

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
**SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DE  
POTÊNCIA PARA UM PWR, UTILIZANDO-SE OS PROGRAMAS  
LEOPARD E CITATION**

**JOSÉ LUIZ BATISTA**

**Disertação apresentada ao Instituto de  
Pesquisas Energéticas e Nucleares como  
parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de "Mestre na Área de Concentração  
em Reactores Nucleares de Potência e  
Tecnologia do Combustível Nuclear".**

**Orientador: Dr. Francisco Corrêa**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA  
PARA UM PWR, UTILIZANDO-SE OS PROGRAMAS LEOPARD E CITATION

José Luiz Batista

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para a obtenção do grau de "Mestre na Área de Concentração em Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear".

Orientador: Dr. Francisco Corrêa



SÃO PAULO  
1982

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
IPEN

Aos meus pais

Tabajara Batista

e

Nivalda A. Batista

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
1980

### AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares pelo fornecimento das instalações e pelo suporte financeiro.
- Ao PRONUCLEAR pelo apoio financeiro prestado.
- Ao Dr. Francisco Corrêa pelo suporte, incentivo e valiosa orientação demonstrada na execução deste trabalho.
- Ao Centro de Processamento de Dados do IPEN particularmente a Edna Lourenção, Gelson Toshio Otami e Antonio Gouvêa.
- Aos colegas Adimir dos Santos, Arlindo Gilson Mendonça e Mitsuo Yamaguchi pelo auxílio e sugestões na utilização dos programas.
- À Clotilde Moreira de Pina pelo auxílio e sugestões nos cálculos.
- Aos amigos Atilio Silvestre Neto e Antonio Biani pelo incentivo.
- Ao Dr. José Antonio Dias Diegues pelo apoio.
- À Neusa, Ivone e Isabel pelo trabalho de datilografia.
- Aos colegas do Centro de Engenharia Nuclear pelo apoio, críticas e discussões.

CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA  
PARA UM PWR, UTILIZANDO-SE OS PROGRAMAS LEOPARD E CITATION

JOSE LUIZ BATISTA

R E S U M O

O objetivo básico deste trabalho é a utilização dos programas LEOPARD e CITATION no cálculo neutrônico do reator PWR Angra Unidade 1, com a finalidade de se desenvolver um sistema de cálculo neutrônico de núcleo de reatores tipo PWR adequado ao IPEN.

Inicialmente, este trabalho apresenta uma análise numérica de alguns parâmetros neutrônicos calculados pelo programa LEOPARD comparando-os, a seguir, com dados da literatura.

A seguir, é desenvolvido o programa LEOCIT que é uma versão modificada do programa LEOPARD com subrotinas que preparam bibliotecas de seções de choque em 1, 2 ou 4 grupos de energia, gravando-as em disco ou em fita, em formato próprio para serem diretamente utilizadas pelo programa CITATION.

Finalmente, é feita a simulação do primeiro ciclo de queima do reator Angra Unidade 1, através do programa CITATION, modelando-se 1/4 do núcleo em geometria XY, calculando-se a curva de boro solúvel, o consumo de combustível e a distribuição de potência pino a pino, em dois grupos de energia.

Os resultados mais relevantes são comparados com valores fornecidos pela Westinghouse, CNEN e Furnas e são feitas algumas recomendações para o aprimoramento do sistema desenvolvido.

POWER DISTRIBUTION AND FUEL DEPLETION CALCULATION FOR A PWR,  
USING LEOPARD AND CITATION CODES

JOSÉ LUIZ BATISTA

ABSTRACT

By modifying LEOPARD a new program, LEOCIT, has been developed in which additional subroutines prepare cross-section libraries in 1, 2 or 4 energy groups and subsequently record these on disc or tape in a format appropriate for direct input to the CITATION code.

Use of LEOCIT in conjunction with CITATION is demonstrated by simulating the first depletion cycle of Angra Unit 1. In these calculations two energy groups are used in 1/4, X-Y geometry to give the soluble boron curve, the fuel depletion and the point to point power distribution in Angra 1.

Finally relevant results obtained here are compared with those published by Westinghouse, CNEN and Furnas and recommendations are made to improve the system of neutronic calculation developed in this work.

## I N D I C E

	Página
1. INTRODUÇÃO	
1.1 Introdução e objetivos	1
2. CÓDIGOS UTILIZADOS	
2.1 Introdução	3
2.1.1 Códigos de processamento de seções de choque	
2.1.2 Códigos para geração de constantes de multi-grupo	
2.1.3 Códigos para cálculos estáticos	
2.1.4 Códigos dependentes do tempo	
2.2 Sistema de cálculo físico	5
2.3 Programa LEOPARD	8
2.4 Avaliação do programa LEOPARD	11
2.5 Programa CITATION	13
3. PROGRAMA LEOCIT	
3.1 Descrição	14
3.2 Modificações implementadas	17
3.3 Entrada de dados	17
3.4 Avaliação do programa LEOCIT	18
4. CÁLCULO NEUTRÔNICO DO REATOR ANGRA 1	
4.1 Método de cálculo	22
4.2 Resultados e conclusões	27
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
5.1 Conclusões finais	38
5.2 Recomendações	38

	Página
APÊNDICE I. DESCRIÇÃO DO PWR UNIDADE 1 DE ANGRA DOS REIS	40
APÊNDICE II. PARÂMETROS DE PROJETO PARA O REATOR UNIDADE I DE ANGRA DOS REIS	
II. 1 Parâmetros dos projetos térmico e hidráulico	55
II. 2 Fluxo de refrigerante	55
II. 3 Temperatura do refrigerante	56
II. 4 Transferência de calor	56
II. 5 Temperatura central do combustível	57
II. 6 Conjunto combustível	57
II. 7 Barras combustíveis	58
II. 8 Pastilhas de combustível	59
II. 9 Conjunto de grupos de barras de controle	59
II.10 Barras de veneno queimável	60
II.11 Características estruturais	61
II.12 Composição e espessura do refletor	62
APÊNDICE III. CÁLCULOS CELULARES	
III.1 Simbologia	63
III.2 Cálculos celulares para a região moderadora das células combustíveis	65
III.3 Cálculos celulares para as regiões moderadoras das células de veneno queimável, células fonte e células vazias	67
III.4 Cálculos celulares para a região moderadora das células de controle	69
III.5 Cálculos celulares para a região moderadora das células de instrumentação	71
III.6 Cálculo das concentrações na região central da célula de veneno queimável	73
III.7 Cálculo aproximado do "buckling geométrico"	74



	Página
APÊNDICE IV. CALCULOS DO REATOR	
VI.1 Simbologia	75
VI.2 Esquema para o cálculo da concentração de Boro crítico através dos dados obtidos pelo programa CITATION	76
VI.3 Relação entre queima acumulada e intervalo de queima	77
VI.4 Esquema para o cálculo da quantidade inicial de $UO_2$ presente no início da vida do reator	77
APÊNDICE V. DADOS DE ENTRADA PARA OS PROGRAMAS LEOCIT E CITATION	
V.1 Dados de entrada no cálculo de seções de choque para o programa LEOCIT	78
V.2 Dados de entrada no cálculo de concentrações celulares para o programa LEOCIT	81
V.3 Dados de entrada do reator PWR Unidade 1 de Angra dos Reis para o programa CITATION	84
APÊNDICE VI. PROGRAMA PARA NORMALIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA	
VI.1 Descrição	95
VI.2 Programa utilizado no cálculo das distribuições normalizadas de potência a partir dos dados em arquivo fornecidos pelo programa CITATION	96
APÊNDICE VII. MODIFICAÇÕES IMPLEMENTADAS NO PROGRAMA LEOPARD	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

LISTA DAS FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
2.1.	Diagrama de blocos representando um sistema típico de cálculo, neutrônico e termohidráulico de reatores.	6
2.2.	Célula U235/U02.	12
3.1.	Cadeia de Tório utilizada pelo LEOCIT.	14
3.2.	Cadeia do Urânio utilizada pelo LEOCIT.	15
3.3.	Cadeias para os produtos de fissão considerados pelo LEOCIT.	15
3.4.	Célula U235/U02.	19
4.1.	Modelo de 1/4 do núcleo do reator Angra Unidade 1, em geometria X-Y, usado pelo programa CITATION.	23
4.2.	Concentração de Boro solúvel durante o 1º ciclo.	31
4.3.	Distribuição de potência normalizada; início de vida do reator, sem barras de controle, plena potência, sem xenônio, 0,0 MWD/MT.	32
4.4.	Distribuição de potência normalizada perto do início de vida do reator; sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 200,0 MWD/MT.	33
4.5.	Distribuição de potência normalizada perto do fim do 1º ciclo do reator; sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 12200,0 MWD/MT.	34
4.6.	Desvios (%) entre as distribuições de potência normalizadas calculada e a fornecida pela Westinghouse para o conjunto combustível F-8, perto do início de vida do reator, sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 200,0 MWD/MT.	35

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
4.7.	Desvios (%) entre as distribuições de potência normalizadas calculada e a fornecida pela Westinghouse para o conjunto combustível F-8, perto do fim do 1º ciclo do reator, sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 12200,00 MWd/MT.	36
1.1.	Diagrama básico de uma central nuclear tipo PWR.	40
1.2.	Esquema do vaso de pressão de um PWR.	41
1.3.	Esquema do núcleo do reator Angra 1.	42
1.4.	Esquema do conjunto combustível de um PWR.	43
1.5.	Arranjo do combustível no caroço de Angra 1.	45
1.6.	Esquema de uma barra combustível.	46
1.7.	Localização dos bancos das barras de controle no caroço de Angra 1.	48
1.8.	Localização das barras de veneno queimável no caroço de Angra 1.	49
1.9.	Localização das barras de veneno queimável nos conjuntos combustíveis de Angra 1.	50
1.10.	Localização das fontes no caroço de Angra 1.	51
1.11.	Localização das fontes nos conjuntos combustíveis de Angra 1.	52
1.12.	Localização da instrumentação nos conjuntos combustíveis de Angra 1.	54
III.1.	Células combustíveis.	65
III.2.	Célula de veneno queimável, célula forte e célula vazia.	67
III.3.	Célula de controle.	69
III.4.	Célula de instrumentação.	71
III.5.	Célula de veneno queimável.	73

LISTA DAS TABELAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
2.1.	Características e resultados calculados para células U235/U02.	12
3.1.	Rendimentos por fissão e constantes de decaimento utilizados pelo LEOCIT.	16
3.2.	Avaliação do programa LEOCIT através dos programas LEOPARDE e CITATION.	20
4.1.	Tipos de células modeladas.	24
4.2.	Concentrações isotópicas utilizadas como dados de entrada para o programa CITATION.	25
4.3.	Quantidade de material combustível no reator versus queima do combustível.	37
III.1.	Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células combustíveis.	66
III.2.	Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de veneno queimável, células fonte e células vazias.	68
III.3.	Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de controle.	70
III.4.	Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de instrumentação.	72
III.5.	Dimensões da região central da célula de veneno queimável.	73

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Introdução e objetivos

O projeto neutrônico de um reator nuclear é um processo criativo, enormemente complexo e resultante da combinação de várias teorias, sendo numerosos e trabalhosos os cálculos necessários na determinação, otimização e quantificação de certos parâmetros de projeto e de operação do reator, que devem obedecer a certas restrições pré-estabelecidas quanto ao desempenho, segurança, economia e confiabilidade do sistema.

Em muitos países, para uma efetiva operação da Central Nuclear dentro das normas e padrões vigentes, empresas de consultoria contratadas pela companhia de eletricidade responsável pela operação da Central recalculam muitos desses parâmetros de projeto, para uma confrontação dos mesmos com os valores respectivos obtidos pelo projeto do fabricante.

No Brasil, com a entrada em operação da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (Angra Unidade 1), projetada e fabricada pela Westinghouse Electric Corporation, este trabalho vem sendo desenvolvido pela própria companhia de eletricidade responsável pela operação da central (Furnas Centrais Elétricas S.A) e, também, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear que é o órgão licenciador e fiscalizador.

Em 1980, a Área de Física de Reatores (AFR) do Centro de Engenharia Nuclear (CEN) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) iniciou o desenvolvimento de um sistema de cálculo neutrônico a partir de programas de computação disponí-

veis no IPEN. Dentro dessa filosofia, tomou-se por objetivo básico deste trabalho o cálculo de combustível e distribuição de potência para um reator do tipo Pressurized Water Reactor (PWR), tendo sido adotado como modelo o reator nuclear de Angra Unidade 1, devido à grande facilidade na obtenção de dados e na comparação de parâmetros.

Para que o objetivo estabelecido fosse alcançado, verificou-se a necessidade de se efetuar os seguintes trabalhos.

- Utilização do programa LEOPARD na análise de certos experimentos críticos e comparação de alguns parâmetros neutrônicos calculados pelo mesmo com dados da literatura verificando-se, assim, a validade das várias opções do programa e a teoria utilizada.

- Elaboração e utilização do programa LEOCIT usado na preparação de seções de choque provenientes do programa LEOPARD em formato próprio para serem diretamente utilizados pelo programa CITATION.

- Simulação do primeiro ciclo de queima de combustível do reator Angra Unidade 1 através dos programas LEOPARD, LEOCIT e CITATION para a obtenção de diversos parâmetros básicos tais como: distribuição espacial do fluxo de nêutrons e da densidade de potência, curva de concentração de boro natural dissolvido no refrigerante e consumo de combustível.

## 2. CÓDIGOS UTILIZADOS

### 2.1. Introdução

Os atuais projetos neutrônicos de reatores nucleares envolvem, e dependem de, vários modelos matemáticos generalizados das reações de fissão em cadeia aplicados ao cerne do reator. Códigos nucleares são programas de computador que representam estas simulações matemáticas do cerne do reator e são o resultado de vários anos de pesquisa e desenvolvimento em diversos centros de pesquisa nuclear.

Os códigos nucleares, devido à sua grande quantidade e variedade de características, são de difícil agrupamento, podendo, entretanto, ser classificados em função específica do aspecto neutrônico do reator:

- códigos de processamento de seções de choque,
- códigos para geração de constantes de multigrupo,
- códigos para cálculos estáticos, e
- códigos dependentes do tempo.

#### 2.1.1. Códigos de processamento de seções de choque

Um dos principais arquivos de dados nucleares utilizados atualmente para os códigos de processamento de seções de choque é o ENDF/B-IV, (Evaluated Nuclear Data File/B-IV)/10/, compilados com informações referentes às reações induzidas por nêutrons no intervalo de energia de  $10^{-5}$  eV a 20 MeV /25/. A manipulação destes dados pelos códigos de processamento é efetuada tal que os dados de interesse são selecionados, interpolados e preparados em forma conveniente como entrada de dados para os códigos

de geração de constantes de multigrupo. (Ex: AMPX /15/)

#### 2.1.2. Códigos para gerações de constantes de multigrupo

Os dados provenientes dos códigos de processamento de seções de choque convenientemente divididos em muitos grupos de energia, levam em conta os efeitos de heterogeneidade e são colapsados para poucos grupos de energia. Constantes básicas de interesse tais como, seções de choque, parâmetros de ressonância, coeficientes de difusão, fatores de vantagem e desvantagem, etc; servem como dados de entrada para os códigos de projeto de reatores. (Exs: LEOPARD/5/, HAMMER/23/).

#### 2.1.3. Códigos para cálculos estáticos

Estes códigos são utilizados na determinação da distribuição espacial do fluxo de nêutrons no cerne do reator para que seja possível uma avaliação da carga de combustível, distribuição de potência, distribuição de temperatura, reatividade em excesso, exigências de blindagens, de controle de reatividade, etc. Usualmente, estes códigos determinam o fator de multiplicação e distribuição do fluxo de nêutrons através da teoria de difusão que é suficientemente precisa para esses cálculos (Ex: CITATION/12/). Outros códigos mais precisos utilizam a teoria de transporte (Ex: ANISN/4/, DOT/21/).

#### 2.1.4. Códigos dependentes do tempo

Os códigos dependentes do tempo tratam detalhadamente da dependência temporal do fator de multiplicação e da distribuição espacial do fluxo de nêutrons, representando os métodos disponí-



veis para estudar a economia do ciclo de combustível e prever o comportamento de transientes do sistema. Tais códigos podem ser subdivididos em dois tipos:

- códigos de cálculo de depleção, que acompanham a queima do combustível e determinam a distribuição do fluxo neutrônico durante toda a vida de operação do reator; e

- códigos que resolvem as equações cinéticas, onde as escalas de tempo envolvidas, milisegundos a minutos e horas, são muito diferentes das usadas pelos códigos de depleção, dias a anos. A análise das respostas a transientes do reator, sob todos os tipos de condições normais e de acidentes postulados, é de maior importância para o controle e segurança do reator.

## 2.2. Sistema de cálculo físico

O diagrama de blocos da Figura 2.1 sumaria o processo iterativo utilizado nos projetos neutrônicos e termohidráulico do cerne de um reator nuclear. Virtualmente, todas as técnicas analíticas atualmente em uso contêm os elementos mostrados nessa figura.

A geometria e as frações de volume (Bloco 1) são necessárias para cada cálculo e são, em geral, invariantes com o tempo. A biblioteca de seções de choque microscópicas em multigrupo e os parâmetros de ressonância (Bloco 2), invariantes com o tempo e com a composição do reator, são selecionados de um arquivo de dados básicos, tal como o ENDF/B, e preparados em uma forma disponível para posterior utilização.

