

CÁLCULO DE RETICULADOS DE REATORES

A ÁGUA LEVE, NÃO-IRRADIADOS

Else Faria d'Albuquerque

Tese a ser submetida ao Corpo Docente
do Curso de Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG/CNEN
como parte dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Mestre em Ciência (M.Sc.)

Belo Horizonte
Agosto, 1972

Ao Eng^o Ricardo Brant Pinheiro, pela sua excelente orientação, a Roberto Augusto Corrieri Moreira, pela eficiente ajuda nos trabalhos de Computação, ao Eng^o Heitor Aloísio Mascarenhas, pelo auxílio inestimável e que sempre nos incentivou a Yêda Maria Rodrigues pela paciência e eficiência nos trabalhos de datilografia, a todos que nos ajudaram na realização deste trabalho,

os nossos agradecimentos.

Ao meu esposo e ao
meu filho Leonel . . .

Í N D I C E

| | Pág. |
|---|------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. DESCRIÇÃO TEÓRICA | 3 |
| 2.1. <u>Estrutura dos macro-grupos</u> | 3 |
| 2.1.1. Adoção da teoria a macro-grupos | 3 |
| 2.1.2. Características dos macro-grupos | 4 |
| 2.2. <u>Equações de difusão e cálculo do fator de multiplicação efetivo</u> | 5 |
| 2.3. <u>Constantes microscópicas dos macro-grupos</u> | 7 |
| 2.4. <u>Constantes dos macro-grupos</u> | 8 |
| 2.5. <u>Cálculo das constantes de grupo</u> | 10 |
| 2.5.1. Secções de choque médias dos macro-grupos rápidos | 10 |
| 2.5.2. Introdução da absorção por ressonância | 11 |
| 2.5.3. Secção de choque de remoção do macro-grupo 3 ... | 13 |
| 2.5.4. Secções de choque médias do macro-grupo térmico. | 14 |
| 2.6. <u>Fluxos médios</u> | 15 |
| 2.7. <u>Coefficientes de Difusão</u> | 16 |
| 2.8. <u>Parâmetros rápidos:</u> , , | 17 |
| 2.8.1. Parâmetro de escape à ressonância | 17 |
| 2.8.2. Parâmetro de fissão rápida do U-238 | 18 |
| 2.8.3. Parâmetro de fissão epitérmica do U-235 | 18 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.9. | <u>Fator de Utilização Térmica</u> | 19 |
| 3. | DESCRIÇÃO DO CÓDIGO | 20 |
| 3.1. | <u>Introdução</u> | 21 |
| 3.2. | <u>Descrição do código</u> | 21 |
| 3.2.1. | Programa principal | 22 |
| 3.2.2. | Subrotina SEMA | 23 |
| 3.2.3. | Subrotina DANCOFF | 23 |
| 3.2.4. | Subrotina CORTIN | 24 |
| 3.2.5. | Funções $U_n(X, Y)$, SGMTRH(X, Y), SGMSEH(X, Y), SGMA5(X, Y), SGMF5(X, Y) | 24 |
| 3.2.6. | Subrotina COEDI | 24 |
| 3.2.7. | Subrotina KEFF | 24 |
| 3.2.8. | Subrotina ESCR | 25 |
| 4. | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 26 |
| 4.1. | <u>Fator de utilização térmica</u> | 26 |
| 4.2. | <u>Parâmetros P_{TS}, Q_{TS}, C_{TS}</u> | 27 |
| 4.3. | <u>Fator de desvantagem e fator de utilização térmica</u> | 28 |
| 4.4. | <u>Análise de secções de choque e dos coeficientes de difu- são para o reticulado 8</u> | 29 |
| | TABELAS | 33 |
| | FIGURA 1 | 44 |
| | ANEXO I | |
| | ANEXO II | |
| | REFERÊNCIAS | |

1. INTRODUÇÃO

A finalidade deste trabalho é a elaboração de um código que utilizando o esquema de três macro-grupos rápidos proposto por P. A. Ombrellaro [1] e um macro-grupo térmico - calcula parâmetros de reticulado para uma série de sistemas críticos moderados a água leve. São consideradas várias razões de volume moderador-combustível e vários enriquecimentos em U-235, podendo o combustível ser UO_2 ou U-metálico; nesta primeira etapa, o cálculo é feito apenas para combustível novo - U natural ou enriquecido - à temperatura de 20°C.

Os fluxos médios nas várias regiões da célula (combustível, revestimento, moderador) são calculados para os quatro macro-grupos utilizando-se como subrotinas os programas franceses CORTINA/ALCOLL [2]. Com eles são obtidos os fatores de desvantagem (térmico) e de vantagem (rápidos) e as secções de choque médias da célula. Calcula-se a integral de ressonância efetiva do U-238 pela fórmula obtida por D.Klein [3], com redução da superfície do combustível, devida ao efeito Dancoff, de acordo com a aproximação de Sauer-Bonalumi [4]. Os coeficientes de difusão são obtidos com o método de P.Benoist [5]. Os parâmetros rápidos, ρ^{28} , σ^{28} e σ^{25} , são calculados segundo a definição de H.Koutas [6] e o fator de multiplicação efetivo é deduzido das equações de difusão-multigrupo, segundo D. Hicks [7].

A comparação feita, com resultados experimentais disponíveis e com resultados de outros métodos de cálculo, do fator de multiplicação efetivo e de alguns parâmetros tais como $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_v^4$, f , ρ_{28} , σ_{28} e σ_{25} , mostra que os resultados globais obtidos no cálculo destes parâmetros são satisfatórios, embora haja, certamente, compensação de erros.

2. DESCRIÇÃO TEÓRICA

2.1. Estrutura dos macro-grupos

2.1.1. Adoção da teoria a 4 macro-grupos

Em reatores moderados a água leve o espectro de fluxo de neutrons na região de moderação desvia-se substancialmente da dependência em $1/E$. Com efeito, a altas energias (~ 1 MeV) o fluxo é elevado devido à distribuição dos neutrons provenientes da fissão e à baixa secção de choque de espalhamento elástico do hidrogênio; à medida que a energia decresce, a secção de choque de espalhamento do hidrogênio aumenta e, em consequência, o fluxo diminui. Por outro lado, a mais baixa energia - na região epitérmica - a absorção por ressonância reduz apreciavelmente o fluxo de neutrons.

Em consequência da variação de intensidade do desvio do espectro com relação ao comportamento em $1/E$, de reticulado para reticulado, não é praticamente possível estabelecer uma única série de secções de choque representativa de apenas um macro-grupo rápido, para todos os elementos de interesse e para um grande número de reticulados. O modelo a 2 grupos não é, portanto, bem aplicável em reticulados moderados a H_2O .

Ombrellaro mostrou, entretanto, com o auxílio do código MUFT [8] (que calcula o espectro de neutrons em moderação de 10 MeV a 0.625 eV), que se pode obter secções de choque microscópicas constantes em

três macro-grupos rápidos de energia, para um certo número de misturas U/H.

Nesse esquema, o espectro de energia de neutrons é representado por 3 macro-grupos rápidos (no domínio de 10 MeV a 0.625 eV) e um macro-grupo térmico (0.625 eV a zero). A divisão entre o primeiro e segundo macro-grupos ocorre na vizinhança do limiar de fissão do U-238, 0.821 MeV, enquanto que entre o segundo e o terceiro a divisão ocorre em 5.53 KeV, de modo a incluir no macro-grupo 3 a maior parte das ressonâncias do U-238.

2.1.2. Características dos macro-grupos:

O espectro de neutrons no macro-grupo 1 é dominado pela distribuição de energia dos neutrons de fissão, pois cerca de 75% desses neutrons nascem nesse macro-grupo que tem seu limite inferior de energia abaixo do limiar de fissão rápida do U-238. A secção de choque de espalhamento do hidrogênio cai rapidamente com a energia nesta região e há, correspondentemente, maior probabilidade de que um neutron, antes de ser moderado para o macro-grupo 2, sofra uma ou mais colisões com átomos de oxigênio, átomos de material de revestimento ou com átomos de urânio. As secções de choque de espalhamento de núcleos não hidrogenados contribuem grandemente para o livre percurso médio de neutrons e para o coeficiente de difusão neste macro-grupo e os espalhamentos inelásticos contribuem para a secção de choque de remoção de neutrons nesta gama de energia.

O macro-grupo 2 cobre uma região de energia abaixo do limiar de

fissão do U-238 na qual a secção de choque de espalhamento do hidrogênio varia significativamente com a energia. Por outro lado, as secções de choque de absorção variam suavemente nesta região e o processo de absorção é relativamente insignificante.

No macro-grupo 3 a secção de choque de espalhamento do hidrogênio é constante e o espectro de neutrons segue uma lei aproximadamente em $1/E$, porém perturbado pela presença de ressonâncias. Devido às ressonâncias, a área de migração é pequena neste macro-grupo. Em consequência, a fuga rápida e o fator de multiplicação efetivo dependerão fortemente da secção de choque de absorção deste macro-grupo. Há uma importante contribuição para a taxa de fissão total nesta região (relativa aos dois primeiros macro-grupos) devido ao fato da secção de choque de fissão do U-235 crescer com o decréscimo da energia.

O macro-grupo 4 corresponde a toda região térmica. O espectro nesta região - devido à absorção - não é propriamente um espectro Maxwelliano à temperatura do moderador. O valor da secção de choque de espalhamento do hidrogênio é afetada grandemente pela energia de ligação molecular na água, o que influi na forma do espectro. Devido a isso e também pelas altas concentrações de material absorvedor presentes nos reticulados a água leve, há um endurecimento importante do espectro. Como as taxas de reação dos vários nuclídeos dependem da forma do espectro, é necessário que este seja bem representado.

2.2. Equações de difusão e cálculo do fator de multiplicação efetivo

Na teoria da difusão a 4 grupos (aplicada aqui a um reator nu

e uniforme) as equações de difusão podem ser escritas:

$$-(B^2 D^1 + \bar{\Sigma}_{1a}^1 + \bar{\Sigma}_{1r}^1) \psi^1 + \frac{\chi^1}{K_{eff}} G = 0 \quad (2.1)$$

$$-(B^2 D^2 + \bar{\Sigma}_{2a}^2 + \bar{\Sigma}_{2r}^2) \psi^2 + \bar{\Sigma}_{1r}^1 \psi^1 + \frac{\chi^2}{K_{eff}} G = 0 \quad (2.2)$$

$$-(B^2 D^3 + \bar{\Sigma}_{3a}^3 + \bar{\Sigma}_{3r}^3) \psi^3 + \bar{\Sigma}_{2r}^2 \psi^2 + \frac{\chi^3}{K_{eff}} G = 0 \quad (2.3)$$

$$-(B^2 D^4 + \bar{\Sigma}_{4a}^4) \psi^4 + \bar{\Sigma}_{3r}^3 \psi^3 + \frac{\chi^4}{K_{eff}} G = 0 \quad (2.4)$$

onde

$$G = \sum_{i=1}^4 (v \Sigma_f)^i \psi^i \quad (2.5)$$

ψ^i - fluxo médio de neutrons no macro-grupo i.

$\bar{\Sigma}_a$, $\bar{\Sigma}_r$ e $\nu \bar{\Sigma}_f$ são as secções de choque macroscópicas de absorção, remoção e de "produção" de neutrons, respectivamente. Supõe-se que haja apenas transferência de um macro-grupo de energia para o imediatamente inferior, o que é permitido pois os macro-grupos são suficientemente largos para adotar esta hipótese. D^i é o coeficiente de difusão no macro-grupo i e X^i é a fração dos neutrons de fissão que nascem no macro-grupo i ($X^1 = 0.75178$, $X^2 = 0.24822$, $X^3 = X^4 = 0$) [9].

As secções de choque e os coeficientes de difusão são calculados como valores médios, ponderados pelos fluxos e pelos volumes, em cada meio da célula.

Fazendo

$$T^i = \frac{K_{eff} \psi^i}{G}$$

e substituindo nas equações (2.1) a (2.4) teremos:

$$T^i = \frac{\chi^i + \bar{\Sigma}_n^{(i-1)} T^{(i-1)}}{B^2 D^i + \bar{\Sigma}_a^i + \bar{\Sigma}_{fn}^i} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.6)$$

com

$$T^{(0)} = 0, \quad \bar{\Sigma}_n^{(0)} = 0$$

Pode ser mostrado facilmente que:

$$k_{eff} = \sum_{i=1}^4 (\bar{\nu} \bar{\Sigma}_f)^i T^i \quad (2.7)$$

Se o "buckling" B^2 refere-se a um reator crítico, o desvio do valor de k_{eff} da unidade indica a eficiência do esquema de cálculo na determinação da criticalidade.

2.3. Constantes microscópicas dos macro-grupos rápidos

A tabela 2.1 reproduz as seções de choque microscópicas, $\bar{\sigma}_n^i$, $\bar{\sigma}_a^i$, $\bar{\sigma}_s^i$, $\bar{\sigma}_{fc}^i$, $(\bar{\nu} \bar{\sigma}_f)^i$, ($i = 1, 3$), para H, O, Al, U-238, U-235, Fe e C ajustadas para o modelo a três macro-grupos rápidos, por Ombrellaro [1], a partir de resultados obtidos com MUFT-IV para diferentes razões volumétricas U/H.

$\bar{\sigma}_n^i$ - seção de choque microscópica de transporte no macro-grupo rápido i

$\bar{\sigma}_a^i$ - seção de choque microscópica de absorção no macro-grupo rápido i

- $\tilde{\sigma}_n^i$ - secção de choque microscópica de remoção no macro-grupo rápido i
 $\tilde{\sigma}_s^i$ - secção de choque microscópica de espalhamento no macro-grupo rápido i
 $\tilde{\sigma}_p^i$ - secção de choque microscópica total no macro-grupo rápido i
 $(\nu\tilde{\sigma}_f)^i$ - secção de choque microscópica de "produção" de neutrons no macro-grupo rápido i.

2.4. Constantes microscópicas do macro-grupo térmico.

Como já foi mencionado, os reticulados a água leve exigem um tratamento especial para a representação do espectro de neutrons térmicos. H. Amster [10], utilizando o código SOFOCATE (modelo Wigner-Wilkins) [11] para misturas hidrogenadas homogêneas, e supondo não haver fuga de neutrons térmicos, tem tabelado para vários nuclídeos secções de choque microscópicas médias, no domínio térmico, em função dos parâmetros:

T = temperatura do moderador,

X = absorção $1/v$ (a 2200 m/s) por átomo de hidrogênio)

Y = número de átomos de U-235 por átomo de hidrogênio

Z = número de átomos de Pu-239 por átomo de hidrogênio.

As secções de choque microscópicas térmicas são determinadas por meio de interpolações feitas das tabelas de Amster, conhecidas as variáveis T, X, Y e Z. Em nosso caso, T foi tomado 20°C e Z = 0. X

e Y são calculados por meio das expressões

$$X = \left[\sum_j \Sigma_{a_j}^4 V_j \bar{\Psi}_j^4 \right] / (N_H V_m \bar{\Psi}_m^4) \quad (2.8)$$

$$Y = (N_{U-235} V_u \bar{\Psi}_u^4) / (N_H V_m \bar{\Psi}_m^4) \quad (2.9)$$

N_H = densidade atômica do hidrogênio (átomos/cm³)

N_{U-235} = densidade atômica do U-235 (átomos/cm³)

V_j = volume do meio onde se encontra o isótopo j

V_u = volume do meio combustível

V_m = volume do meio moderador

$\bar{\Psi}_j^4$ = representa o fluxo térmico médio no meio onde se encontra o isótopo j e $\bar{\Psi}_u^4$ e $\bar{\Psi}_m^4$, respectivamente, os fluxos térmicos médios no meio combustível e moderador.

Os fluxos térmicos médios de cada meio são primeiramente determinados a partir de seções de choque a 2200 m/seg (Tabela 2.2). Um cálculo preliminar de X é feito e seções de choque térmicas são determinadas por interpolação nas tabelas de Amster. Em seguida, novos valores dos fluxos médios e de X são calculados e novas seções de choque microscópicas térmicas, $\bar{\sigma}_{H_H}^4$, $\bar{\sigma}_{S_H}^4$, $\bar{\sigma}_{Au-235}^4$, $\bar{\sigma}_{U-235}^4$ e U_n são determinadas.

- $\bar{\sigma}_{th}^4$ - secção de choque macroscópica térmica de transporte do H
- $\bar{\sigma}_{sH}^4$ - idem, de espalhamento do H
- $\bar{\sigma}_{U-235}^4$ - idem de absorção do U-235
- $\bar{\sigma}_{fU-235}^4$ - idem de fissão do U-235
- $\bar{\sigma}_n$ - idem de absorção para os corpos que seguem a lei $1/v$ com $\bar{\sigma}_a^{2200} = 1$ barn.

2.5. Cálculo das constantes de grupo

2.5.1. Secções de choque médias dos macro-grupos rápidos

Baseado no esquema de cálculo das constantes de grupo proposto por Ombrellaro para o modelo a 3 macro-grupos rápidos em função das secções de choque microscópicas ajustadas (Tabela 2.1) e introduzida a ponderação pelos fluxos (*), as constantes de cada macro-grupo são representadas por:

$$\bar{\Sigma}_a^i = \left(\sum_j \Sigma_{aj}^i v_j \bar{\Phi}_j^i \right) / \left(\sum_j v_j \bar{\Phi}_j^i \right) \quad (2.10)$$

$$\bar{\Sigma}_n^i = \left(\sum_j \Sigma_{nj}^i v_j \bar{\Phi}_j^i \right) / \left(\sum_j v_j \bar{\Phi}_j^i \right) \quad (2.11)$$

$$(\bar{\nu} \bar{\Sigma}_f)^i = \left(\sum_j (\nu \Sigma_f)_j^i v_j \bar{\Phi}_j^i \right) / \left(\sum_j v_j \bar{\Phi}_j^i \right) \quad (2.12)$$

(j = combustível, revestimento, moderador)

(*) Ombrellaro calcula as secções de choque macroscópicas médias dos macro-grupos rápidos ponderando-as somente pelos volumes de cada meio (combustível, moderador, revestimento).

2.5.2. Introdução da absorção por ressonância

Klein [2] derivou a seguinte expressão para a integral de ressonância efetiva do U-238, (incluindo a absorção $1/v$) a partir dos cálculos feitos por L.W.Nordheim e R.Vernon [12, 13]:

$$I_{\text{eff}}^{\text{U-238}} = 6.09 + 24 \cdot 8 \sqrt{S_{\text{eff}}/M_{\text{UO}_2}} \quad \text{para } \text{UO}_2 \quad (2.13)$$

$$I_{\text{eff}}^{\text{U-238}} = 3.91 + 27.8 \sqrt{S_{\text{eff}}/M_{\text{U}}} \quad \text{para U-metal} \quad (2.14)$$

em que S_{eff} é a superfície efetiva do combustível para absorção por neutrons de ressonância, isto é, a superfície corrigida pelo efeito de sombreamento de barras combustíveis vizinhas (efeito Dancoff) e expressa pela fórmula [14]:

$$S_{\text{eff}} = S_u \frac{1 - C}{1 + 0,1C} \quad (2.15)$$

onde:

S_u = superfície da barra combustível

C = correção de Dancoff, calculada segundo o método de Sauer-Bonalumi, conforme descrito no Anexo I.

As secções de choque médias de absorção do U-238 nos grupos 2 e 3 são definidas por:

$$\bar{\sigma}_{a,U-238}^2 = \left(\int_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE \right) / \left(\int_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} dE/E \right) \quad (2.16)$$

$$\bar{\sigma}_{a,U-238}^3 = \left(\int_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE \right) / \left(\int_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} dE/E \right) \quad (2.17)$$

onde

σ_{eff}^{U-238} é a seção de choque efetiva de absorção no comitio das ressonâncias.

E. Hellstrand [15] define a integral de ressonância como

$$I_{eff}^{U-238} = \int_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE + \int_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE \quad (2.18)$$

incluindo a absorção $1/v$ do U-238, ou

$$I_{eff}^{U-238} = \left[\frac{\int_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE}{\int_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} dE/E} \right]_{0.625 \text{ eV}}^{5.5 \text{ KeV}} + \left[\frac{\int_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} (\sigma_{eff}^{U-238} / E) dE}{\int_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} dE/E} \right]_{5.5 \text{ KeV}}^{0.821 \text{ MeV}} \quad (2.19)$$

Substituindo (2.18) e (2.19) teremos que

$$I_{\text{eff}}^{\text{U-238}} = \bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^3 \ln\left(\frac{5500 \text{ eV}}{0.625 \text{ eV}}\right) + \bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^2 \ln\left(\frac{821 \text{ KeV}}{5.5 \text{ KeV}}\right) \quad (2.20)$$

ou

$$\bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^3 = \frac{I_{\text{eff}}^{\text{U-238}} - \ln\left(\frac{821 \text{ KeV}}{5.5 \text{ KeV}}\right)}{\ln\left(\frac{5500 \text{ eV}}{0.625 \text{ eV}}\right)} \quad (2.21)$$

sendo $\bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^3$ e $\bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^2$ secções de choque efetivas médias ponderadas sob um espectro em $1/E$.

A secção de choque macroscópica de absorção, $\bar{\Sigma}_{\text{a}}^3$, para o macro grupo 3 que inclui as ressonâncias, pode ser então expressa por:

$$\bar{\Sigma}_{\text{a}}^3 = \bar{\Sigma}_{\text{a}}^{13} + N_{\text{U-238}} \bar{\sigma}_{\text{aU-238}}^3 V_{\text{U}} \bar{\Phi}_{\text{U}}^3 / \left(\sum_j V_j \bar{\Phi}_j^3 \right) \quad (2.22)$$

em que $\bar{\Sigma}_{\text{a}}^{13}$ é calculado como em (2.12) excluindo o U-238.

