmica
V_{mod}	volume de moderador
Σ_{amod}	seção de choque macroscópica de absorção do moderador
Σ_{af}	seção de choque macroscópica do combustível
Σ_{aci}	seção de choque macroscópica de absorção do encamisamento
K_f	inverso do comprimento de difusão térmica no combustível
R_{cell}	raio da célula equivalente
k_{mod}	inverso do comprimento de difusão do moderador
P_{28}	probabilidade de escape a ressonância
ϵ	fator de fissão rápida

P_c	probabilidade de colisão
L^2	área de difusão térmica do meio
Σ_{tot}	seção de choque macroscópica total do meio
Σ_a	seção de choque macroscópica de absorção do meio
Σ_{tr}	seção de choque macroscópica de transporte do meio
k	fator de multiplicação infinito
k_{eff}	fator de multiplicação efetivo
M^2	área de migração
τ	idade de Fermi para o meio multiplicador
B_m^2	curvatura material do arranjo multiplicador
R	raio do arranjo multiplicador
H	altura do arranjo multiplicador
N	número de elementos combustíveis
M_{UO_2}	massa de óxido de urânio

FORMULÁRIO

$$x = \frac{E \left(1 + \frac{2 M_o}{M_{25}} \right)}{(100-E) \left(1 + \frac{2 M_o}{M_{28}} \right)} \quad (1)$$

$$N_{U25} = A \left(\frac{x}{1+x} \right) \frac{\rho_{UO_2}}{(M_{25} + M_o)} \quad (2)$$

$$N_{U28} = A \left(\frac{1}{1+x} \right) \frac{\rho_{UO_2}}{(M_{28} + 2 M_o)} \quad (3)$$

$$N_o = 2 (N_{U25} + N_{U28}) \quad (4)$$

$$N_{c1} = \frac{A \rho_{c1}}{M_{c1}} \quad (5)$$

$$V_{c1} = \pi (R_2^2 - R_o^2) \quad (6)$$

$$N_{H2O} = \frac{\rho_{H2O}}{M_{H2O}} \cdot \frac{A \delta (1 - \alpha_v)}{\delta + \frac{M_{D2O}}{M_{H2O}} \cdot \frac{\rho_{H2O}(T)}{\rho_{D2O}(T)} (1 - \delta)} \quad (7)$$

$$N_{D2O} = \frac{\rho_{H2O}}{M_{H2O}} \cdot \frac{A (1 - \delta) (1 - \alpha_v)}{\delta + \frac{M_{D2O}}{M_{H2O}} \cdot \frac{\rho_{H2O}(T)}{\rho_{D2O}(T)} \cdot (1 - \delta)} \quad (8)$$

$$\rho_{H2O}(T) = - \frac{0.02}{T - T_o} + \sum_{k=0}^2 C_{1,K} (T - T_o)^K \quad (9)$$

$$C_{1,0} = 1.0045 \quad C_{1,1} = -2.1932 \times 10^{-4} \quad C_{1,2} = 2.4005 \times 10^{-6}$$

. 8 .

$$f_{D20}(T) = \sum_{k=0}^5 C_{2,K} (T - T_0)^K \quad (10)$$

$$C_{2,0} = 1.10482 \quad C_{2,1} = 2.0374 \times 10^{-4} \quad C_{2,2} = -9.8367 \times 10^{-6}$$

$$C_{2,3} = 5.1097 \times 10^{-8} \quad C_{2,4} = -1.6844 \times 10^{-10} \quad C_{2,5} = 2.0429 \times 10^{-13}$$

$$V_T = P^2 \quad (\text{célula quadrada}) \quad (11)$$

$$V_T = \frac{\sqrt{3}}{2} P^2 \quad (\text{célula hexagonal}) \quad (12)$$

$$N_{h,i} = N_i \left(\frac{V_i}{V_t} \right) \quad (13)$$

$$R_{SP_{28}}(T_0) = 4.15 + 26.5 \sqrt{\frac{2}{R_0 \cdot \rho}} \quad (14)$$

$$R_{SP_{28}}(T) = R_{SP_{28}}(T_0) (1 + \beta_{ox} (\sqrt{T} - \sqrt{T_0})) \quad (15)$$

$$\gamma_{ox} = 0.00617 + 0.00453 \sqrt{\frac{2}{R_o \cdot E}} \quad (16)$$

$$R_{SP_{28}}(T, E) = R_{SP_{28}}(T) \sqrt{\frac{100 - E_o}{100 - E}} \quad (17)$$

$$R_{SP_{25}}^a = 259 + 139 (R_o \cdot E)^{-1/2} - 39 (R_o \cdot E)^{-1} \quad (18)$$

$$R_{SP_{25}}^f = 169 + 65 (R_o \cdot E)^{-1/2} - 18 (R_o \cdot E)^{-1} \quad (19)$$

$$j = 1 - \frac{e^{-\tau_1} \Sigma_{mod} \cdot \bar{l}}{1 + (1 - \Sigma_1) \bar{l} \Sigma_{mod}} \quad (20)$$

$$\bar{l} = 2 R_o (V_T - V_f) / V_f \quad (21)$$

$$\tau_1 = (0.888 \sqrt{\frac{V_{Tf}}{V_f}} - 1) \sqrt{\frac{V_f}{V_T - V_f}} - 0.08 \text{ (célula quadrada)} \quad (22)$$

$$\tau_1 = (0.953 \sqrt{\frac{V_{Tf}}{V_f}} - 1) \sqrt{\frac{V_f}{V_T - V_f}} - 0.12 \text{ (célula hexagonal)} \quad (23)$$