O Bloco 3 representa os dados dos diferentes conjuntos combustíveis que compõem a carga do reator e os vários parâme-

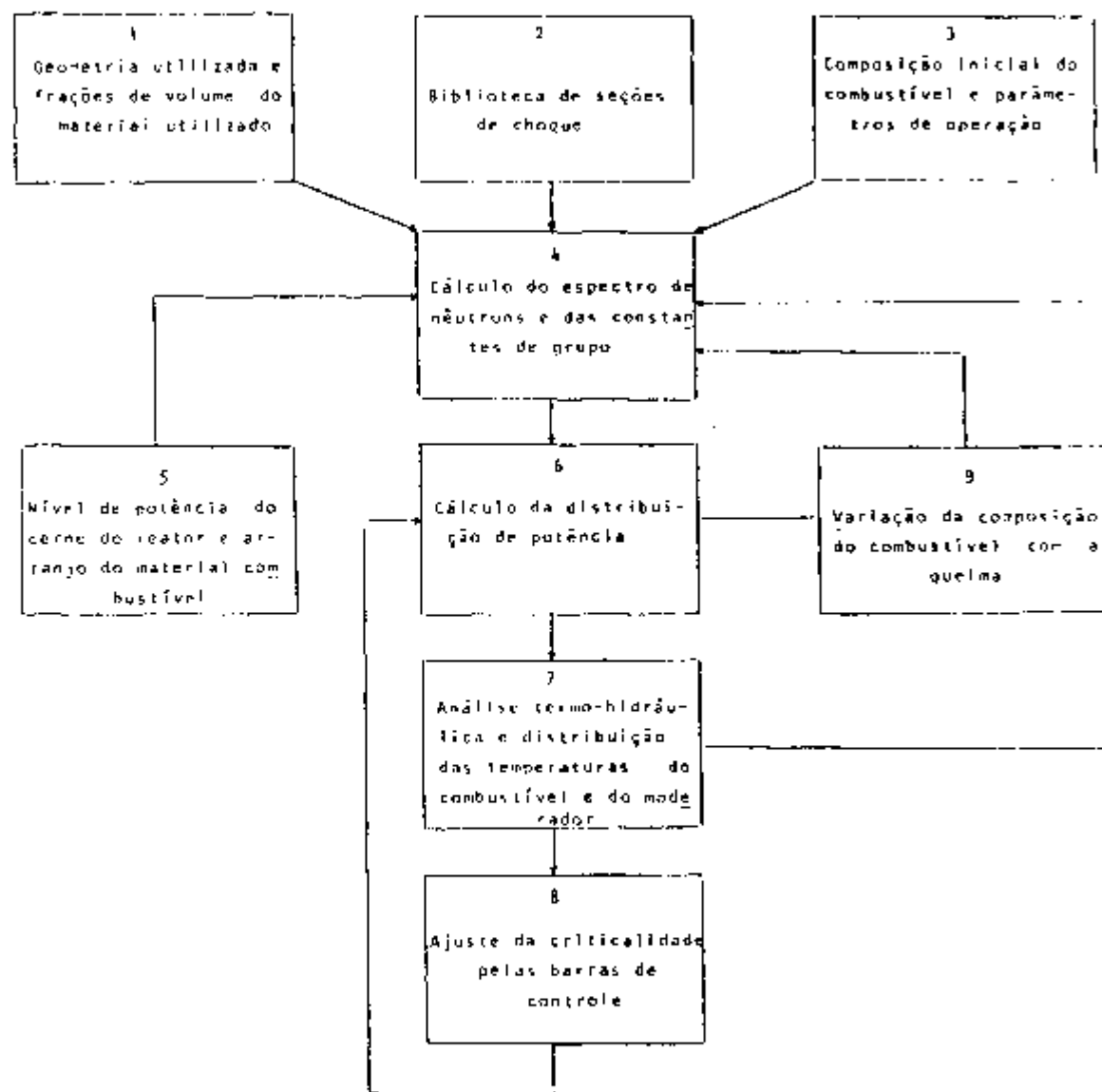


Figura 2.1 - Diagrama de blocos representando um sistema típico de cálculo neutrônico e térmico-hidráulico de reatores /14/.

tros de operação (temperatura do combustível, densidade do moderador, etc.).

O Bloco 4 representa o cálculo do espectro de nêutrons para um arranjo infinito de células iguais representando cada tipo específico de combustível carregado no reator. Este bloco inclui também a integração sobre todo o espectro de energia de nêutrons e, conseqüentemente, geração de constantes de grupo micro e macroscópicas apropriadas para o meio que se estuda.

A partir deste ponto, executa-se um processo iterativo consistindo dos Blocos 4, 5, 6, 7 e 8. Neste processo, determinam-se a distribuição da densidade de potência no caroço, o ajuste dos elementos de controle e as distribuições de temperatura no combustível e moderador, que são consistentes com um fator de multiplicação prefixado (usualmente 1,0) e com um particular de desempenho do combustível quanto ao nível de potência e arranjo do combustível no reator.

Uma vez determinada a distribuição de potência, executa-se o cálculo de depleção (ou queima). O Bloco 9 representa a depleção espacial não uniforme do material combustível sobre um intervalo finito de tempo baseada na distribuição de potência determinada no processo iterativo anterior; portanto, é assumida uma separabilidade em espaço e tempo do fluxo de nêutrons. O comprimento de cada passo de queima é criteriosamente escolhido tal que a distribuição de potência e a concentração atômica de cada isótopo não variem significativamente durante o intervalo de queima e tal que este não seja tão pequeno a ponto dos custos de computação se tornarem excessivos. A nova distribuição de composição forma, então, a base para o recálculo das constantes de gru

po necessárias para a próxima iteração. Este processo é contínuo até que o reator, mesmo com os elementos de controle totalmente removidos, não atinja mais o fator de multiplicação predeterminado.

### 2.3. Programa LEOPARD

O programa LEOPARD (Lifetime Evaluating Operations Pertinent to the Analysis of Reactor Design) /5/, desenvolvido pela Westinghouse Electric Corporation, por R.F. Barry, em 1963, determina os espectros térmico e rápido utilizando dados básicos de geometria, temperatura e composição; baseado no modelo modificado MUFT-SOFOCATE.

O LEOPARD é um programa que calcula o fator de multiplicação de nêutrons e seções de choque em 2 ou 4 grupos de energia para reatores moderados a água usando apenas características básicas de geometria e de temperatura da célula, podendo efetuar o cálculo de depleção adimensional, recalculando o espectro neutrônico antes de cada passo discreto de queima.

O programa LEOPARD baseia-se nos programas MUFT-IV/6/ e SOFOCATE /2/ ao calcular o fluxos de nêutrons não térmicos e térmicos, respectivamente.

MUFT-IV - Utiliza a equação integral de transporte no cálculo do fluxo de nêutrons nos seus 54 grupos de energia baseado-se num modelo simples da distribuição espacial do fluxo expresso em termos do "buckling" de um cerne nu equivalente (aproximação  $B_1$ ) e tratando o espalhamento elástico através de um modelo de moderação contínua (modelo de Greuling-Goertzel) e espa-

thamento inelástico por meio de uma matriz de transferência de multigrupo. As seções de choque para os núclídeos pesados na região de ressonância são tratadas assumindo-se somente a moderação pelo hidrogênio sem a correção do efeito Doppler.

SOFOCATE - Determina as constantes térmicas baseado no modelo Proton Gas (Wigner-Wilkins) para descrever a termalização dos nêutrons. Este modelo produz o comportamento correto  $1/E$  do fluxo de nêutrons para altas energias devido a moderação dos mesmos e calcula os efeitos de absorção e depressão do fluxo nas ressonâncias térmicas.

Os conjuntos de seções de choque utilizados pela MUFT-IV e SOFOGATE possuem 54 e 172 grupos de energia, respectivamente. A energia térmica limite é de 0,625 eV e grupos de constantes são preparados para uso em códigos de difusão (como o CITATION por exemplo) em três, ou em um grupo epitérmico (10 MeV - 0,821 MeV; 821 KeV - 5,53 KeV e 5530 eV - 0,625 eV ou 10 MeV - 0,625 eV) e um grupo térmico (0,625 eV - 0 eV).

Como os programas MUFT e SOFOGATE executam cálculos para meios homogêneos, o programa LEOPARD corrige seus resultados para células heterogêneas. Em espectros térmicos fatores de desvantagem calculados para cada grupo térmico são utilizados com base no método integral proposto por Amouyal e Benoist /10/ (método ABH) modificado por Strawbridge /22/ para incluir os efeitos do encamisamento. No espectro rápido, fatores de vantagem são calculados para os primeiros dez grupos, com base no método de geração sucessivas /22/.

Para as energias de ressonância, o fator de autoblinda

gem (fator L) é calculado somente para o nuclídeo fértil mais abundante (U-238 ou Th-232) presente no combustível, já que as concentrações para os outros nuclídeos pesados são assumidas baixas o bastante possibilitando assim o negligenciamento de seus fatores de autoblindagem.

O fator L para o U-238 (ou Th-232) é encontrado por um processo iterativo através de um parâmetro  $\omega$ , que é definido como a taxa de nêutrons não térmicos capturados no U-238 (ou Th-232) para aqueles termalizados. O processo de cálculo do fator L pode ser dividido em duas etapas:

- Na primeira etapa,  $\omega$  é calculado em um programa MUFT especial que é executado com fuga zero e captura zero para todos os nuclídeos, exceto para o U-238 (ou Th-232). Este  $\omega$  é então comparado com outro  $\omega$  obtido, para a célula unitária em questão, através de uma correlação experimental da integral de ressonância (correlação metal-óxido) do U-238 (ou do Th-232).

- O fator L (que multiplica a integral de ressonância) para cada ressonância do U-238 (ou Th-232) é variado até que  $\omega$  do MUFT iguale-se ao  $\omega$  da correlação. Nós devemos mencionar aqui que, quando o valor de  $\omega$  não converge, o programa LEOPARD usa um fator L para o U-238 (ou Th-232) baseado na informação não publicada de "Zernick" /9/.

As equações de queima são resolvidas para as cadeias dos nuclídeos Th-232 e U-238 e para os produtos de fissão, Pm - 149, Sm - 149, I-135, Xe-135 e para um pseudo elemento que representa todos os outros produtos de fissão. Para cada passo de tempo, a taxa total de nêutrons absorvidos é assumida constante.

A seção de choque de absorção para os produtos de fissão é representada como uma função da queima do combustível e é assumida ser zero de 5,53 KeV até 10 MeV, constante de 0,625 eV até 5530 eV e variando com  $1/V$  de 0 até 0,625 eV. O programa LEOPARD permite o uso de um fator de escala para ajustar estas seções de choque para cada tipo de combustível. Este fator é aproximadamente 0,84 para combustíveis típicos de PWR /9/ e cerca de 50% maior para combustíveis de plutônio /9/.

O programa LEOPARD também permite a inclusão de uma região extra, nos cálculos de supercélula, que representa guias de barras de controle, componentes de materiais estruturais e água localizada entre os conjuntos combustíveis.

#### 2.4. Avaliação do programa LEOPARD

Devido à versão do programa LEOPARD disponível no IPEN possuir dados de seções de choque baseados na biblioteca ENDF/B-II, compararam-se os fatores efetivos de multiplicação (k-efetivo) obtidos com o uso dos programas LEOPARD e EPRILEOPARD /9/, no cálculo de várias células. Essa última versão do programa LEOPARD dispõe de seções de choque baseadas na biblioteca ENDF/B-IV que é mais atualizada que a ENDF/B-II.

As características das várias células calculadas e os valores de k-efetivo obtidos através do programa LEOPARD são dados na Figura 2.2 e Tabela 2.1. Nota-se que a concordância entre os valores correspondentes de k efetivo obtidos através desses programas envolve erros da ordem de 2% que se devem às diferenças, assinaladas acima, entre as bibliotecas de seções de choque dos dois programas.

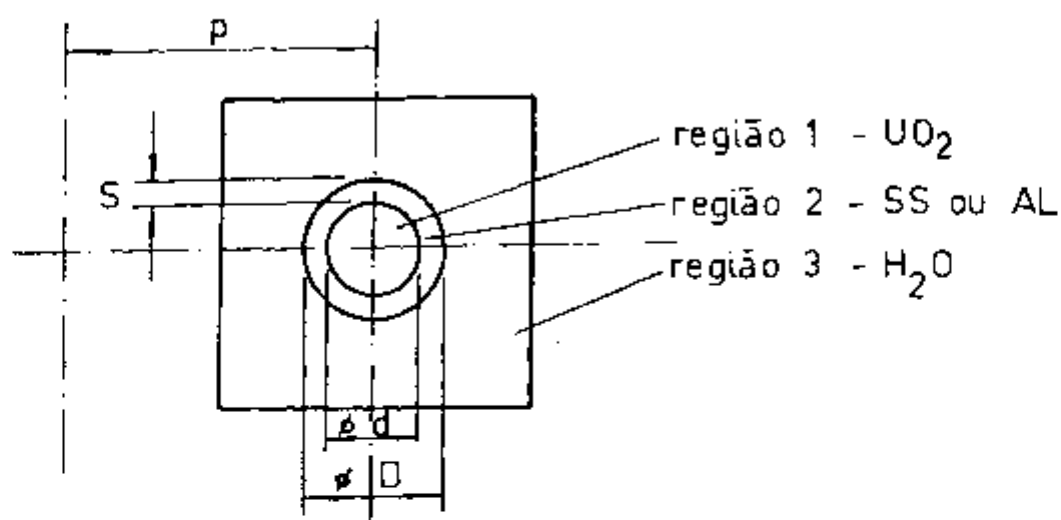


Figura 2.2 - Célula  $U235/UO_2$

2.1 - características e resultados calculados para células de  $U235/UO_2$ .

REFERÊNCIA	RELAÇÃO (*) COMBUSTÍVEL/ MODERADOR	ENRIQUECIMENTO U-235 EM U (wt%)	DENSIDADE DO COMBUSTÍVEL (g/cm <sup>3</sup> )	DIÂMETRO d DA PASTILHA (cm)	DIÂMETRO EX TERNO D DO ENCAMISAMEN TO (cm)	ESPESSURA S DO ENCAMISA MENTO (cm)	MATERIAL DO ENCAMISA MENTO	PITCH OU ESPAÇAMEN TO p DA REDE (cm)	BUCKLING CRÍTICO (m <sup>-2</sup> )	k EFETIVO EPRI/LEOPARD	k EFETIVO LEOPARD
7	0,59	3,0424	10,17	0,935	1,057	0,0495	SS	1,4318	74,27 + 0,29	1,0028	0,9782
7	0,73	3,0424	10,17	0,935	1,058	0,0480	AL	1,3490	91,82 + 0,80	1,0003	0,9842
7	0,78	3,0424	10,17	0,935	1,057	0,0495	SS	1,3256	61,99 + 0,39	1,0025	0,9794
7	1,04	3,0424	10,17	0,935	1,058	0,0480	AL	1,2400	70,76 + 0,71	1,0005	0,9828
24	0,28	3,0424	10,17	1,126	1,270	0,072	SS	2,196	69	0,9855	0,9737



## 2.5. Programa CITATION

O programa CITATION /12/ foi desenvolvido em Oak Ridge National Laboratory por T.B. Fowler, D.R.Vondy e G.W.Cunningham, em 1969, sofrendo uma segunda revisão, em julho de 1971, com acréscimo dos suplementos 1, em outubro de 1971, 2, em março de 1972 e 3, em julho de 1972, pelos mesmos autores.

O CITATION foi projetado para resolver problemas envolvendo a equação de difusão de nêutrons em multigrupo sob a representação de diferenças finitas tratando problemas em até três dimensões com espalhamento de grupo para grupo para as seguintes geometrias: X-Y-Z,  $\theta$ -R-Z, Hexagonal-Z e Trigonal-Z.

O método de solução empregado pelo código é o de aproximações de diferenças finitas em espaço. Problemas de autovalor do fluxo de nêutron são resolvidos por iteração direta para determinar o fator de multiplicação ou densidades de núclídeos para um sistema crítico /18/.

São permitidos o espalhamento de nêutrons de qualquer grupo para qualquer outro grupo e três condições externas de contorno: refletida, extrapolada e periódica. A condição de contorno logarítmica pode também ser especificada /12/.

Além disso, o programa CITATION pode efetuar cálculos de seções de choque macroscópicas e de taxas de reação, podendo utilizar dados de seções de choque microscópicas em arquivo na resolução de problemas de depleção, com ou sem tratamento de recarregamento para análises de multiciclo. A saída do CITATION oferece várias opções incluindo a impressão tanto do fluxo de nêutrons como da densidade de potência para cada ponto espacial e grupo de energia.

### 3. PROGRAMA LEOCIT

#### 3.1. Descrição

O programa LEOCIT foi por nós desenvolvido como parte integrante deste trabalho. Trata-se de uma versão modificada do programa LEOPARD, com subrotinas que preparam bibliotecas de seções de choque em 1, 2 ou 4 grupos de energia, gravando-as em disco ou em fita, em formato próprio para serem diretamente utilizadas pelo programa CITATION. Essas bibliotecas podem também ser gravadas para cada etapa de queima do combustível.

As cadeias de depleção utilizadas pelo CITATION, Figuras 3.1, 3.2 e 3.3, são montadas diretamente pelo programa LEOCIT, obtendo-se assim a vantagem de utilização das próprias cadeias padrões de nuclídeos existentes no programa CITATION.