2.5.3. Secção de choque de remoção do macro-grupo 3:

Para o macro-grupo 3 os processos de remoção de neutrons são afetados pela depressão do fluxo devida à presença das ressonâncias.

Em consequência, a maior contribuição à transferência deve estar asso-

ciada a neutrons que têm sua última colisão com energias menores do que a da mais baixa ressonância do U-238 (cerca de 6.67 eV). Isto é equivalente a uma redução da secção de choque de transferência no macro-grupo 3 para um valor menor do que seria na ausência das ressonâncias do U-238. Hicks [9], seguindo o esquema de Ombrellaro, que se apoia numa aproximação linear do fluxo na zona de ressonância, deduz a seguinte expressão para a secção macroscópica de remoção do macro-grupo 3:

$$\bar{\Sigma}_n^3 = \bar{\Sigma}_n^{13} + \frac{a}{a+1} \bar{\Sigma}_a^3 \quad (2.23)$$

onde a é uma constante empírica que tem presente a distorção do espectro (desvio referente à lei $1/E$), tendo valores $a = 0.687$ para UO_2 e $a = 0.67$ para U-metálico, e $\bar{\Sigma}_n^{13}$ é o valor da secção de choque microscópica de remoção na ausência de U-238 (calculada como em (2.12)).

2.5.4. Secções de choque médias do macro-grupo térmico

São definidas por

$$\bar{\Sigma}_a^4 = \left(\sum_j \Sigma_{aj}^4 v_j \bar{\Psi}_j^4 \right) / \left(\sum_j v_j \bar{\Psi}_j^4 \right) \quad (2.24)$$

$$(\nu \bar{\Sigma}_f)^4 = \left(\sum_j (\nu \Sigma_f)_j^4 v_j \bar{\Psi}_j^4 \right) / \left(\sum_j v_j \bar{\Psi}_j^4 \right) \quad (2.25)$$

(e evidentemente $\bar{\Sigma}_n^4 = 0$).

2.6. Fluxos médios

Para o cálculo dos fluxos médios espaciais em cada região da célula, combustível, revestimento do combustível e moderador, é utilizado o código CORTINA e a subrotina ALCOLL [4] que calculam, em teoria monocinética, fluxos a partir das probabilidades de colisão.

Em ALCOLL a célula é dividida em regiões. Para cada região i (coroa) da célula, é calculada a probabilidade P_{ij} de que um neutron nascido segundo uma distribuição uniforme e isotrópica na região i sofra sua primeira colisão na região j ; P_{ij} é dada pela expressão [16]:

$$P_{ij} = \frac{4\pi^2 \Sigma_{ti}}{V_i} \int_{R_j}^{R(j+1)} r dr \int_{R_i}^{R(i+1)} r' \phi(r, r') dr' \quad (2.26)$$

onde $\phi(r, r')$ é o fluxo no ponto r de neutrons que ainda não sofreram choque, devido a uma fonte de um neutron no ponto r' .

Os fluxos em função destas probabilidades de primeira colisão são obtidos resolvendo-se o sistema de equações:

$$\psi_i = \sum_j (\Sigma_{isj} \psi_j + S_j) \frac{P_{ij}}{\Sigma_{ti}} \quad (2.27)$$

onde

S_j é a fonte de neutrons na região j

Σ_{sj} e Σ_{tj} são as secções de choque macroscópicas de espalhamento e total da região k , respectivamente.

As seguintes aproximações são admitidas quando da adoção de CURTINA/ALCOLL:

1. A fonte de neutrons em cada macro-grupo de energia é uniforme e isotrópica: foi considerada unitária no combustível e nula nas outras regiões para macro-grupos rápidos; unitária no moderador e nula nas outras regiões para o macro-grupo térmico.
2. A reflexão de neutrons, no limite exterior da célula, é isotrópica.
3. Os choques de espalhamento elastico são supostos isotrópicos.

A partir dos fluxos médios de cada região, são obtidos os fluxos médios em cada um dos três meios constituintes da célula (combustível, revestimento e moderador) e os fatores de desvantagem e de vantagem.

2.7. Coefficientes de Difusão

Os coeficientes de difusão para os 4 macro-grupos D^i - valores médios na célula - são calculados de acordo com o formalismo sugerido por Benoist [5] para reticulados densos a água leve, pela expressão:

$$D^i = \frac{1}{3} \lambda_{m}^i \left\{ 1 + \frac{V_m}{V_{rel}} \frac{\bar{v}_m^i}{\psi_{rel}^i} \left(1 - \frac{\lambda_{m}^i}{\lambda_u^i} \right) \left[1 + \frac{\lambda_u^i}{\lambda_m^i} \left(\frac{\bar{v}_u^i}{\psi_m^i} - \frac{\lambda_{m}^i}{\lambda_u^i} \right) \right] \right\}. \quad (2.23)$$

onde os λ_m^i e λ_u^i são os livres percursos médios de transporte (inverso das secções de choque macroscópicas de transporte) dos neutrons no moderador e no combustível, respectivamente, para o macro-grupo i , e P_{mu}^i é a probabilidade (para o macro-grupo i) de que um neutron nascido no combustível sofra sua primeira colisão neste mesmo meio.

2.8. Parâmetros rápidos: D_{238} , d_{238} , d_{235} [9]

Os parâmetros f_{238} , de escape à ressonância do U-238, σ_{238} , de fissão rápida do U-238 e σ_{235} , de fissão epitérmica do U-235 são fatores básicos para comparação com resultados experimentais.

2.8.1. Parâmetro de escape às ressonâncias do U-238

É definido como:

$$P_{238} = \frac{\text{taxa de captura epi-cádmio no U-238}}{\text{taxa de captura sub-cádmio no U-238}}$$

e calculada pela expressão

$$P_{238} = \frac{\sum (\bar{\Sigma}_{cU-238}^i \Gamma^i)}{\bar{\Sigma}_{cU-235}^4 \Gamma^4} \quad (2.29)$$

Esta definição leva a imprecisão de considerar a energia de "cut-off" do cádmio coincidente com o limite entre os macro-grupos 3 e 4 (0.625 eV). Um fator de correção teria de ser incorporado; entretanto, dificuldades de calculá-lo no modelo adotado impediram sua determinação. Em consequência da energia de "cut-off" do cádmio (~0.45 eV) estar abaixo do limite dos macro-grupos 3 e 4, f_{28} em nossos cálculos deveria estar sub-estimado.

2.8.2. Parâmetro de fissão rápida do U-238

É definido por:

$$J_{28} = \frac{\text{taxa de fissão no U-238}}{\text{taxa de fissão no U-235}}$$

e calculado pela expressão:

$$J_{28} = \frac{\sum_{i=1}^4 \sum_{U-238} \bar{\Gamma}^i}{\sum_{i=1}^4 (\sum_{U-235} \bar{\Gamma}^i)} \quad (2.30)$$

2.8.3. Parâmetro de fissão epitérmica do U-235

É definido por:

$$C_{25} = \frac{\text{taxa de fissão epicádmio do U-235}}{\text{taxa de fissão sub-cádmio do U-235}}$$

e calculado por:

$$J_{25} = \frac{\sum_{i=1}^3 (\sum_{40-235}^i T^i)}{\sum_{40-235}^4 T^4} \quad (2.31)$$

Correção análoga à mencionada em 2.8.1. teria de ser efetuada.

2.9. Fator de utilização térmica

Um dos mais significantes parâmetros térmicos em cálculo de criticalidade é o fator de utilização térmica, definido por:

$$f = \frac{\text{taxa de absorção no combustível}}{\text{taxa de absorção na célula}}$$

É calculado pela expressão

$$f = \frac{\bar{\Sigma}_{au}^4}{\bar{\Sigma}_{au}^4 + \bar{\Sigma}_{ag}^4 Vg \frac{\psi_g^4}{\psi_u^4} + \bar{\Sigma}_{amb}^4 m \frac{\psi_m^4}{\psi_u^4}} \quad (2.32)$$

onde u, g e m referem-se ao combustível, revestimento e moderador, respectivamente.

3. DESCRIÇÃO DO CÓDIGO

3.1. Introdução

O código de computação programado para o computador IBM-360, modelo 40, utiliza a teoria exposta na Parte I. Consta essencialmente de um programa principal que coordena as seguintes subrotinas:

SEMA - que calcula as seções de choque macroscópicas médias de cada macro-grupo, utilizando como subrotinas acessórias:

CORTINA-ALCOLL - que calcula as distribuições espaciais de fluxos na célula unitária;

DANCOFF - que calcula a correção de Dancoff

COEDI - que calcula os coeficientes de difusão de cada macro-grupo, utilizando a subrotina:

TZERED - que calcula as funções Γ_{f_2}

KEFF - que calcula ρ^{28} , σ^{25} , σ^{28} , o fator de utilização térmica, f , e o fator de multiplicação efetivo, k_{eff}

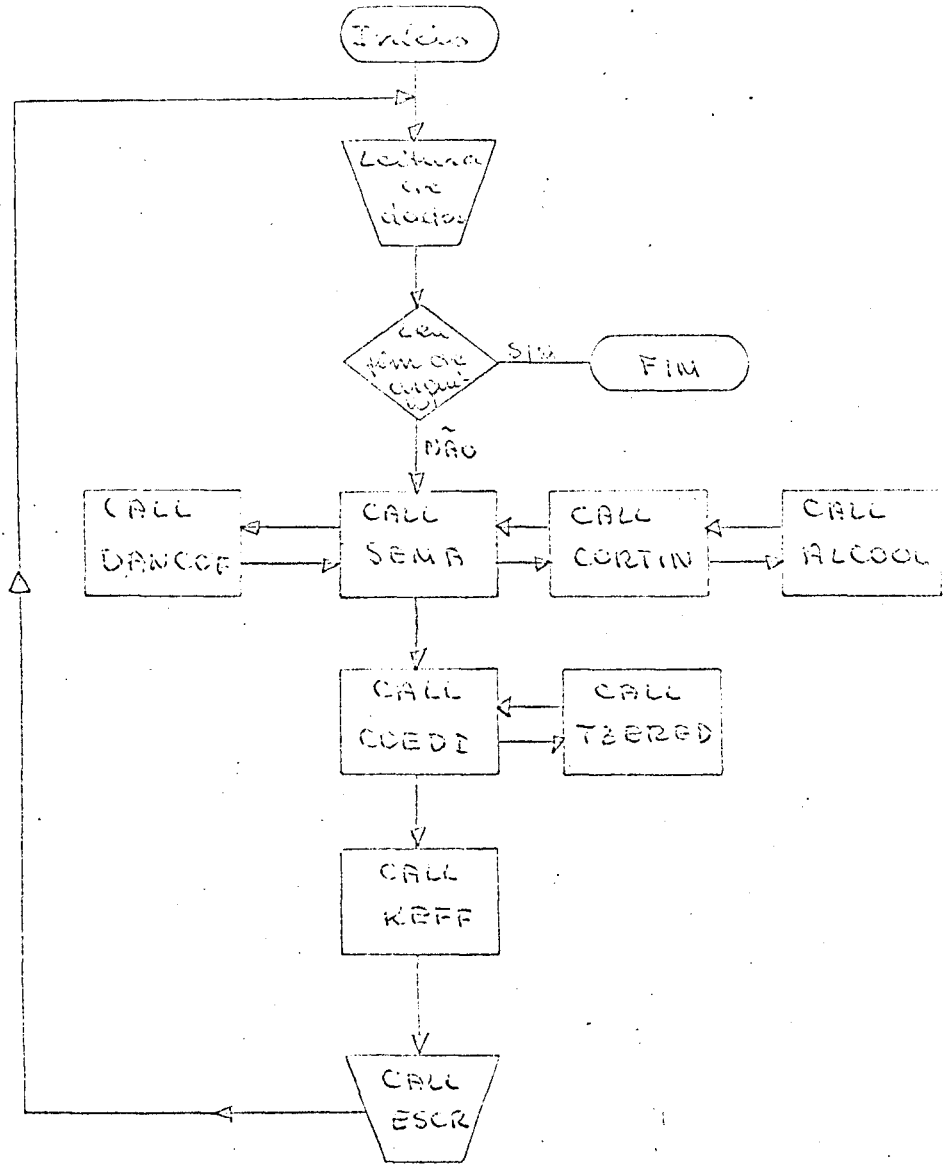
ESCR - que imprime os dados de entrada e os resultados.

3.2. Descrição do código

O programa principal lê os dados de entrada e chama as subrotinas de cálculo SEMA, COEDI, KEFF e ESCR.

Os dados são subdivididos em duas categorias: dados permanentes contidos em BLOCK DATA (Tabela 3.1) e dados próprios a cada caso, lidos em cartão (Tabela 3.2).

Diagrama Simplificado de Bloco



3.2. Descrição do código

3.2.1. Programa principal

O programa principal lê os dados de entrada e chama as subrotinas de cálculo SEMA, COEDI, KEFF e ESCR.

Os dados são subdivididos em duas categorias: dados permanentes contidos em BLOCK DATA (tabela 3.1) e dados próprios a cada caso, lidos em cartão (tabela 3.2).

3.2.2. Subrotina SEMA

A subrotina SEMA segue o seguinte roteiro:

- i) Calcula as densidades atômicas de cada nuclídeo do combustível;
- ii) Calcula as seções de choque macroscópicas rápidas não-ponderadas; chama a subrotina DANCOFF (ver 3.2.1), para o cálculo do fator de DANCOFF; calcula a integral de ressonância do U-238, corrige a seção de choque macroscópica de absorção do U-238 e em seguida corrige a seção de choque macroscópica de absorção do combustível no macro-grupo 3
- iii) Chama a subrotina CORTIN (que utiliza ALCOLL para cálculo das probabilidades P_{ij}) para cada macro-grupo rápido de cada meio da célula unitária
- iv) Calcula as seções de choque macroscópicas rápidas médias ponderadas pelos fluxos e pelos volumes na célula
- v) Calcula as seções de choque macroscópicas a 2200 m/seg, chama CORTIN para o cálculo dos fluxos e determina os valores iniciais de X e Y
- vi) Com estes valores de X e Y, novas seções de choque macroscópicas térmicas são determinadas, utilizando as tabelas de Amster incorporadas no programa através das funções UN(X, Y), SGMTR(X, Y), SGMA5(X, Y), SGMF5(X, Y), SGMSH(X, Y) (ver 3.2.5).
- vii) Chama CORTIN, que calcula os fluxos médios espaciais térmicos, e calcula as seções de choque macroscópicas térmicas ponderadas.

3.2.3. Subrotina DANCOFF

Calcula a correção de Dancoff pelo método de Sauer-Bonalumi

(Anexo I).

3.2.4. Subrotina CORTIN

- i) Chama ALCOLL que calcula as probabilidades de colisão P_{ij} em teoria monocinética
- ii) Calcula os $\bar{\Psi}_j^i$, fluxos médios de neutrons no meio j e no macro-grupo de energia i , $\bar{\Psi}_{cell}^i$, fluxo médio na célula e relações de fluxo, $\bar{\Psi}_m/\bar{\Psi}_u^i$.

3.2.5. Funções $U_n(X, Y)$, SGMTRH(X, Y), SGMSH(X, Y), SGMA5(X, Y), SGMF5(X, Y)

Estas funções fazem a interpolação nas tabelas (Amster) de seções de choque microscópicas térmicas U_n , $\bar{\Sigma}_{tH}$, $\bar{\Sigma}_{aU-235}$ e $\bar{\Sigma}_{fU-235}$ em função de X e Y . As tabelas estão em BLOCK DATA.

3.2.6. Subrotina COEDI

- i) Chama a subrotina TZERED que calcula as funções T_z e T_r (cf. Ref.5)
- ii) Calcula os coeficientes de difusão para os 4 macro-grupos segundo a teoria de Benoist.

3.2.7. Subrotina KEFF

A subrotina KEFF calcula:

- i) Os fluxos de neutrons (médios na célula), $\bar{\Gamma}^i$, para cada macro-grupo de energia
- ii) os parâmetros ρ^{28} , σ^{28} e σ^{25}
- iii) o fator de multiplicação efetivo, k_{eff}
- iv) o fator de utilização térmica, f .

3.5. Subrotina ESCR

Imprime os principais dados permanentes, os dados próprios a cada caso e, finalmente, os principais resultados.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados de cálculo dos parâmetros mencionados na parte 1 são aqui comparados com alguns resultados experimentais ou obtidos com outros métodos de cálculo. Escolhemos reticulados para os quais k_{eff} foi analisado por Hicks e por R.Solanilla [18]. Hicks efetuou análise utilizando dois métodos de cálculo: um usando os programas MUFT e SOFOCATE, o outro usando as tabelas de Ombrellaro e de Amster. Solanilla utilizou as tabelas de Ombrellaro, porém usou polinômios (cf. ref. [9] e [18]), baseados nas tabelas de Amster, e condensou os parâmetros para apenas 2 macro-grupos de energia.

Estes reticulados incluem:

- diferentes enriquecimentos em U-235
- combustível U-metálico ou UO_2
- revestimento em aço inoxidável ou alumínio
- várias razões de volume moderador-combustível.

Os principais parâmetros geométricos estão sumarizados na tabela 4.1.

Denominaremos, de agora em diante, Hicks-MUFT-SOFO e Hicks-Ombrellaro os resultados obtidos por Hicks usando MUFT e SOFOCATE e os resultados obtidos utilizando o esquema de Ombrellaro, respectivamente, e Solanilla os resultados obtidos por Solanilla.

4.1. Fator de multiplicação efetivo

Não havendo valores médios para k_{eff} , tomou-se Hicks-MUFT-SOFO

como referência.

Os valores obtidos para k_{eff} estão, em sua grande maioria, mais próximos dos resultados obtidos por Hicks-MUFT-SOFO do que os obtidos por Hicks-Ombrellaro e por Solanilla. O erro relativo máximo é de 8970 pcm, no reticulado 8, tendo o cálculo Hicks-Ombrellaro um erro de 12960 pcm e Solanilla 9970 pcm; apesar do desvio ser grande, nosso cálculo está bem mais próximo do adotado como referência. Nos demais casos, em geral, nosso cálculo se aproxima mais do de referência que os outros dois; em efeito, o erro relativo máximo em k_{eff} é, para eles, de 400 pcm, enquanto os resultados obtidos por Hicks-Ombrellaro apresentam um desvio máximo de 990 pcm e os por Solanilla de 1190 pcm (cf. tabela 4.2).

Este valor não pode ser tomado como válido, em geral, pois o número de casos comparados é insuficiente para isto. Não foi possível analisar mais casos em virtude de dificuldades de obtenção em tempo hábil de dados completos nas publicações disponíveis.

4.2. Parâmetros $\beta_{2,1}$, $d_{2,1}$, $d_{2,5}$

As tabelas 4.3 e 4.4 mostram os valores dos parâmetros obtidos com o código, comparados com os valores experimentais e com os resultados de cálculo de Hicks-Ombrellaro e de Solanilla. Não foram apresentados na referência resultados de cálculo Hicks-MUFT-SOFO.

A comparação feita mostra que os resultados obtidos para $\beta_{2,1}$ estão sistematicamente maiores que os valores medidos - quando era de se esperar que fossem inferiores (cf. item 2.8.1). Isto parece ser devido à secção de choque de absorção do U-238 no macro-grupo 3. Uma análise

se mais rigorosa deverá ser efetuada no futuro; não a realizamos, em princípio, devido: em primeiro lugar, à falta de resultados parciais para comparações (por exemplo, apenas obtivemos dados de seções de choque e de coeficientes de difusão para o reticulado 8; para os demais não foram publicados); em segundo lugar, pelo fato de os resultados globais de k_{eff} estarem satisfatórios e modificações na captura ressonante do U-238 influiriam nestes resultados.

O erro relativo máximo obtido para ρ_{28} é de 40,4%, no reticulado 8; Hicks-Ombrellaro obteve um desvio de 35,5% e Solanilla um desvio de 44,4% neste mesmo reticulado. Para os outros reticulados há um desvio que varia de 1.4% a 12.5%; os desvios dos resultados obtidos por Hicks-Ombrellaro variam de 1.5% a 10.3% e os desvios obtidos por Solanilla variam de 4.9% a 18.3%.

Os resultados obtidos para C_{28} apresentam um desvio com relação aos valores experimentais que variam de 1.7% a 9.5%. Embora estes desvios sejam grandes, eles estão dentro da margem de erro da experiência. Hicks-Ombrellaro e Solanilla obtiveram, para este parâmetro, resultados com desvios que variam de 0.0 a 7.0% e de 4.3% a 12.3%, respectivamente.

Para σ_{25} os resultados estão todos inferiores aos valores experimentais, o que era de se esperar (cf. item 2.8.3). Os desvios relativos observados variam de 1.3% a 27.9%, enquanto que os resultados obtidos por Hicks-Ombrellaro apresentam desvios que vão de 1.1% a 17.7% e Solanilla obteve valores com desvios que variam de 2.6% a 25.0%.

Nossos resultados de cálculo destes três parâmetros são - em geral - satisfatórios. Os desvios não são muito diferentes daqueles obtidos com os outros dois métodos.

4.3. Fator de desvantagem e fator de utilização térmica

Os desvios relativos observados para o fator de desvantagem $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_u^4$ apresentam valores que variam de 0.0% a 2.7%, estando dentro da gama de variação dos valores experimentais (cf. tabelas 4.3 e 4.4). Hicks-Ombrellaro obteve para este parâmetro um desvio de 0.9% a 4.6% e Solanilla um desvio que varia de 0.9% a 3.6%.