$$R_L^R = R_L^{RESV} + R_L^{1=0} \quad (24)$$

$$R_L^{RESV} = 2.556 \sqrt{1.102 \sigma_s^0 + \frac{1}{2 N_a R_o} \cdot \frac{j}{(1 + 0.1 (1 - j))}} \quad (25)$$

$$R_L^{1=0} = 0.871 + 0.129 \sqrt{1.102 \sigma_s^0 + \frac{1}{2 N_a R_o} \cdot \frac{j}{(1 + 0.1 (1 - j))}} - 0.4 \quad (26)$$

$$\sigma_s^0 = 3.7 \text{ barns}$$

$$k = \frac{R_L^R}{R_{SP}^R} \quad (27)$$

$$\eta_t = v_t \frac{\Sigma_f}{\Sigma_a} \quad (28)$$

$$\frac{1}{f} = 1 + q_0 + q_1 + q_2 \quad (29)$$

$$q_0 = \frac{\Sigma_{a \text{ mod}}}{\Sigma_{af}} \frac{V_{\text{mod}}}{V_f} \quad (30)$$

$$Q_o = \frac{R_o k_F I_o (R_o k_F)}{2 I_1 (R_o \cdot k_F)} \quad (31)$$

$$q_2 = \frac{\Sigma_{acl} \cdot V_{cl}}{\Sigma_{af} \cdot V_f} Q_o \quad (32)$$

$$q_1 = \frac{R_{cell}^2 - R_2^2}{2 R_2} \frac{I_o(k_{mod} R_2) K_1(k_{mod} R_{cell}) + K_o(k_{mod} R_2) I_1(k_{mod} R_{cell})}{I_1(k_{mod} R_{cell}) K_1(k_{mod} R_2) - K_1(k_{mod} R_{cell}) I_1(k_{mod} R_2)} \quad (33)$$

$$P_{28} = \exp (-1/ (f_{res} - 1)) \quad (34)$$

$$F_1 = 0.185 C_1 \quad (35)$$

$$C_1 = 0.561 \times P_c / (1 - 0.112 P_c) \quad (36)$$

$$\epsilon^{-1} = \frac{3.939 F_1 (0.7719 - 2.17 F_1)}{1 - 2.17 F_1} \quad (37)$$

$$L^2 = \frac{1}{3 \Sigma_a \Sigma_{ToT}} \quad (38)$$

$$\Sigma_{\text{TOT}} = \Sigma_a + \Sigma_{\text{TR}} \quad (39)$$

$$k_{\infty} = \eta \epsilon p f \quad (40)$$

$$K_{\text{eff}} = K_{\infty} e^{-B^2 M^2} \quad (41)$$

$$M^2 = L^2 + \tau \quad (42)$$

$$K = \frac{2.405}{\sqrt{B^2 - \left(\frac{\tau}{H}\right)^2}} \quad (43)$$

$$K = \frac{R^2}{R_{\text{cell}}^2} \quad (44)$$

$$M_{\text{UO}_2} = \pi N R_o^2 H \rho_{\text{UO}_2} \quad (45)$$

RESULTADOST A B E L A II

<u>CASO</u>	B_m^2 exp <u>(m⁻²)</u>	B_m^2 calc. <u>(m⁻²)</u>
1	12.43	14.86
2	17.74	21.42
3	20.10	22.79
4	19.93	18.09
5	16.87	14.90
6	2.99	_____
7	- 11.25	_____
8	33.21	37.25
9	36.65	38.04
10	33.93	33.18
11	29.91	23.53
12	7.48	_____
13	37.70	46.53
14	49.98	53.12
15	51.89	50.24
16	40.47	32.56

Para os casos 6 e 12, em que o B_m^2 experimental é bastante baixo, o programa FRAMA não fornece resultados satisfatórios; nos demais casos, os valores encontrados são considerados satisfatórios para o objetivo deste trabalho.

PROGRAMAÇÃO

O programa é escrito em Fortran II-D, para o computador IBM 1620 - mod. II, e é dividido em 3 programas encadeados:

FRAMA 1, FRAMA 2, FRAMA 3

FRAMA 1 calcula densidades atômicas, volumes, integrais de ressonância

FRAMA 2 calcula fluxo térmico, fatores de desvantagem

FRAMA 3 calcula f , p_{28} , L^2 , k_{inf} , B^2 , raio extrapolado, massa de combustível

Os subprogramas utilizados são:

FBIO

FB11

FBKO

FBK1

Funções de Bessel IO, I1, KO, K1

SEMCI Resolução de equações lineares pelo método de Crout

SIMP11

SIMP22 Integração definida pelo método de Simpson

SIMP33

TABP - Tabela de probabilidade de colisão

ENTRADA DE DADOS

As variáveis que entram como dados são as seguintes:

M, AM, BM, CM, DM, EMM, FMM: identificam o tipo da célula:

00QUADRADA para célula quadrada, ou 01HEXAGONAL para célula hexagonal.

N : Número do caso
 KLAD : tipo do encamisamento: 27 para alumínio
 28 para aço
 DENSU: densidade do óxido
 RAI0U: raio interno do elemento combustível
 R2 : raio externo do elemento combustível, incluindo encamisamento
 E : enriquecimento em U_{25}
 PITCH: espaçamento entre os elementos combustíveis
 DENSCL: densidade do encamisamento
 AMCL : número de massa do encamisamento
 DELTA: fração de água leve
 HEXT : altura extrapolada do arranjo

Os dados entram por cartões perfurados IBM; e são lidos todos na primeira parte (FRAMA 1), na seguinte ordem:

<u>cartão</u>	<u>variáveis</u>	<u>Formato</u>
1	M, AM, BM, CM, DM, EMM, FMM	I2, 6A4
2	N	I4
3	KLAD	I4
4	DENSU, RAI0U, R2, E, PITCH	5E14.8
5	DENSCL; AMCL, DELTA, HEXT	4E14.8

SAÍDA DOS RESULTADOS

Os resultados saem pela máquina de escrever do computador, conforme problema amostra.