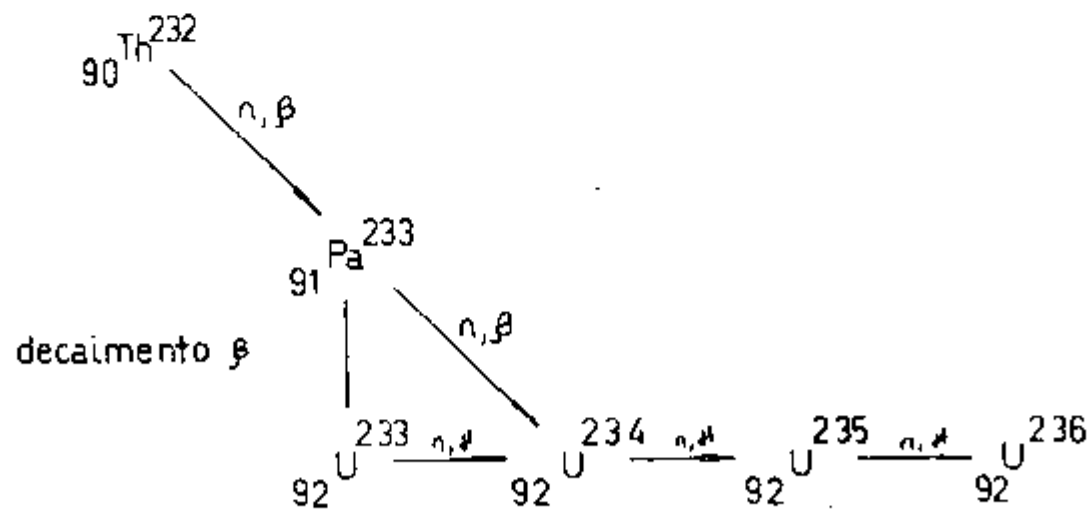


Figura 3.1 - Cadeia do Tório utilizada pelo LEOCIT

Apenas quatro nuclídeos de fissão são tratados explicitamente : Pm-149, Sm-149, I-135 e Xe-135. Todos os outros são

agrupados em um pseudo-elemento o qual é assumido ser produzido na base de um por fissão.

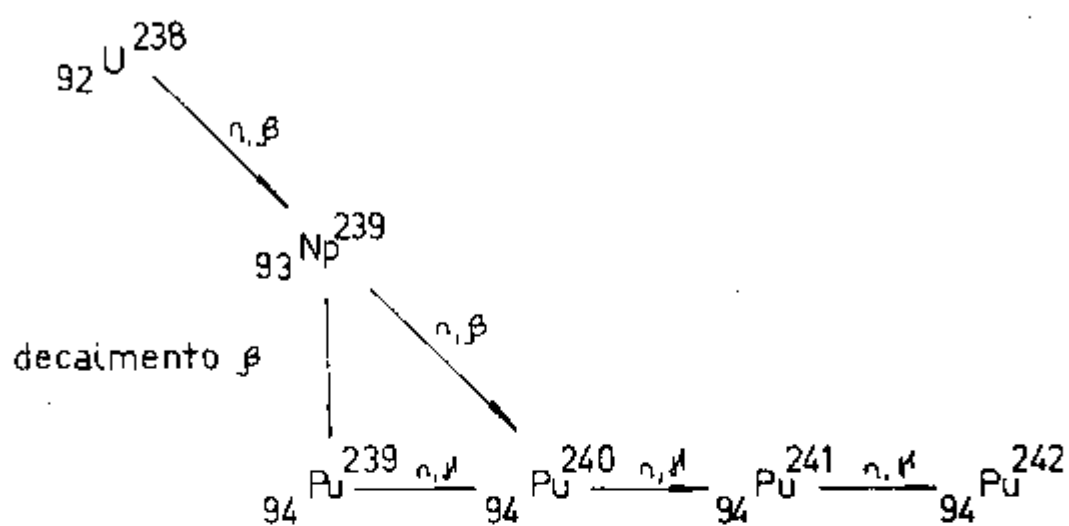


Figura 3.2 - Cadeia de Urânio utilizada pelo LEOCIT

As constantes de decaimento e os rendimentos por fissão utilizados pelo LEOCIT estão na Tabela 3.1.

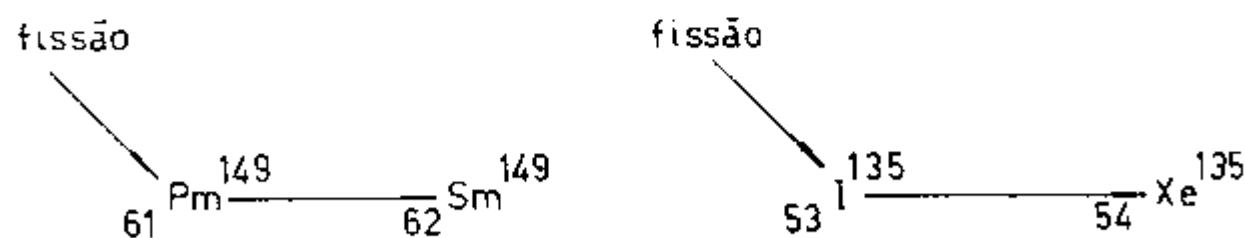


Figura 3.3 - Cadeias para os produtos de fissão considerados pelo LEOCIT

Para o caso em que seções de choque para o CITATION sejam produzidas, é aconselhável incluir-se traços de todos os membros de uma cadeia, sendo que qualquer omissão neste sentido fará com que a concentração de um elemento aumente irrealisticamente.

Tabela 3.1 - Rendimentos por fissão e constantes de decaimento utilizados pelo LEOCIT.

ELEMENTO	RENDIMENTOS POR FISSÃO				Produto de Fissão	constante de decaimento $\text{seg}^{-1}$
	I-135	Xe-135	Pm-149	Sm-149		
Th-232	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	0
Pa-233	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	$0,297 \times 10^{-6}$
U-233	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	0
U-234	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	0
U-235	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	0
U-236	0,062	0,002	0,0113	0	1,0	0
U-238	0,062	0,002	0,02	0	1,0	0
Pu-239	0,070	0,002	0,189	0	1,0	0
Pu-240	0,070	0,002	0,189	0	1,0	0
Pu-241	0,063	0,002	0,02	0	1,0	$0,17 \times 10^{-8}$
Pu-242	0,063	0,002	0,02	0	1,0	0
Np-239						$0,341 \times 10^{-5}$
I-135						$0,288 \times 10^{-4}$
Xe-135						$0,211 \times 10^{-4}$
Pm-149						$0,385 \times 10^{-5}$
Sm-149						0

mente, já que a sua destruição não é levada em conta. Além disso, o programa ainda oferece a opção de criação de bibliotecas de seções de choque para dois tipos distintos de boro, queimável e não queimável.

### 3.2. Modificações implementadas

O programa LEOCIT é uma extensão do programa LEOPARD, com modificações na subrotina de saída (OUTPUT) e com a inclusão das seguintes subrotinas:

CICOP4 - Prepara seções de choque para o programa CITATION em 4 grupos de energia.

FISPR4 - Monta as cadeias de depleção para a subrotina CICOP4.

CICOP2 - Prepara seções de choque para o CITATION em 2 grupos de energia.

FISPR2 - Monta as cadeias de depleção para a subrotina CICOP2.

CICOP1 - Colapsa seções de choque de dois grupos de energia para 1 grupo e prepara as mesmas para o CITATION.

FISPR1 - Monta as cadeias de depleção para a subrotina CICOP1.

As subrotinas mencionadas acima encontram-se no apêndice VII.

### 3.3. Entrada de dados

O formato da entrada de dados para o programa LEOCIT é basicamente o mesmo que para o programa LEOPARD, com ligeiras complementações apenas no cartão de entrada número 2.

#### Cartão 2

coluna 63 - Opção do número de grupos de energia:

1 - Prepara seções de choque para o CITATION em um grupo de energia.

2 - Prepara seções de choque para o CITATION em dois grupos de energia.

4 - Prepara seções de choque para o CITATION em quatro grupos de energia.

outro valor - Não prepara seções de choque para o CITATION.

coluna 66 - Opção para escrever todos elementos:

1 - Prepara seções de choque de todos os elementos do programa LEOPARD para o CITATION, independentemente dos mesmos estarem ou não presentes na célula.

outro valor - Prepara seções de choque para o CITATION somente para os elementos presentes na célula.

coluna 69 - Opção para boro queimável:

1 - Prepara seções de choque para boro queimável.

outro valor - Não prepara seções de choque para boro queimável.

coluna 72 - Final de dados:

1 - Final de entrada de dados para o CITATION.

outro valor - Mais dados serão preparados.

Obs.: A última célula deve conter a opção 1 na coluna 72, necessitando-se que a mesma também tenha a opção 0 na coluna 42 (no lifetime steps).

Os cartões de arquivo usados são os mesmos utilizados para o programa LEOPARD, com a seguinte inclusão:

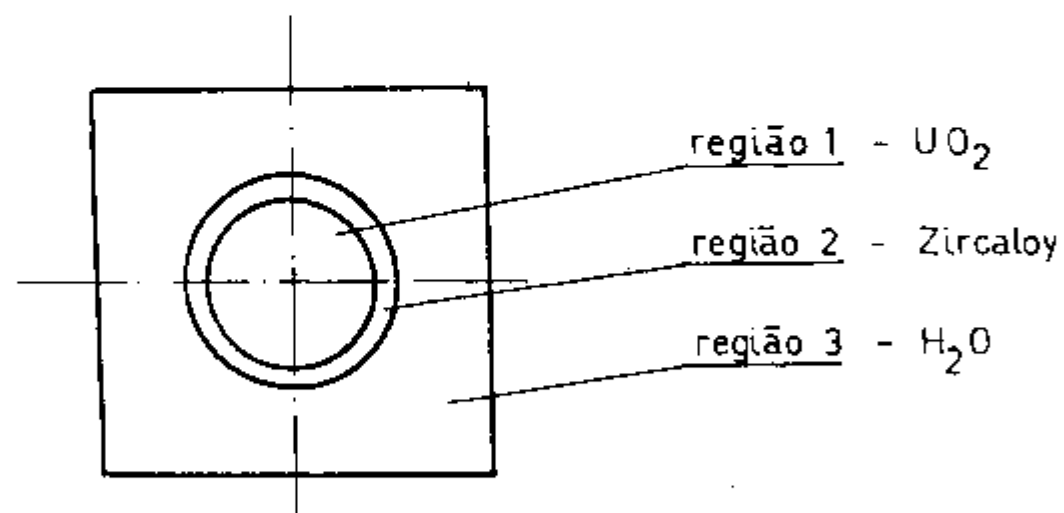
FT08F001 - Arquivo para receber as seções de choque no formato apropriado para o programa CITATION.

#### 3.4. Avaliação do programa LEOCIT

Os cálculos de queima de combustível requerem o uso de seções de choque que variem com a queima do combustível por cau

sa dos isótopos que são produzidos durante a mesma.

Levando-se este fato em consideração e a fim de se avaliar o programa LEOCIT, dados de seções de choque, macroscópicas e microscópicas, em 1, 2 e 4 grupos de energia, de todos os núclídeos presentes numa célula combustível de Angra I, conforme a Figura 3.4, foram calculados pelo programa LEOCIT para 10 passos de queima do combustível, calculando o consumo e a produção de núclídeos, fatores de multiplicação  $k_w$  e  $k_{eff}$ , além de outros parâmetros e produzindo 3 arquivos, cada um com 10 conjuntos de seções de choque, gravados em disco magnético.



Enriquecimento - 2,1%  
Buckling geométrico -  $0,0004588 \text{ cm}^{-2}$   
Pitch - 1,2319  
 $\varnothing$  externo da pastilha combustível - 0,81915 cm  
 $\varnothing$  interno do encamisamento - 0,83566 cm  
 $\varnothing$  externo do encamisamento - 0,94996 cm

Figura 3.4 - Célula  $U235/UO_2$

Tabela 3.2 - Avaliação do programa LEOCIT através dos programas LEOPARD e CITATION

DIAS	k <sub>o</sub>	LEOCIT	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4		CASO 5		CASO 6			
			1 grupo de energia		2 grupos de energia		4 grupos de energia		1 grupo de energia		2 grupos de energia		4 grupos de energia			
			k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %	k <sub>m</sub>	erro %
01	0	0	1,20588		1,2026170	0,271	1,2069931	0,092	1,2058487	0,003	1,2026110	0,271	1,2069931	0,092	1,2058487	0,003
02	5,7585	200	1,16338		1,1669979	0,317	1,1603013	0,258	1,1591654	0,362	1,15779210	0,489	1,1621317	0,021	1,1621513	0,106
03	28,7924	1000	1,15082		1,1664219	1,36	1,1503534	0,040	1,1490602	0,153	1,1458063	0,435	1,1509762	0,014	1,1499534	0,074
04	57,5849	2000	1,13904		1,1642075	2,209	1,1396236	0,051	1,1381807	0,075	1,1356316	0,299	1,1400957	0,093	1,1390305	0,071
05	86,3773	3000	1,12526		1,1576576	2,879	1,1268663	0,143	1,1252756	0,001	1,1231261	0,184	1,1270323	0,157	1,1259232	0,094
05	115,1697	4000	1,11177		1,1484680	3,371	1,1132621	0,134	1,1115494	0,079	1,1108465	0,083	1,1141577	0,215	1,1130247	0,113
07	143,9622	5000	1,09812		1,1376495	3,610	1,0994148	0,118	1,0976105	0,046	1,0981674	0,004	1,1010027	0,262	1,0996021	0,111
08	172,7546	6000	1,08531		1,1258680	3,672	1,0857105	0,037	1,0838480	0,135	1,0862494	0,087	1,0886650	0,309	1,0875368	0,273
09	201,5470	7000	1,07313		1,1135721	3,749	1,0739770	0,068	1,0705128	0,244	1,0748844	0,163	1,0769277	0,354	1,0758238	0,251
10	230,3395	8000	1,06165		1,1010670	3,713	1,0596209	0,191	1,0577507	0,367	1,0661499	0,235	1,0658484	0,395	1,0647870	0,235
Erro médio %					2,501		0,113		0,144		0,224		0,191		0,127	
Tempo de execução (c.p.u.)					1' 5,84"		1' 4,11"		1' 8,20"		1' 15,06"		1' 11,68"		1' 18,87"	



Posteriormente, utilizando esses conjuntos gravados de seções de choque, o programa CITATION calculou os fatores de multiplicação (infinito) em função da queima para os seguintes casos:

Caso 1 - em um grupo de energia, utilizando apenas o conjunto inicial de seções de choque para todos os passos de queima;

Caso 2 - em dois grupos de energia, utilizando apenas o conjunto inicial de seções de choque para todos os passos de queima;

Caso 3 - em quatro grupos de energia, utilizando apenas o conjunto inicial de seções de choque para todos os passos de queima;

Caso 4 - em um grupo de energia, utilizando todos os conjuntos de seções de choque de acordo com a queima;

Caso 5 - em dois grupos de energia, utilizando todos os conjuntos de seções de choque variando de acordo com a queima; e

Caso 6 - em quatro grupos de energia, utilizando todos os conjuntos de seções variando de acordo com a queima.

A Tabela 3.2, mostra e compara os valores de  $k_{\infty}$  obtidos pelo programa CITATION nos seis casos aos obtidos pelo programa LEOCIT. Nota-se que, com exceção do "Caso 1", os erros obtidos em todos os dez passos de queima são inferiores à 0,5% sendo que, para esses casos, os erros médios são inferiores à 0,3%. Verifica-se também que, levando-se em consideração o tempo de execução, os "Casos 2 e 5" (dois grupos de energia), apresentam os melhores resultados.

#### 4. CÁLCULO NEUTRÔNICO DO REATOR ANGRA I

##### 4.1. Método de cálculo

Para efeito de cálculo pelo programa CITATION, o núcleo do reator Unidade I de Angra dos Reis foi modelado através dos dados mostrados nos Apêndices I e II em geometria plana XY (Figura 4.1). Apesar do grande espaço de memória requerido, calculou-se a distribuição de potência pino a pino, em dois grupos de energia.

Existem 17 tipos diferentes de células nesse problema, conforme pode ser visto na Tabela 4.1, cada uma representando uma determinada zona do reator. Utilizou-se o programa LEOCIT para a geração de seções de choque microscópicas e macroscópicas, em dois grupos de energia, para cada uma das 17 células. Essas seções de choque serviram como dados de entrada para o programa CITATION. Na geração das mesmas, foram feitas as duas seguintes considerações:

- as células de instrumentação, fonte e de controle foram consideradas preenchidas por água em suas regiões centrais; e

- a concentração de boro natural na água refrigerante foi fixada em 615 ppm que é o valor médio da curva fornecida pela Westinghouse, Figura 4.2.

A preparação, descrição e outras informações importantes referentes aos cálculos celulares estão detalhadas no Apêndice III. Os cartões de dados fornecidos ao programa LEOCIT na geração e gravação das seções de choque que foram utilizadas pelo programa CITATION são mostrados no Subapêndice V.1.