Para o fator de utilização térmica, f , obtivemos valores que, em geral, não são satisfatórios. Os desvios relativos variam de 0.4% a 0.9%. Os desvios observados nos resultados de Hicks-Ombrellaro e de Solanilla variam de 0.1% a 1.0% e de 0.0% a 0.6% (cf. tabelas 4.3 e 4.4). Isto - levando em conta os resultados obtidos para os desvios nas razões de fluxo $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_u^4$ - leva a crer que as secções de choque térmicas não estão representando bem a realidade. Uma análise deve ser efetuada no futuro para corrigi-las.

4.4. Análise de secções de choque e dos coeficientes de difusão para o reticulado 8 (*)

Os coeficientes de difusão, as secções de choque de absorção e

(*) Analisou este reticulado por ser o único para o qual são apresentados os resultados de cálculo desses parâmetros.

de "produção" de neutrons, e os fluxos médios para cada macro-grupo i , para o reticulado 8, são apresentados na tabela 4.5, e comparados com os resultados calculados com Hicks-MUFT-SOFO e Hicks-Ombrellaro.

Hicks utiliza o método dos harmônicos esféricos P_3 para o cálculo da distribuição de fluxo espacial na célula [9]. Para o fator de Dancoff usa a expressão de W.G.Pettus [17], incluindo correção devido à presença do revestimento. Os coeficientes de difusão são calculados segundo a teoria de difusão pela expressão:

$$D^i = \frac{1}{3 \Sigma_{tr}^i}$$

Pela comparação feita (tabelas 4.5 e 4.6) podemos verificar o seguinte:

- a) Os resultados obtidos para os coeficientes de difusão rápidos, D^i , apresentam desvios relativos que variam de 0.05% a 4.1%, enquanto que os obtidos por Hicks-Ombrellaro apresentam desvios de 2.3% a 4.5%. Sendo os resultados com o código, para os macro-grupos 1 e 2, melhores e para o macro-grupo 3 pior que os de Hicks-Ombrellaro.
- b) Os resultados para $\bar{\Sigma}_{tr}^i$, nos macro-grupos 2 e 3 apresentam desvios pouco maiores que os de Hicks-Ombrellaro; 8.8% para o macro-grupo 2 e 0.9% para o macro-grupo 3, contra desvios de 8.1% e 0.4% respectivamente (Hicks-Ombrellaro). Para o macro-grupo 1, $\bar{\Sigma}_{tr}^i$, se apresenta melhor que o obtido por Hicks-Ombrellaro: desvios de 0.3% e 0.6%, respectivamente.

- c) Os resultados para $\bar{\xi}_n$ nos três macro-grupos, mostram desvios menores que os obtidos por Hicks-Ombrellaro; variam de 0.04% a 1.0%, enquanto que Hicks-Ombrellaro dão desvios de 1.0% a 2.4%.
- d) Os resultados para (\bar{z}_i) são piores nos macro-grupos 1 e 2, apresentando desvios de 1.3% e 2.4%, enquanto que por Hicks-Ombrellaro os desvios são de 0.0% e 2.3% respectivamente. Para o macro-grupo 3 os resultados com o código e de Hicks-Ombrellaro são idênticos com um desvio em relação a Hicks-MUFT de 4.5%.
- e) As constantes do domínio térmico são também apresentadas na tabela 4.5, comparados os resultados obtidos com Hicks-Ombrellaro.
- f) Estão também apresentados na tabela 4.5 valores dos fluxos médios na célula para os quatro macro-grupos de energia, comparados os resultados de Hicks-Ombrellaro.

- c) Os resultados para $\bar{\xi}_n$ nos três macro-grupos, mostram desvios menores que os obtidos por Hicks-Ombrellaro; variam de 0.04% a 1.0%, enquanto que Hicks-Ombrellaro dão desvios de 1.0% a 2.4%.
- d) Os resultados para (\bar{z}_i) são piores nos macro-grupos 1 e 2, apresentando desvios de 1.3% e 2.4%, enquanto que por Hicks-Ombrellaro os desvios são de 0.0% e 2.3% respectivamente. Para o macro-grupo 3 os resultados com o código e de Hicks-Ombrellaro são idênticos com um desvio em relação a Hicks-MUFT de 4.5%.
- e) As constantes do domínio térmico são também apresentadas na tabela 4.5, comparados os resultados obtidos com Hicks-Ombrellaro.
- f) Estão também apresentados na tabela 4.5 valores dos fluxos médios na célula para os quatro macro-grupos de energia, comparados os resultados de Hicks-Ombrellaro.

5. CONCLUSÃO

Comparamos nosso cálculo do fator de multiplicação efetivo com valores obtidos por Hicks, usando MUFT-SOFOCATE e as tabelas de Ombrellaro e Amster, bem como resultados obtidos por Solanilla, usando as tabelas Ombrellaro e polinômios ajustados a partir das tabelas de Amster para uma série de reticulados a água leve e urânio enriquecido. Em todos os reticulados verificamos que o erro cometido em k_{eff} com relação a Hicks-MUFT é inferior a 400 pcm e, em alguns casos, inferior a 100 pcm, com exceção do reticulado 8 que é de 8970 pcm. Cerca de 70% dos resultados obtidos para k_{eff} se apresentam melhores que os obtidos por Hicks-Ombrellaro e 100% melhores que os obtidos por Solanilla, embora haja, sem dúvida, compensação de erros nos cálculos parciais.

Em vista da comparação apresentada no item 4 podemos concluir que o código dá resultados satisfatórios. É certo, contudo, que uma análise de um maior número de experiências de cálculos deve seguir este nosso trabalho, assim como uma análise detalhada de resultados de outros parâmetros além do k_{eff} .

TABELAS

TABELA 2.1

Seções de choque eficazes microscópicas
para o modelo a 3 macro-grupos rápidos
segundo Ombrellaro [1]

| | $\bar{\Sigma}_t$ | $\bar{\Sigma}_f$ | $\bar{\Sigma}_c$ | $\bar{\Sigma}_s$ | $\bar{\Sigma}_{tr}$ | $\bar{\nu}$ | $\bar{\nu} \bar{\Sigma}_f$ | $\bar{\nu}$ |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Hidrogênio | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 1.5659 | 1.4505 | 0.0000 | 1.4505 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 2 | 2.5837 | 2.2128 | 0.0002 | 2.2128 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 6.3389 | 2.2543 | 0.0142 | 2.2543* | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| Oxigênio | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 1.2777 | 0.2371 | 0.0425 | 0.2371 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 2 | 3.9450 | 0.0889 | 0.0000 | 0.0889 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 4.2553 | 0.0450 | 0.0000 | 0.0450* | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| Carbono | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 0.9797 | 0.2248 | 0.0000 | 0.2248 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 2 | 3.6306 | 0.1141 | 0.0000 | 0.1141 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 4.8184 | 0.0809 | 0.0000 | 0.0809* | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| Alumínio | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 2.274 | 0.6135 | 0.0033 | 0.6135 | 0.6168 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 2 | 4.1420 | 0.6675 | 0.0010 | 0.6675 | 0.6685 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 1.7249 | 0.03426 | 0.0195 | 0.03426* | 1.4195 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| Ferro | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 2.4181 | 0.5066 | 0.0012 | - | 2.4181 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 2 | 3.6801 | 0.0010 | 0.0000 | - | 3.6801 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 9.6803 | 0.0632 | 0.0000 | - | 9.6803 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| U-235 | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 4.9349 | 0.1472 | 1.8186 | - | 4.9349 | 1.3159 | 3.6450 | 2.77 |
| 2 | 7.9809 | 0.0000 | 2.6953 | - | 7.9809 | 1.9120 | 4.7418 | 2.48 |
| 3 | 22.6183 | 0.0000 | 34.1205 | - | 22.6183 | 25.3917 | 62.4636 | 2.46 |
| U-238 | | | | | | | | |
| Grupo 1 | 5.8050 | 2.3055 | 0.4684 | - | 5.8050 | 0.4156 | 1.1221 | 2.70 |
| 2 | 8.9462 | 0.0400 | 0.3136 | - | 8.9462 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 3 | 8.9904 | 0.0000 | 0.3248 | - | 8.9904 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |

* Referência 17

TABELA 2.2

Secções de choque microscópicas a 2200 m/seg
(barn)

| | $\bar{\sigma}_a$ | $\bar{\sigma}_s$ | $\bar{\sigma}_t$ | $\bar{\sigma}_r$ |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| U-235 | 682.0 | 10.00 | 582.2 | 2.43 |
| U-238 | 2.710 | 8.300 | 0.0 | 0.00 |
| Oxigênio | 0.000 | 3.760 | 0.0 | 0.00 |
| Hidrogênio | 0.328 | 20.40 | 0.0 | 0.00 |
| Alumínio | 0.230 | 1.40 | 0.0 | 0.00 |
| Aço | 2.870 | 10.30 | 0.0 | 0.00 |

TABELA 3.1

Dados permanentes (contidos em BLOCK DATA)

| | | Secções de choque microscópicas |
|-----------|--------------------------|--|
| SGA5(I) | σ_{aU-235}^i | de <u>absorção</u> rápida para o macro-grupo i do U-235 |
| SGA8(I) | σ_{aU-238}^i | idem, do U-238 |
| SGAH(I) | σ_{aH}^i | idem, do Hidrogênio |
| SGAO(I) | σ_{aO}^i | idem, do Oxigênio |
| XNAGF5(I) | $(\nu\sigma_f)_{U-235}$ | de " <u>produção</u> " de neutrons para o macro-grupo i do U-235 |
| XNSGF8(I) | $(\nu\sigma_f)_{U-238}$ | idem, do U-238 |
| SGT5(I) | σ_{tU-235}^i | de <u>remoção</u> para o macro-grupo i do U-235 |
| SGT8(I) | σ_{tU-238}^i | idem, do U-238 |
| SGTH(I) | σ_{tH}^i | idem, do Hidrogênio |
| SGTO(I) | σ_{tO}^i | idem, do Oxigênio |
| SGTR5(I) | σ_{tU-235}^i | de <u>transporte</u> para o macro-grupo i do U-235 |
| SGTR8(I) | σ_{tU-238}^i | idem, do U-238 |
| SGTRH(I) | σ_{tH}^i | idem, do Hidrogênio |
| SGTRO(I) | σ_{tO}^i | idem, do Oxigênio |
| SGTO5(I) | σ_{tU-235}^i | total para o macro-grupo i do U-235 |
| SGTO8(I) | σ_{tU-238}^i | idem, idem, do U-238 |
| SGTH(I) | σ_{sH}^i | idem, de <u>espalhamento</u> para o macro-grupo i do Hidrogênio |
| S | | |
| SGSO(I) | σ_{sO}^i | idem, idem, do Oxigênio |
| SGA05 | σ_{aU-235}^{2200} | de <u>absorção</u> a 2200 m/seg do U-235 |
| SGA08 | σ_{aU-238}^{2200} | idem, do U-238 |
| SGA0H | σ_{aH}^{2200} | idem, do Hidrogênio |
| SGA0O | σ_{aO}^{2200} | idem, do Oxigênio |
| SGS05 | σ_{sU-235}^{2200} | de <u>espalhamento</u> do U-235 |
| SGS08 | σ_{sU-238}^{2200} | idem, do U-238 |
| SGSOH | σ_{sH}^{2200} | idem, do Hidrogênio |
| SGSOO | σ_{sO}^{2200} | idem, do Oxigênio |
| X | X | $(1/v/H)$ = absorção $1/v$ (a 2200 m/s) por átomo de Hidrogênio |
| Y | Y | número de átomos de U-235 por átomo de Hidrogênio |

T A B E L A 3.2

Dados próprios a cada caso

| Cartão | Grupo | Nome da Variável | |
|------------------------------|---------------|---|--|
| 1 | 3F10.0 I10 | b^2 KFORM | Laplaciano geométrico (cm^{-2}) (opção) = 1:célula quadrada; = 2:célula hexagonal |
| Geometria | | | |
| 2 | 3F10.0 I10 | RR(1) NPA(1) RR(2) NPA(2) RR(3) NPA(3) | raio do combustível (cm) número de regiões no combustível raio externo do revestimento (cm) número de regiões no revestimento raio do moderador (cm) número de regiões no moderador |
| Propriedades do combustível | | | |
| 3 | 3F10.0 | ENR DELTA DENSU | grau de enriquecimento em átomos de U-235 (%) (opção) = 1:UO ₂ ; = 0:U-metálico densidade do combustível (g/cm^3) |
| Propriedades do revestimento | | | |
| 4 | 3F10.0 | SGAOG SGSOG XNG XMIG | secção de choque microscópica de absorção a 2200 m/seg. do revestimento (barn) secção de choque microscópica de espalhamento a 2200 m/seg. do revestimento (barn) densidade atômica do revestimento ($\text{átomos}/\text{cm}^3 \times 10^{-24}$) valor médio do ângulo de espalhamento de neutrons no revestimento |
| 5 | 3F10.0 | SGAG(I) SGTG(I) | secção de choque eficaz microscópica média de absorção do revestimento no macro-grupo rápido i (barn) secção de choque eficaz microscópica média de remoção do revestimento no macro-grupo rápido i (barn) |
| 6 | 3F10.0 | SCTRG(I) SCTOC(I) | Secção de choque eficaz microscópica média de transporte do revestimento no macro-grupo rápido i (barn) Secção de choque eficaz microscópica total média no macro-grupo rápido i (barn) |

T A B E L A 4.1

Principais parâmetros das células estudadas

| | H_2O/UO_2 | Enrique- cimento (% U-235) | Material do reves- timento | UO_2 densida- de (g/cm^3) | Diâmetro da barra UO_2 (cm) | Diâmetro do reves- timento (cm) | Lapla- ciano geo- métrico (m^{-2}) |
|----|-------------|----------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|--|---|
| 1 | 1.071 | 1.311 | Al | 7.53 | 1.5266 | 1.6916 | 28.37 |
| 2 | 1.405 | 1.311 | Al | 7.53 | 1.5266 | 1.6916 | 30.17 |
| 3 | 1.756 | 1.311 | Al | 7.53 | 1.5266 | 1.6916 | 29.06 |
| 4 | 1.386 | 1.311 | Al | 7.52 | 0.9856 | 1.1512 | 25.28 |
| 5 | 1.734 | 1.311 | Al | 7.52 | 0.9856 | 1.1512 | 25.21 |
| 6 | 1.426 | 1.311 | Al | 10.53 | 0.9728 | 1.1512 | 32.59 |
| 7 | 2.396 | 1.311 | Al | 10.53 | 0.9728 | 1.1512 | 34.22 |
| 8 | 1.048 | 2.7 | Aço | 10.2 | 0.7620 | 0.85974 | 40.70 |
| 9 | 1.405 | 2.7 | Aço | 10.2 | 0.7620 | 0.8597 | 53.20 |
| 10 | 1.853 | 2.7 | Aço | 10.2 | 0.7620 | 0.8597 | 63.30 |

TABELA 4.2

Comparação do k_{eff} com Hicks-MUFT-SOFOCATE e
Hicks-Ombrellaro e Solanilla

| Método | Caso | k_{eff} | $\frac{C_{k_{eff}}}{V_{k_{eff}}}$ (pcm) | Caso | k_{eff} | $\frac{C_{k_{eff}}}{k_{eff}}$ (pcm) |
|--------------|------|-----------|---|------|-----------|-------------------------------------|
| Hicks MUFT | 1 | 0.994 | 300 | 8 | 1.003 | 12960 |
| Ombrellaro | | 0.991 | | | | |
| Solanilla | | 1.007 | | | | |
| Código | | 0.995 | | | 100 | |
| Hicks MUFT | 2 | 0.999 | 400 | 9 | 1.007 | 990 |
| Ombrellaro | | 0.995 | | | | |
| Solanilla | | 1.012 | | | | |
| Código | | 0.999 | | | 0 | |
| Hicks MUFT | 3 | 0.995 | 400 | 10 | 1.006 | 500 |
| Ombrellaro | | 0.991 | | | | |
| Solanilla | | 1.012 | | | | |
| Código | | 0.998 | | | 30 | |
| Hicks MUFT | 4 | 0.991 | 400 | - | - | - |
| Ombrellaro | | 0.989 | | | | |
| Solanilla | | 1.000 | | | | |
| Cálculo | | 0.995 | | | | |
| Hicks MUFT | 5 | 0.992 | 300 | - | - | - |
| Ombrellaro | | 0.989 | | | | |
| Solanilla | | 1.024 | | | | |
| Código | | 0.996 | | | | |
| Hicks MUFT | 6 | 1.000 | 300 | - | - | - |
| Ombrellaro | | 0.997 | | | | |
| Solanilla | | 0.997 | | | | |
| Cálculo | | 0.996 | | | | |
| MUFT | 7 | 0.998 | 300 | - | - | - |
| Ombrellaro | | 0.995 | | | | |
| Solanilla | | 1.006 | | | | |
| Cálculo | | 0.998 | | | | |

T A B E L A 4.3

Comparação de parâmetros de reticulados medidos
e calculados

| Caso | | ρ_{09} | δ_{23} | δ_{15} | f | \bar{y}_w/\bar{y}_u |
|------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | Medido | 1.19 ± 0.04 | 0.071 ± 0.010 | 0.078 ± 0.006 | 0.873 ± 0.004 | 1.09 ± 0.03 |
| | Hicks-Ombrella | 1.28 | 0.073 | 0.087 | 0.864 | 1.14 |
| | Solanilla $\overline{r\sigma}$ | 1.33 | 0.070 | 0.080 | 0.868 | 1.10 |
| | Cálculo | 1.32 | 0.070 | 0.077 | 0.865 | 1.12 |
| 2 | Medido | 0.994 ± 0.013 | 0.059 ± 0.009 | 0.073 ± 0.006 | 0.837 ± 0.005 | 1.14 ± 0.03 |
| | Hicks-Ombrella | 1.009 | 0.060 | 0.068 | 0.832 | 1.15 |
| | Solanilla $\overline{r\sigma}$ | 1.06 | 0.057 | 0.063 | 0.836 | 1.11 |
| | Cálculo | 1.04 | 0.058 | 0.060 | 0.832 | 1.13 |
| 3 | Medido | 0.807 ± 0.014 | 0.051 ± 0.004 | 0.068 ± 0.006 | 0.805 ± 0.005 | 1.16 ± 0.03 |
| | Hicks-Ombrella | 0.827 | 0.051 | 0.056 | 0.800 | 1.15 |
| | Solanilla $\overline{r\sigma}$ | 0.890 | 0.049 | 0.051 | 0.804 | 1.12 |
| | Cálculo | 0.862 | 0.049 | 0.049 | 0.800 | 1.15 |
| 4 | Medido | 1.04 ± 0.05 | 0.063 ± 0.003 | 0.074 ± 0.006 | 0.836 ± 0.004 | 1.10 ± 0.01 |
| | Hicks-Ombrella | 1.147 | 0.061 | 0.069 | 0.834 | 1.09 |
| | Solanilla $\overline{r\sigma}$ | 1.23 | 0.058 | 0.064 | 0.836 | 1.06 |
| | Cálculo | 1.17 | 0.057 | 0.061 | 0.833 | 1.08 |
| 5 | Medido | 0.901 ± 0.070 | 0.054 ± 0.003 | 0.059 ± 0.006 | 0.807 ± 0.004 | 1.09 |
| | Hicks-Ombrella | 0.958 | 0.052 | 0.057 | 0.805 | 1.10 ± 0.01 |
| | Solanilla $\overline{r\sigma}$ | 1.03 | 0.049 | 0.052 | 0.807 | 1.07 |
| | Cálculo | 0.975 | 0.049 | 0.050 | 0.803 | 1.08 |

TABELA 4.3 (continuação)

| Caso | | P_{23} | σ_{28} | σ_{25} | \downarrow | \bar{Y}_m/\bar{Y}_u |
|------|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 6 | Medido | 1.43 ± 0.01 | 0.078 ± 0.004 | 0.089 ± 0.004 | 0.874 ± 0.004 | 1.10 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 1.347 | 0.076 | 0.090 | 0.873 | 1.09 |
| | Solanilla | 1.50 | 0.072 | 0.085 | 0.871 | 1.09 |
| | Cálculo | 1.41 | 0.072 | 0.081 | 0.867 | 1.10 |
| 7 | Medido | 0.934 ± 0.01 | 0.057 ± 0.003 | 0.055 ± 0.001 | 0.809 ± 0.004 | 1.13 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 0.867 | 0.053 | 0.057 | 0.810 | 1.09 |
| | Solanilla | 0.970 | 0.050 | 0.053 | 0.808 | 1.11 |
| | Cálculo | 0.905 | 0.049 | 0.050 | 0.804 | 1.12 |
| 8 | Medido | 2.77 ± 0.08 | | | | 1.10 ± 0.02 |
| | Hicks-Omb. | 3.754 | 0.083 | 0.236 | 0.834 | 1.22 |
| | Solanilla | 4.00 | 0.083 | 0.230 | 0.829 | 1.104 |
| | Cálculo | 3.89 | 0.084 | 0.223 | 0.825 | 1.12 |
| 9 | Medido | 2.22 ± 0.05 | 0.076 ± 0.002 | 0.150 ± 0.01 | | |
| | Hicks-Omb. | 2.801 | 0.068 | 0.171 | 0.822 | 1.21 |
| | Solanilla | 3.00 | 0.067 | 0.166 | 0.816 | 1.114 |
| | Cálculo | 2.921 | 0.067 | 0.161 | 0.812 | |
| 10 | Medido | 1.83 ± 0.12 | 0.060 ± 0.005 | | | $1.127 \pm 0.$ |
| | Hicks-Omb. | 2.17 | 0.056 | 0.129 | 0.806 | 1.210 |
| | Solanilla | 2.37 | 0.055 | 0.125 | 0.8003 | 1.126 |
| | Cálculo | 2.26 | 0.055 | 0.121 | 0.796 | |