POSIÇÕES REQUERIDAS

FRAMA 1: 11842
 FRAMA 2: 9734
 FRAMA 3: 15598

. 16 .

TOTAL: 15 minutos

CONDIÇÕES DE CHAVES

Não há

TEMPO DE PROCESSAMENTO

FRAMA 1: 7 minutos

FRAMA 2: 4 minutos

FRAMA 3: 4 minutos

OBSERVAÇÃO: Ao sair o último resultado ele volta à primeira parte e prepara-se para novo cálculo.

```

C   FRAMA 1
C   CALCULO DE RETICULADOS DE UO2 LIGEIRAMENTE ENRI
      QUECIDOS MODERADOS
C   COM MISTURAS DE AGUA LEVE-AGUA PESADA
C   ENCAMISAMENTO DE ALUMINIO OU ACO
      DIMENSION  A0(2),A1(2),A2(2),A3(2),A4(2),A5(2),
      A6(2),G(2)
      1,A(10,11),SA(10),AM(3)
      COMMON AN25,AN28,SA,AK0,AK1,AK2,V1,V2,SAMMIS ,
      RSPA5,RSPF5,KLAD,DENS
      1CL,DENSU,F,ATNO,ATN25,ATN28,ATND20,ATNH20,ATNCL,
      VTOT,V11,V12,RAIOU
      2,R2,PITCH,G,RCELL,VH20,SSM,DELTA,M,HEXT,DFUM,DFC
      LU,SMATC,SMTRM,SMA
      3TM,SMATF,SMTRC
1110 READ 39,M,(AM(I),I=1,3)
      READ 9,N
      READ 9,KLAD
      KLAD=KLAD-27
111  READ 10,DENSU,RAIOU,R2,E,PITCH
      READ 10,DENSCL,AMCL,DELTA,HEXT
      XIS=E*(1.+(2.*16.)/235.)/((1.-E)*(1.+2.*16./238
      .))
      ATN25=.602E+24*(XIS/(1.+XIS))*(DENSU/267.)
      ATN28=.602E+24*(1./(1.+XIS))*(DENSU/270.)
      ATNO=2.*(ATN25+ATN28)
3    V11=3.1416*RAIOU**2
      ATNCL=.602E+24*DENSCL/AMCL
      V12=3.1416*(R2**2-RAIOU**2)
      ALFAV=0
      DEL100=DELTA*100.
      TK=293.
      T0=273.
      DENH20=-.02/(TK-T0)+1.0045*(TK-T0)**(00)-2.1932
      E-04*(TK-T0)-2.4005
      1E-06*(TK-T0)**2
      DEND20=1.10482*(TK-T0)**(00)+2.0374E-04*(TK-T0)
      -9.8367E-06*(TK-T0)
      1**2+5.1097E-08*(TK-T0)**3-1.6844E-10*(TK-T0)**4
      +2.0429E-13*(TK-T0)
      2**5
      ATNH20=(.602E+24*DELTA*(1.-ALFAV)*DENH20)/(DELT
      A*18.02+20.03*DEND20)
      50*(1.-DELTA)/DEND20)
      ATND20=(ATNH20/DELTA)*(1.-DELTA)
10  FORMAT(5E14.8)

```

```

IF(M-1)5,55,55
5 VTOT=PITCH**2
GO TO 7
55 VTOT=PITCH**2*(3.)**0.5/2.
7 AN25=(ATN25*V11/VTOT)*1./10.**24
AN28=(ATN28*V11/VTOT)*1./10.**24
VH20=PITCH**2-3.1416*R2**2
AN00=(ATNO*V11/VTOT+ATNH20*VH20/VTOT+ATND20 *
      VH20/VTOT)*1./10.**24
ANH=(ATNH20*2.*VH20/VTOT)*1./10.**24
AND=(ATND20*2.*VH20/VTOT)*1./10.**24
ANCL=ATNCL*V12/(VTOT*10.**24)
BETAOX=.00617+.00453*(2./(RAIOU*DENSU))**0.5
RSPO=4.15+26.6*(2./(RAIOU*DENSU))**0.5
RSP=RSPO*(1.+BETAOX*(TK**0.5-T0**0.5))
RSPETK=RSP*(99.29/(100.-E*100.))**0.5
RSPA5=259.+139.*(RAIOU*E*100.))**(-0.5)-39.*(RAI
      OU*E*100.))**(-1)
RSPF5=169.+65.*(RAIOU*E*100.))**(-0.5)-18.*(RAIO
      U*E*100.))**(-1)
SSM=.602*(DEND20*(1.-DELTA)*10.5/20.03+DENH20*
      DELTA*44.5/18.02)
IF(M-1)66,65,65
66 TAL=(V11/(VTOT-V11))*(.888*(VTOT/V11)**0.5-1.)-
      .08
GO TO 67
65 TAL=(V11/(VTOT-V11))*(.953*(VTOT/V11)**0.5-1.)-
      .12
67 RRSP=2.556*(1.102*3.7+1./(2.*AN28 *RAIOU))**0.5
RLSP=.871+.129*(1.102*3.7+1./(2.*AN28 *RAIOU))
      **0.5-0.4
RP=RRSP+RLSP
ELEB=2.*RAIOU*(VTOT-V11)/V11
GAMA=1.-EXP(-TAL*SSM*ELEB)/(1.+(1.-TAL)*SSM*ELEB)
RRSP1=2.556*(1.102*3.7+(1./(2.*AN28 *RAIOU))*GAMA
      /(1.+1*(1.-GAMA)))*0.5
RLSP1=.871+.129*(1.102*3.7000 +(1./(2.*AN28 *RAIO
      U))*GAMA/(1.+1*(
11.-GAMA)))*0.5-0.4
RP1=RRSP1+RLSP1
ALFA=RP1/RP
K=1
A0(1)=.98097
A1(1)=-.26029
A2(1)=.32309
A3(1)=-.03300