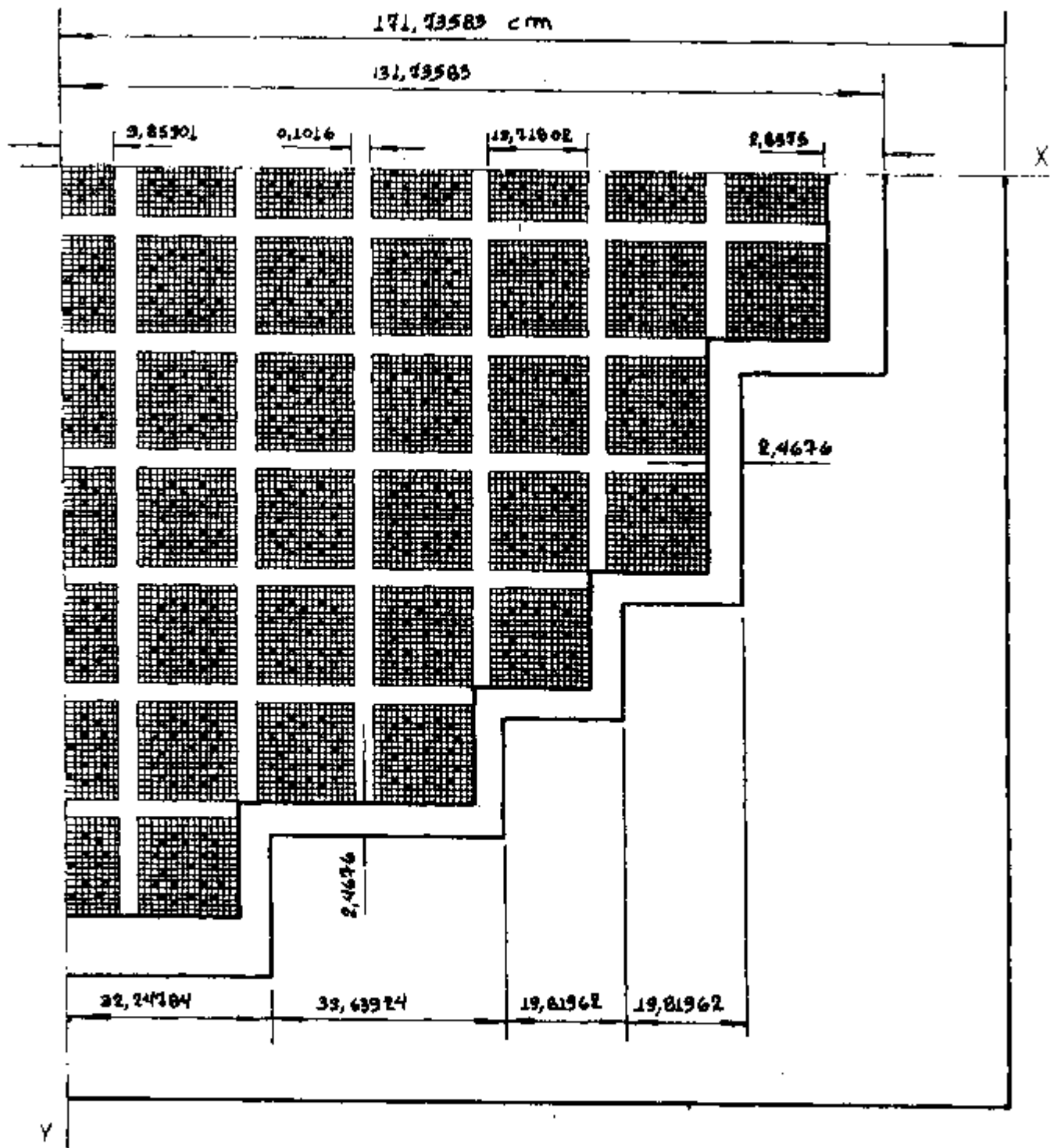


Figura 4.1 - Modelo de 1/4 do núcleo do reator Angra Unidade 1, em geometria X-Y, usado pelo programa CITATION.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

As concentrações isotópicas iniciais de cada célula são dadas na Tabela 4.2. Para a região celular constituída por água contendo boro natural, foi considerada a concentração de 1290 ppm de boro natural (valor inicial na curva fornecida pela Westinghouse, Fig. 4.2). Os dados utilizados pelo programa LEOCIT na obtenção dessas concentrações estão detalhados no Subapêndice V.2.

Obtivemos, através do programa CITATION, a distribuição de potência para o primeiro ciclo de queima (intervalo de tempo de recarga) do reator. Este ciclo foi dividido em 16 passos de

Tabela 4.1 - Tipos de células modeladas

ZONA	TIPO DE CÉLULA
1	Célula $UO_2$ - 2,1 /0
2	Célula $UO_2$ - 2,6 /0
3	Célula $UO_2$ - 3,1 /0
4	Célula veneno queimável
5	Célula instrumentação vazia
6	Célula instrumentação
7	Célula fonte
8	Região Interconjuntos combustíveis
9	Célula vazia
10	$H_2O$
11	Célula controle banco A
12	Célula controle banco B
13	Célula controle banco C
14	Célula controle banco D
15	Célula controle banco S1
16	Célula controle banco S2
17	Baffle (Chicana)

Tabela 4.2 - Concentrações (\*) isotópicas utilizadas como dados de dados de entrada para o programa CITATION.

ZONA	1	2	3	4	5 e 6	7, 9, 11, 12, 13 14, 15 e 16	8 e 10	17
CÉLULA	UO <sub>2</sub> 2.1 W/O	VO <sub>2</sub> 2.6 W/O	UO <sub>2</sub> 3.1 W/O	VENENO QUEIMVEL	INSTRUMENTO TAÇAO	VAZIA	H <sub>2</sub> O	CHICAMA (BAFELE)
ELEMENTO								
HI-DROGENIO (1)	0.0252651	0.0252651	0.0252651	0.0709045	0.0422633	0.0423077	0.0475059	-
OXIGENIO (23)	0.0284726	0.0284726	0.0284726	0.0122121	0.0211316	0.0211938	0.0237530	-
ZIRCONIO (44)	0.0451425	0.0451425	0.0451425	0.00457210	0.0045802	0.00446731	-	-
FERR0 (33)	0.000864792	0.000864792	0.000864792	0.00578364	0.000840341	0.000800341	-	0.0595045
NIQUEL (35)	0.00188613	0.00188613	0.00188613	0.000976496	0.00183307	0.00183307	-	0.000823921
COBRO (31)	0.000802597	0.000802597	0.000802597	0.00165762	0.00080102	0.00080102	-	0.0164784
URANIO 235 (10)	0.00168398	0.00208480	0.00248556	-	-	-	-	-
URANIO 238 (12)	0.00775165	0.00771156	0.00767148	-	-	-	-	-
PLUTONIO (32)	-	-	-	0.000166087	-	-	-	0.00133457
BORO-10 SOLUVEL (78)	0.00000517369	0.00000517369	0.00000517369	0.0000044623	0.00000898919	0.00000901555	0.00000101042	-
BORO-10 QUEIMAVEL (83)	-	-	-	0.000232039	-	-	-	-

\* - unidade de concentração = átomos/gramo x cm

\*\* - Número do elemento no programa CITATION

queima sendo que, no início de cada passo, a concentração de Boro-10 é ajustada de tal modo que o valor do fator de multiplicação efetivo de nêutrons  $K_{ef}$  do reator, seja unitário. Durante o intervalo de tempo correspondente a cada passo, o combustível está sendo queimado, mas o cálculo supõe que a concentração de Boro-10 não se altera; conseqüentemente, ao final do passo, o  $K_{ef}$  calculado cai abaixo da unidade. No início do passo seguinte, a concentração de Boro-10 é reduzida para que o  $K_{ef}$  volte a ser igual a 1,0. Evidentemente, esse processo de reajuste é contínuo e automático no reator real, ao passo que, os métodos discretos de cálculo supõem correções a intervalos finitos de tempo /22/. Os intervalos de tempo adotados para os passos de queima foram os seguintes: 2,6 dias para os dois primeiros passos, já que o Xe-135 e o Sm-149 entram rapidamente em equilíbrio, o que requer uma diminuição brusca da concentração de Boro-10 para manter a criticalidade do reator; e 26 dias para os demais passos, que é um intervalo de tempo razoável com relação aos 370 dias de duração aproximada do primeiro ciclo de queima. Visto que a variação da concentração de Boro-10 com o tempo tem comportamento bastante linear, o intervalo de tempo do último passo é ajustado automaticamente pelo programa CITATION para que a concentração de Boro-10, ao final do mesmo, seja zero. Nesse momento, o  $K_{ef}$  do reator é exatamente igual a um (nesse modelo) e o reator necessita ser recarregado novamente para continuar funcionando.

Os dados utilizados na modelagem de 1/4 do núcleo do reator Angra 1, no programa CITATION, estão no Subapêndice V.3. Deve-se ressaltar que foi utilizada a opção de gravação em arquivo da densidade de potência para cada ponto espacial e elaborado um programa especial para a normalização desses dados (Apêndice VI).

#### 4.2. Resultados e conclusões

As Figuras 4.2 a 4.7 apresentam os resultados obtidos neste trabalho comparando-os aos dados fornecidos pela Westinghouse /13/.

A Figura 4.2 mostra, através da curva de boro natural, a reatividade do reator ao longo do primeiro ciclo. Verifica-se, através da mesma, que o valor calculado da concentração crítica de boro natural para o reator em seu início de vida é de 1356 ppm, enquanto a Westinghouse apresenta um valor de 1290 ppm. Cálculos realizados pelo Grupo de Análise do Núcleo (GAN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) na análise de segurança do reator Angra Unidade 1, apresentam um valor de 1364 ppm /1/.

As Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 mostram os resultados da distribuição normalizada da densidade de potência para os passos 0,0; 200 e 12200 MWD/MT, respectivamente, comparados aos dados fornecidos pela Westinghouse /13/. Nota-se que, com exceção ao conjunto combustível C-11, Figura 4.6 (desvio de 11%); os desvios máximos alcançados são menores que 9%. Cálculos realizados pela CNEN, apresentam desvios menores que 5% /1/ e cálculos realizados por Furnas Centrais Elétricas S.A., apresentam desvios menores que 2,6% /20/. Deve-se também ressaltar que a distribuição normalizada da densidade de potência fornecida pela Westinghouse (como pela CNEN) é considerada fisicamente simétrica em relação ao eixo  $Y=X$ , o que não é exatamente correto, conforme pode ser visto na Figura 4.1.

As Figuras 4.6 e 4.7 mostram os desvios entre a distribuição de potência normalizada fornecida pela Westinghouse e a calculada, para o conjunto combustível F-8, perto do início (200

MWD/MT) e perto do fim (12200 MWD/MT) do 1º ciclo do reator, respectivamente. Aqui deve-se ressaltar que as legendas das Figuras 4.3-12 e 4.3-13 do volume 4 do FSAR /13/ (que apresentam a distribuição de potência normalizada para o conjunto combustível F-8 especificamente, perto do início da vida, equilíbrio xenônio e perto do fim de vida do reator, equilíbrio xenônio, respectivamente) estão possivelmente trocadas. Isto pode ser verificado calculando-se o valor médio da distribuição de potência normalizada para cada figura e, comparando-se os mesmos aos valores corretos dados pelas Figuras 4.3-7 e 4.3-11 do FSAR /13/, que fornecem o valor médio da distribuição de potência normalizada para os conjuntos combustíveis, perto do início da vida do reator equilíbrio xenônio, respectivamente.

Verifica-se através das Figuras 4.6 e 4.7, utilizando-se dados da Westinghouse já corrigidos, conforme o parágrafo anterior, que os desvios máximos alcançados giram em torno de 5%.

A Tabela 4.3 inventaria a quantidade calculada de material combustível no reator, para cada passo de queima. Verifica-se, através da mesma, (ver Subapêndice IV.4) que a quantidade de  $UO_2$  no início da vida do reator é de 123659 libras, valor este que comparado ao dado pela Westinghouse através do FSAR /13/ de 124300 libras nos fornece um desvio da ordem de -0,5%.

Com o exposto acima, podemos dizer que os resultados obtidos são apenas satisfatórios, o que já era esperado, visto que foram feitas as seguintes aproximações:

- As seções de choque devem ser ajustadas após cada passo de queima, ou seja, após cada ajuste na concen



tração de Boro-10. Isso não foi possível pois o programa CITATION não permite mais que 48 trocas de conjuntos de seções de choque as quais são insuficientes para o presente cálculo. Por isso, foram utilizadas as seções de choque médias dos núclídeos correspondentes ao 9º passo de queima (6200,0 MWD/MT) quando a concentração de boro natural na água refrigerante é cerca de 615 ppm.

- Como o programa CITATION permite no máximo 100 regiões distintas, para que esse limite não fosse ultrapassado, o baffle (chicana) na sua parte interior, conforme pode ser visto na Figura 4.1, foi reduzido de 2,8575 cm para 2,4676 cm, pois enquanto os nossos cálculos distinguem o baffle e a água refletora, os cálculos executados pela CNEN homogeneizam os mesmos numa única região /19/.
- Queima do combustível e, portanto, ajuste da concentração de Boro-10, em passos finitos. Pode-se diminuir o intervalo de tempo dos passos para estudar o efeito sobre os resultados.
- Geometria do reator. O programa CITATION comporta a análise do reator em geometria X-Y-Z, ao invés da geometria X-Y somente, o que permitiria a obtenção de resultados mais precisos. Entretanto, essa opção é inviável devido aos grandes tempo de computação e memória requeridos.

A estimativa final da precisão dos resultados é difícil de ser feita por envolver muitas fontes de imprecisão. Portanto, os resultados finais podem estar falseados pelas incertezas envolvidas; entretanto, os erros nos resultados não invalidam as conclusões, pois o que tínhamos em vista eram apenas análises comparativas.

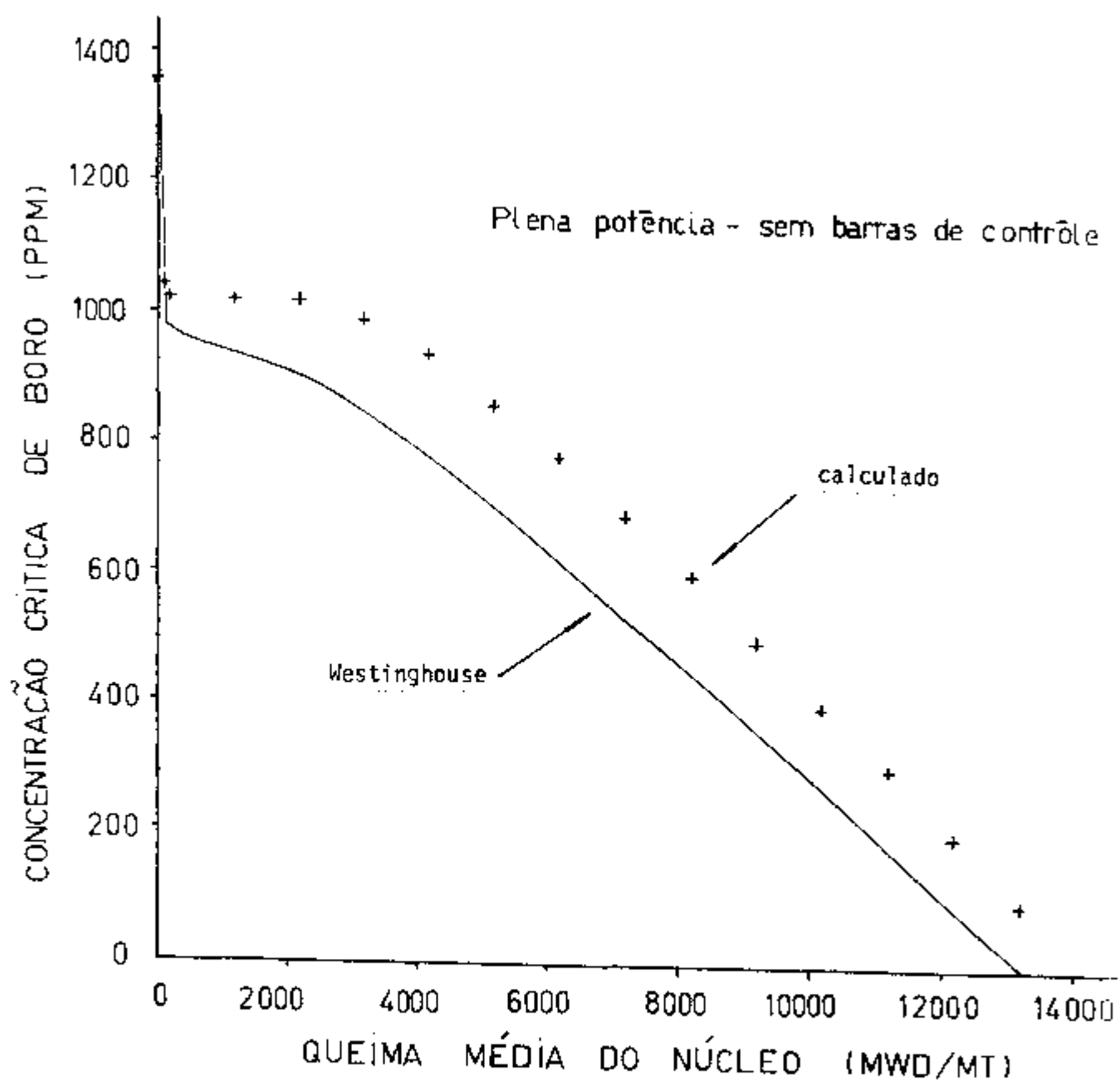


Figura 4.2 - Concentração de Boro Solúvel durante o 1º ciclo.

	G	F	E	D	C	B	A
7	1,101 1,062 -3,54	1,022 0,993 -2,84	1,100 1,084 -1,45	1,070 1,070 0,0	1,133 1,134 +0,09	1,072 1,080 +0,75	0,764 0,807 +5,63
8	1,022 0,998 -2,35	1,098 1,075 -2,09	1,059 1,053 -0,57	1,130 1,129 -0,09	1,117 1,128 +0,98	1,092 1,112 +1,83	0,622 0,672 +8,04
9	1,100 1,078 -2,00	1,059 1,043 -1,51	1,130 1,117 -1,15	1,133 1,133 0,0	1,092 1,097 +0,46	0,961 1,004 +4,47	
10	1,070 1,048 -2,06	1,130 1,100 -2,65	1,133 1,117 -1,41	1,107 1,098 0,81	1,055 1,077 +2,09	0,631 0,673 +6,66	
11	1,133 1,087 -4,06	1,117 1,077 -3,58	1,092 1,062 -2,75	1,055 1,060 +0,47	0,695 0,732 +5,32		
12	1,072 1,004 -6,34	1,092 1,031 -5,59	0,961 0,954 -0,73	0,631 0,653 +3,49			
13	0,764 0,734 -3,93	0,622 0,623 +0,16					

Westing. Calculado Desvio%
----------------------------------

Figura 4.3 - Distribuição de potência normalizada; início de vida do reator, sem barras de controle, plena potência, sem xenônio, 0,0 MWD/PT.