TABELA 4.4

Desvios relativos comparados com resultados experimentais (%)

| Retículo | Método | $\delta P_{22}/P_{22}$ | $\delta(d_{22})/d_{22}$ | $\delta(d_{25})/d_{25}$ | $\delta t/t$ | $\delta(P_w/P_w)/P_w/P_w$ |
|----------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|
| 1 | Hicks-Omb. | 7.56 | 2.82 | 11.54 | 1.03 | 4.59 |
| | Solanilla | 11.76 | 4.23 | 2.56 | 0.57 | 0.92 |
| | Código | 10.92 | 4.23 | 1.28 | 0.92 | 2.75 |
| 2 | Hicks-Omb. | 1.51 | 1.69 | 6.85 | 0.60 | 0.88 |
| | Solanilla | 6.64 | 3.39 | 13.70 | 0.12 | 3.51 |
| | Código | 4.63 | 1,69 | 17.81 | 0.60 | 0.88 |
| 3 | Hicks-Omb. | 2.48 | 0.00 | 17.65 | 0.62 | 0.86 |
| | Solanilla | 10.29 | 3.92 | 25.00 | 0.12 | 3.45 |
| | Código | 6.82 | 3.92 | 27.94 | 0.62 | 0.86 |
| 4 | Hicks-Omb. | 10.29 | 3.17 | 6,76 | 0.24 | 0.91 |
| | Solanilla | 18.27 | 7.94 | 13.51 | 0.0 | 3.64 |
| | Código | 12.50 | 9.52 | 17.57 | 0.36 | 1.82 |
| 5 | Hicks-Omb. | 6.33 | 3.70 | 3.39 | 0.25 | 0.91 |
| | Solanilla | 14,32 | 9.26 | 11.86 | 0.00 | 1.82 |
| | Código | 8.21 | 9.26 | 15.25 | 0.50 | 0.0 |
| 6 | Hicks-Omb. | 5.80 | 2.56 | 1.12 | 0.11 | 0.91 |
| | Solanilla | 4.90 | 7.69 | 4.49 | 0.34 | 0.91 |
| | Código | 1.40 | 7.69 | 7.87 | 0.80 | 0.0 |
| 7 | Hicks-Omb. | 7.17 | 7.02 | 3.64 | 0.12 | 3.54 |
| | Solanilla | 3.85 | 12.28 | 3.64 | 0.12 | 1.77 |
| | Código | 3.10 | 14.04 | 9.09 | 0.62 | 0.88 |
| 8 | Hicks-Omb. | 35.53 | | | | |
| | Solanilla | 44.40 | - | - | - | - |
| | Código | 40.43 | | | | |
| 9 | Hicks-Omb. | | | | | |
| | Solanilla | - | - | - | - | - |
| | Código | | | | | |
| 10 | Hicks-Omb. | 18.6 | | | | |
| | Solanilla | 22.5 | - | - | - | - |
| | Código | 23.6 | | | | |

T A B E L A 4.5

Parâmetros do Reticulado 8 Comparados com Hicks-MUFT e
Hicks-Ombrellaro

| | Macro-grupo | D | $\bar{\zeta}_a$ | $\bar{\zeta}_n$ | $\sqrt{\bar{\zeta}_n}$ | T |
|--|-------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Hicks MUFT Ombrellaro Código | 1 | 1.9088 1.8645 1.9298 | 0.006459 0.006418 0.006438 | 0.08001 0.07828 0.07917 | 0.01152 0.01152 0.01167 | 7.89 8.04 |
| Hicks MUFT Ombrellaro Código | 2 | 0.9827 0.9389 0.9822 | 0.004122 0.003789 0.003759 | 0.07008 0.07176 0.07027 | 0.001286 0.001256 0.001255 | 11.34 11.34 |
| Hicks MUFT Ombrellaro Código | 3 | 0.6592 0.6370 0.6323 | 0.02920 0.29320 0.02893 | 0.05683 0.05626 0.05685 | 0.01582 0.01654 0.01654 | 8.96 9.02 |
| Hicks-Ombrellaro Código | 4 | 0.2998 0.2752 | 0.1430 0.1464 | - - | 0.2139 0.2171 | 3.53 3.48 |

Hicks
K_{eff} MUFT-SOFO - 1.003
Ombrellaro - 1.016
Código - 1.012

T A B E L A 4.6

Desvios relativos, comparados com os resultados de Hicks-MUFT, (%) para o reticulado 8

| | Macro-grupos | σ_D/D | $\sigma_{\bar{Z}_a}/\bar{Z}_a$ | $\sigma_{\bar{Z}_n}/\bar{Z}_n$ | $\sigma(\sqrt{\bar{Z}_n})/\sqrt{\bar{Z}_n}$ |
|------------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Hicks-Ombrellaro | 1 | 2.32 | 0.63 | 2.160 | 0 |
| Código | | 1.10 | 0.33 | 1.050 | 1.30 |
| Hicks-Ombrellaro | 2 | 4.46 | 8.08 | 2.400 | 2.33 |
| Código | | 0.05 | 8.81 | 0.270 | 2.41 |
| Hicks-Ombrellaro | 3 | 3.37 | 0.41 | 1.000 | 4.55 |
| Código | | 4.08 | 0.92 | 0.040 | 4.55 |

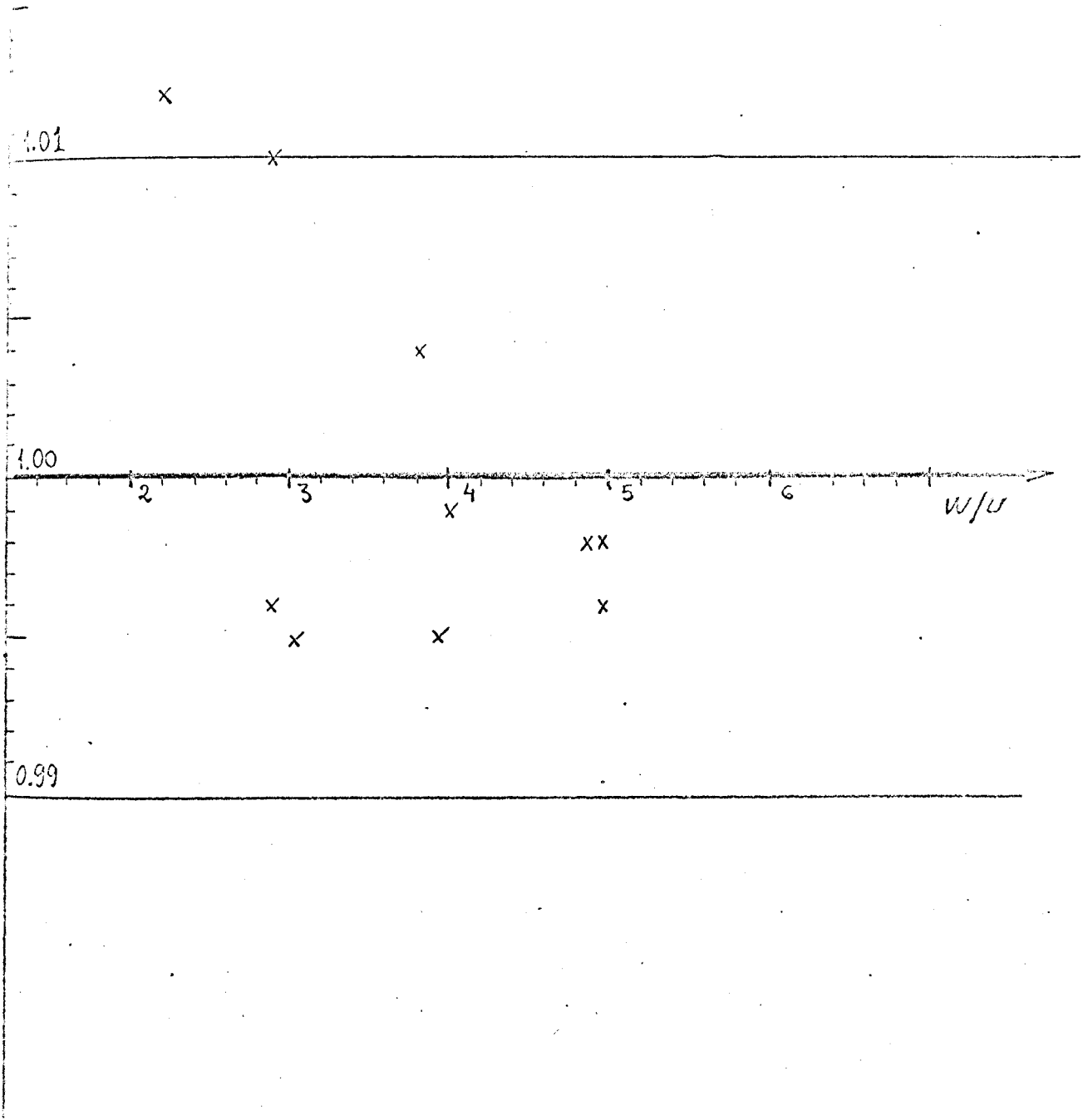


FIG. 1

A N E X O I

CORREÇÃO DE DANCOFF

A integral de ressonância é comumente representada como composta de um termo de volume e um termo de superfície. Em reticulados densos a superfície efetiva para absorção por ressonância é reduzida devido ao efeito de sombreamento de barras combustíveis vizinhas. Em consequência, o termo de superfície da integral de ressonância é reduzido. Este efeito é geralmente levado em conta pelo fator de Dancoff, $1-C$ (C = correção de Dancoff), que dá o decréscimo fracional da corrente de neutrons através de uma barra negra mergulhada no moderador quando outras barras negras pertencentes ao reticulado são introduzidas [17, 1'].

Para o caso de um sistema de duas regiões, combustível-moderador (*), a correção de Dancoff é expressa como função de duas variáveis:

$$X = \Sigma_m \cdot d \quad (I-1)$$

$$Y = R/d$$

onde

- Σ_m - secção de choque macroscópica total do moderador no domínio das ressonâncias
- R - raio da barra combustível
- d - passo do reticulado

(*) Supusemos, para facilitar, que as propriedades físicas do revestimento são idênticas às do moderador.

A expressão de Sauer [4] para o cálculo da correção de Dancoff é a seguinte:

$$C_s = \frac{e^{-\tau \Sigma_m \bar{l}}}{1 + (1 - \tau) \Sigma_m \bar{l}} \quad (I-2)$$

onde $\Sigma_m \bar{l}$ é dado pela equação:

$$\Sigma_m \bar{l} = \frac{2x}{\pi y} (a - \pi y^2)$$

e τ é um índice geométrico dado por:

$$\tau = \frac{\pi}{2} R_u \frac{1 - 2y}{a - \pi y^2} - b$$

sendo

$$\begin{aligned} a &= 1 && \text{para célula quadrada} \\ b &= 0.08 \\ a &= \frac{\sqrt{3}}{2} && \text{para célula hexagonal} \\ b &= 0.12 \end{aligned}$$

Bonalumi sugeriu a seguinte modificação, baseado no fato de que o método de Sauer não é muito preciso nos limites de Y muito pequeno (próximo de zero) e X muito grande (próximo de 0.5):

$$C_{SB} = \frac{e^{-\tau \Sigma_m \bar{l}}}{1 + (1 - \tau_1) \Sigma_m \bar{l}} \quad (I-3)$$

onde

$$\tau_1 = \tau + \sigma\tau$$

e

$$\tau = \frac{\pi}{2} y \frac{1 - 2y}{\alpha + \pi y}$$

$$\sigma\tau = \frac{\xi_{ml}}{7 + \beta \xi_{ml}}$$

com

$$\beta = 5.67 \text{ para reticulado quadrado}$$

$$\beta = 2.125 \text{ para reticulado hexagonal.}$$

A precisão da aproximação de Sauer-Bonalumi foi estudada e encontrou-se um desvio máximo em C de $+65 \times 10^{-4}$, com relação ao método mais preciso devido a Carlvik [4] na região de maior interesse. A influência na probabilidade de escape à ressonância foi calculada e é da ordem de 5×10^{-4} (cf. [19]).

ANEXO II

LISTAGEM DO CÓDIGO

```

0001      BLOCK DATA
0002      C      DADOS PERMANENTES
           COMMON/DPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAD(3) ,XNSGF5(3),XN
           1SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTO(3) ,SGTR5(3),SGTR8(3),
           2SGTRH(3),SGTRO(3) ,SGTO5(3),SGTO8(3),SGSH(3) ,SGSO(3) ,
           3 SGA05,SGA08,SGA0H ,SGS05,SGS08,SGS0H,SGS00 ,X1,X2
           4,XNI5(4)
0003      COMMON/XY/X(7),Y(5)
0004      DATA SGA5,SGA8,SGAH,SGAD ,XNSGF5,XNSGF8,SGT5,SGT8,SGTH,SGTO/
           11.8186,2.6953,34.1205,.4684,.3186,.3248,.0,0002,.0142,.0425,.0,.0
           2,3.6450,4.7418,62.4636,1.12212,.0,.0,.1472,.0,0,2.3055,.04,.0,1.4
           3505, 2.2128,2.2543,.2371,.0889,.0450/
0005      DATA SGT5,SGTR8,SGTRH,SGTRO ,SGTO5,SGTO8,SGSH ,SGSO
           1 ,SGA05,SGA08,SGA0H ,SGS05,SGS08,SGS0H,SGS00 ,X1,X2,XNI
           25/4.9349,7.9809,22.6183,5.805,8.9462,8.9904,1.5659,2.5837,6.3389,1
           3.2777,3.945,4.2553,4.9349, 7.9809,44.1204,5.8050,8.9462,8.4954,1.4
           4505,2.2128,20., .2371,.0889,3.7 ,682.,2.71,
           5 0.328,10.0,8.3,20.4,3.76, 0.75178,0.24822,2.77,2.48,2
           6.46,2.43/
           DATA X,Y/U.,2.0,4.,6.,8.,10.,12.,0.,0.005,0.01,0.015,0.02/
0006      END
0007

```

```

C
PROGRAMA PRINCIPAL
COMMON/FONTI/ FONTR(3),FONTT(3)
COMMON/OPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAO(3)
1SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTO(3)
2SGTRH(3),SGTRC(3)
3 SGA05,SGAC8,SGACH ,SGS05,SGS08,SGSCH,SGS00
4,XNI5(4)
COMMON R(11),V(10), ST(10),P(10,11)
COMMON SGAG(3),SGACG,SGTG(3),SGTRG(3),SGTOG(3),SGS0G
COMMON SIGTOU(4),SIGTOG(4),SIGTOM(4),SIGAU(4),SIGAG(4),SIGAM(4)
COMMON RR(3),NPAS,NPA(3)
COMMON W(3),FLUCEL(4),VCEL ,FLUM(3,4)
COMMON ENR,DELTA,DENSU,KFORM,XN,XNG,XNM,XMIU,XMIG
COMMON SIGTU(4),SIGTM(4),SIGTG(4)
COMMON SIGTRU(4),SIGTRM(4),SIGTRG(4),SIGTR(4)
COMMON SU,PASSO,DC,XIEF8
COMMON XNSIGF(4),SIGA(4),SIGT(4)
COMMON D(4)
COMMON B2,XKEFF,XKEF2G,EFE
COMMON RO28,DELTA8,DELTA5
COMMON SIGA8(4),SIGF8,SIGF5(4),SIGF(4)
COMMON GAMA(4)
C
DADOS PROPRIOS A CADA CASO
1 READ(1,35,END=51,ERR=52) B2,KFORM
READ(1,35)(RR(K),NPA(K),K=1,3)
READ(1,40)ENR,DELTA,DENSU
READ(1,40)XNG,SGA0G,SGS0G,XMIG
READ(1,40)(SGAG(I),SGTG(I),I=1,3)
READ(1,40)(SGTRG(I),SGTOG(I),I=1,3)
CALL SEMA
CALL COEDI
CALL KEFF
CALL ESCR
52 GO TO 1
51 CALL EXIT
35 FORMAT (3(F10.0,J10))
40 FORMAT (6F10.0)
END

```

```

SUBROUTINE SEMA
  DIMENSION SGTQH(4),SGTQO(4),          SGF5(4),SGF8(2)
  DIMENSION SIGTRQ(4),SIGSM(4),SIGAH(4),SIGTRH(4)
  COMMON/FONTI/ FONTR(3),FONTT(3)
  COMMON/DPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAO(3)          ,XNSGF5(3),XN
:SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTO(3)          ,SGTR5(3),SGTR8(3),
:SGTRH(3),SGTRQ(3)          ,SGTQ5(3),SGTQ8(3),SGSH(3) ,SGSQ(3) ,
:          SGAQ5,SGAQ8,SGAQH          ,SGSQ5,SGSQ8,SGSQH,SGSQO          ,X1,X2
, XNI5(4)
  COMMON R(11),V(10), ST(10),P(10,11)
  COMMON SGAG(3),SGAGG,SGTG(3),SGTRG(3),SGTOG(3),SGSQG
  COMMON SIGTOU(4),SIGTOG(4),SIGTOM(4),SIGAU(4),SIGAG(4),SIGAM(4)
  COMMON RR(3),NPAS,NPA(3)
  COMMON W(3),FLUCFL(4),VCEL ,FLUM(3,4)
  COMMON ENR,DELTA,DENSU,KFORM,XN,XNG,XNM,XMIU,XMIG
  COMMON SIGTU(4),SIGTM(4),SIGTG(4)
  COMMON SIGTRU(4),SIGTRM(4),SIGTRG(4),SIGTR(4)
  COMMON SU,PASSO,DC,XIEF8
  COMMON XNSIGF(4),SIGA(4),SIGT(4)
  COMMON D(4)
  COMMON B2,XKEFF,XKEF2G,EFE
  COMMON ROZ8,DELTA8,DELTA5
  COMMON SIGA8(4),SIGF8,SIGF5(4),SIGF(4)
  COMMON GAMA(4)
  CALCULO DAS DENSIDADES ATOMICAS
  XNM=0.03343
  PI =3.1415926
  T0=293.3
  DENSIDADES ATOMICAS DO COMBUSTIVEL
  C=ENR*0.01
  AMOY=C*235.0439+238.0508*(1-C)
  FRAC=AMOY/(AMOY+32.*DELTA)
  XN=0.602252*DENSU*FRAC/AMOY
  XN5=XN*C
  XN8=XN*(1.-C)
  XNOXU=2.*XN
  DENSIDADES ATOMICAS DO MODERADOR
  XNH=2.*XNM
  XNOXM=XNM
  CALCULO DAS SECCOES DE CHOQUE MACROSCOPICAS RAPIDAS
  DO 90 I=1,3
  XNSIGF(I)=XN5*XNSGF5(I)+XN8*XNSGF8(I)
  SIGA8(I)=XN8*SGA8(I)
  SIGAU(I)=XN5*SGA5(I)+XN8*SGA8(I)+DELTA*XNOXU*SGAO(I)
  SIGAM(I)=XNM*(2.*SGAH(I)+SGAO(I))
  SIGAG(I)=XNG*SGAG(I)
  SIGTRU(I)=XN5*SGTR5(I)+XN8*SGTR8(I)+DELTA*XNOXU*SGTRQ(I)
  SIGTRM(I)=XNM*(2.*SGTRH(I)+SGTRQ(I))
  SIGTRG(I)=XNG*SGTRG(I)
  SIGTU(I)=XN5*SGT5(I)+XN8*SGT8(I)+DELTA*XNOXU*SGTO(I)
  SIGTM(I)=XNM*(2.*SGTH(I)+SGTO(I))
  SIGTG(I)=XNG*SGTG(I)
  SGTQH(I)=SGSH(I)+SGAH(I)
  SGTQO(I)=SGSQ(I)+SGAQ(I)

```

```

SIGTOU(I)=XN5*SGTD5(I)+XN8*SGT08(I)+DELTA*XNOXU*SGT00(I)
SIGT04(I)=XNM*(2.*SGTDH(I)+SGT00(I))
90 SIGTG(I)=XNG*SGT00(I)
SIGSU=SIGTOU(3)-SIGAU(3)
SU=2.*PI*RR(1)
XMU=DENSU*PI*RR(1)*RR(1)
CALL DANCOP
SEFF=SU*(1.-DC)/(1.+0.10*DC)
IF(DELTA) 125,120,130
125 CALL EXIT
130 XIEF8=6.09+24.8*SQRT(SEFF/XMU)
GO TO 118
120 XIEF8=3.91+27.8*SQRT(SEFF/XMU)
118 CONTINUE
SIGA8(3)=XN8*          (XIEF8-1.595)/9.0824
SIGA5=XN5*SGA5(3)
SIGAU=DELTA*XNOXU*SGA0(3)
SIGAU(3)=SIGA5 +SIGA8(3)+SIGA0
SIGTOU(3)=SIGAU(3)+SIGSU
FONTR(1)=1.0
FONTR(2)=0.0
FONTR(3)=0.0
DO 80 I=1,3
CALL CORTIN(I,FONTR)
SIGF5(I)=XN5*XNSGF5(I)*W(1)*FLUM(1,I)/(VCEL*FLUCEL(I)*XN15(I))
SIGA8(I)=SIGA8(I)*W(1)*FLUM(1,I)/(VCEL*FLUCEL(I))
XNSIGF(I)=(W(1)*XNSIGF(I)*FLUM(1,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
SIGAU(I)=(W(1)*SIGAU(I)*FLUM(1,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
SIGAM(I)=(W(3)*SIGAM(I)*FLUM(3,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
SIGAG(I)=(W(2)*SIGAG(I)*FLUM(2,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
SIGA(I)=SIGAU(I)+SIGAG(I)+SIGAM(I)
SIGTU(I)=(W(1)*SIGTU(I)*FLUM(1,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
SIGTM(I)=(W(3)*SIGTM(I)*FLUM(3,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
80 SIGTG(I)=(W(2)*SIGTG(I)*FLUM(2,I))/(VCEL*FLUCEL(I))
DO 110 I=1,2
110 SIGT(I)=SIGTU(I)+SIGTG(I)+SIGTM(I)
SIGF8=XN8*XNSGF8(1)*W(1)*FLUM(1,1)/(VCEL*FLUCEL(1)*2.7)
IF(DELTA) 140,140,150
140 SIGT(3)=SIGTU(3)+SIGTG(3)+SIGTM(3)-0.401*SIGA(3)
GO TO 119
150 SIGT(3)=SIGTU(3)+SIGTG(3)+SIGTM(3)-0.464*SIGA(3)
119 CONTINUE
P28=SIGT(3)/(SIGA(3)+SIGT(3))
C CALCULO DAS SECCOES DE CHOQUE MACROSCOPICAS TERMICAS
IF (DELTA)160,165,170
160 CALL EXIT
170 XMIU=0.0113
GO TO 175
165 XMIU=0.0028
175 CONTINUE
SIGA08=XN8*SGA08
SIGAU(4)=XN5*SGA05*0.97779+XN8*SGA08
SIGAM(4)=2.*XNM*SGA0H
SIGAG(4)=XNG*SGA0G