```

```

A4(1)=-.31636
A5(1)=.27166
A6(1)=-.07040
T=TK-273.
X=10.**(-3)*T
25 G(K)=A0(K)+A1(K)*X+A2(K)*X**2+A3(K)*X**3+A4(K)*
    X**4+A5(K)*X**5+
1A6(K)*X**6
K=K+1
IF(K-2)13,13,14
13 A0(2)=.98295
A1(2)=-.25644
A2(2)=.38775
A3(2)=-.14402
A4(2)=-.23482
A5(2)=.24284
A6(2)=-.06646
GO TO 25
14 TYPE 9999,N,DEL100,(AM(I),I=1,3)
KLAD=KLAD-27
141 TYPE 1006
TYPE 999,ATN25,ATN28,ATNO,ATNCL,ATNH20,ATND20
TYPE 1000,V11,V12,VTOT
TYPE 1003,DEND20,DENH20
TYPE 2000
TYPE 2001,AN25,AN28,ANOO,ANH,AND,ANCL
TYPE 7777
TYPE 1010,RSPETK,RSPA5,RSPF5
TYPE 11,ALFA
CALL LINK(FRAMA2)
9 FORMAT(214)
11 FORMAT(/13HFATOR DANCOFF/E14.8)
39 FORMAT(12,3A4)
999 FORMAT(4HN25=,E14.8/4HN28=,E14.8/4HNOX=,E14.8/
    4HNCL=E14.8/4HH20=E1
14.8/4HD20=E14.8)

1000 FORMAT(/7HVOLUMES/6HCOMB.=E14.8/5HCLAD=E14.8/7
    HCELULA=E14.8)
1003 FORMAT(/10HDENSIDADES/4HD20=E14.8/4HH20=E14.8)
1006 FORMAT(16HNUMERO DE ATOMOS)
1010 FORMAT(10HABS. U-28=E14.8/10HABS. U-25=E14.8 /
    10HFIS. U-25=E14.8)
2000 FORMAT(/30HNUMERO DE ATOMOS-HOMOGENEIZADO)
2001 FORMAT(7HHND-25=E14.8/7HHND-28=E14.8/6HHND-8 =
    E14.8/6HHND-1=E14.8/
16HHND-2=E14.8/6HHNDCL=E14.8)

```

```

7777 FORMAT(/23HINTEGRAL DE RESSONANCIA)
9999 FORMAT(/20X,4HCASO,14//17HPORC.DE MOL. H2O=F7.
      2,10X,6HCELULA,2X,
16A4//)
      END

```

```

C      FRAMA2
      DIMENSION A(10,11),SA(10),G(2)
      COMMON AN25,AN28,SA,AK0,AK1,AK2,V1,V2,SAMMIS,RS
      PA5,RSPF5,KLAD,DENS
1CL,DENSU,E,ATNO,ATN25,ATN28,ATND20,ATNH20,ATNCL
      ,VTOT,V11,V12,RAIOU
      2,R2,PITCH,G,RCELL,VH20,SSM,DELTA,M,HEXT,DFUM,DF
      CLU,SMATC,SMTRM,SMA
3TM,SMATF,SMTRC
      SMATM=(ATNH20*.66E-24+ATND20*1.07E-27)/1.128
      IF(KLAD)933,934,933
933 SMATC=(ATNCL*3.125E-24)/1.128
      SMSCN=ATNCL*11.E-24*(1.-.012)
      GO TO 935
9 4 SMATC=(ATNCL*0.23 E-24)/1.128
      SMSCN=ATNCL*1.4E-24*(1.-.0249)
935 SMATF=((ATN25*683.E-24)*G(2)+ATN28*2.71E-24+ATNO
      *2.E-28)/1.128
      SMSMN=ATNH20*103.E-24*(1.-.324)+ATND20*13.6E-24
      *(1.-.116)
      SMTRM=SMATM+SMSMN
      SMTRC=SMATC+SMSCN
930 SAMOX=(DENSU*.602/238.)*((E*683.+(1.-E)*2.71)+2.
      *2.E-4)*V11/VTOT
      SSMOG=2.*ATNO*4.21*10.**(-24)*V11/VTOT
      SSMUR=(ATN25*10.+ATN28*8.29)*10.**(-24)*V11/VT
      OT
      STROX=SAMOX+SSMOG*(1.-.0417)+SSMUR*(1.-0.0028)
      DUO2=1./(3.*STROX)
      AK0=(SAMOX/DUO2)**.5
      IF(KLAD)1933,1934,1933
1934 SAMCLA=ATNCL*.23E-24*V12/VTOT/1.128
      TYPE 7111
      GO TO 1935
1933 SAMCLA=ATNCL*3.125 *10.**(-24)*V12/VTOT/1.128
1935 AK1=(SAMCLA/0.3149)**.5