	G	F	E	D	C	B	A
7	1,144 1,133 -0,96	1,058 1,063 +0,47	1,125 1,138 +1,16	1,077 1,104 +2,51	1,133 1,126 -0,62	1,059 1,037 -2,08	0,753 0,750 -0,40
8	1,058 1,069 +1,04	1,131 1,140 +0,80	1,075 1,109 +3,16	1,140 1,153 +1,14	1,111 1,120 +0,81	1,077 1,058 -1,76	0,616 0,624 +1,30
9	1,125 1,136 +0,98	1,075 1,100 +2,33	1,144 1,152 +0,70	1,133 1,147 +1,24	1,087 1,074 -1,20	0,946 0,948 +0,21	
10	1,077 1,088 +1,02	1,140 1,129 -0,96	1,133 1,133 0,0	1,103 1,088 -1,36	1,038 1,040 +0,19	0,624 0,636 +1,92	
11	1,133 1,089 -3,88	1,111 1,078 -2,97	1,087 1,045 -3,86	1,038 1,027 -1,06	0,686 0,699 +1,90		
12	1,059 0,975 -7,93	1,077 0,991 -7,99	0,946 0,907 -4,12	0,624 0,620 -0,64			
13	0,753 0,690 -8,37	0,616 0,585 -5,03					

Westing. Calculado Desvio%
----------------------------------

Figura 4.4 - Distribuição de potência normalizada perto do início de vida do reator; sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 200,0 MWd/MT.

	G	F	E	D	C	B	A
7	1,145 1,101 -3,84	1,138 1,078 -5,27	1,162 1,132 -2,58	1,205 1,140 -5,39	1,107 1,050 -5,15	1,036 0,945 -8,78	0,718 0,677 -5,71
8	1,138 1,094 -3,87	1,157 1,135 -1,90	1,214 1,171 -3,54	1,147 1,129 -1,57	1,147 1,093 -4,71	0,990 0,940 -5,05	0,594 0,572 -3,70
9	1,162 1,151 -0,95	1,214 1,173 -3,38	1,155 1,154 -0,09	1,186 1,173 -1,10	1,028 1,032 +0,39	0,858 0,898 +4,66	
10	1,205 1,159 -3,82	1,147 1,130 -1,48	1,186 1,172 -1,18	1,058 1,091 +3,12	1,002 1,090 +8,78	0,609 0,654 +7,39	
11	1,107 1,065 -3,79	1,147 1,093 -4,71	1,028 1,030 +0,19	1,002 1,088 +8,58	0,677 0,753 +11,23		
12	1,036 0,959 -7,43	0,990 0,940 -5,05	0,858 0,897 +4,55	0,609 0,653 +7,22			
13	0,718 0,742 +3,34	0,594 0,646 +8,75					

Westing.  
Calculado  
Desvio%

Figura 4.5 - Distribuição de potência normalizada perto do fim do 1º ciclo do reator; sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xe nônio, 12200 MWD/MT.

-0,9	-0,9	0,0	-0,9	0,0	0,0	0,0	+0,9	+0,9	0,0	0,0	+0,9	+0,9	+0,9	0,0	0,9
-0,9	0,0	0,0	-0,9	0,0	+0,9	+0,9	0,0	0,0	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	0,0
0,0	0,0	0,0	+0,9	+0,8	X	+1,7	+1,7	-0,9	0,0	X	+1,7	+1,7	+0,9	+0,9	+1,0
-0,9	-0,9	+0,9	X	+0,8	+1,7	+2,5	X	-1,7	-0,8	+0,8	+1,7	X	+0,9	+0,9	+1,0
0,0	0,0	0,0	0,0	+0,8	+0,8	+1,7	+2,6	0,0	+0,9	+0,8	+1,7	+1,7	+1,7	+1,8	+1,9
0,0	+0,9	X	0,0	0,0	X	+0,8	+0,9	+0,9	+1,7	X	+2,5	+2,5	X	+1,8	+0,9
0,0	0,0	0,0	-0,8	0,0	+0,8	0,0	+0,9	+2,6	+2,6	+2,5	+2,6	+3,4	+2,6	+1,8	+1,9
0,0	-0,9	-0,9	-2,5	-0,9	-0,9	-0,9	0,0	X	+2,6	+1,7	+2,6	X	+2,6	+1,8	+1,9
+0,9	0,0	+1,7	X	+1,7	0,0	-0,9	-2,5	0,0	+0,9	+0,9	0,0	0,0	0,0	+0,9	+1,9
0,0	+0,9	+1,7	+2,5	+1,7	+0,8	0,0	-0,9	-0,9	+0,9	+0,8	0,0	0,0	+0,9	+0,9	+1,9
0,0	+0,9	X	+1,7	+0,8	X	0,0	-0,9	0,0	+0,8	X	+1,7	+0,8	X	+1,8	+0,9
+0,9	+0,9	+1,7	+1,7	+0,8	+0,8	0,0	-0,9	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+0,9	+1,0
0,0	0,0	+0,9	X	+0,8	+0,8	0,0	-0,8	X	+3,4	+2,5	+1,7	X	+1,8	+0,9	+1,0
+0,9	0,0	+0,9	+0,9	+0,9	X	0,0	0,9	+1,7	+2,6	X	+1,7	+1,8	+0,9	+0,9	+1,0
0,0	0,0	0,0	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+1,8	+1,8	+1,8	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+1,0
0,0	0,0	0,0	+1,0	+1,0	0,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,9	+0,9	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0

Figura 4.6 - Desvios (%) entre as distribuições de potência normalizadas calculada e a fornecida pela Westinghouse para o conjunto combustível F-8, perto do início de vida do reator, sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 200,0 MWD/MT.

-4,5	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	-3,5	-3,6	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,5	-3,6	-3,6	-3,6	-2,7
-3,6	-4,5	-3,6	-2,7	-2,6	-2,6	-1,8	-3,5	-3,5	-3,5	-3,4	-2,6	-2,7	-2,7	-3,6	-3,7
-3,6	-3,6	-2,7	-2,5	-2,5	X	-0,8	-0,8	-3,4	-2,5	X	-1,7	-2,5	-2,6	-2,7	-3,7
-3,6	-2,7	-2,5	X	-0,8	-0,8	+0,8	X	-4,9	-2,5	-1,6	-0,8	X	-1,7	-1,8	-2,8
-3,6	-2,6	-2,5	-1,7	-1,7	-0,8	-0,8	0,0	-2,5	-1,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,8	-2,7
-3,5	-2,6	X	-2,5	-1,7	X	-0,8	-0,9	-0,9	0,0	X	0,0	+0,8	X	-1,7	-2,7
-3,6	-2,6	-2,5	-3,4	-2,5	-1,7	-1,7	-1,7	+1,7	+0,9	0,0	+0,8	+1,7	0,0	-1,8	-2,7
-3,6	-3,5	-4,2	-4,9	-3,4	-2,6	-2,6	-2,5	X	+1,7	0,0	+0,8	X	0,0	-1,8	-1,8
-2,7	-2,6	-0,8	X	0,0	-1,7	-3,4	-5,0	-1,7	-0,9	-1,7	-2,5	-4,0	-2,5	-1,8	-1,8
-3,5	-2,6	0,0	+1,7	0,0	-0,8	-1,7	-3,4	-1,7	-0,9	+1,7	-1,7	-2,5	-1,7	-1,8	-2,7
-3,5	-2,5	X	0,0	-0,8	X	-2,5	-2,6	-1,7	+1,7	X	-0,8	-0,8	X	-1,7	-2,7
-3,5	-2,6	-0,8	-0,8	-0,8	-1,6	-1,7	-3,4	0,0	0,0	0,0	-0,8	-0,8	-1,7	-1,8	-2,7
-2,7	-2,7	-1,7	X	-0,8	-0,8	-3,3	-4,8	X	+1,7	0,0	0,0	X	+3,5	-1,8	-2,7
-2,7	-2,7	-2,6	-1,7	-1,7	X	-2,5	-2,5	0,0	0,0	X	-0,8	-0,8	-1,8	-2,7	-1,8
-3,6	-2,7	-1,8	-1,8	-2,6	-2,6	-2,6	-2,7	-1,8	-0,9	-0,9	-0,9	-1,8	-2,7	-1,8	-2,8
-2,7	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-1,8	-1,8	-1,8	-2,7	-2,7	-2,7	-1,8	-2,8	-1,8

Figura 4.7 - Desvios (%) entre as distribuições de potência normalizadas calculada e a fornecida pela Westinghouse para o conjunto combustível F-8, perto do fim do 1º ciclo do reator, sem barras de controle, plena potência, equilíbrio xenônio, 12200,0 MWD/MT.



Tabela 4.3 - Quantidade de material combustível no reator versus queima do combustível

MWD/MT	0	100,0	200,0	1200,0	2200,0	3200,0	4200,0	5200,0	6200,0
DIAS	0	2,635	5,27	31,6202	57,9703	84,3204	110,6706	137,0207	163,3709
ELEMENTO									
Urânio 235	1283,1665	1277,33267	1271,50978	1214,86087	1162,05610	1112,53585	1065,82464	1021,57499	979,50894
Urânio 236	-	1,07538	2,14734	12,54908	22,23700	31,29827	39,80968	47,82934	55,40350
Urânio 238	48149,74368	48145,72032	48141,69696	48102,56064	48063,05856	48023,55648	47984,0544	47944,55232	47905,05024
Plutônio 239	-	1,08104	3,47660	35,22199	63,35878	87,64707	108,68302	126,93993	142,79929
Plutônio 240	-	$2,13816 \cdot 10^{-3}$	$1,44561 \cdot 10^{-2}$	1,04485	3,44306	6,74853	10,62942	14,85004	19,24015
Plutônio 241	-	$8,38977 \cdot 10^{-6}$	$1,17154 \cdot 10^{-4}$	$5,73833 \cdot 10^{-2}$	0,36049	1,03837	2,14468	3,68532	5,63468
Plutônio 242	-	$7,44175 \cdot 10^{-9}$	$2,13420 \cdot 10^{-7}$	$7,03748 \cdot 10^{-4}$	$8,39799 \cdot 10^{-3}$	$3,58196 \cdot 10^{-2}$	$9,84158 \cdot 10^{-2}$	0,21198	0,39112

MWD/MT	7200,0	8200,0	9200,0	10200,0	11200,0	12200,0	13200,0	14200,0	14221,2
DIAS	189,721	216,0712	242,4213	268,7712	295,1213	321,4714	347,8215	374,1716	374,7324
ELEMENTO									
Urânio 235	939,411	901,10462	864,44084	829,30594	795,58286	763,19116	732,03206	702,04706	701,41795
Urânio 236	62,57093	69,36346	75,80815	81,92731	87,74399	93,27392	98,53539	103,54190	103,64614
Urânio 238	47865,91392	47826,41184	48153,03552	47748,1392	47708,63712	47669,5008	47630,36448	47591,59392	47590,49664
Plutônio 239	156,57527	168,53123	178,88883	187,83531	195,53602	202,12666	207,73083	212,45352	212,54057
Plutônio 240	23,67809	28,07749	32,37784	36,53770	40,53023	44,33743	47,95223	51,36953	51,44202
Plutônio 241	7,94950	10,57712	13,46139	16,54705	19,77916	23,11000	26,49280	29,88863	29,96042
Plutônio 242	0,64858	0,99495	1,43849	1,98561	2,64010	3,40493	4,28042	5,26643	5,28867

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões finais

Os resultados apresentados nos Capítulos 2, 3 e 4 mostraram-se satisfatórios quanto: à comparação de parâmetros neutrônicos calculados pelo programa LEOPARD com dados da literatura, à avaliação do programa LEOCIT por nós desenvolvido como parte abrangente deste trabalho e, ao método de cálculo neutrônico do reator PWR Angra Unidade 1 no seu 1º ciclo de queima. O objetivo básico de implantação de um sistema de cálculo neutrônico de reatores tipo PWR a partir de programas de computação disponíveis no IPEN foi atingido. Verificou-se a eficiência dos métodos de cálculo utilizados não obtendo-se, entretanto, resultados melhores devido à necessidade de implementar-se algumas modificações (recomendadas abaixo) nos programas LEOPARD e CITATION.

Na sua quase totalidade, os objetivos propostos foram alcançados, obtendo-se um domínio bastante satisfatório sobre os programas utilizados e um conhecimento básico da teoria de Física de Reatores suficiente para a operação desses programas.

### 5.2. Recomendações

Para o aperfeiçoamento do sistema de cálculo neutrônico desenvolvido, recomenda-se em trabalhos posteriores:

(i) Efetuar a solução do mesmo problema, ou seja, a simulação do funcionamento do Reator Angra Unidade 1, em seu primeiro ciclo de queima, com as seções de choque ajustadas após cada passo de queima. Para isso, torna-se necessário,

- modificar o programa CITATION, aumentando-se o limite máximo de 48 trocas possíveis de seções de choque por ciclo,
- modificar o programa CITATION, aumentando-se o limite de 210 malhas possíveis,
- utilizar a opção de gravação em arquivo das distribuições da densidade de potência e do fluxo de nêutrons no programa CITATION, construindo-se programas para leitura e interpretação desses resultados,
- obter de Furnas e da CNEN informações mais abrangentes quanto: aos seus processos de cálculo, às modificações introduzidas nos programas LEOPARD e CITATION, bem como, aos dados atuais obtidos com a entrada do reator em funcionamento,
- implantação e utilização do arquivo contendo a biblioteca de seções de choque baseadas no ENDF/B-IV para o programa LEOPARD no Centro de Processamento de Dados do IPEN.

(ii) Efetuar a simulação do reator Angra Unidade 1, em seu primeiro ciclo, com as barras de controle dentro do caroço.

(iii) Efetuar a simulação do reator Angra Unidade 2, em seu primeiro ciclo.

APÊNDICE I. DESCRIÇÃO DO PWR UNIDADE 1 DE ANGRA DOS REIS

Angra Unidade 1 é uma central nuclear construída por Furnas Centrais Elétricas S.A., projetada e fabricada pela Westinghouse, situada aproximadamente a 110 Km da cidade do Rio de Janeiro, no município de Angra dos Reis, Praia de Itaorna. O reator é do tipo PWR que utiliza como combustível óxido de urânio levemente enriquecido, sendo projetado para produzir 1876 Megawatts térmicos.

A disposição dos diversos componentes de uma central PWR típica é mostrada na Figura 1.1. A estrutura de contenção aloja o vaso de pressão e todo o sistema de resfriamento, incluindo os geradores de vapor, as bombas de circulação, o pressurizador e as tubulações formando o assim chamado circuito primário. O edifício da turbina contém o sistema turbina-gerador e os condensadores formando o circuito secundário.

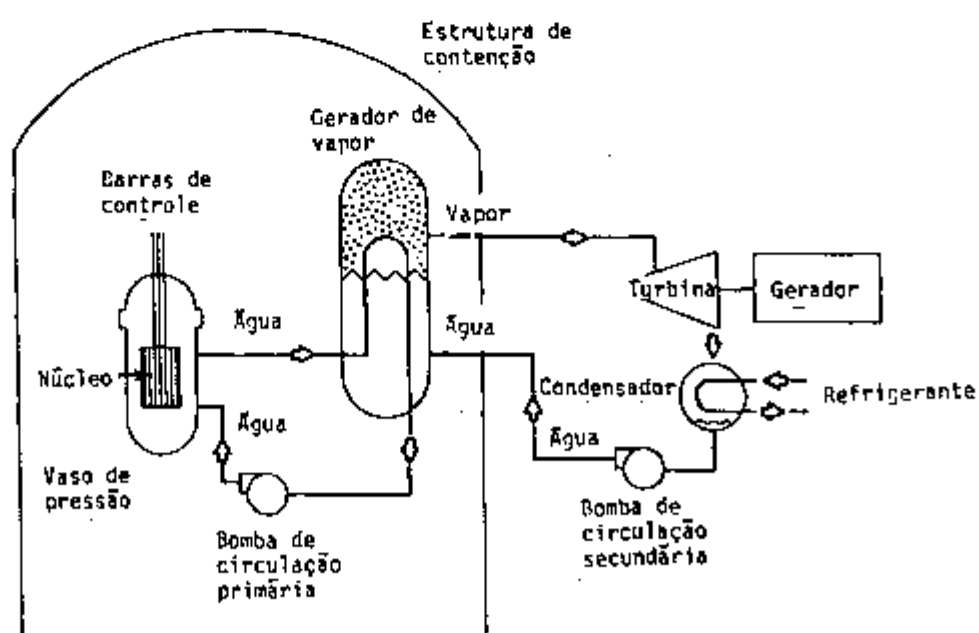


Figura 1.1 - Diagrama básico de uma central nuclear tipo PWR /14/.

O vaso de pressão onde se aloja o caroço do reator, Figura 1.2, é constituído de duas tampas flangeadas de aço carbono de baixo teor, revestidas internamente com aço inoxidável, projetado para resistir à enorme pressão do refrigerante ( $\approx 158,2 \text{ Kg/cm}^2$ ) /13/, bem como para isolar o caroço de todo o restante do sistema de suprimento de vapor.