```

```

SIGSOU=XN5*SGS05+XN8*SGSOR+DELTA*XNOXU*SGSGO
SIGSOM=XNM*(2.*SGSOH+SGSOC)
SIGSOG=XNG*SGSOG
SIGTOU(4)=SIGAU(4)+SIGSOU
SIGTOM(4)=SIGAM(4)+SIGSOM
SIGTOG(4)=SIGAG(4)+SIGSOG
FONTT(1)=0.0
FONTT(2)=0.0
FONTT(3)=1.0
CALL CORTIN (4,FONTT)
X=(W(1)*FLUM(1,4)*SIGA08+W(2)*FLUM(2,4)*SIGAG(4)+W(3)*FLUM(3,4)*SI
IGAM(4))/(2.*XNM*W(3)*FLUM(3,4))
Y=(XN5*W(1)*FLUM(1,4))/(2.*XNM*W(3)*FLUM(3,4))
SIGA8(4)=XN8*UN(X,Y)*SGA08
SIGAU(4)=XN5*SGMA5(X,Y)+SIGA8(4)
SIGAM(4)=2.*XNM*UN(X,Y)*SGA0H
SIGAG(4)=XNG*UN(X,Y)*SGACG
XMIOX=0.0417
SGTR00=SGSOC*(1.-XMIOX)
SIGTRH(4)=2.*XNM*SGMTRH(X,Y)
SIGTR0(4)=XNM*SGTR00
SIGTRM(4)=SIGTR0(4)+SIGTRH(4)
SIGTOU(4)=SIGAU(4)+SIGSOU
SIGSM(4)=XNM*(2.*SGMSH(X,Y)+SGSOC)
SIGTOM(4)=SIGAM(4)+SIGSM(4)
SIGTOG(4)=SIGAG(4)+SIGSOG
U=UN(X,Y)
STRH=SGMTRH(X,Y)
SA5=SGMA5(X,Y)
SGF5(4)=SGMF5(X,Y)
SSH=SGMSH(X,Y)
CALL CORTIN (4,FONTT)
X=(W(1)*FLUM(1,4)*SIGA8(4)+W(2)*FLUM(2,4)*SIGAG(4)+W(3)*FLUM(3,4)*
SIGAM(4))/(2.*XNM*W(3)*FLUM(3,4))
Y=(XN5*W(1)*FLUM(1,4))/(2.*XNM*W(3)*FLUM(3,4))
SIGAU(4)=XN5*SGMA5(X,Y)+XN8*SGA08*UN(X,Y)
SIGAM(4)=2.*XNM*UN(X,Y)*SGA0H
SIGAG(4)=XNG*UN(X,Y)*SGACG
SIGTRU(4)=SIGSOU*(1.-XMIU)+SIGAU(4)
SIGTRH(4)=2.*XNM*SGMTRH(X,Y)
SIGTRM(4)=SIGTRH(4)+SIGTR0(4)
SIGTRG(4)=SIGSOG*(1.-XMIG)+SIGAG(4)
SIGF(4)=(XN5*SGMF5(X,Y)*FLUM(1,4)*W(1))/(VCEL*FLUCEL(4))
XNSIGF(4)=2.43 *SIGF(4)
SIGAU(4)=(W(1)*FLUM(1,4)*SIGAU(4))/(VCEL*FLUCEL(4))
SIGAM(4)=(W(3)*FLUM(3,4)*SIGAM(4))/(VCEL*FLUCEL(4))
SIGAG(4)=(W(2)*FLUM(2,4)*SIGAG(4))/(VCEL*FLUCEL(4))
SIGA(4)=SIGAU(4)+SIGAM(4)+SIGAG(4)
SIGA8(4)=XN8*SGA08*UN(X,Y)*W(1)*FLUM(1,4)/(VCEL*FLUCEL(4))
U=UN(X,Y)
STRH=SGMTRH(X,Y)
SA5=SGMA5(X,Y)
SGF5(4)=SGMF5(X,Y)
SSH=SGMSH(X,Y)

```

```

SUBROUTINE CORTIN (IEN, FONT)
  DIMENSION PN(10,10)
  DIMENSION FI(10), FIA(10), CO(10,10), PP(10,10), YY(4)
  DIMENSION PHI(10), S(10), SIA(3), SIS(3), SIT(3), SA(10), TI(10)
  DIMENSION FONT(3), FFI(3), FFIA(3)
  COMMON/DPERM/ SGAS(3), SGAB(3), SGAH(3), SGAD(3) , XNSGF5(3), XN
1 SGF8(3), SGT5(3), SGT8(3), SGTH(3), SGT0(3) , SGTR5(3), SGTR8(3),
2 SGTRH(3), SGTRO(3) , SGT05(3), SGT08(3), SGSH(3) , SGS0(3) ,
3 SGAS5, SGAS8, SGAS0H , SGS05, SGS08, SGS0H, SGS00 , X1, X2
4, XNI5(4)
  COMMON R(11), V(10), ST(10), P(10,11)
  COMMON SGAG(3), SGAG0, SGTG(3), SGTRG(3), SGTOG(3), SGS0G
  COMMON SIGTOU(4), SIGTOG(4), SIGTOM(4), SIGAU(4), SIGAG(4), SIGAM(4)
  COMMON RR(3), NPAS, NPA(3)
  COMMON W(3), FLUGEL(4), VCEL , FLUM(3,4)
  COMMON ENR, DELTA, DENSU, KFORM, XN, XNG, XNM, XMIU, XMIG
  COMMON SIGTU(4), SIGTR(4), SIGTG(4)
  COMMON SIGTRU(4), SIGTRM(4), SIGTRG(4), SIGTR(4)
  COMMON SU, PASSO, DC, XIEF8
  COMMON XNSIGF(4), SIGA(4), SIGT(4)
  COMMON D(4)
  COMMON B2, XKEFF, XKEF2G, EFE
  COMMON R028, DELTA8, DELTA5
  COMMON SIGA8(4), SIGF8, SIGF5(4), SIGF(4)
  COMMON GAMA(4)
  PI=3.14159265
  NZONE=3
  ALBEDO=1.
  IPAS=0
  RINT=0.
  R(1)=0.
  VCEL=0.
  SIT(1) =SIGTOU(IEN)
  SIT(2) =SIGTOG(IEN)
  SIT(3) =SIGTOM(IEN)
  SIA(1) =SIGAU(IEN)
  SIA(2) =SIGAG(IEN)
  SIA(3) =SIGAM(IEN)
  DO 311 I=1, NZONE
311 SIS(I)=SIT(I)-SIA(I)
  DO 3 K=1, NZONE
  IF(K.GE.2) GO TO 11
  W(K)=PI*RR(K)**2
  GO TO 31
  11 W(K)=PI*(RR(K)**2 -RR(K-1)**2)
  31 REXT=RR(K)
  FONTE=FONT(K)
  NPS=NPA(K)
  DO 4 I=1, NPS
  RNPAS=NPS
  J=I+IPAS
  R(J+1)=(REXT-RINT) /RNPAS+R(J)
  V(J)= PI*(R(J+1)**2-R(J)**2)
  S(J)=FONTE

```

```

0051          VCEL=VCEL+W(K)
0052          IPAS=IPAS+NPS
0053          3 RINT=REXT
0054          NN=IPAS
0055          NN1=NN+1
0056          IPAS=0
0057          DO 50 K=1,NZONE
0058          NPS=NPA(K)
0059          SAB=SIA(K)
0060          STO=SIT(K)
0061          DO 51 I=1,NPS
0062          J=I+IPAS
0063          SA(J)=SAB
0064          51 ST(J)=STO
0065          50 IPAS=IPAS+NPS
0066          CALL ALCOLL(NN,ALBEDO)
0067          DO 113 I=1,NN
0068          DO 113 J=1,NN
0069          113 PN(I,J)=P(I,J)*ST(J)
0070          DO 45 I=1,NN
0071          P(I,NN1)=0
0072          DO 45 J=1,NN
0073          45 P(I,NN1)=P(I,NN1)+P(I,J)*S(J)
0074          DO 10 I=1,NN
0075          DO 10 J=1,NN
0076          10 P(I,J)=-(ST(J)-SA(J))*P(I,J)
0077          DO 30 I=1,NN
0078          30 P(I,I)=1.+P(I,I)
0079          DO 900 I=1,NN
0080          TI(I)=P(I,NN1)
0081          DO 900 J=1,NN
0082          900 CO(I,J)=P(I,J)
0083          CALL ARRAY(2,NN,NN,10,10,CO,CO)
0084          CALL SIMQ(CO,TI,NN,KKS)
0085          DO 110 I=1,NN
0086          110 PHI(I)=TI(I)
0087          DO 90 I=1,NN
0088          FIA(I)=PHI(I)*V(I)*SA(I)
0089          90 FI(I)=PHI(I)*V(I)
0090          ILIMIT=1
0091          DO 111 N=1,NZONE
0092          RLIM=RR(N)
0093          FFI(N)=0.0
0094          FFIA(N)=0.0
0095          DO 112 I=ILIMIT,NN
0096          IF(RLIM.LT.R(I+1)) GO TO 115
0097          FFI(N)=FFI(N)+FI(I)
0098          112 FFIA(N)=FFIA(N)+FIA(I)
0099          115 FLUM(N,IEN)=FFI(N)/W(N)
0100          ILIMIT=I
0101          111 CONTINUE
0102          FLUCEL(IEN)=0.0
0103          DO 5 N=1,3
0104          5 FLUCEL(IEN)=FLUCEL(IEN)+W(N)*FLUM(N,IEN)

```


DOS FORTRAN IV 360N-PO-479 3-6

CORTI

DATE 2

```
0105          FLUCEL(IEN)=FLUCEL(IEN)/VCEL  
0106          RETURN  
0107          END
```

```

SUBROUTINE ALCOLL(N,ALB)
  DIMENSION PIS(50),X(3),Z(3),ZII(3),ZIE(3),ZJI(3),ZJE(3),YII(3),YIE
1(3),YJI(3),YJE(3)
  COMMON/DPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAD(3) ,XNSGF5(3),XN
1SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTD(3) ,SGTR5(3),SGTR8(3),
2SGTRH(3),SGTRO(3) ,SGTO5(3),SGTO8(3),SGSH(3),SGSD(3) ,
3 SGA05,SGA08,SGA0H ,SGS05,SGS08,SGS0H,SGS00 ,X1,X2
4,XNI5(4)
  COMMON R(11),V(10), ST(10),P(10,11)
  COMMON SGAG(3),SGAG0,SGTG(3),SGTRG(3),SGTOG(3),SGS0G
  COMMON SIGTOU(4),SIGTGG(4),SIGTOM(4),SIGAU(4),SIGAG(4),SIGAM(4)
  COMMON RR(3),NPAS,NPA(3)
  COMMON W(3),FLUCEL(4),VCEL ,FLUM(3,4)
  COMMON ENR,DELTA,DENSU,KFORM,XN,XNG,XNM,XMIU,XMIG
  COMMON SIGTU(4),SIGTM(4),SIGTG(4)
  COMMON SIGTRU(4),SIGTRM(4),SIGTRG(4),SIGTR(4)
  COMMON SU,PASS0,DC,XIEF8
  COMMON XNSIGF(4),SIGA(4),SIGT(4)
  COMMON D(4)
  COMMON B2,XKEFF,XKEF2G,EFE
  COMMON RO28,DELTA8,DELTA5
  COMMON SIGA8(4),SIGF8,SIGF5(4),SIGF(4)
  COMMON GAMA(4)
  DATA X/-0.774596669,0.,0.774596669/
  DATA Z/0.5555555,0.8888888,0.5555555/
  SS=3.1415926*R(N+1)
  DO 1 I=1,N
  DO 1 J=I,N
  CALL DESC0B (I,J,ST,IJ)
  P(I,J)=0
  DO 2 IK=1,I
  AG1=(R(IK+1)-R(IK))/2
  AG2=(R(IK+1)+R(IK))/2
  AGA1=X(1)*AG1+AG2
  AGA2=X(2)*AG1+AG2
  AGA3=X(3)*AG1+AG2
  AGA1=AGA1*AGA1
  AGA2=AGA2*AGA2
  AGA3=AGA3*AGA3
  ZIE(1)=0
  ZIE(2)=0
  ZIF(3)=0
  YIE(1)=0
  YIE(2)=0
  YIE(3)=0
  DO 3 IL=IK ,I
  RX=R(IL+1)*R(IL+1)
  AA=SQRT(RX-AGA1)-YIE(1)
  BB=SQRT(RX-AGA2)-YIE(2)
  CC=SQRT(RX-AGA3)-YIE(3)
  ZIE(1)=ZIF(1)+AA*ST(IL)
  ZIE(2)=ZIE(2)+BB*ST(IL)
  ZIE(3)=ZIE(3)+CC*ST(IL)
  YIE(1)=YIE(1)+AA

```

```

0050      YIE(2)=YIE(2)+BB
0051      3 YIE(3)=YIE(3)+CC
0052      YII(1)=YIE(1)-AA
0053      YII(2)=YIE(2)-BB
0054      YII(3)=YIE(3)-CC
0055      ZII(1)=ZIE(1)-AA*ST(I)
0056      ZII(2)=ZIE(2)-BB*ST(I)
0057      ZII(3)=ZIE(3)-CC*ST(I)
0058      ZJE(1)=ZIE(1)
0059      ZJE(2)=ZIE(2)
0060      ZJE(3)=ZIE(3)
0061      YJE(1)=YIE(1)
0062      YJE(2)=YIE(2)
0063      YJE(3)=YIE(3)
0064      DO 4 IL=I,J
0065      IF(I.EQ.J) GO TO 4
0066      RX=R(IL+1)*R(IL+1)
0067      AA=SQRT(RX-AGA1)-YJE(1)
0068      BB=SQRT(RX-AGA2)-YJE(2)
0069      CC=SQRT(RX-AGA3)-YJE(3)
0070      YJE(3)=YJE(3)+CC
0071      ZJE(1)=ZJE(1)+AA*ST(IL)
0072      ZJE(2)=ZJE(2)+BB*ST(IL)
0073      ZJE(3)=ZJE(3)+CC*ST(IL)
0074      YJE(1)=YJE(1)+AA
0075      YJE(2)=YJE(2)+BB
0076      4 CONTINUE
0077      ZJI(1)=ZJE(1)-AA*ST(J)
0078      ZJI(2)=ZJE(2)-BB*ST(J)
0079      ZJI(3)=ZJE(3)-CC*ST(J)
0080      YJI(1)=YJE(1)-AA
0081      YJI(2)=YJE(2)-BB
0082      YJI(3)=YJE(3)-CC
0083      PIJ=0
0084      GO TO (5,6,7,8,9,10),IJ
0085      5 DO 11 L=1,3
0086      PPIJ=-FKI3(ZJE(L)-ZIE(L))
0087      PPIJ=PPIJ+FKI3(ZJI(L)-ZIE(L))
0088      PPIJ=PPIJ+FKI3(ZJE(L)-ZII(L))
0089      PPIJ=PPIJ-FKI3(ZJI(L)-ZII(L))
0090      PPIJ=PPIJ+FKI3(ZJE(L)+ZIE(L))
0091      PPIJ=PPIJ-FKI3(ZJI(L)+ZIE(L))
0092      PPIJ=PPIJ-FKI3(ZJE(L)+ZII(L))
0093      PPIJ=PPIJ+FKI3(ZJI(L)+ZII(L))
0094      11 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ
0095      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
0096      GO TO 2
0097      6 DO 12 L=1,3
0098      PPIJ=-FKI2(ZJE(L)-ZII(L))
0099      PPIJ=PPIJ+FKI2(ZJI(L)-ZII(L))
0100      PPIJ=PPIJ-FKI2(ZJE(L)+ZII(L))
0101      PPIJ=PPIJ+FKI2(ZJI(L)+ZII(L))
0102      PPIJ=(YIE(L)-YII(L))*PPIJ
0103      12 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ

```

```

104      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
105      GO TO 2
106      7 DO 13 L=1,3
107          PPIJ=FKI2(ZJI(L)-ZIE(L))
108          PPIJ=PPIJ-FKI2(ZJI(L)-ZII(L))
109          PPIJ=PPIJ-FKI2(ZJI(L)+ZIE(L))
110          PPIJ=PPIJ+FKI2(ZJI(L)+ZII(L))
111          PPIJ=(YJE(L)-YJI(L))*PPIJ
112      13 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ
113      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
114      GO TO 2
115      8 DO 14 L=1,3
116          PPIJ=FKI1(ZJI(L)-ZII(L))
117          PPIJ=PPIJ+FKI1(ZJI(L)+ZII(L))
118          PPIJ=(YJE(L)-YJI(L))*PPIJ
119          PPIJ=(YIF(L)-YII(L))*PPIJ
120      14 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ
121      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
122      GO TO 2
123      9 DO 15 L=1,3
124          PPIJ=2*FKI3(ZIE(L)-ZII(L))
125          PPIJ=PPIJ+FKI3(2*ZII(L))
126          PPIJ=PPIJ+FKI3(2*ZIE(L))
127          PPIJ=PPIJ-2*(FKI3(0.)+FKI3(ZIE(L)+ZII(L)))
128      15 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ
129      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
130      GO TO 2
131      10 DO 16 L=1,3
132          PPIJ=FKI1(0.)
133          PPIJ=PPIJ+FKI1(2*ZII(L))
134      16 PIJ=PIJ+Z(L)*PPIJ
135          PPIJ=(YIF(L)-YII(L))*(YIE(L)-YII(L))*PPIJ
136      P(I,J)=P(I,J)+AG1*PIJ
137      2 CONTINUE
138      1 CONTINUE
139      DO 114 I=1,N
140          II=I+1
141          P(I,I)=2.*P(I,I)/ V(I)
142          IF(ST(I).GT.0.1E-07) P(I,I)=1./ST(I)+1./ST(I)/ST(I)*P(I,I)
143          AUXI=1.
144          IF(ST(I).GT.0.1E-07)AUXI=1./ST(I)
145          IF(I.EQ.N) GO TO 117
146          DO 114 J=II,N
147              AUXJ=1.
148              IF(ST(J).GT.0.1E-07) AUXJ=1./ST(J)
149              POIDS=AUXI*AUXJ
150              P(I,J)=2.*P(I,J)*POIDS/ V(I)
151      114 P(J,I)=P(I,J)* V(I)/ V(J)
152      117 DO 90 I=1,N
153          PIS(I)=0.
154          DO 110 J=1,N
155      110 PIS(I)=PIS(I)+P(I,J)*ST(J)
156      90 PIS(I)=1.-PIS(I)
157          PSS=0.