```

```

SSMD20=ATND20*13.6 *10.**(-24)*(1.-(V11+V12)/
VTOT)
SSMH20=ATNH20*103. *10.**(-24)*(1.-(V11+V12)/
VTOT)
SAMMIS=(ATNH20*.66+ATND20*.00107)*10.**(-24)*(
1.-(V11+V12)/VTOT)
STMMIS=SAMMIS+SSMD20*(1.-.116)+SSMH20*(1.-.324)
DMIS=1./3.*STMMIS
AK2=(SAMMIS/DMIS)**.5
IF(M-1)35,6,6
6 RCELL=(PITCH**2*3.**0.5/(2.*3.1416))**.5
GO TO 37
35 RCELL=PITCH/(3.1416)**0.5
37 A(1,1)=FB10(AK0*RA10U)
A(1,2)=-FB10(AK1*RA10U)
A(1,3)=-FBK0(AK1*RA10U)
A(1,4)=0
A(1,5)=0
A(2,1)=-DUO2*AK0*FB11(AK0*RA10U)
A(2,2)=.3149*AK1*FB11(AK1*RA10U)
A(2,3)=-.3149*AK1*FBK1(AK1*RA10U)
A(2,4)=0
A(2,5)=0
A(3,1)=0
A(3,2)=FB10(AK1*R2)
A(3,3)=FBK0(AK1*R2)
A(3,4)=- (FBK0(AK2*R2)+FBK1(AK2*RCELL))/FB11(AK2*
RCELL)*FB10(AK2*R2)
1)
A(3,5)= 1./SAMMIS
A(4,1)=0
A(4,2)=-.3149*AK1*FB11(AK1*R2)
A(4,3)=.3149*AK1*FBK1(AK1*R2)
A(4,4)=-DMIS*AK2*(FBK1(AK2*R2)-FBK1(AK2*RCELL)/
FB11(AK2*RCELL))*FB1
11(AK2*R2))
A(4,5)=0
CALL SEMC1(A,SA,4)
27 TYPE 5113
R=0.05
444 W5=FB10(AK2*R)
W6=FBK0(AK2*R)
W4=FBK0(AK1*R)
W1=FB10(AK0*R)
W2=FB10(AK1*R)
V1=FBK1(AK2*RCELL)
V2=FB11(AK2*RCELL)

```

```
      IF(R=RAIOU)600,600,601
600 F10S1= SA(1)*W1
500 TYPE 1500,R,F10S1
      GO TO 704
601 IF(R=R2)602,602,603
602 F11S1=SA(2)*W2+SA(3)*W4
502 TYPE 1502,R,F11S1
      R=R+.01
      GO TO 444
333 R=RCELL
      GO TO 444
603 IF(R=RCELL)604,604,333
604 F12S1=SA(4)*(V1/V2*W5+W6)+1./SAMMIS
      TYPE 1604,R,F12S1
      IF(R=RCELL)704,705,705
704 R=R+.05
      GO TO 444
705 CALL SIMP11(0.,RAIOU,RAIOU/10.,.01,AREA1)
      CALL SIMP22(RAIOU,R2,(R2-RAIOU)/10.,.01,AREA2)
      CALL SIMP33(R2,RCELL,(RCELL-R2)/10.,.01,AREA3)
      AREA=AREA1+AREA2+AREA3
      FMCL=AREA2/(R2-RAIOU)
      FMM=AREA3/(RCELL-R2)
      FMU=AREA1/RAIOU
      FMT=AREA/RCELL
      FMCL1=FMCL/FMCL
      FMU1=FMU/FMCL
      DFUM=FMM/FMU
      FMM1=FMM/FMCL
      DFCLU=FMCL/FMU
7048 TYPE 1026
      TYPE 1027,DFUM,DFCLU
      CALL LINK(FRAMA3)
1026 FORMAT(/22HFATORES DE DESVANTAGEM)
1027 FORMAT(/9HMOD-COMB.,17X,10HCLAD-COMB.//E14.8,11
          X,E14.8)
1500 FORMAT(2X,E14.8,2X,E14.8,7H(COMB.))
1502 FORMAT(2X,E14.8,2X,E14.8,6H(CLAD))
1604 FORMAT(2X,E14.8,2X,E14.8,7H(MODER))
5113 FORMAT(/11X,14HFLUXO TERMICO/8X,1HR,15X,2HFI)
7111 FORMAT(/8X,13HFLUXO TERMICO/)
      END
```

```

C   FRAMA 3
      DIMENSION A(10,11),SA(10),G(2)
      COMMON AN25,AN28,SA,AK0,AK1,AK2,V1,V2,SAMMIS,
             RSPA5,RSPF5,KLAD,DENS
      1CL,DENSU,E,ATNO,ATN25,ATN28,ATND20,ATNH20,ATNCL
        ,VTOT,V11,V12,RAIOU
      2,R2,PITCH,G,RCELL,VH20,SSM,DELTA,M,HEXT,DFUM,DF
        CLU,SMATC,SMTRM,SMA
      3TM,SMATF,SMTRC
      TAU(X,Y,Z,T)=(1.+V11/VH20+V13)**2/((1.+X*V11/VH
        20+Y*V13)*
      1(1.+Z*V11/VH20+T*V13))
      DMOD=1./(3.*SMTRM)
      AKMOD=(SMATM/DMOD)**.5
      SMSF=ATN25*10.E-24+ATN28*8.29E-24+ATNO*4.21E-24
      STOTF=SMATF+SMSF
      SMSFN=(ATN25*10.E-24+ATN28*8.29E-24)*(1.-.0028)
        +ATNO*4.21E-24*(1.-
      1.0417)
      SMTRF=SMATF+SMSFN
      DFUEL=1./(3.*SMTRF)
      AKFUEL=(SMATF/DFUEL)**.5
555  QO1=(SMATM/SMATF)*VH20/V11
      Q21=SMATC/SMATF*V12/V11
      QOG=RAIOU*AKFUEL*FB10(RAIOU*AKFUEL)/(2.*FB11(RA
        IOU*AKFUEL))
      QOP=QO1*QOG
      Q2P=Q21*QOG
      EM=FB10(AKMOD*R2)*FBK1(AKMOD*RCELL)+FBK0(AKMOD*
        R2)*FB11(AKMOD*RCEL
      1L)
      HR=FB11(AKMOD*RCELL)*FBK1(AKMOD*R2)-FBK1(AKMOD*
        RCELL)*FB11(AKMOD*R
      22)
      Q1=(RCELL**2-R2**2)*AKMOD/(2.*R2)*EM/HR-1.
      IF(KLAD)2933,2934,2933
2933  SMSC=ATNCL*11.E-24
      GO TO 2935
2934  SMSC=ATNCL*1.4E-24
2935  SMSM=ATNH20*103.E-24+ATND20*13.6E-24
      TE=R2-RAIOU
      BE1=SMSC/SMSM*AKMOD**2*(RCELL**2-R2**2)*TE/(2.*
        RAIOU)
      X2=SMATC/.3149*TE**2/2.
      UMSF=1.+QOP+Q2P+Q1+X2+BE1+Q1*Q2P
      F=1./UMSF
5001  TYPE 110,F