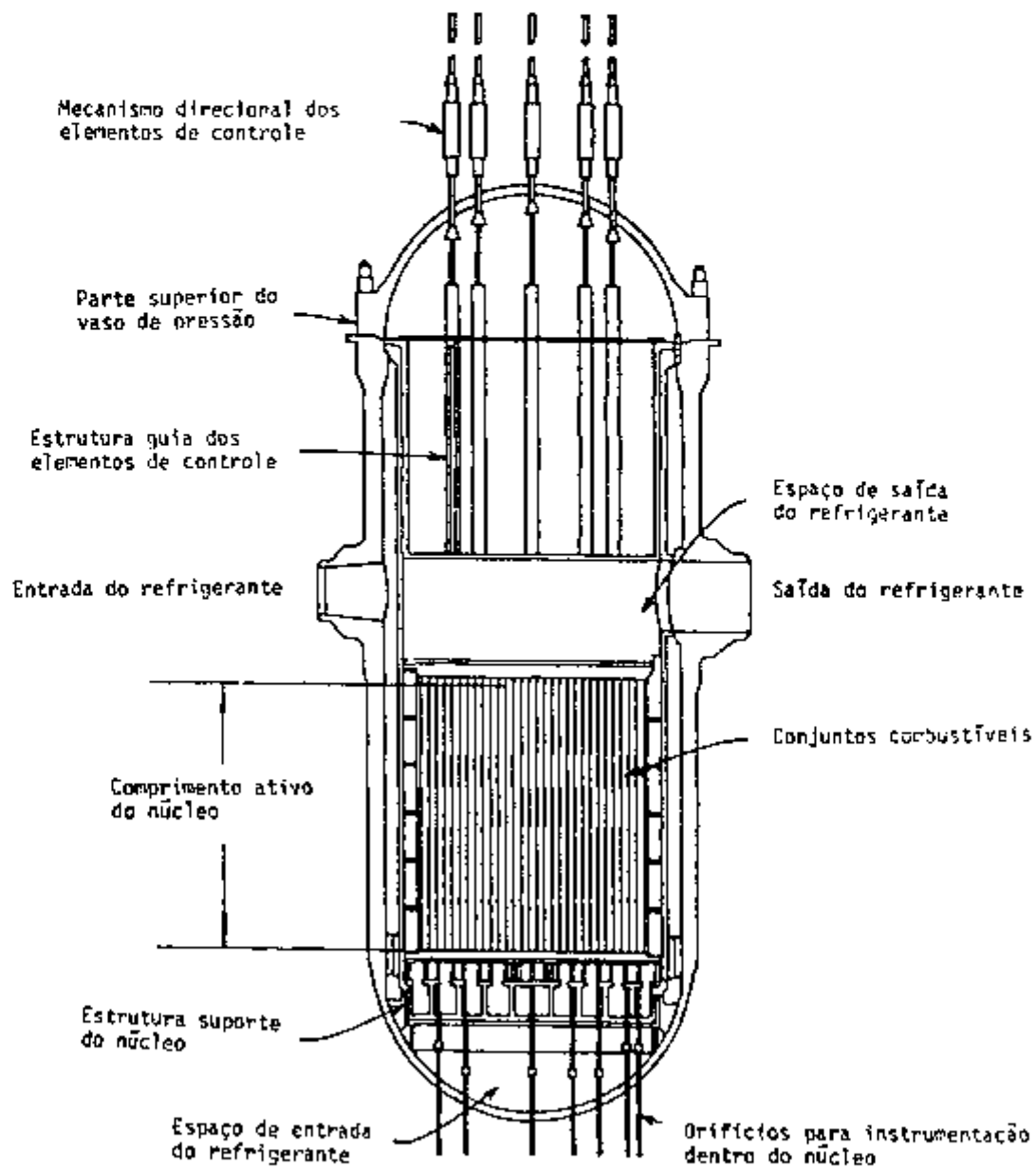


Figura 1.2 - Esquema do vaso de pressão de um PWR /14/.

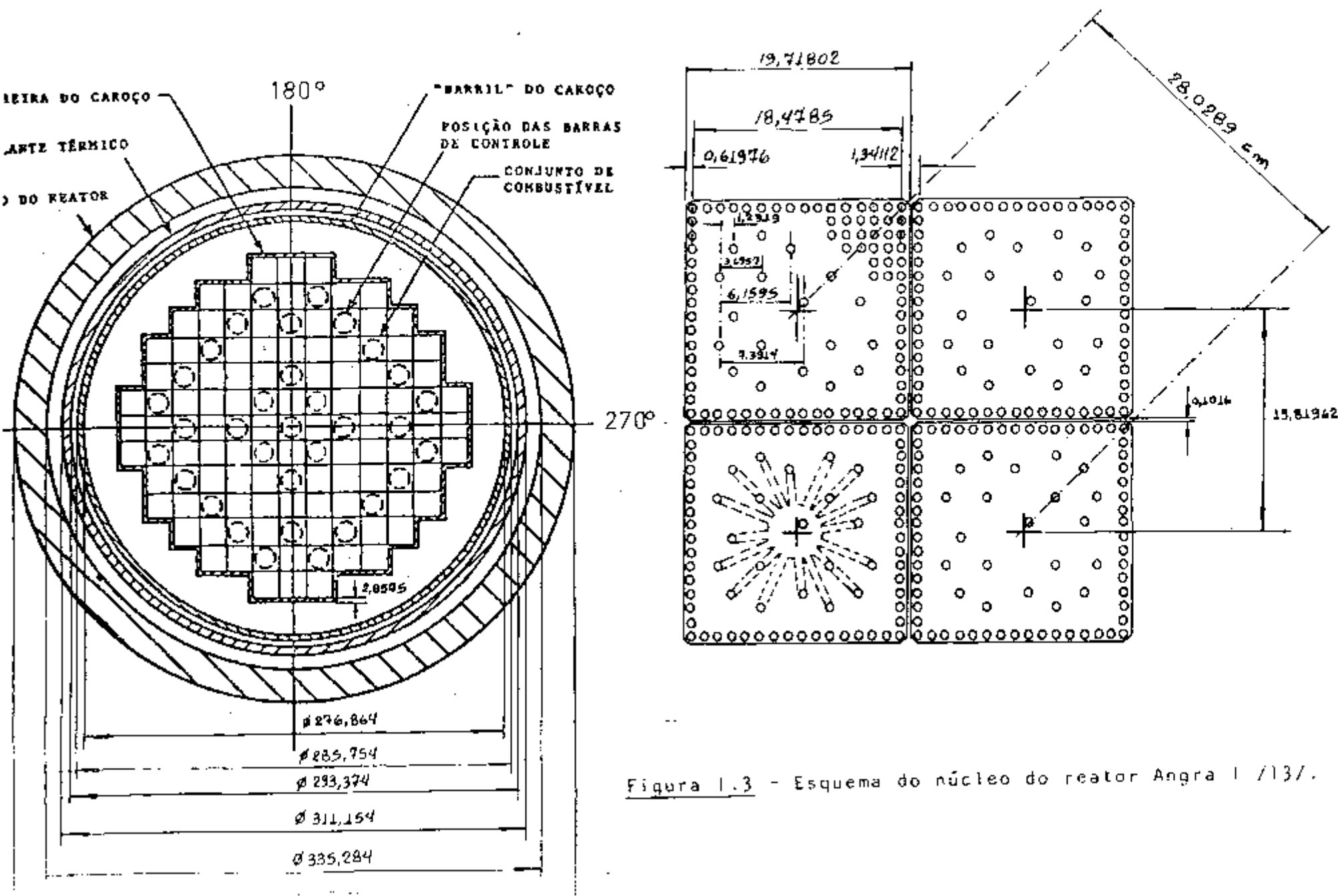


Figura 1.3 - Esquema do núcleo do reator Angra 1 /13/.

O caroço consiste de 121 conjuntos combustíveis, conforme mostra a Figura 1.3, sendo que cada conjunto combustível (Figura 1.4) contém um arranjo quadrado 16x16, composto de 235 elementos combustíveis e 21 tubos guia de Zircaloy 4, podendo os últimos acomodar barras de veneno queimável, barras de controle, fontes ou instrumentação.

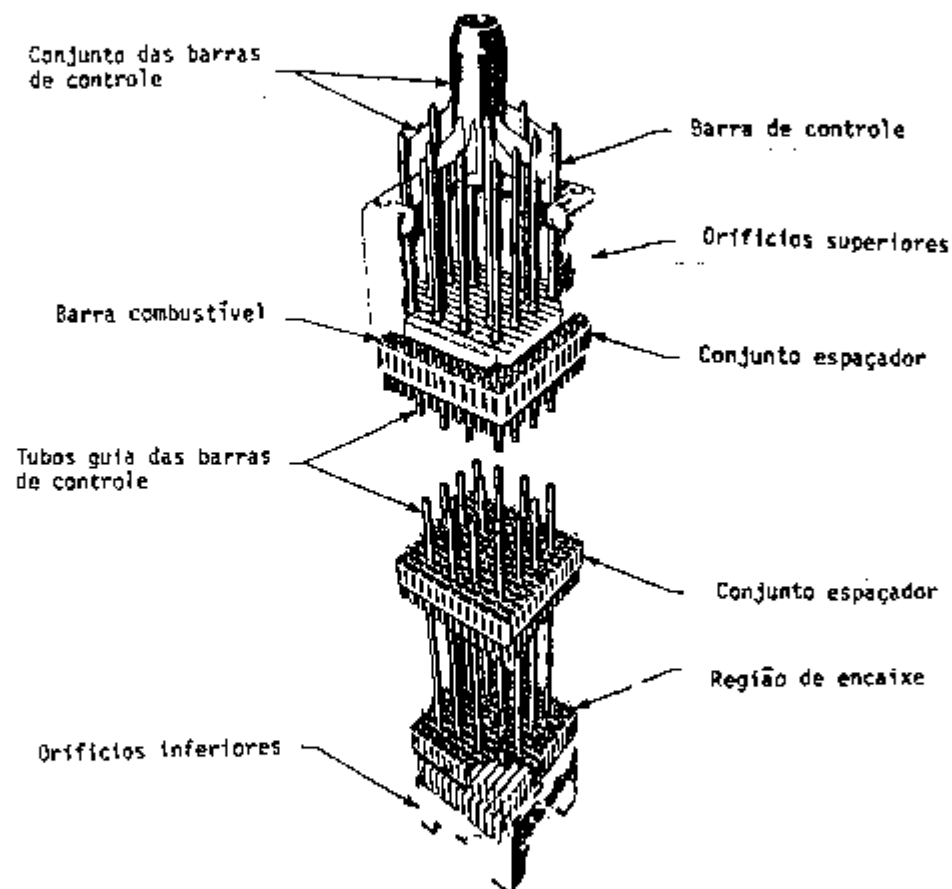


Figura 1.4 - Esquema do conjunto combustível de um PWR /14/.

Os elementos combustíveis e os tubos guia são mantidos em posição no conjunto combustível através de 8 espaçadores de Inconel 718 que impedem movimentos transversais das barras mas permitem movimentos axiais.

O carregamento é do tipo de "fora para dentro", ou seja, os elementos combustíveis novos são carregados na parte mais externa do caroço e são transferidos, progressivamente, em direção ao centro. O carregamento inicial para o primeiro ciclo de operação contém três regiões de 41, 40 e 40 conjuntos combustíveis, cada uma com um diferente enriquecimento em U-235, conforme pode ser visto na Figura 1.5.

O elemento combustível é constituído por um tubo cilíndrico de Zircaloy 4 dentro do qual se colocam pastilhas sinterizadas de dióxido de urânio ( $UO_2$ ) ligeiramente enriquecidas em U-235. O tubo de encaminhamento das pastilhas é selado por solda durante sua fabricação em um ambiente altamente pressurizado com gás hélio para redução de tensões, constrictões e para melhor dissipação do calor durante seu uso, sendo as pastilhas de  $UO_2$  mantidas sob compressão através de molas helicoidais, como ilustra a Figura 1.6.

O controle do reator é obtido através dos feixes de barras de controle e pela adição de ácido bórico à água.

Os feixes de barras de controle são utilizadas para desligamento do reator e compensação de desvios de reatividade devidos à variação de temperatura. Já a variação de ácido bórico na água é usada na partida do reator e durante a vida do caroço, para compensar as variações de reatividade devidas aos aumentos de concentração de xenônio-135 e samário-149, empobrecimento do combustível e formação de produtos de fissão de vida mais longa do que as do xenônio e do samário.

Existem no caroço do reator de Angra unidade 1, 33 conjuntos de feixes de barras de controle de comprimento total, que



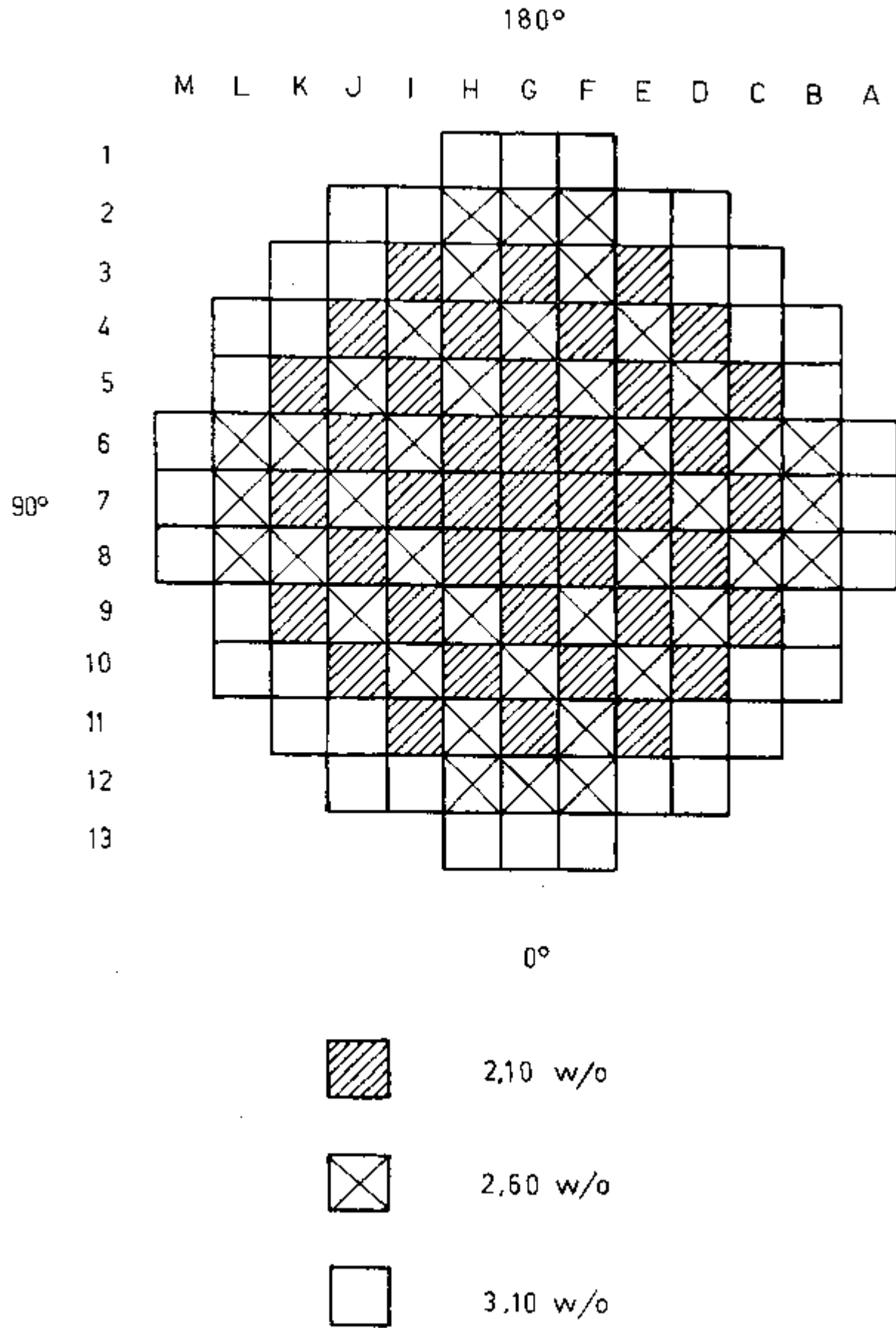


Figura 1.5 - Arranjo do combustível no caroço de Angra 1 /13/.

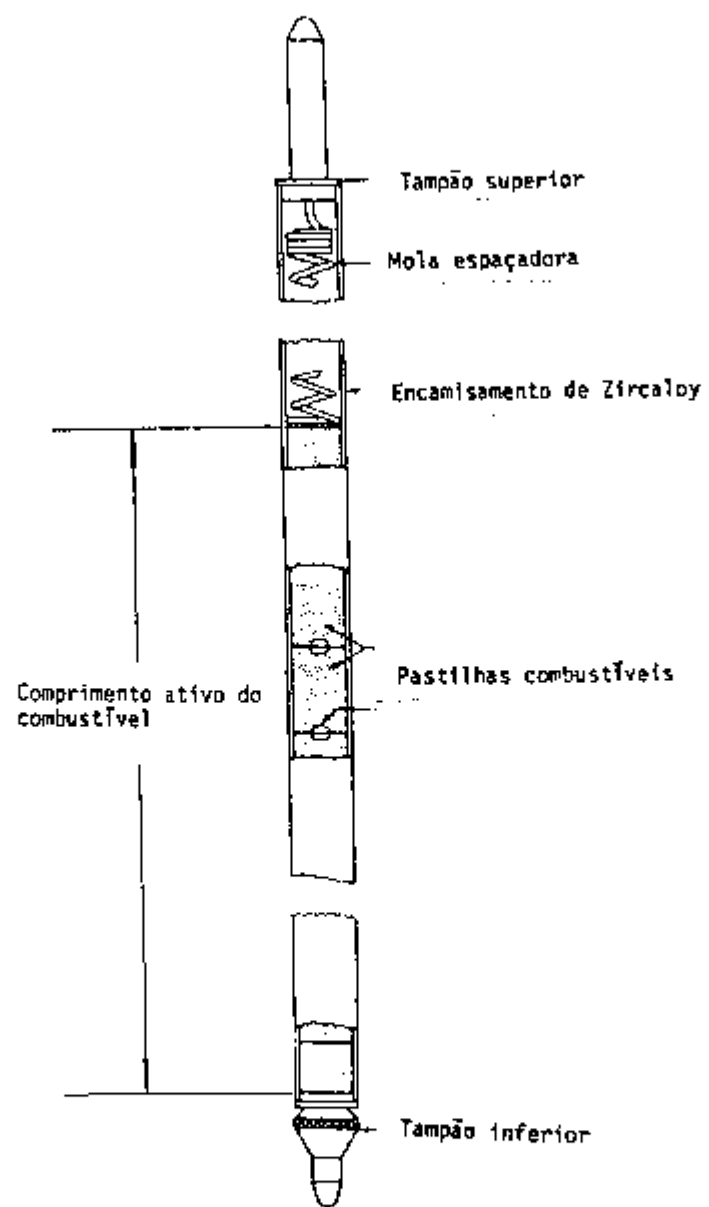


Figura 1.6 - Esquema de uma barra combustível /14/.

são colocadas simetricamente em bancos. Os bancos D,C,B e A são movimentados em uma sequência fixa para controle do fluxo, enquanto o banco S é utilizado exclusivamente para desligamento do reator (Figura 1.7).