```

```
0158      DO 111 I=1,N
0159          PIS(I)=4.*V(I)*PIS(I)/SS
0160      111 PSS=PSS+ST(I)*PIS(I)
0161          PSS=1.-PSS
0162      DO 113 I=1,N
0163          DO 113 J=1,N
0164      113 P(I,J)=P(I,J)+ALB*PIS(I)*PIS(J)/(1.-ALB*PSS)*SS/4./V(I)
0165      RETURN
0166      END
```

```

SUBROUTINE COEDI
  DIMENSION SS(2), XLAMB(4,2), PUUZ(2), PMMZ(2), CD(4,2)
  COMMON/OPERA/ SGA5(3), SGA8(3), SGAH(3), SGAQ(3) , XNSGF5(3), XN
1 SGF8(3), SGT5(3), SGT8(3), SGTH(3), SGTQ(3) , SGTR5(3), SGTR6(3),
2 SGTRH(3), SGTRO(3) , SGTQ5(3), SGTQ8(3), SGSH(3), SGSQ(3) ,
3 SGAQ5, SGAQ8, SGAQH , SGSQ5, SGSQ8, SGSQH, SGSQO , X1, X2
4, XNI5(4)
  COMMON R(11), V(10), ST(10), P(10,11)
  COMMON SGAG(3), SGAGG, SGTG(3), SGTRG(3), SGTQG(3), SGSQG
  COMMON SIGTOU(4), SIGTOG(4), SIGTOM(4), SIGAU(4), SIGAG(4), SIGAM(4)
  COMMON RR(3), NPAS, NPA(3)
  COMMON W(3), FLUCEL(4), VCEL , FLUM(3,4)
  COMMON ENR, DELTA, DENSU, KFORM, XN, XNG, XNM, XMIU, XMIG
  COMMON SIGTU(4), SIGTM(4), SIGTG(4)
  COMMON SIGTRU(4), SIGTRM(4), SIGTRG(4), SIGTR(4)
  COMMON SU, PASSO, DC, XIEF8
  COMMON XNSIGF(4), SIGA(4), SIGT(4)
  COMMON D(4)
  COMMON R2, XKEFF, XKEF20, EFE
  COMMON RQ28, DELTA8, DELTA5
  COMMON SIGA8(4), SIGF8, SIGF5(4), SIGF(4)
  COMMON GAMA(4)
  CALCULO DO COEFICIENTE DE DIFUSAO, METODO BENOIST
  VUSVT= W(1) /VCFL
  SM =2.*3.1415926*SQRT(RR(3)**2-RR(2)**2 )
  SS(1)=9./8.
  SS(2)=3./4.
  DO 200 I=1,4
  XLAMBU=1./SIGTRU(I)
  XLAMBM=1./((SIGTRM(I)*W(3)+SIGTRG(I)*W(2))/(W(3)+W(2)))
  ETAM=2.*(W(3)+W(2))/(SM*XLAMBM)
  ETAU =2.* W(1) / (SU *XLAMBU)
  FLU =(FLUM(3,I)*W(3)+FLUM( 2,I)*W(2))/ (W(3)+W(2))
  PMSPT=FLU /FLUCEL(I)
  XLMLU =XLAMBM /XLAMBU
  XLULM =1./XLMLU
  PUSPM=FLUM(1,I)/FLU
  X =1.-XLMLU
  Y =PUSPM -XLMLU
  CALL TZRED (ETAU,PUZR,PUZZ)
  CALL TZRED (ETAM,PMZR,PMZZ)
  PUUZ(1)=PUZR
  PUUZ(2)=PUZZ
  PMMZ(1)=PMZR
  PMMZ(2)=PMZZ
  DO 100K=1,2
  GAMAU =2.*ETAU *(1.-PUUZ(K))/SS(K)
  GAMAM =2.*ETAM *(1.-PMMZ(K))/SS(K)
  PUU =PUUZ(K)+((1.-PUUZ(K))*(1.-GAMAM )*GAMAU )/(1.-((1.-GAMAM
1 )*(1.-GAMAU )))
  XLAMB(I,K)=XLAMBM *(1.+VUSVT*PMSPT *X *(1.+XLULM *Y*PUU))
  CD(I,K)=XLAMB(I,K)/3.
  D(I)=(2.*CD(I,1)+CD(I,2))/3.
  RETURN

```

FD-479 3-6

KEFF

DATE 24/08/72

TIME 15.25

```
SUBROUTINE KEFF
COMMON/DPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAO(3) ,XNSGF5(3),XN
1SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTO(3) ,SGTR5(3),SGTR8(3),
2SGTRH(3),SGTRO(3) ,SGTO5(3),SGTO8(3),SGSH(3) ,SGSD(3) ,
3 SGA05,SGA08,SGA0H ,SGS05,SGS08,SGSCH,SGS00 ,X1,X2
4,XN15(4)
COMMON R(11),V(10), ST(10),P(10,11)
COMMON SGAG(3),SGAG0,SGTG(3),SGTRG(3),SGTOG(3),SGSOG
COMMON SIGTOU(4),SIGTOG(4),SIGTOM(4),SIGAU(4),SIGAG(4),SIGAM(4)
COMMON RR(3),NPAS,NPA(3)
COMMON W(3),FLUCEL(4),VCEL ,FLUM(3,4)
COMMON ENR,DELTA,DENSU,KFORM,XN,XNG,XNM,XMIU,XMIG
COMMON SIGTU(4),SIGTM(4),SIGTG(4)
COMMON SIGTRU(4),SIGTRM(4),SIGTRG(4),SIGTR(4)
COMMON SU,PASSO,DC,XIEF8
COMMON XNSIGF(4),SIGA(4),SIGT(4)
COMMON D(4)
COMMON B2,XKEFF,XKEF2G,EFE
COMMON RO28,DELTA8,DELTA5
COMMON SIGA8(4),SIGF8,SIGF5(4),SIGF(4)
COMMON GAMA(4)
CALCULO DE KEFF A 4 GRUPOS
GAMA(1)=X1/(B2*D(1)+SIGA(1)+SIGT(1))
GAMA(2)=(X2+SIGT(1)*GAMA(1) )/(B2*D(2)+SIGA(2)+SIGT(2))
GAMA(3)=(SIGT(2)*GAMA(2))/(B2*D(3)+SIGA(3)+SIGT(3))
GAMA(4)=GAMA(3)*SIGT(3)/(B2*D(4)+SIGA(4))
XKEFF=0.0
DO 11 I=1,4
XKEFF=XKEFF+XNSIGF(I)*GAMA(I)
EFE=SIGAU(4)/SIGA(4)
DO 10 I=1,3
SIGA8(I)=SIGA8(I)*FLUCEL(I)/FLUM(1,I)
SIGF5(I)=SIGF5(I)*FLUCEL(I)/FLUM(1,I)
SIGF8=SIGF8*FLUCEL(1)/FLUM(1,1)
RO28=((SIGA8(1)-SIGF8)*GAMA(1)+SIGA8(2)*GAMA(2)+SIGA8(3)*GAMA(3))/
1(SIGA8(4)*GAMA(4))
DELTA8=(SIGF8*GAMA(1))/(SIGF5(1)*GAMA(1)+SIGF5(2)*GAMA(2)+SIGF5(3)
2*GAMA(3)+SIGF(4)*GAMA(4))
DELTA5=(SIGF5(1)*GAMA(1)+SIGF5(2)*GAMA(2)+SIGF5(3)*GAMA(3))/(SIGF(
24)*GAMA(4))
RETURN
END
```

```
0001      SUBROUTINE TZRED (E,PZR,PZZ)
0002      EXTERNAL AGA2,AGA3
0003      IF(E-.001) 2,2,1
0004      2 TZ=2.
0005      TR=1.
0006      RETURN
0007      1 CALL GAUNE(AGA2,1.,E,GAZ)
0008      CALL GAUNE(AGA3,1.,E,GAR)
0009      TZ=1./E
0010      TZ=TZ-3./(8.*E*E)
0011      TZ=TZ-3.*GAZ/(2.*E*E)
0012      PZZ=TZ*E
0013      TR=1.+3.*GAR/(4.*E)
0014      TR=TR-9./(16*E)
0015      PZR=TR
0016      RETURN
0017      END
```


DOS FORTRAN IV 360N-F0-479 3-6

AGA2

DATE

```
0001      FUNCTION AGA2(X,A,E)
0002      PI=3.1415926
0003      ARG=PI*(X+1.)/4.
0004      AGA2=COS(ARG)
0005      ARG=2.*E*AGA2
0006      IF (A) 1,2,1
0007      2 B=1.
0008      GO TO 3
0009      1 B=A/A
0010      3 AGA2=AGA2*(FBIN(ARG,5)-FBIN(ARG,3))*B
0011      RETURN
0012      END
```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-6

AGA3

DATE

```
0001      FUNCTION AGA3(X,A,E)
0002      PI=3.1415926
0003      ARG=PI*(X+1.)/4.
0004      AGA3=CDS(ARG)
0005      ARG=2.*E*AGA3
0006      IF(A) 1,2,1
0007      2 R=1.
0008      GO TO 3
0009      1 R=A/A
0010      3 AGA3=AGA3*FBIN(ARG,5)*B
0011      RETURN
0012      END
```

SON-FO-479 3-6

GAUNE

DATE 124/08/72

TIME 15.2

SUBROUTINE GAUNE(FUNC,A,E,GA)

DIMENSION X(20),W(20)

DATA X/.0765265211,.2277858511,.3737060887,.5108670019,.6360536807
),.7463319064,.8391169118,.9122344282,.9639719272,.9931285991,-.076
25265211,-.2277858511,-.3737060887,-.5108670019,-.6360536807,-.7463
3319064,-.839116971822,-.9122344282,-.9639719272,-.9931285991/

DATA W/.1527533871,.1491729864,.1420961093,.1316886384,.1181945319
1,.1019301198,.0832767415,.0626720483,.0406014298,.0176140071,.1527
2533871,.1491729864,.1420961093,.1316886384,.1181945319,.1019301198
3,.0832767415,.0626720483,.0406014298,.0176140071/

GA=0.

DO 1 I=1,20

1 GA=GA+W(I)*FUNC(X(I),A,E)

RETURN

END

C CALCULO DA FUNCAO DE BICKLEY DE UMA ORDEM QUALQUER MENOR QUE 100

```
FUNCTION FBIN(X,N)
EXTERNAL FK11,FKI2,FKI3
DIMENSION FBI(100)
IF(N-100) 9,9,10
10 WRITE(3,11)
11 FORMAT(1X,'A ORDEM DA FUNCAO DE BICKLEY E SUPERIOR AO NUMERO DE PO
1SICOES NO DIMENSION')
RETURN
9 IF(N-3)1,1,2
1 GO TO(3,4,5),N
3 FBI(1)=FKI1(X)
GO TO 7
4 FBI(2)=FKI2(X)
GO TO 7
5 FBI(3)=FKI3(X)
GO TO 7
2 I=3
FBI(1)=FKI1(X)
FBI(2)=FKI2(X)
FBI(3)=FKI3(X)
8 FBI(I+1)=((I-1)*FBI(I-1)+X*(FBI(I-2)-FBI(I)))/FLOAT(I)
IF(I-N)6,7,7
6 I=I+1
GO TO 8
7 FBIN=FBI(N)
RETURN
END
```

360N-FG-479 3-6

SGMF5

DATE 24/08/72

TIME 15.2

```
FUNCTION SGMF5 (A,B)
DIMENSION F(5,7)
COMMON/XY/X(7),Y(5)
DATA F /505.3,411.5,357.5,322.2,297.2,443.1,376.4,334.9,306.4,285.
*5,399.4,349.7,316.8,293.2,275.5,367.2,328.7,301.9,282.1,266.8,342.
*5,311.7,289.5,272.6,259.3,322.9,297.7,278.9,264.3,252.6,307.0,285.
*9,269.8,257.1,246.7/
DO 1 I=1,7
IF (A-X(I)) 7,2,1
CONTINUE
I=I-1
DO 3 J=1,5
IF (B-Y(J)) 8,4,3
CONTINUE
J=J-1
SGMF5=F(J,I)+(F(J,I+1)-F(J,I))*(A-X(I))/(X(I+1)-X(I))+(F(J+1,I)-F(
*J,I))*(B-Y(J))/(Y(J+1)-Y(J))
RETURN
END
```

3604-FO-479 3-6

UN

DATE 24/08/72

TIME 15.2

```
FUNCTION UN      (A,B)
DIMENSION F(5,7)
COMMON/XY/X(7),Y(5)
DATA F / .3867, .7365, .6494, .5923, .5518, .7870, .6798, .6128, .5666, .532
*6, .7166, .6360, .5833, .5451, .5162, .6647, .6025, .5591, .5289, .502, .6247
*, .5749, .5388, .5113, .4896, .5929, .5520, .5215, .4977, .4786, .5669, .5328
*, .5066, .4858, .4689/
DO 1 I=1,7
IF (A-X(I)) 7,2,1
CONTINUE
I=I-1
DO 3 J=1,5
IF (B-Y(J)) 8,4,3
CONTINUE
J=J-1
UN      =F(J,I)+(F(J,I+1)-F(J,I))*(A-X(I))/(X(I+1)-X(I))+(F(J+1,I)-F(
*J,I))*(B-Y(J))/(Y(J+1)-Y(J))
RETURN
END
```

Y 360N-FD-479 3-6

SGMA5

DATE 24/08/72

TIME 15.1

```
FUNCTION SGMA5 (A,B)
  DIMENSION F(5,7)
  COMMON/XY/X(7),Y(5)
  DATA F /589.8,481.8,419.4,378.7,349.9,518.1,441.3,393.4,360.5,336.
*3,467.8,410.5,372.5,345.3,324.7,430.7,386.2,355.3,332.4,314.7,402.
*2,366.7,341.,321.4,306.,379.6,350.5,328.8,311.8,298.2,361.2,336.9,
*318.2,303.5,291.4/
  DO 1 I=1,7
    IF (A-X(I)) 7,2,1
1  CONTINUE
7  J=I-1
2  DO 3 J=1,5
    IF (B-Y(J)) 8,4,3
3  CONTINUE
8  J=J-1
4  SGMA5=F(J,I)+(F(J,I+1)-F(J,I))*(A-X(I))/(X(I+1)-X(I))+(F(J+1,I)-F(
*J,I))*(B-Y(J))/(Y(J+1)-Y(J))
  RETURN
  END
```

360N-FD-479 3-6

SGMSH

DATE 24/08/72

TIME 15.2

```
FUNCTION SGMSH (A,B)
DIMENSION F(5,7)
COMMON/XY/X(7),Y(5)
DATA F /45.28,40.13,37.12,35.14,33.72,41.86,38.17,35.85,34.23,3
*3.04,39.44,36.67,34.82,33.48,32.46,37.64,35.48,33.97,32.84,31.96,3
*6.25,34.52,33.25,32.28,31.51,35.15,33.72,32.64,31.8,31.12,34.24,33
*.04,32.12,31.38,30.77/
DO 1 I=1,7
IF (A-X(I)) 7,2,1
CONTINUE
I=I-1
DO 3 J=1,5
IF (B-Y(J)) 8,4,3
CONTINUE
J=J-1
SGMSH=F(J,I)+(F(J,I+1)-F(J,I))*(A-X(I))/(X(I+1)-X(I))+(F(J+1,I)-F(
*J,I))*(B-Y(J))/(Y(J+1)-Y(J))
RETURN
END
```


360N-EO-479 3-6

SGMTRH

DATE 24/08/72

TIME 15.2

```
FUNCTION SGMTRH (A,B)
DIMENSION F(5,7)
COMMON/XY/X(7),Y(5)
DATA F/35.63,29.49,25.92,23.57,21.9,31.55,27.16,24.41,22.51,21.1,2
*8.67,25.39,23.2,21.62,20.42,26.54,23.99,22.2,20.87,19.83,24.9,22.8
*5,21.36,20.22,19.32,23.59,21.9,20.64,19.66,18.86,22.52,21.11,20.02
*,19.16,18.46/
DO 1 I=1,7
IF (A-X(I)) 7,2,1
CONTINUE
I=I-1
DO 3 J=1,5
IF (B-Y(J)) 8,4,3
CONTINUE
J=J-1
SGMTRH=F(J,1)+(F(J,I+1)-F(J,I))*(A-X(I))/(X(I+1)-X(I))+(F(J+1,I)-F
*(J,I))*(B-Y(J))/(Y(J+1)-Y(J))
RETURN
END
```

360N-F0-479 3-6

FKI1

DATE 24/08/72

TIME 15.2

```
FUNCTION FKI1(X)
  DIMENSION A(8),B(8)
  DATA A,B/2.43799709E-08,1.467588796E-04,5.736367829E-02,2.83050120
23E 00,2.428269118E 01,4.1441359E 01,1.214837747E 01,0.,1.55208395E
3-08,9.353639972E-05,3.696900541E-02,1.930093672E 00,1.971226041E 0
41,5.267424655E 01,4.395298186E 01,9.693354952E 00/
  C=1.
  AX=A(1)
  BX=B(1)
  DO 1 I=2,8
  C=C*X
  AX=AX+A(I)*C
1 BX=BX+B(I)*C
  FKI1=AX/BX*EXP(-X)*(1.+X)**(.5)
  RETURN
  END
```

UN-FC-479 3-6

FKI2

DATE 24/08/72

TIME 15.29.

```
FUNCTION FKI2(X)
  DIMENSION A(8),B(8)
  DATA A,B/0.001352852153,.2031025486,4.557657076,24.0273046,35.6481
15114,15.80553881,1.866032641,0.,.001352852262,.2045502171,4.771899
2521,28.64849162,58.5077737,47.46853418,15.03011023,1.488882321/
  C=1.
  AX=A(1)
  BX=B(1)
  DO 1 I=2,8
  C=C*X
  AX=AX+A(I)*C
1 BX=BX+B(I)*C
  FKI2=AX/BX*EXP(-X)*(1.+X)**(.5)
  RETURN
END
```

ACN-FO-479 3-6

FKI3

DATE 24/08/72

TIME

15.30

```
FUNCTION FKI3(X)
  DIMENSION A(8),B(8)
  DATA A,B/0.13235614182,3.8693267475,23.849388515,44.628023152, 29.
1462756167,7.1123715128,0.52296988295,0.,0.16852107467 5.0568855876
2,34.152173252,79.724420102,78.792354198,34.814969481,6.5615249318,
30.41726982687/
  C=1.
  AX=A(1)
  BX=B(1)
  DO 1 I=2,8
  C=C*X
  AX=AX+A(I)*C
1 BX=BX+B(I)*C
  FKI3=AX/BX*EXP(-X)*(1.+X)**(.5)
  RETURN
  END
```

005 FORTRAN IV 360N-FO-479 3-6

DESCOB

DATE 24/08/72

```
0001      SUBROUTINE DESCOB (I,J,ST,IJ)
0002      DIMENSION ST(10)
0003      IF(I.LT.J) GO TO 1
0004      IF(ST(I).LT.1.E-07) GO TO 3
0005      IJ=5
0006      RETURN
0007  3 IJ=6
0008      RETURN
0009  1 IF(ST(I)*ST(J).LT.1.E-07) GO TO 4
0010      IJ=1
0011      RETURN
0012  4 IF(ST(I).LT.1.E-07) GO TO 5
0013      IJ=3
0014      RETURN
0015  5 IF(ST(J).LT.1.E-07) GO TO 6
0016      IJ=2
0017      RETURN
0018  6 IJ=4
0019      RETURN
0020      END
```

```

SUBROUTINE ESCR
COMMON /FONTI/FONTR(3),FONTT(3)
COMMON/DPERM/ SGA5(3),SGA8(3),SGAH(3),SGAO(3) ,XNSGF5(3),XN
1SGF8(3),SGT5(3),SGT8(3),SGTH(3),SGTO(3) ,SGTR5(3),SGTR8(3),
2SGTRH(3),SGTRO(3) ,SGTO5(3),SGTO8(3),SGSH(3) ,SGSO(3) ,
3 SGA05,SGA08,SGA0H ,SGS05,SGS08,SGS0H,SGS0D ,X1,X2
4,XNI5(4)
COMMON R(11),V(10),ST(10),P(10,11)
COMMON SGAG(3),SGAGG,SGTG(3),SGTRG(3),SGTOG(3),SGSOG
COMMON SIGTOU(4),SIGTOG(4),SIGTOM(4),SIGAU(4),SIGAG(4),SIGAM(4)
COMMON RP(3),NPAS,NPA(3)
COMMON W(3),FLUCEL(4),VCEL ,FLUM(3,4)
COMMON ENR,DELTA,DENSU,KFORM,XN,XNG,XNM,XMIU,XMIG
COMMON SIGTU(4),SIGTM(4),SIGTG(4)
COMMON SIGTRU(4),SIGTRM(4),SIGTRG(4),SIGTR(4)
COMMON SU,PASSO,DC,XI2F8
COMMON XNSIGF(4),SIGA(4),SIGT(4)
COMMON D(4)
COMMON B2,XKEFF,XKEF2G,EFE
COMMON RO28,DELTA8,DELTA5
COMMON SIGA8(4),SIGF8,SIGF5(4),SIGF(4)
COMMON GAMA(4)
PRINT 50
FORMAT (1H1,'***DADOS PERMANENTES',////////,1X,'SECCOES DE CHOQUE MI
*CROSCOPICAS',///,1X,'NUCLIDE0',1X,'MACRO',2X,'PRODUCAO',6X,'ABSORC
*AO',6X,'TRANSPORTE',4X,'REMOCAO',7X,'TOTAL',9X,'ESPALHAMENTO',/,
*
* 'DE',/,17X,'NEUTRONS',///)
DO 1 J=1,3
PRINT 51,J,XNSGF5(J),SGA5(J),SGTR5(J),SGT5(J),SGTO5(J),XNSGF8(J),S
1GAB(J),SGTR8(J),SGT8(J),SGTO8(J),SGAH(J),SGTRH(J),SGTH(J),SGSH(J),
2SGAO(J),SGTRO(J),SGTO(J),SGSO(J)
FORMAT (1X,'U235',I8,2X,5(2X,G12.5),/,1X,'U238',10X,5(2X,G12.5),/,
*1X,'H',27X,3(2X,G12.5),16X,G12.5,/,1X,'D',27X,3(2X,G12.5),16X,G12.
*5,///)
PRINT 52
FORMAT (1H1,'***DADOS PARTICULARES AD CASO',////////,1X,'ENRIQUECIME
*NT0',5X,'DELTA',4X,'DENSIDADE DO',3X,'KFORM',4X,'LAPLACIANO',/,30X
*,'COMBUSTIVEL',12X,'GEOMETRICO',///)
PRINT 53,ENR,DELTA,DENSU,KFORM,B2
FORMAT (G14.5,F10.2,4X,G12.5,I6,6X,G13.5,////////,
*
* 1X,'MEIO',9X,'RAIO',4X,'NUMERO DE',
*4X,'FONTE',5X,'FONTE',/,23X,'REGIOES',5X,'RAPIDA',3X,'TERMICA',///
*)
PRINT 54,(K,RR(K),NPA(K),FONTR(K),FONTT(K),K=1,3)
FORMAT (1X,I3,5X,G13.5,I5,2X,2F10.1)
PRINT 55
FORMAT (////,1X,'SECCOES DE CHOQUE MICROSCOPICAS DO REVESTIMENTO',
1//,1X,'MACRO GRUPO',4X,'ABSORCAO',8X,'TRANSPORTE',7X,'REMOCAO',9X,
2'TOTAL',11X,'ESPALHAMENTO',//)
PRINT 56,(I,SGAG(I),SGTRG(I),SGTG(I),SGTOG(I),I=1,3)
FORMAT (1X,I3,12X,G12.5,4X,G12.5,4X,G12.5,4X,G12.5)
PRINT 57,SGA0G,SGSOG
FORMAT (3X,'2200M/S',6X,G12.5,52X,G12.5)