```

```

SRESF=5.25+26.6*(2./(RAIOU*DENSU))**.5
SMAREF=ATN28*SRESF/3.*1.E-24
SMAREM=ATNH20*44.5E-24*.927/3.+ATND20*10.5E-24*
.4644/3.
SMTRMN=ATND20*10.5E-24*(1.-.116)+ATNH20*44.5E-24
*(1.-.324)
DREM=1./(3.*SMTRMN)
AKREM=(SMAREM/DREM)**.5
AKREF=.031*DENSU
IF(KLAD)6933,6934,6933
6933 SMAREC=ATNCL*10.4E-24*.0357/3.
GO TO 6935
6934 SMAREC=ATNCL*1.4E-24*.0729/3.
6935 DREF=1./(3.*SMAREF+ATN28*44.5E-24*(1.-.927))
AKREF1=(SMAREF/DREF)**.5
IF(KLAD)7933,7934,7933
7934 AKREC=(SMAREC/3.858)**.5
GO TO 7935
7933 AKREC=(SMAREC/1.03)**.5
7935 Q01=SMAREM/SMAREF*VH20/V11
Q21=SMAREC/SMAREF*V12/V11
QOG=RAIOU*AKREF*FB10(RAIOU*AKREF)/(2.*FB11(RAIO
U*AKREF))
QOP=QOG*Q01
Q2P=Q21*QOG
EM=FB10(AKREM*R2)*FBK1(AKREM*RCELL)+FBK0(AKREM*R2)
*FB11(AKREM*RCEL
1L)
HR=FB11(AKREM*RCELL)*FBK1(AKREM*R2)-FBK1(AKREM*
RCELL)*FB11(AKREM
1*R2)
Q1=(RCELL**2-R2**2)*AKREM/(2.*R2)*EM/HR-1.
IF(KLAD)3933,3934,3933
3934 SMSREC=ATNCL*1.4E-24
GO TO 3935
3933 SMSREC=ATNCL*10.4E-24
3935 SMSREM=ATND20*10.5E-24+ATNH20*44.5E-24
TE=R2-RAIOU
BE1=SMSREC/SMSREM*AKREM**2*(RCELL**2-R2**2)*TE/
(2.*RAIOU)
X2=AKREC**2*TE**2/2.
UMSF1=1.+QOP+Q2P+Q1+X2+BE1+Q1*Q2P
P=EXP(-1./(UMSF1-1.))
99 TYPE210,P
AA=RAIOU*ATN28*4.3E-24
TP=TABP(AA)
AA1=AKFUEL*RAIOU/AA

```

```

IF(AA-.01)771,771,772
771 VARP=TP
GO TO 2771
772 IF(AA-.5)773,773,774
773 VARP=TP*(1.-.009*AA1)
GO TO 2771
774 IF(AA-1.)775,775,776
776 TYPE 5678
GO TO 6666
775 VARP=TP*(1.-.012*AA1)
2771 C1=.561*VARP/(1.-TP*(.561*1.56+5.1)/7.796)
FF=2.47*.549*C1/7.796
EPS=1.+3.939*FF*(.7719 -2.17*FF)/(1.-2.17*FF)
SMF25=ATN25*582.E-24*G(1)/1.128
SMAOX=ATNO*2.E-28/1.128
SMA25=ATN25*683.E-24*G(2)/1.128
SMA28=ATN28*2.71E-24/1.128
ETA=2.43*SMF25/(SMA25+SMA28+SMAOX)
5 TYPE 4210, EPS
DEN01=(V11+VH20*DFUM+V12*DFCLU)
SMDA=(SMATF*V11+SMATM*VH20*DFUM+SMATC*V12*DFCLU)/DEN01
SMDTR=(SMTRF*V11+SMTRM*VH20*DFUM+SMTRC*V12*DFCLU)/DEN01
SMDTOT=SMDA+SMDTR
ELE2=1./(3.*SMDA*SMDTOT)
CA11=EPS*ETA*F*P
TYPE 9100, CA11
TYPE 4110, ETA
TYPE 15, ELE2
XIS=1.-DELTA
TAU1M=1./(.0370*XIS**2+.0532*(1.-XIS)**2+.0959*XIS*(1.-XIS))
TAU2M=1./(.0118*XIS**2+.149*(1.-XIS)**2+.109*XIS*(1.-XIS))
TAU2BM=1./(.146*XIS**2+2.325*(1.-XIS)**2+1.642*XIS*(1.-XIS))
SMTRM1=ATNH20*6.05E-24+ATND20*7.55E-24
SS1M=.927*11.4E-24*ATNH20+.4644*12.8E-24*ATND20
SMTRF1=.298*DENSU*(1.-E)/(9.408*.97)
SMTRC1=.262*DENSCL/8.
SMSF1=.144*DENSU*(1.-E)/(9.408*.97)
SMSCL1=.0667*DENSCL/8.
RSTFM1=SMTRF1/SMTRM1
RSTCM1=SMTRC1/SMTRM1
RSSFM1=SMSF1/SS1M
RSSCM1=SMSCL1/SS1M