O material absorvedor das barras de controle é uma liga de prata, índio e cádmio, na proporção de 80%, 15% e 5% respectivamente; sendo encamisadas por tubos de aço inoxidável, tipo SS 304. Os tubos de barra de controle possuem um comprimento útil da região absorvedora de 360,68 cm /13/.

A diluição de ácido bórico na água, após uma certa concentração, pode tornar o coeficiente de temperatura do moderador positivo, daí a necessidade de utilizar-se ainda mais um tipo de controle, as barras de veneno queimável, na reatividade em excesso provocada pelo combustível no reator, no seu ciclo inicial. O reator Angra Unidade 1, no seu primeiro ciclo, contém 512 barras de veneno queimável, compostas de silicato de boro em forma de "pirex de vidro", contendo 12,5% (em peso) de  $B_2O_3$ . A composição da célula de veneno queimável, bem como suas dimensões pode ser vista na Figuras III.1 e III.5, sendo que o número de barras usadas em cada conjunto combustível é mostrado na Figura 1.8 e a localização das mesmas nos conjuntos combustíveis é mostrada na Figura 1.9.

No reator, as fontes estão localizadas em quatro conjuntos de elementos combustíveis, que também contêm barras de veneno queimável. Sua localização no caroço é dada pelas Figuras 1.10 e 1.11. Dois tipos de fontes são utilizadas, fontes primárias que contêm califórnio 252, usadas no começo de vida do reator, para atingir-se a criticalidade e fontes secundárias compostas de an-

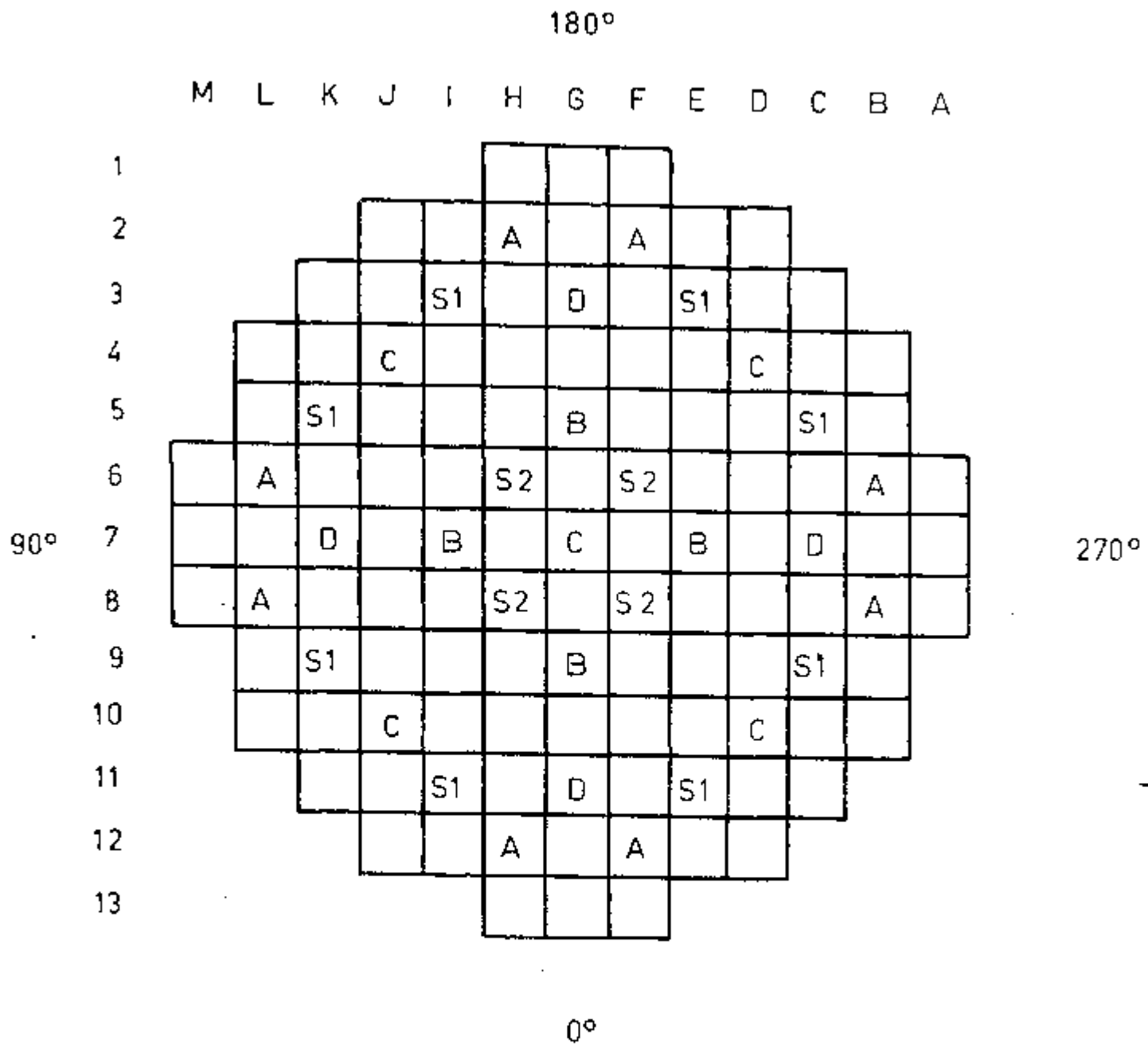


Figura 1.7 - Localização dos bancos das barras de controle no ca-  
roço de Angra 1 /13/.

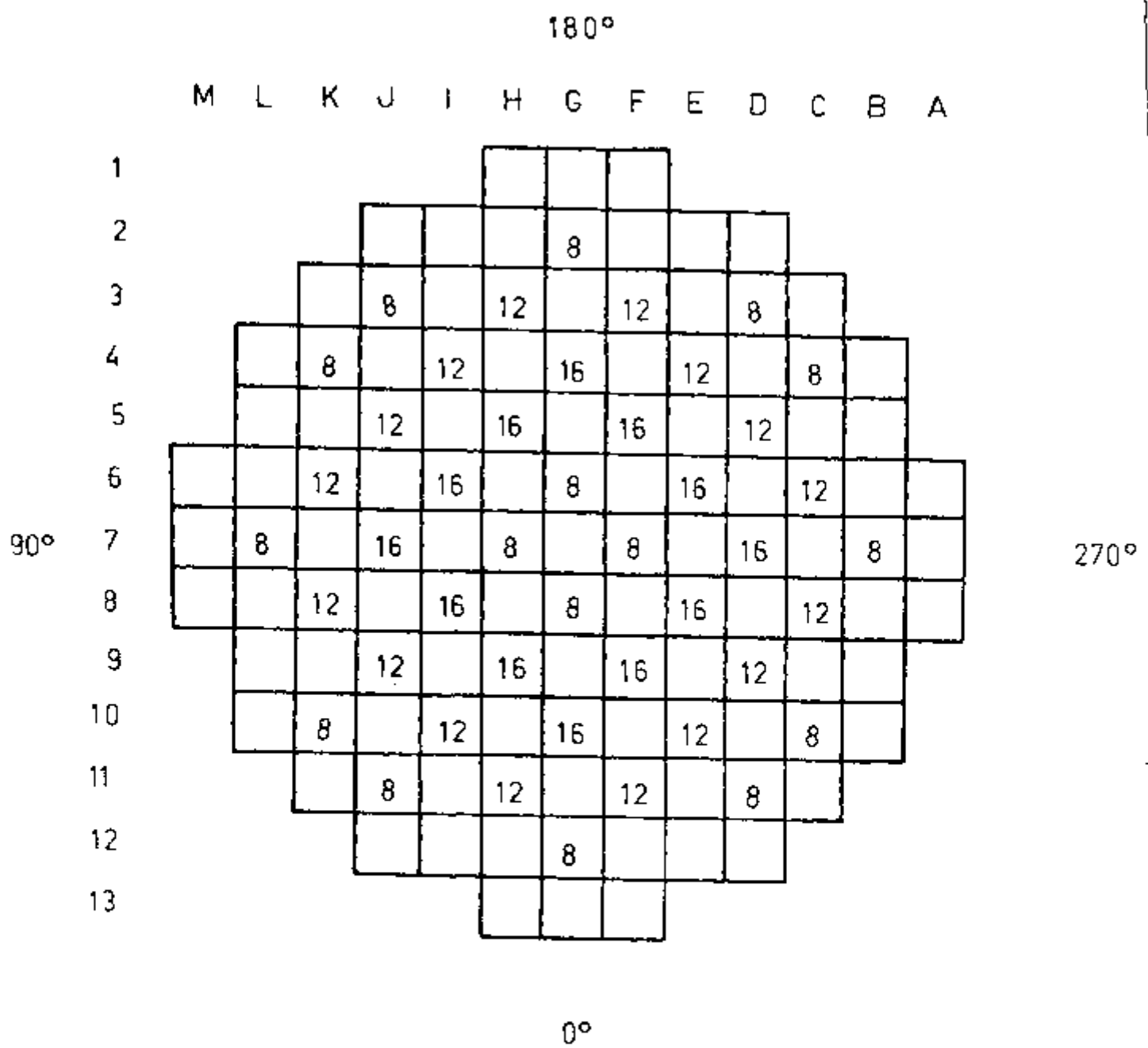
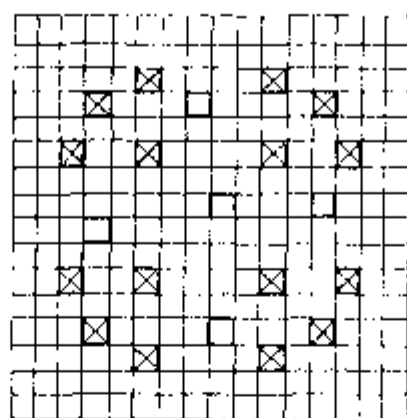
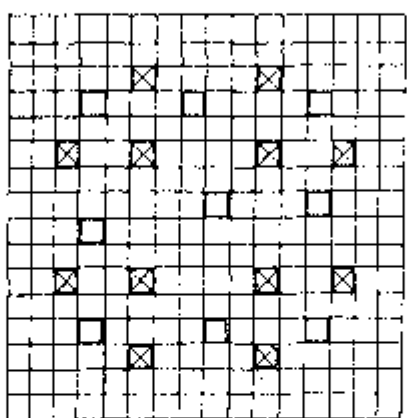


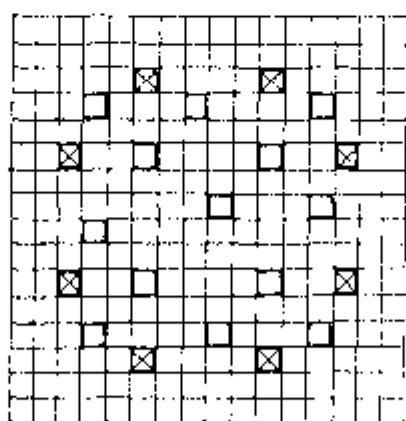
Figura 1.8 - Localização das barras de veneno queimável no caroço de Angra 1 /13/.



16 barras

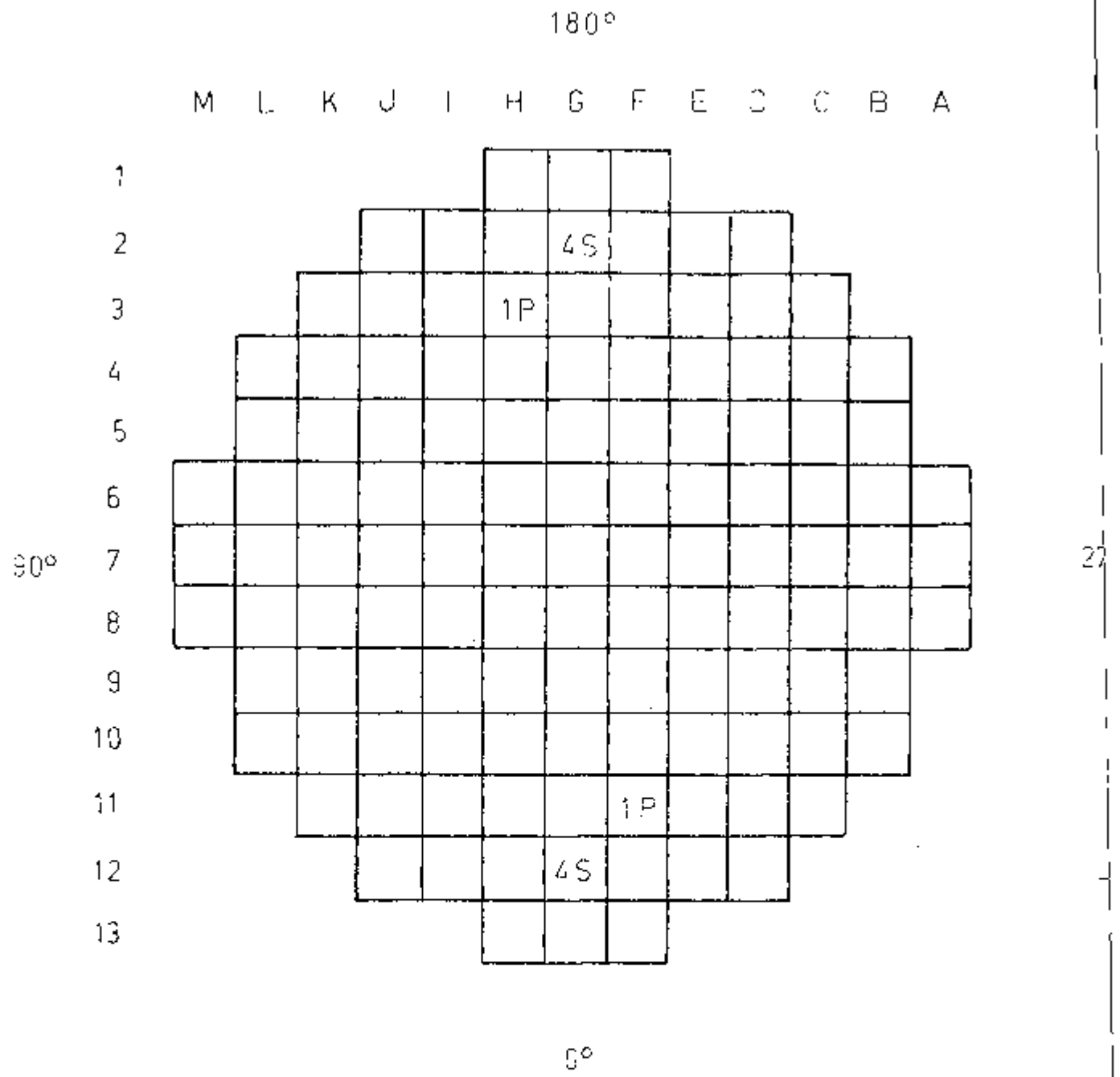


12 barras



8 barras

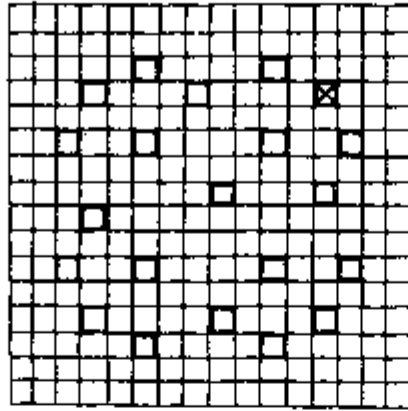
Figura 1.9 - Localização das barras de veneno queimável nos conjuntos combustíveis do Angra 1 /13/.



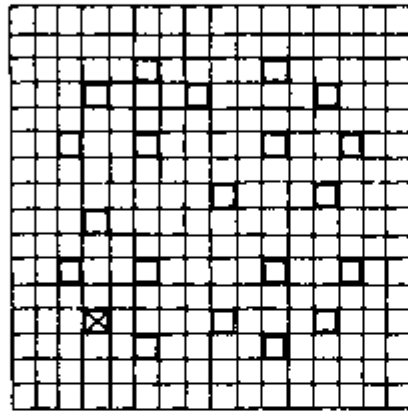
4S - Quatro fontes secundárias

1P - Uma fonte primária

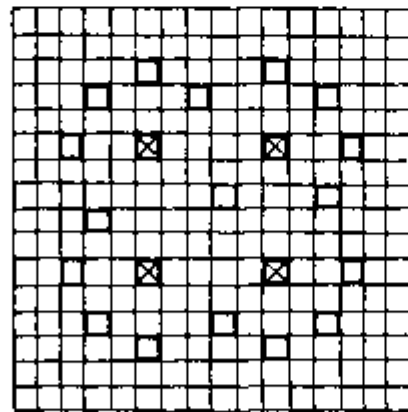
Figura 1.10 - Localização das fontes no caroço de Angra 1 (13/).



1 fonte primária  
conjunto H-3



1 fonte primária  
conjunto F-11



4 fontes secundárias  
conjuntos G-2 e G-12

Figura 1.11 - Localização das fontes nos conjuntos combustíveis de Angra 1 /13/.



tinônio e berílio. Essas últimas, quando ativadas durante a operação do reator, produzem nêutrons pela reação  $^9\text{Be}(\gamma, n) ^8\text{Be}$  necessários para o funcionamento do reator nos subseqüentes ciclos.

A instrumentação utilizada no caroço consiste de 39 termopares e 36 detectores móveis de nêutrons e sua localização no caroço é indicada na Figura 1.12. Os detectores móveis estão presentes em quase todos os conjuntos combustíveis e movimentam-se axialmente dentro dos tubos guias de instrumentação (Figura III.4), fornecendo um completo mapeamento do fluxo tridimensional dentro do caroço.

Os termopares estão localizados acima dos dispositivos misturadores de vazão, na parte superior dos conjuntos combustíveis e fornecem mapas da temperatura do refrigerante no caroço. Os dispositivos misturadores de vazão minimizam perturbações locais na temperatura do refrigerante de cada conjunto combustível.