```

```

0036 PRINT 58,XN,W(1),PASSO,XNG,W(2),DC,XNM,W(3),XIEF8
0037 FORMAT(1H1,'**RESULTADOS',///,1X,'MEIO',4X,'DENSIDADE',7X,'VOLUM
58 *E',/,10X,'ATOMICA',/,2X,'1',6X,G12.5,4X,G12.5,8X,'PASSO DO RETICU
*LADO',6X,G12.5,/,2X,'2',6X,G12.5,4X,G12.5,8X,'FATOR DANCOFF',12X,G
*12.5,/,2X,'3',6X,G12.5,4X,G12.5,8X,'INTEGRAL DE RESSONANCIA',2X,G1
*2.5,/,/ )
0038 PRINT 59
0039 FORMAT (35X,'SECCOES DE CHOQUE MACROSCOPICAS MEIAS',/,1X,'MACRO'
59 *,2X,'MEIO',5X,'FLUXOS MEDIOS',5X,'PRODUCAO DE',4X,'ABSORCAO',8X,'
*RENDICAO',/,1X,'GRUPO',13X,'ESPACIAIS',9X,'NEUTRONS',///)
0040 DO 2 I=1,4
0041 PRINT 60,I,FLUM(1,I),XNSIGF(I),SIGAU(I),SIGTU(I),FLUM(2,I),SIGAG(I
2),SIGIG(I),FLUM(3,I),SIGAM(I),SIGTM(I),FLUCEL(I),XNSIGF(I),SIGA(I
2),SIGT(I)
0042 FORMAT (1X,I2,6X,'1',7X,G13.5,3(4X,G12.5),/,9X,'2',7X,G13.5,16X,2(
60 *,4X,G12.5),/,9X,'3',7X,G13.5,16X,2(4X,G12.5),/,7X,'CELULA',4X,G13.5
*,3(4X,G12.5),/)
0043 PRINT 61,(I,D(I),GAMA(I),I=1,4)
0044 FORMAT (1X,'MACRO',4X,'COEFICIENTE',5X,'FLUXOS',/,1X,'GRUPO',4X,'D
61 1E DIFUSAO',4X,'INTEGRAIS',/,(1X,I4,3X,G13.5,2X,G12.5),/)
0045 PRINT 62,RD28,DELTA8,DELTA5,XKEFF,EFE
0046 FORMAT (1X,'PARAMETRO DE ESCAPE A RESSONANCIA',3X,G12.5,/,1X,'PARA
62 *METRO DE FISSAO RAPIDA',10X,G12.5,/,1X,'PARAMETRO DE FISSAO EPITER
*MICA',6X,G12.5,/,1X,'FATOR DE MULTIPLICAO EFETIVO',6X,G12.5,/,1X
*, 'FATOR DE UTILIZACAO TERMICA',9X,G12.5)
0047 RETURN
0048 END

```

***DADOS PERMANENTES

SECCOES DE CHOQUE MICROSCOPICAS

| NUCLIDEO | MACRO GRUPO | PRODUCAO DE NEUTRONS | ABSORCAO | TRANSPORTE | REMOCAO | TOTAL | ESPALHAMENTO |
|----------|-------------|----------------------|-------------|------------|-------------|--------|--------------|
| U235 | 1 | 3.6450 | 1.8186 | 4.9349 | 0.14720 | 4.9349 | |
| U238 | | 1.1221 | 0.46840 | 5.8050 | 2.3055 | 5.8050 | |
| H | | 0.0 | 0.0 | 1.5659 | 1.4505 | | 1.4505 |
| O | | | 0.42500E-01 | 1.2777 | 0.23710 | | 0.23710 |
| U235 | 2 | 4.7418 | 2.6953 | 7.9809 | 0.0 | 7.9809 | |
| U238 | | 0.0 | 0.31860 | 8.9462 | 0.40000E-01 | 8.9462 | |
| H | | | 0.20000E-03 | 2.5837 | 2.2128 | | 2.2128 |
| O | | | 0.0 | 3.9450 | 0.88900E-01 | | 0.88900E-01 |
| U235 | 3 | 62.464 | 34.120 | 22.618 | 0.0 | 44.120 | |
| U238 | | 0.0 | 0.32480 | 8.9904 | 0.0 | 8.4954 | |
| H | | | 0.14200E-01 | 6.3389 | 2.2543 | | 20.000 |
| O | | | 0.0 | 4.2553 | 0.45000E-01 | | 3.7000 |

***DADOS PARTICULARES AO CASO

| ENRIQUECIMENTO | DELTA | DENSIDADE DO COMBUSTIVEL | KFORM | LAPLACIANO GEOMETRICO |
|----------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|
| 1.3110 | 1.00 | 7.5300 | 1 | 0.30170E-02 |

| MEIO | RAIO | NUMERO DE REGIOES | FONTE RAPIDA | FONTE TERMICA |
|------|---------|-------------------|--------------|---------------|
| 1 | 0.76330 | 4 | 1.0 | 0.0 |
| 2 | 0.84580 | 2 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 1.2390 | 4 | 0.0 | 1.0 |

SECCOES DE CHOQUE MICROSCOPICAS DO REVESTIMENTO

| MACRO GRUPO | ABSORCAO | TRANSPORTE | REMOCAO | TOTAL |
|-------------|-------------|------------|-------------|---------|
| 1 | 0.33000E-02 | 2.2740 | 0.61350 | 0.61680 |
| 2 | 0.10000E-02 | 4.1420 | 0.66750 | 0.66850 |
| 3 | 0.19500E-01 | 1.7249 | 0.34200E-01 | 1.4195 |
| 2200M/S | 0.23000 | | | |

RESULTADOS

| GRUPO | DENSIDADE ATOMICA | VOLUME | PASSO DO RETICULADO | 2.3591 |
|-------|-------------------|---------|-------------------------|---------|
| | 0.16795E-01 | 1.8304 | FATOR DANCOFF | 0.12145 |
| | 0.60240E-01 | 3.41705 | INTEGRAL DE RESSONANCIA | 19.720 |
| | 0.33430E-01 | 2.5753 | | |

SECCOES DE CHUQUE MACROSCOPICAS MEDIAS

| GRUPO | MEIO | FLUXOS MEDIOS ESPACIAIS | PRODUCAO DE NEUTRONS | ABSORCAO | REMOCAO |
|-------|--------|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| | 1 | 85.957 | 0.73698E-02 | 0.36435E-02 | 0.17553E-01 |
| | 2 | 85.880 | | 0.17190E-04 | 0.31957E-01 |
| | 3 | 85.835 | | 0.75824E-03 | 0.55987E-01 |
| | CELULA | 85.885 | 0.73698E-02 | 0.44189E-02 | 0.76735E-01 |
| | 1 | 169.28 | 0.39627E-03 | 0.22295E-02 | 0.13850E-01 |
| | 2 | 169.27 | | 0.52093E-05 | 0.34772E-01 |
| | 3 | 169.27 | | 0.71405E-05 | 0.80000E-01 |
| | CELULA | 169.27 | 0.39627E-03 | 0.22419E-02 | 0.85451E-01 |
| | 1 | 23.700 | 0.52235E-02 | 0.15416E-01 | 0.57408E-01 |
| | 2 | 23.682 | | 0.10157E-03 | 0.17845E-01 |
| | 3 | 23.673 | | 0.50674E-03 | 0.81250E-01 |
| | CELULA | 23.684 | 0.52235E-02 | 0.16024E-01 | 0.74567E-01 |
| | 1 | 7.8320 | 0.84403E-01 | 0.53185E-01 | 0.0 |
| | 2 | 6.2714 | | 0.93328E-03 | 0.0 |
| | 3 | 8.8853 | | 0.97938E-02 | 0.0 |
| | CELULA | 8.4325 | 0.84403E-01 | 0.63917E-01 | 0.0 |

| GRUPO | COEFICIENTE DE DIFUSAO | FLUXOS INTEGRAIS |
|-------|------------------------|------------------|
| 1 | 2.3184 | 8.5285 |
| 2 | 1.1437 | 9.9037 |
| 3 | 0.79331 | 9.1013 |
| 4 | 0.27751 | 10.481 |

| | |
|---------------------------------|-------------|
| LAMBDO DE ESCAPE A RESSONANCIA. | 1.0397 |
| LAMBDO DE FISSAO RAPIDA | 0.57573E-01 |
| LAMBDO DE FISSAO EPITERMICA | 0.59976E-01 |
| DE DE MULTIPLICACAO EFETIVO | 0.99891 |
| DE UTILIZACAO TERMICA | 0.83209 |

REFERÊNCIAS

- [1] Ombrellaro, P.A. - Effective Fast Group Cross Sections in Four Group Theory - WAPD-TN-63 (1957)
- [2] Kavenoky, A. - Calcul et Utilization des Probabilités de Première Collision pour des Milieux Hétérogènes à Une Dimension: Les Programmes ALCOLL et CORTINA - CEA-N-1077 (1969)
- [3] Klein, D. et al. - Effective U-238 Resonance Capture Integrals in Rods and Lattices - Vienna, IAEA (1962)
- [4] Carlvick, I. - Dancoff Correction in Square and Hexagonal Lattices - Rapport AE-257 (1967)
- [5] Benoist, P. - Théorie du Coefficient de Diffusion des Neutrons dans un Réseau Comportant des Cavités - Rapport CEA-R-2278 (1964)
- [6] Kouts, H. et al. - Physics of Slightly Enriched, Normal Water Lattices. (Theory and Experimental). Conferência de Genebra, Vol. 12 (1958)
- [7] Hicks, D. - Light Water Lattice Calculations in the United Kingdom. Vienna, IAEA (1962)
- [8] Bohl, E. - Gelbard, E. - MUFT-IV Fast Spectrum Code for the IBM-704 WAPD-TM-72 (1957)
- [9] Hicks, D. - Nuclear Calculations Methods for Light Water Moderated Reactors. AEEW-R-64 (1961)
- [10] Amster, H.J. - A Compendium of Thermal Neutron Cross Sections Averaged over the Spectra of Wigner and Wilkins - WAPD-185 (1958)
- [11] Amster, H.J. e Suarez, R. - A Compendium of Thermal Neutron Cross Sections Averaged over the Spectra of Wigner and Wilkins. Description of the SOFOCATE Code. WAPD-TM-39 (1957)
- [12] Nordheim, L.W. - A Program of Research and Calculations of Resonance Absorption, GA-2527, 1961
- [13] Vernon, R.R. - Calculation of the Effective Resonance Integral of U-238. Nuc.Sci.Eng. 7 (1960) 252

- [14] Levine, M. M. - Resonance Integral Calculations for U-238 Lattices
- Nucl.Sci.Eng. 16, (1963)
- [15] Hellstrand, E. - Measurements of the Effective Resonance Integral
in Uranium Metal and Oxide in Different Geometries. J.Appl.Phys.
28, 1493 (1957)
- [16] Andrade, E.P. - Cálculo das Probabilidades de Primeira Colisão para
Meios Cilíndricos Heterogêneos a Uma Dimensão: O Programa ALCCL.
Nota PMC-1 (1971)
- [17] Thie, S.A. - A Simple Analytical Formulation of the Dancoff Cor-
rection - Nucl.Sci.Eng. 5, (1959)
- [18] Levine, M.M. - Resonance Integral Calculations for U-238 Lattices.
Nucl.Sci.Eng. 16 (1963)
- [19] Albuquerque, E.F. - Cálculo da Correção de Dancoff - Nota GT-143,
(1971)
- [20] Ombrellaro, P.A. - Effective Fast Group Cross Sections in Few
Group Diffusion Theory. KAPL-M-PAO-1 (1961).

Cópias adicionais podem ser solicitadas ao:

Requests for additional copies should be addressed to:

Demandes pour les rapports à:

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
DIVISÃO DE COORDENAÇÃO CIENTÍFICA
Serviço de Publicações
Caixa Postal, 1941
Belo Horizonte-MG
BRASIL

E R R A T A

Pág.

- v Acrescentar: 5. CONCLUSÃO 32
ANEXO I - CORREÇÃO DE DANCOFF
ANEXO II- LISTAGEM DO CÓDIGO
- 3 20ª linha: onde se lê "que calcula o espectro...", leia-se "que calcula, em teoria a 54 grupos de energia, o espectro..."
- 6 9ª linha: onde se lê " $\bar{\Sigma}_a$, $\bar{\Sigma}_r$ e $\sqrt{\bar{\Sigma}_f}$ são as secções...", leia-se " $\bar{\Sigma}_a^i$, $\bar{\Sigma}_r^i$ e $(\sqrt{\bar{\Sigma}_f})^i$ são as secções..."
- 7 12ª linha: onde se lê "(i = 1, 3)", leia-se "(i = 1, 2, 3)"
- 8 18ª linha: suprimir o últimos parênteses da definição de X
- 9 Acrescentar, depois da 3ª linha: N_j = densidade atômica do nuclídeo j, cuja secção de choque de absorção obedece a lei 1/v
- 9 6ª e 10ª linhas: onde se lê "isótopo", leia-se "nuclídeo"
- 9 9ª linha: onde se lê "... fluxo térmico...", leia-se "... fluxo de neutrons térmicos..."
- 9 13ª linha: onde se lê "fluxos médios de cada meio", leia-se "fluxos térmicos médios em cada meio"
- 9 14ª linha: onde se lê "Um cálculo preliminar de X é feito...", leia-se "Cálculos preliminares de X e Y são feitos..."
- 9 16ª linha: onde se lê "... tabelas de Amster", leia-se "... tabela de Amster (tab. 2.3)"
- 9 17ª linha: onde se lê "... fluxos médios e X são calculados...", leia-se "... fluxos médios e de X e Y são calculados..."

Pág.

- 10 nas definições de σ_{aU-235} e σ_{fU-235} e U_n , acrescentar vírgula depois da palavra idem
- 12 3ª linha: onde se lê " σ_{eff}^{U-238} é a secção de choque...", leia-se " σ_{eff}^{U-238} é uma secção de choque..."
- 13 1ª linha: onde se lê "Substituindo (2.18) e (2.19) teremos que..." leia-se "Substituindo (2.16) e (2.17) em (2.19) teremos"
- 13 10ª linha: onde se lê "... como em (2.12)...", leia-se "...como em (2.10)..."
- 14 12ª linha: onde se lê "... como em (2.12)...", leia-se "...como em (2.11)..."
- 16 3ª linha: onde se lê "...da região k...", leia-se "... da região j..."
- 17 3ª linha: onde se lê "...no combustível sofra sua...", leia-se "...no combustível (segundo uma distribuição uniforme e isotrópica (*) sofra sua..."
- 17 substituir a equação (2.29) por " $\beta_{eff} = \frac{\sum_1^3 (\bar{\Sigma}_{CV-238}^i \tau^i)}{\bar{\Sigma}_{CV-238}^4}$ " "
- 17 ao pé da página: acrescentar "(*) Efeitos de anisotropia do choque que não são aqui considerados"
- 19 substituir a equação (2.32) por " $f = \frac{V_u \Sigma_{au}^4 \bar{\Phi}_u^4}{V_u \Sigma_{au}^4 \bar{\Phi}_u^4 + V_g \Sigma_{ag}^4 \bar{\Phi}_g^4 + V_m \Sigma_{am}^4 \bar{\Phi}_m^4}$ " "
- 23 7ª, 8ª, 22ª linhas: onde se lê "macrosópicas", leia-se "macrosópica"
- 23 11ª linha: onde se lê "...para cada macro-grupo rápido de cada...", leia-se "...que calcula os fluxos para cada macro-grupo rápido em cada..."
- 24 7ª linha: acrescentar " $\bar{\Phi}_g^i / \bar{\Phi}_u^i$ " "

Pág.

- 24 12ª linha: onde se lê "BLOCK DATA", acrescentar "e em DATA"
- 27 9ª linha: onde se lê "...em efeito", leia-se "...com efeito"
- 27 Depois da 15ª linha, acrescentar: "É importante observar, da fig. 4.1, que os desvios são maiores para os casos de revestimento de aço (pontos com $k_{eff} > 1$) enquanto que para os casos de revestimento de alumínio os resultados de k_{eff} estão com um desvio máximo de 500×10^5 da criticalidade"
- 29 pé de página: onde se lê "Analisou este...", leia-se "Analisou-se este..."
- 31 10ª linha: onde se lê "...comparados os resultados...", leia-se "...comparados com os resultados..."
- 34 onde se lê " $\sigma_h, \sigma_n, \sigma_a$ " etc, leia-se " $\sigma_h^i, \sigma_n^i, \sigma_a^i$ " etc
- 34 pé de página: onde se lê "Referência 17", leia-se "Referência 19"
- 38 onde se lê "Fig. 1", leia-se "Fig. 4.1"
- I-1 9ª linha: onde se lê "|17,1'|", leia-se "|14, 17|"
- I-2 substituir a equação $c = \frac{\pi}{2} R_n \frac{1-2y}{a-\pi y^2}$ por $c = \frac{\pi}{2} y \frac{1-2y}{a-\pi y^2}$
- I-3 11ª linha: onde se lê "cf. |19|)", leia-se "(cf. |18|"
- I-3 substituir a equação $c = \frac{\pi}{2} y \frac{1-2y}{a+\pi y^2}$ por $c = \frac{\pi}{2} y \frac{1-2y}{a-\pi y^2}$
- Referências - |4|: onde se lê "Carlwick", leia-se "Carlvik"
eliminar |18|
onde se lê "|19|", leia-se "|18|"
onde se lê "|20|", leia-se "|19|"

SUBSTITUIR: páginas 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 40, 40a, 41,
42, 43 e 44

pelas páginas que se seguem:

como referência.

Os valores obtidos para k_{eff} que se desviam mais dos resultados obtidos por Hicks-MUFT-SOFO são aqueles para os reticulados cujo revestimento do combustível é de aço; tendo um erro relativo máximo de 2090 pcm e mínimo de 990 pcm, enquanto que os resultados obtidos por Hicks-Ombrellaro apresentam um desvio, para estes mesmos casos que variam de 500 pcm a 1300 pcm e os por Solanilla de 1000 pcm a 1190 pcm.

Nos reticulados em revestimento de Alumínio obtivemos desvios relativos que variam de 0 a 500 pcm, sendo que a maioria apresenta desvio inferior aos obtidos por Hicks-Ombrellaro e por Solanilla.

É interessante observar, da Fig. 4.1, que os desvios são maiores para os casos de revestimento em aço. Enquanto que para os de revestimento em alumínio os resultados de k_{eff} estão com um desvio máximo da ordem de 500×10^{-5} da criticalidade.

Este valor não pode ser tomado como válido, em geral, pois o número de casos comparados é insuficiente para isto. Não foi possível analisar mais casos em virtude de dificuldades de obtenção em tempo hábil de dados completos nas publicações disponíveis.

4.2. Parâmetros *Pr. Ser. des*

As tabelas 4.3 e 4.4 mostram os valores dos parâmetros obtidos como código, comparados com os valores experimentais e com os resulta-

dos de cálculo de Hicks-Ombrellaro e de Solanilla. Não foram apresentados na referência resultados de cálculo Hicks-MUFT-SOFO.

A comparação feita mostra que os resultados obtidos para P_{28} são tão sistematicamente maiores que os valores medidos - quando era de se esperar que fossem inferiores (cf. item 2.8.1). Isto parece ser devido à secção de choque de absorção do U-238 no macro-grupo 3. Uma análise mais rigorosa deverá ser efetuada no futuro; não a realizamos, em princípio, devido: em primeiro lugar, à falta de resultados parciais para comparações (por exemplo, apenas obtivemos dados de secções de choque e de coeficientes de difusão para o reticulado 8; para os demais não foram publicados); em segundo lugar, pelo fato de os resultados globais de k_{eff} estarem satisfatórios e modificações na captura ressonante do U-238 influiriam nestes resultados.

O erro relativo máximo obtido para P_{28} é de 37.54%, no reticulado 8; Hicks-Ombrellaro obteve um desvio de 35.5% e Solanilla um desvio de 44.4% neste mesmo reticulado. Para os outros reticulados há um desvio que varia de 0.7% a 28.8%; os desvios dos resultados obtidos por Hicks-Ombrellaro variam de 1.5% a 26.2% e os desvios obtidos por Solanilla variam de 4.9% a 35.1%.

Os resultados obtidos para σ_{28} apresentam um desvio com relação aos valores experimentais que variam de 1.7% a 12.28%. Embora estes desvios sejam grandes, eles estão dentro da margem de erro da experiência. Hicks-Ombrellaro e Solanilla obtiveram, para este parâmetro, resultados com desvios que variam de 0.0 a 10.5% e de 3.4 a 12.3, respectivamente.

Para σ_{25} os resultados estão todos inferiores aos valores experimentais, o que era de se esperar (cf. item 2.8.3). Os desvios relativos observados variam de 1.3% a 27.9%, enquanto que os resultados obtidos

por Hicks-Ombrellaro apresentam desvios que vão de 1.1% a 17.7% e Solanilla obteve valores com desvios que variam de 2.6% a 25.0%.

Nossos resultados de cálculo destes três parâmetros são - em geral - satisfatórios. Os desvios não são muito diferentes daqueles obtidos com os outros dois métodos.