```

```
V13=V12/VH20
IF(KLAD)14,13,14
13 V13=0
RSTCM1=0
RSSCM1=0
14 TAU1=TAU1M*TAU(RSTFM1,RSTCM1,RSSF1,RSSCM1)
SMTRM2=ATNH20*16.5E-24+ATND20*9.96E-24
SS2M=.927*34.3E-24*ATNH20+.4644*9.07E-24*ATND20
SMTRF2=.447*DENSU*(1.-E)/(9.408*.97)
SMTRC2=.765*DENSCL/8.
SMSF2=.0185*DENSU*(1.-E)/(9.408*.97)
SMSCL2=.0223*DENSCL/8.
RSTFM2=SMTRF2/SMTRM2
RSTCM2=SMTRC2/SMTRM2
RSSF2=SMSF2/SS2M
RSSCM2=SMSCL2/SS2M
IF(KLAD)114,113,114
113 V13=0
RSTCM2=0
RSSCM2=0
114 TAU2=(TAU2M+1.28*TAU2BM)*TAU(RSTFM2,RSTCM2,RSSF2,
, RSSCM2)
TAUT=TAU1+TAU2
TYPE 86,TAUT
B2=1./(TAUT+ELE2)*LOG(CA11)
TYPE 12,B2
2 REX=2.405/((B2-(3.1416/HEXT)**2))**.5
122 BARRAS = REX**2/RCELL**2
EMASSA=3.1416*RAIOU**2*DENSU*HEXT*BARRAS
TYPE 1966,EMASSA
203 TYPE 1203,REX,BARRAS,HEXT
CALL LINK(FRAMA1)
6666 STOP
10 FORMAT(E14.8)
12 FORMAT(8HBUCKLING/3HB2=E14.8 /)
15 FORMAT(/17HAREA DIF. TERMICA/3HL2=E14.8)
86 FORMAT(/5HIDADE/ 4HTAU=E14.8/)
88 FORMAT(5HTAU1=E14.8)
110 FORMAT(/27HFACTOR DE UTILIZACAO TERMICA/ 4HEFE=E14.8
/)
210 FORMAT(29HPROB. DE ESCAPE A RESSONANCIA/4HP28=E14
.8)
1010 FORMAT(E14.8)
1111 FORMAT(6E13.7)
1203 FORMAT(6HR.EXT=E14.8/7HBARRAS=E14.8/6HH.EXT=E14.8)
1966 FORMAT(15HMASSA DE OXIDO=E14.8)
4110 FORMAT(/4HETA=E14.8)
```

4210 FORMAT(//22HFATOR DE FISSAO RAPIDA/8HEPSILON=E1

4.8)

5678 FORMAT(16HFORA DA TABELA P/)

9100 FORMAT(/10HK INFINITO/3HK= E14.8)

END

PROBLEMA AMOSTRA

CASO 16

PORC.DE MOL. H2O= 45.00 CELULA QUADRADA

NUMERO DE ATOMOS

N25= .62862462E+21

N28= .20069323E+23

NOX= .41395894E+23

NCL= .86554341E+23

H2O= .14974632E+23

D2O= .18302328E+23

VOLUMES

COMB.= .99933039E+00

CLAD= .26744126E+00

CELULA= .36100000E+01

DENSIDADES

D2O= .11053426E+01

H2O= .99815340E+00

NUMERO DE ATOMOS-HOMOGENEIZADO

HND-25= .17401763E-03

HND-28= .55556465E-02

HND-8= .33059192E-01

HND-1= .19439879E-01

HND-2= .23759852E-01

HNDCL= .64122443E-02

INTEGRAL DE RESSONANCIA

ABS. U-28= .20945852E+02

ABS. U-25= .34281022E+03

FIS. U-25= .20833215E+03

FATOR DANCOFF

.88737770E+00

	FLUXO	TERMICO
R	FI	
.50000000E-01	.13673179E+02	(COMB.)
.10000000E+00	.13676534E+02	(COMB.)
.15000000E+00	.13682126E+02	(COMB.)
.20000000E+00	.13689957E+02	(COMB.)
.25000000E+00	.13700028E+02	(COMB.)
.30000000E+00	.13712342E+02	(COMB.)
.35000000E+00	.13726904E+02	(COMB.)
.40000000E+00	.13743715E+02	(COMB.)
.45000000E+00	.13762780E+02	(COMB.)
.50000000E+00	.13784104E+02	(COMB.)
.55000000E+00	.13807690E+02	(COMB.)
.60000000E+00	.13879718E+02	(CLAD)
.61000000E+00	.13897264E+02	(CLAD)
.62000000E+00	.13914601E+02	(CLAD)
.63000000E+00	.13931741E+02	(CLAD)
.64000000E+00	.13949850E+02	(MODER)
.69000000E+00	.14037600E+02	(MODER)
.74000000E+00	.14111240E+02	(MODER)
.79000000E+00	.14172080E+02	(MODER)
.84000000E+00	.14221170E+02	(MODER)
.89000000E+00	.14259420E+02	(MODER)
.94000000E+00	.14287550E+02	(MODER)
.99000000E+00	.14306180E+02	(MODER)
.10400000E+01	.14315850E+02	(MODER)
.10719589E+01	.14317550E+02	(MODER)

FATORES DE DESVANTAGEM

MOD-COMB.

CLAD-COMB.

.10348927E+01

.10115763E+01

FATOR DE UTILIZACAO TERMICA

IFE= .82295376E+00

PROB. DE ESCAPE A RESSONANCIA
P28= .77374715E+00

FATOR DE FISSAO RAPIDA
EPSILON= .10165671E+01

K INFINITO
K= .11841019E+01

ETA= .18292732E+01

AREA DIF. TERMICA
L2= .19252086E+01

IDADE
TAU= .49975600E+02

BUCKLING
B2= .32559143E-02

MASSA DE OXIDO= .27250980E+07
R.EXT= .44543712E+02
BARRAS= .17266986E+04
H.EXT= .17018000E+03

DADOS DE ENTRADA

00QUADRADA

+016

+028

+.928

E+01+.564

E+00+.635

E+00

+.3

E-01+.1900

E+01

+.803

E+01+.5585

E+02+.45

E+00

+.17018

E+03

DIAGRAMA BLOCO

Frama 1

entrada de dados

volumes das i regiões

número de átomos homogeneizados

integrais de ressonância

saída dos resultados

(chama Frama 2)

Frama 2

fluxos térmicos nas i regiões

fatores de desvantagem

saída dos resultados

(chama Frama 3)

Frama 3

fator de utilização térmica

prob. de escape à ressonância

área de difusão térmica

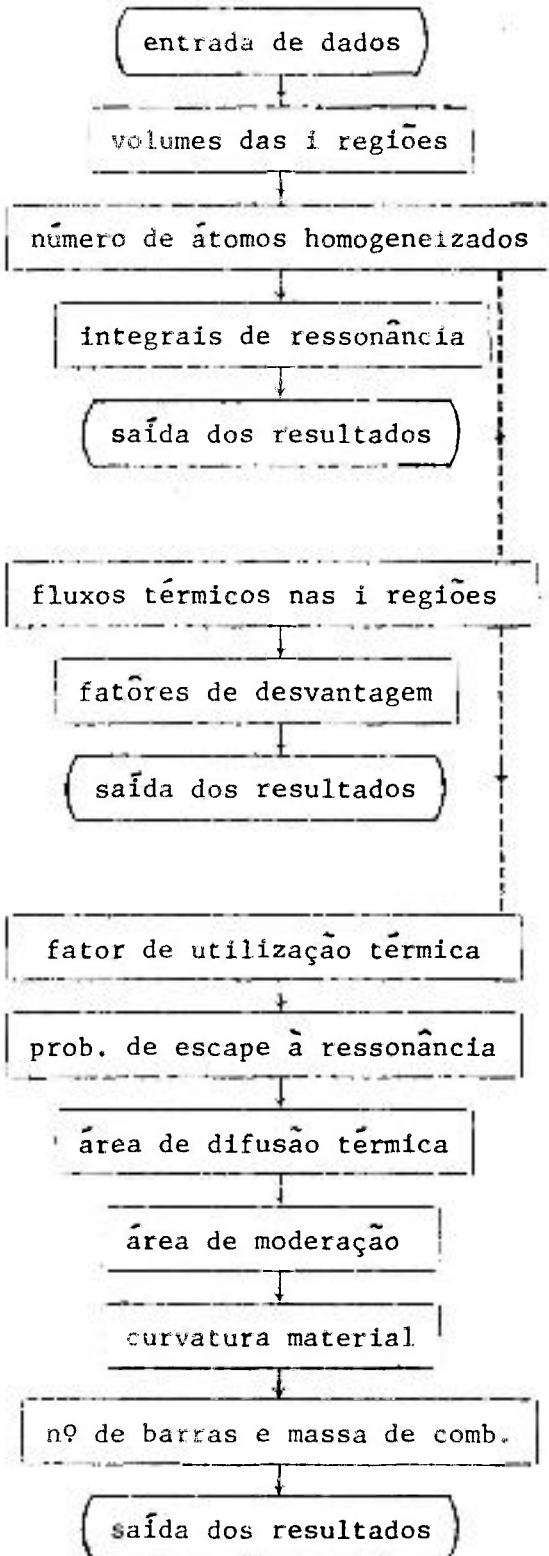
área de moderação

curvatura material

nº de barras e massa de comb.

saída dos resultados

(chama Frama 1)



REFERÊNCIAS

- 1 - EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF URANIUM OXIDE LATTICES MODERATED BY MIXTURES OF LIGHT AND HEAVY WATER, E. Andersen et Al., P/669, Geneve Conference 1964.

- 2 - CRITICAL CALCULATIONS OF THE SPECTRAL SHIFT REACTOR WITH THE SAVANNAH FUEL CHARGE, K. Kowalska, K.I. Matsuoka and N.L. Snidow, KR-21, May 1962.

- 3 - DATAPRE-I, A LATTICE HOMOGENEIZATION AND DATA PREPARATION COMPUTER PROGRAM, J.O. Berg et Al., Reactor Physics Section Memo nº 18, IFA, 1963.