4.3. Fator de desvantagem e fator de utilização térmica

Os desvios relativos observados para o fator de desvantagem $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_u^4$ apresentam valores que variam de 0.0% a 2.7%, estando dentro da gama de variação dos valores experimentais (cf. tabelas 4.3 e 4.4). Hicks-Ombrellaro obteve para este parâmetro um desvio de 0.9% a 10.9% e Solanilla um desvio que varia de 0.9% a 3.6%.

Para o fator de utilização térmica, f , obtivemos valores que, em geral, não são satisfatórios. Os desvios relativos variam de 0.1% a 0.8%. Os desvios observados nos resultados de Hicks-Ombrellaro e de Solanilla variam de 0.1% a 1.0% e de 0.0% a 0.6% (cf. tabelas 4.3 e 4.4). Isto - levando em conta os resultados obtidos para os desvios nas razões de fluxo $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_u^4$ - leva a crer que as secções de choque térmicas não estão representando bem a realidade. Uma análise deve ser efetuada no futuro para corrigi-las.

4.4. Análise de secções de choque e dos coeficientes de difusão para o reticulado 8 (*)

Os coeficientes de difusão, as secções de choque de absorção e

(*) Analisou-se este reticulado por ser o único para o qual são apresentados os resultados de cálculo desses parâmetros.

de "produção" de neutrons, e os fluxos médios para cada macro-grupo i , para o reticulado 8, são apresentados na tabela 4.5, e comparados com os resultados calculados com Hicks-MUFT-SOFO e Hicks-Ombrellaro.

Hicks utiliza o método dos harmônicos esféricos P_3 para o cálculo da distribuição de fluxo espacial na célula [9]. Para o fator de Dancoff usa a expressão de W.G.Pettus [17], incluindo correção devido à presença do revestimento. Os coeficientes de difusão são calculados segundo a teoria de difusão pela expressão:

$$D^i = \frac{1}{3 \sum \bar{\xi}_n}$$

Pela comparação feita (tabelas 4.5 e 4.6) podemos verificar o seguinte:

- a) Os resultados obtidos para os coeficientes de difusão rápidos, D^i , apresentam desvios relativos que variam de 1.3% a 3.3%, enquanto que os obtidos por Hicks-Ombrellaro apresentam desvios de 2.3% a 4.5%. Sendo os resultados com o código, para os macro-grupos 1 e 2, melhores e para o macro-grupo 3 pior que os de Hicks-Ombrellaro.
- b) Os resultados para $\bar{\xi}_n$, nos macro-grupos 2 e 3 apresentam desvios pouco maiores que os de Hicks-Ombrellaro; 8.8% para o macro-grupo 2 e 0.9% para o macro-grupo 3, contra desvios de 8.1% e 0.4% respectivamente (Hicks-Ombrellaro). Para o macro-grupo 1, $\bar{\xi}_n$, se apresenta melhor que o obtido por Hicks-Ombrellaro: desvios de 0.3% e 0.6%, respectivamente.

- c) Os resultados para $\bar{\xi}_n$ nos três macro-grupos mostram desvios menores que os obtidos por Hicks-Ombrellaro; variam de 0.05% a 2.0%, enquanto que Hicks-Ombrellaro dão desvios de 1.0% a 2.4%.
- d) Os resultados para $(\sqrt{\bar{\xi}_4})$ são piores nos macro-grupos 1 e 2, apresentando desvios de 1.3% e 2.4%, enquanto que por Hicks-Ombrellaro os desvios são de 0.0% e 2.3% respectivamente. Para o macro-grupo 3 os resultados com o código e de Hicks-Ombrellaro são idênticos com um desvio em relação a Hicks-MUFT de 4.5%.
- e) As constantes do domínio térmico são também apresentadas na tabela 4.5, comparados os resultados obtidos com Hicks-Ombrellaro.
- f) Estão também apresentados na tabela 4.5 valores dos fluxos médios na célula para os quatro macro-grupos de energia, comparados os resultados de Hicks-Ombrellaro.

5. CONCLUSÃO

Comparamos nosso cálculo do fator de multiplicação efetivo com valores obtidos por Hicks, usando MUFT-SOFOCATE e as tabelas de Ombrellaro e Amster, bem como resultados obtidos por Solanilla, usando as tabelas de Ombrellaro e polinômios ajustados a partir das tabelas de Amster para uma série de reticulados a água leve e urânio enriquecido. Em todos os reticulados verificamos que o erro cometido em k_{eff} com relação a Hicks-MUFT é inferior a 500 pcm, com exceção dos reticulados com revestimento de aço cujo desvio mínimo é de 994 pcm. Cerca de 40% dos resultados obtidos para k_{eff} se apresentam melhores que os obtidos por Hicks-Ombrellaro e 80% melhores que os obtidos por Solanilla, embora haja, sem dúvida, compensação de erros nos cálculos parciais.

Em vista da comparação apresentada no item 4, podemos concluir que o código dá resultados satisfatórios. É certo, contudo, que uma análise de um maior número de experiências de cálculos deve seguir este nosso trabalho, assim como uma análise detalhada de resultados de outros parâmetros além do k_{eff} .

T A B E L A 2.3

Secções de choque microscópicas médias, térmicas
- Tabelas de Amster [11]

σ_{SH}^4 (barn)

| Y | X | 0.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | | 45.28 | 41.86 | 39.44 | 37.64 | 36.25 | 35.15 | 34.24 |
| 0.005 | | 40.13 | 38.17 | 36.67 | 35.48 | 34.52 | 33.72 | 33.04 |
| 0.010 | | 37.12 | 35.85 | 34.82 | 33.97 | 33.25 | 32.64 | 32.12 |
| 0.015 | | 35.14 | 34.23 | 33.48 | 32.84 | 32.28 | 31.80 | 31.38 |
| 0.020 | | 33.72 | 33.04 | 32.46 | 31.96 | 31.51 | 31.12 | 30.77 |

T A B E L A 2.3A

σ_{SH}^4 (barn)

| Y | X | 0.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | | 35.63 | 31.55 | 28.67 | 26.54 | 24.90 | 23.59 | 22.52 |
| 0.005 | | 29.49 | 27.16 | 25.39 | 23.99 | 22.85 | 21.90 | 21.11 |
| 0.010 | | 25.92 | 24.41 | 23.20 | 22.20 | 21.36 | 20.64 | 20.02 |
| 0.015 | | 23.57 | 22.51 | 21.62 | 20.87 | 20.22 | 19.66 | 19.16 |
| 0.020 | | 21.90 | 21.10 | 20.42 | 19.83 | 19.32 | 18.86 | 18.46 |

T A B E L A 2.3B

$\sigma_{a-U-235}^4$ (barn)

| Y | X | 0.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | | 589.8 | 518.1 | 467.8 | 430.7 | 402.2 | 379.6 | 361.2 |
| 0.005 | | 481.8 | 441.3 | 410.5 | 386.2 | 366.7 | 350.5 | 336.9 |
| 0.010 | | 419.4 | 393.4 | 372.5 | 355.3 | 341.0 | 328.8 | 318.2 |
| 0.015 | | 378.7 | 360.5 | 345.3 | 332.4 | 321.4 | 311.8 | 303.5 |
| 0.020 | | 349.9 | 336.3 | 324.7 | 314.7 | 306.0 | 298.2 | 291.4 |

TABELA 2.3C

σ_{Pu-235}^4 (barn)

| Y \ X | 0.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 505.3 | 443.1 | 399.4 | 367.2 | 342.5 | 322.9 | 307.0 |
| 0.005 | 411.5 | 376.4 | 349.7 | 328.7 | 311.7 | 297.7 | 285.9 |
| 0.010 | 357.5 | 334.9 | 316.8 | 301.9 | 280.5 | 278.9 | 269.8 |
| 0.015 | 322.2 | 306.4 | 293.2 | 282.1 | 272.6 | 264.3 | 257.1 |
| 0.020 | 297.2 | 285.5 | 275.5 | 266.8 | 259.3 | 252.6 | 246.7 |

TABELA 2.3D

U_n (barn)

| Y \ X | 0.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0.8867 | 0.7870 | 0.7166 | 0.6647 | 0.6247 | 0.5929 | 0.5669 |
| 0.005 | 0.7365 | 0.6798 | 0.6366 | 0.6025 | 0.5749 | 0.5520 | 0.5328 |
| 0.010 | 0.6494 | 0.6128 | 0.5833 | 0.5591 | 0.5388 | 0.5215 | 0.5066 |
| 0.015 | 0.5923 | 0.5666 | 0.5451 | 0.5269 | 0.5113 | 0.4977 | 0.4858 |
| 0.020 | 0.5518 | 0.5326 | 0.5162 | 0.5020 | 0.4896 | 0.4786 | 0.4689 |

TABELA 4.2

Comparação do k_{eff} com Hicks-MUFT-SOFOCATE e
Hicks-Ombrellaro e Solanilla

| Método | Reticu- lado | k_{eff} | $\frac{\sigma_{k_{eff}}}{k_{eff}}$ (pcm) | Reticu- lado | k_{eff} | $\frac{\sigma_{k_{eff}}}{k_{eff}}$ (pcm) | |
|------------------------------|-----------------|-----------|--|-----------------|-----------|--|------|
| Hicks MUFT Ombrellaro | 1 | 0.994 | 300 | 8 | 1.003 | 1296 | |
| Solanilla | | 0.991 | | | 1.016 | | |
| Código | | 1.007 | | | 1.013 | | |
| | | 0.995 | | | 1.024 | | 2093 |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 2 | 0.999 | 400 | 9 | 1.007 | 990 | |
| Solanilla | | 0.995 | | | 1.017 | | |
| Código | | 1.012 | | | 1.019 | | |
| | | 0.999 | | | 1.022 | | 1489 |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 3 | 0.995 | 400 | 10 | 1.006 | 500 | |
| Solanilla | | 0.991 | | | 1.011 | | |
| Código | | 1.012 | | | 1.018 | | |
| | | 0.999 | | | 1.016 | | 994 |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 4 | 0.991 | 400 | - | - | - | |
| Solanilla | | 0.989 | | | | | 910 |
| Cálculo | | 1.000 | | | | | 504 |
| | | 0.996 | | | | | |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 5 | 0.992 | 300 | - | - | - | |
| Solanilla | | 0.989 | | | | | 3230 |
| Código | | 1.024 | | | | | 504 |
| | | 0.997 | | | | | |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 6 | 1.000 | 300 | - | - | - | |
| Solanilla | | 0.995 | | | | | 300 |
| Código | | 0.997 | | | | | 400 |
| | | 0.995 | | | | | |
| Hicks MUFT Ombrellaro | 7 | 0.998 | 300 | - | - | - | |
| Solanilla | | 0.995 | | | | | 800 |
| Código | | 1.006 | | | | | 100 |
| | | 0.999 | | | | | |

T A B E L A 4.3

Comparação de parâmetros de reticulados medidos e calculados

| Caso | | ρ_{28} | σ_{28} | σ_{25} | f | $\bar{F}_m^4 / \bar{F}_u^4$ |
|------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | Medido | 1.19 ± 0.04 | 0.071 ± 0.010 | 0.078 ± 0.006 | 0.873 ± 0.004 | 1.09 ± 0.03 |
| | Hicks-Omb. | 1.28 | 0.073 | 0.087 | 0.864 | 1.14 |
| | Solanilla | 1.33 | 0.070 | 0.080 | 0.868 | 1.10 |
| | Cálculo | 1.32 | 0.070 | 0.077 | 0.866 | 1.12 |
| 2 | Medido | 0.994 ± 0.013 | 0.059 ± 0.009 | 0.073 ± 0.006 | 0.837 ± 0.005 | 1.14 ± 0.03 |
| | Hicks-Omb. | 1.009 | 0.060 | 0.068 | 0.832 | 1.15 |
| | Solanilla | 1.06 | 0.057 | 0.063 | 0.836 | 1.11 |
| | Cálculo | 1.04 | 0.058 | 0.060 | 0.834 | 1.13 |
| 3 | Medido | 0.807 ± 0.014 | 0.051 ± 0.004 | 0.068 ± 0.006 | 0.805 ± 0.005 | 1.16 ± 0.03 |
| | Hicks-Omb. | 0.827 | 0.051 | 0.056 | 0.800 | 1.15 |
| | Solanilla | 0.890 | 0.049 | 0.051 | 0.804 | 1.12 |
| | Cálculo | 0.862 | 0.049 | 0.049 | 0.801 | 1.15 |
| 4 | Medido | 1.04 ± 0.05 | 0.063 ± 0.003 | 0.074 ± 0.006 | 0.836 ± 0.004 | 1.10 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 1.147 | 0.061 | 0.069 | 0.834 | 1.09 |
| | Solanilla | 1.23 | 0.058 | 0.064 | 0.836 | 1.06 |
| | Cálculo | 1.17 | 0.058 | 0.061 | 0.835 | 1.08 |
| 5 | Medido | 0.901 ± 0.070 | 0.054 ± 0.003 | 0.059 ± 0.006 | 0.807 ± 0.004 | 1.09 |
| | Hicks-Omb. | 0.958 | 0.052 | 0.057 | 0.805 | 1.10 ± 0.01 |
| | Solanilla | 1.03 | 0.049 | 0.052 | 0.807 | 1.07 |
| | Cálculo | 0.975 | 0.049 | 0.050 | 0.806 | 1.08 |

T A B E L A 4.3 (Continuação)

| Caso | | ρ_{28} | σ_{28} | σ_{25} | f | $\bar{\psi}_m^4 / \bar{\psi}_u^4$ |
|------|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 6 | Medido | 1.43 ± 0.01 | 0.078 ± 0.004 | 0.089 ± 0.004 | 0.874 ± 0.004 | 1.10 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 1.347 | 0.076 | 0.090 | 0.873 | 1.09 |
| | Solanilla | 1.50 | 0.072 | 0.085 | 0.871 | 1.09 |
| | Cálculo | 1.42 | 0.073 | 0.081 | 0.871 | 1.10 |
| 7 | Medido | 0.034 ± 0.01 | 0.057 ± 0.003 | 0.055 ± 0.001 | 0.809 ± 0.001 | 1.13 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 0.867 | 0.053 | 0.057 | 0.810 | 1.09 |
| | Solanilla | 0.970 | 0.050 | 0.053 | 0.808 | 1.11 |
| | Cálculo | 0.905 | 0.050 | 0.051 | 0.806 | 1.12 |
| 8 | Medido | 2.77 ± 0.08 | - | - | - | 1.10 ± 0.02 |
| | Hicks-Omb. | 3.754 | 0.083 | 0.236 | 0.834 | 1.22 |
| | Solanilla | 4.00 | 0.083 | 0.230 | 0.829 | 1.104 |
| | Cálculo | 3.81 | 0.083 | 0.218 | 0.842 | 1.12 |
| 9 | Medido | 2.22 ± 0.05 | 0.076 ± 0.002 | 0.150 ± 0.01 | - | - |
| | Hicks-Omb. | 2.801 | 0.068 | 0.171 | 0.822 | 1.21 |
| | Solanilla | 3.00 | 0.067 | 0.166 | 0.816 | 1.114 |
| | Cálculo | 2.86 | 0.067 | 0.158 | 0.828 | 1.135 |
| 10 | Medido | 1.83 ± 0.12 | 0.060 ± 0.005 | - | - | 1.127 ± 0.01 |
| | Hicks-Omb. | 2.17 | 0.056 | 0.129 | 0.806 | 1.210 |
| | Solanilla | 2.37 | 0.055 | 0.125 | 0.8003 | 1.126 |
| | Cálculo | 2.21 | 0.054 | 0.118 | 0.811 | 1.145 |

T A B E L A 4.4

Desvios relativos comparados com re
sultados experimentais (%)

| Reticu lado | Método | $\frac{\delta p^{12}}{p^{12}}$ | $\frac{\delta(d_{22})}{d_{22}}$ | $\frac{\delta(d_{25})}{d_{25}}$ | $\frac{\delta t}{t}$ | $\frac{\delta(\frac{p_m}{p_u})}{\frac{p_m}{p_u}}$ |
|----------------|------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|
| 1 | Hicks-Omb. | 7.56 | 2.82 | 11.54 | 1.03 | 4.59 |
| | Solanilla | 11.76 | 4.23 | 2.56 | 0.57 | 0.92 |
| | Código | 10.92 | 4.23 | 1.28 | 0.80 | 2.75 |
| 2 | Hicks-Omb. | 1.51 | 1.69 | 6.85 | 0.60 | 0.88 |
| | Solanilla | 6.64 | 3.39 | 13.70 | 0.12 | 3.51 |
| | Código | 4.63 | 1.69 | 17.81 | 0.35 | 0.88 |
| 3 | Hicks-Omb. | 2.48 | 0.00 | 17.65 | 0.62 | 0.86 |
| | Solanilla | 10.29 | 3.92 | 25.00 | 0.12 | 3.45 |
| | Código | 12.50 | 9.52 | 17.57 | 0.11 | 1.82 |
| 4 | Hicks-Omb. | 10.29 | 3.17 | 6.76 | 0.24 | 0.91 |
| | Solanilla | 18.27 | 7.94 | 13.51 | 0.0 | 3.64 |
| | Código | 10.45 | 7.40 | 13.55 | 0.12 | 0.0 |
| 5 | Hicks-Omb. | 6.33 | 3.70 | 3.39 | 0.25 | 0.91 |
| | Solanilla | 14.32 | 9.26 | 11.86 | 0.00 | 1.82 |
| | Código | 10.43 | 7.40 | 13.55 | 0.12 | 0.0 |
| 6 | Hicks-Omb. | 5.80 | 2.56 | 1.12 | 0.11 | 0.91 |
| | Solanilla | 4.90 | 7.69 | 4.49 | 0.34 | 0.91 |
| | Código | 0.7 | 6.41 | 7.87 | 0.34 | 0.0 |
| 7 | Hicks-Omb. | 7.17 | 7.02 | 3.64 | 0.12 | 3.54 |
| | Solanilla | 3.85 | 12.28 | 3.64 | 0.12 | 1.77 |
| | Código | 3.31 | 12.28 | 9.09 | 0.37 | 0.88 |
| 8 | Hicks-Omb. | 35.53 | | | | 10.90 |
| | Solanilla | 44.40 | - | - | - | 0.36 |
| | Código | 37.54 | | | | 1.81 |
| 9 | Hicks-Omb. | 26.17 | 10.52 | 14.00 | | |
| | Solanilla | 35.13 | 11.84 | 10.66 | - | - |
| | Código | 28.82 | 11.84 | 5.33 | | |
| 10 | Hicks-Omb. | 18.67 | 6.66 | | | 7.36 |
| | Solanilla | 22.5 | 8.33 | - | - | 0.08 |
| | Código | 20.75 | 10.00 | | | 1.59 |

T A B E L A 4.5

Parâmetros do Reticulado 8 Comparados com Hicks-MUFT e
Hicks-Ombrellaro

| | Macro-grupo | D | $\bar{\xi}_a$ | $\bar{\xi}_n$ | $\bar{\nu}\bar{\xi}_t$ | T | |
|--------|-------------|------------|---------------|---------------|------------------------|----------|-------|
| Hicks | 1 | MUFT | 1.9088 | 0.006459 | 0.80001 | 0.01152 | |
| Código | | Ombrellaro | 1.8645 | 0.006418 | 0.07828 | 0.01152 | 7.89 |
| Hicks | 2 | MUFT | 1.9730 | 0.006437 | 0.07841 | 0.01167 | 8.09 |
| Código | | Ombrellaro | 0.9827 | 0.004122 | 0.07008 | 0.001286 | 11.34 |
| Hicks | 3 | MUFT | 0.9389 | 0.003789 | 0.07176 | 0.001256 | 11.29 |
| Código | | Ombrellaro | 0.9991 | 0.003759 | 0.07033 | 0.001255 | 8.96 |
| Hicks | 4 | MUFT | 0.6592 | 0.02920 | 0.05683 | 0.01682 | 8.99 |
| Código | | Ombrellaro | 0.6370 | 0.29320 | 0.05626 | 0.01654 | 3.53 |
| Hicks | 4 | MUFT | 0.6504 | 0.02893 | 0.05680 | 0.01654 | 3.52 |
| Código | | Ombrellaro | 0.2998 | 0.1430 | - | 0.2139 | |
| | | | 0.27822 | 0.1440 | - | 0.2182 | |

K_{eff} Hicks MUFT-SOFO - 1.003
 Ombrellaro - 1.016
 Código - 1.022

TABELA 4.6

Desvios relativos, comparados com os resultados de Hicks-FUFT, (%) para o reticulado 8

| | Macro- grupos | $\sigma D/D$ | $\sigma \bar{\Sigma}_a / \bar{\Sigma}_a$ | $\sigma \bar{\Sigma}_n / \bar{\Sigma}_n$ | $\sigma(\bar{r}_{\bar{\Sigma}_n}) / (\bar{r}_{\bar{\Sigma}_n})$ |
|------------------|------------------|--------------|--|--|---|
| Hicks-Ombrellaro | 1 | 2.32 | 0.63 | 2.160 | 0 |
| Código | | 3.36 | 0.34 | 2.00 | 1.30 |
| Hicks-Ombrellaro | 2 | 4.46 | 8.08 | 2.400 | 2.33 |
| Código | | 1.66 | 8.81 | 0.36 | 2.41 |
| Hicks-Ombrellaro | 3 | 3.37 | 0.41 | 1.000 | 4.55 |
| Código | | 1.33 | 0.92 | 0.050 | 4.55 |

1.020

1.010

1.004
Keff media

1.000

0.990

1

2

3

H/C

4

5

6

x - $VO_2 - AL$
⊗ - $VO_2 - A_{\phi 0}$

Fig. 4.1