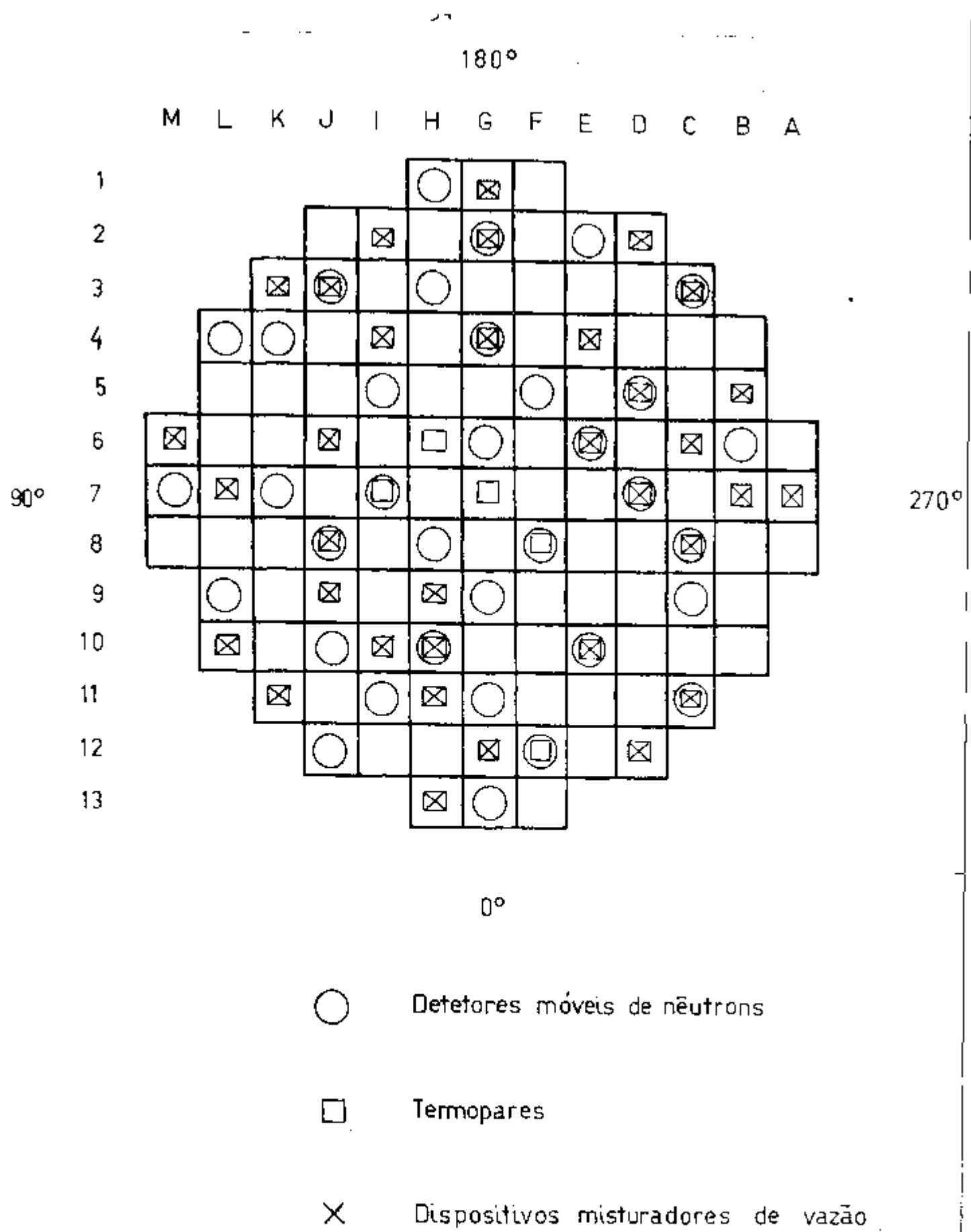


Figura 1.12 - Localização da instrumentação nos conjuntos combustíveis de Angra 1 /13/.

APENDICE II. PARÂMETROS DE PROJETO PARA O REATOR UNIDADE 1 DE  
ANGRA DOS REIS /13/

PARÂMETROS DOS PROJETOS TÉRMICO E HIDRÁULICO

II.1. Parâmetros dos projetos térmico e hidráulico

1. Produção de calor no caroço	MW <sub>t</sub>	1876
	Btu/hr	6,403.10 <sup>6</sup>
2. Calor gerado no combustível	%	97,4
3. Pressão nominal do sistema	Kg/cm <sup>2</sup>	158,2
	psia	2250
4. Pressão do sistema, mínima do estado estacionário	Kg/cm <sup>2</sup>	156,1
	psia	2220
5. Mínimo DNBR para os transientes do projeto		>1,30

II.2. Fluxo de refrigerantes

6. Vazão total em massa	Kg/hr	32,3.10 <sup>6</sup>
	Lb/hr	71,1.10 <sup>6</sup>
7. Vazão efetiva para transferência de calor	Kg/hr	30,8.10 <sup>6</sup>
	Lb/hr	67,9.10 <sup>6</sup>
8. Área efetiva para transferência de calor	m <sup>2</sup>	2,45
	ft <sup>2</sup>	26,4
9. Velocidade média ao longo das barras	m/s	4,91
	ft/s	16,1

10. Velocidade média de massa	Kg/hr.m <sup>2</sup>	1,26.10 <sup>7</sup>
	Lb/hr.ft <sup>2</sup>	2,57.10 <sup>6</sup>

11.3. Temperatura do refrigerante

11. Entrada	°C	287,5
	°F	549,5
12. Aumento médio no vaso	°C	36,9
	°F	66,4
13. Aumento médio do caroço	°C	38,4
	°F	69,1
14. Média no caroço	°C	307,8
	°F	586,0
15. Média no vaso	°C	305,9
	°F	582,7

11.4. Transferência de calor

16. Área efetiva de transferência	m <sup>2</sup>	3094
	ft <sup>2</sup>	33300
17. Fluxo de calor médio	W/cm <sup>2</sup>	59,0
	Btu/hr.ft <sup>2</sup>	187100
18. Fluxo de calor máximo em operação normal	W/cm <sup>2</sup>	140,6
	Btu/hr.ft <sup>2</sup>	437800
19. Produção média de calor	W/cm	176,2
	KW/ft	5,37
20. Produção máxima de calor em operação normal	W/cm	419,9
	KW/ft	12,8

21. Pico de potência Linear para a determinação dos pontos de acionamento críticos ("Protection Setpoints")	W/cm	590,6
	KW/ft	18,0

11.5. Temperatura central do combustível

22. Pico com potência total	°C	1800
	°F	3275
23. Pico se ocorrer 21.	°C	2260
	°F	4100

PARÂMETROS MECÂNICOS DO PROJETO DO CAROÇO

11.6. Conjunto combustível

24. Número de conjuntos combustíveis		121
25. Tipo de arranjo		16x16
26. Número de barras combustíveis por conjunto combustível		235
27. Espaçamento das barras centro a centro	cm.	1,2319
	in.	0,485
28. Espaçamento dos conjuntos combustíveis centro a centro	cm.	19,81962
	in.	7,803
29. Massa de combustível ( $UO_2$ ) no caroço	Kg.	56382,48
	lb.	124303
30. Massa de Zircaloy no caroço	Kg.	12865,0032
	lb.	283,62
31. Número de espaçadores por conjunto combustível		8-Tipo R

32. Composição dos espaçadores		Inconel-718
33. Massa dos espaçadores efetivos no caroço	Kg.	576,072
	Lb.	1270
34. Número de tubos guias existentes em cada conjunto combustível		21
35. Composição dos tubos guias		Zircaloy-4
36. Diâmetros externo e interno dos tubos guias (parte superior)	cm.	1,19634x1,1049
	in.	0,471 x 0,435
37. Altura dos tubos guias na parte superior	cm.	302,26
	in.	119
38. Diâmetros externo e interno dos tubos guias (parte inferior)	cm.	1,06426x0,97282
	in.	0,419x0,383
39. Altura dos tubos guias na parte inferior	cm.	63,5
	in.	25
40. Diâmetros externo e interno dos tubos guias para a instrumentação	cm.	1,19634x1,1049
	in.	0,471x0,435
41. Altura dos tubos guias para a instrumentação	cm.	365,76
	in.	144

11.7. Barras combustíveis

42. Número		28435
43. Diâmetro externo do encamisamento	cm.	0,94996
	in.	0,374

44. Espessura diametral do vazio	cm.	0,01651
	in.	0,0065
45. Espessura diametral do encamisamento	cm.	0,11430
	in.	0,0450
46. Material do encamisamento		Zircaloy-4

11.8. Pastilhas de combustível

47. Material		UO <sub>2</sub> sinterizado
48. Densidade (% da teórica)		95
49. Diâmetro	cm.	0,81915
	in.	0,3225
50. Espessura	cm.	1,3462
	in.	0,530
51. Massa de UO <sub>2</sub> por unidade de altura da barra combustível	Kg/cm	5,417.10 <sup>-3</sup>
	Lb/ft	0,364

11.9. Conjunto de grupos de barras de controle (Rod Cluster Control Assembly)

52. Absorvedores de nêutrons		Ag-In-Cd
53. Composição		80% - 15% - 5%
54. Diâmetro	cm.	0,83566
	in.	0,329
55. Densidade	Kg/cm <sup>3</sup>	1,01587.10 <sup>-2</sup>
	Lb.in <sup>3</sup>	0,367
56. Material de encamisamento		Aço Inox 304
		(trabalhado - a frio)

57. Espessura do encamisamento	cm.	0,04445
	in.	0,0175
58. Número de grupos (clusters)		33
59. Número de barras absorvedoras por grupo		20
60. Peso do conjunto de grupos de barras de controle com comprimento total	Kg.	52,164
	Lb.	115

#### 11.10. Barras de veneno queimável

61. Número		512
62. Material		Silicato de boro (12,5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
63. Densidade do pirex silicado de boro	g/cm <sup>3</sup>	2,23
64. Diâmetro interno do encamisamento interno	cm.	0,39751
	in.	0,1595
65. Diâmetro externo do encamisamento interno	cm.	0,43053
	in.	0,1695
66. Diâmetro interno da barra pirex de silicato de boro	cm.	0,45212
	in.	0,178
67. Diâmetro externo da barra pirex de silicato de boro	cm.	0,82296
	in.	0,324
68. Diâmetro interno do encamisamento externo	cm.	0,84328
	in.	0,332



69. Diâmetro externo do encamisamento		
externo	cm.	0,93218
	in.	0,367
70. Material dos encamisamentos externo e interno		aço inoxidável

PARÂMETROS NUCLEARES DO PROJETO

11.11. Características estruturais

71. Diâmetro equivalente do caroço	cm.	245,11
	in.	96,5
72. Altura média do combustível ativo no caroço	cm.	365,76
	in.	144
73. Espessura da chicana (baffle)	cm.	2,8575
	in.	1,125
74. Material da chicana (baffle)		aço inoxidável
75. Diâmetro interno do barril	cm.	138,432
	in.	54,50
76. Diâmetro externo do barril	cm.	142,877
	in.	56,25
77. Material do barril		aço inoxidável

11.12. Composição e espessura do refletor

78. Topo: água e aço	cm.	~ 25,4
	in.	~ 10

79. Base: água e aço	cm.	~ 25,4
	in.	~ 10
80. Periferia	cm.	~ 38,1
	in.	~ 15
81. $H_2O/U$ , razão molecular para a célula fria		2,23

APÊNDICE III. CÁLCULOS CELULARES

III.1. Simbologia

- $A_a$  = área do Inconel por barra
- $A_b$  = área de água por barra
- $A_c$  = área total da célula
- $A_d$  = área da região moderadora
- $A_e$  = área de Inconel por conjunto combustível
- $A_f$  = área de Zircaloy por barra
- $B^2$  = buckling geométrico
- $C_a$  = concentração de Boro-10 no pírex silicato de boro
- $C_b$  = concentração de Boro-10 na região central da célula de veneno queimável
- $C_c$  = concentração de oxigênio no pírex silicato de boro
- $C_d$  = concentração de oxigênio na região central da célula de veneno queimável
- $D_a$  = altura média do combustível ativo no caroço
- $D_b$  = altura média do tubo guia superior
- $D_c$  = altura média do tubo guia inferior
- $F$  = fração isotópica natural em peso do Boro-10 em Boro;  
0,1832/111
- $f_a$  = fração de área de silicato de boro na região central da célula de veneno queimável
- $F_a$  = fração de Zircaloy por barra
- $F_b$  = fração de Inconel por barra
- $F_c$  = fração de água por barra

- g = fração isotópica em peso do  $B_2O_3$  no pirex silicato de boro
- $M_a$  = massa dos espaçadores de Inconel 718 efetivos no caroço
- $M_b$  = massa de Inconel 718 por unidade de altura média do combustível
- $M_c$  = massa de Inconel 718 por unidade de altura por conjunto combustível
- $M_d$  = massa "atômica" de Boro no composto  $B_2O_3$  ; 21,622
- $M_e$  = massa molecular do composto  $B_2O_3$  ; 69,62029
- $M_f$  = massa atômica do Boro-10 ; 10,01294/11/
- $M_g$  = massa "atômica" de oxigênio no composto  $B_2O_3$  ; 47,9982
- $M_H$  = massa atômica do oxigênio ; 15,9994/17/
- $N_a$  = número de conjuntos combustíveis
- $N_o$  = número de Avogrado ;  $0,602252 \frac{\text{atm.cm}^2}{\text{barn}} /17/$
- P = pitch ou espaçamento centro a centro das barras combustíveis
- R = raio equivalente do caroço
- $R_a$  = raio externo do encamisamento
- $R_b$  = raio externo do tubo guia na parte superior
- $R_c$  = raio interno do tubo guia na parte superior
- $R_d$  = raio externo do tubo guia na parte inferior
- $R_e$  = raio interno do tubo guia na parte inferior
- $\rho_a$  = densidade do pirex silicato de boro ;  $2,23 \text{ g/cm}^3 /3/$
- $\rho_b$  = densidade do  $B_2O_3$  no pirex silicato de Boro
- $\rho_c$  = densidade do Boro no pirex silicato de Boro
- $\rho_d$  = densidade do B-10 no pirex silicato de Boro
- $\rho_e$  = densidade do oxigênio no pirex silicato de Boro

$\rho_I$  = densidade do Inconel 718 ; 8,2937 g/cm<sup>3</sup> /16/

$\rho_f$  = densidade do Níquel ; 8,90 g/cm<sup>3</sup> /17/

$\rho_g$  = densidade do Ferro ; 7,87 g/cm<sup>3</sup> /17/

$\rho_H$  = densidade do Cromo ; 7,19 g/cm<sup>3</sup> /17/

### III.2. Cálculos celulares para a região moderadora das células combustíveis

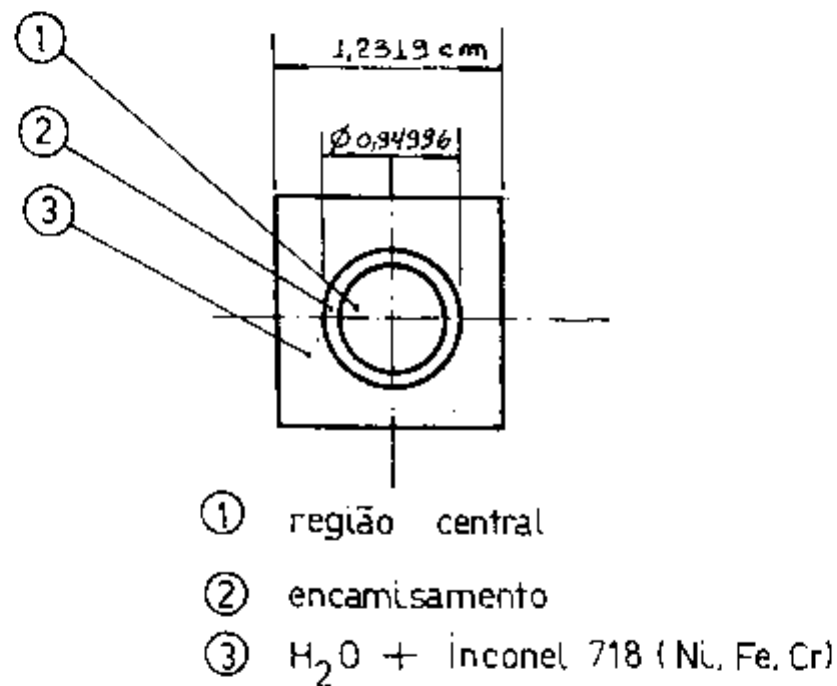


Figura III.1 - Células combustíveis

$$M_b = \frac{M_a}{D_a} = \frac{576,072}{365,76} = 1,575 \text{ Kg/cm ativo do núcleo}$$

$$M_b = 1575,0 \text{ g/cm ativo do núcleo}$$

$$M_c = \frac{M_b}{N_a} = \frac{1575,0}{121} = 13,01653 \text{ g/cm ativo de conjunto combustível}$$

$$A_e = \frac{M_c}{\rho_l} = \frac{13,01653}{8,2937} = 1,5694 \text{ cm}^2$$

$$A_a = \frac{A_e}{N_b} = \frac{1,5694}{(16) \cdot (16)} = 0,006131 \text{ cm}^2$$

$$A_c = p^2 = 1,2319^2 = 1,51758 \text{ cm}^2$$

$$A_d = A_c - \pi R_a^2 = 1,51758 - \pi \cdot (0,47498)^2 = 1,51758 - 0,70876 = 0,80882 \text{ cm}^2$$

$$F_b = \frac{A_a}{A_d} = \frac{0,006131}{0,80882} = 0,007580$$

$$F_c = 1,0 - F_b = \frac{A_b}{A_d} = 0,99242$$

Tabela III.1 - Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células combustíveis

composição do Inconel em peso		Densidade g/cm <sup>3</sup>	composição em volume		F <sup>a</sup> · F <sub>b</sub>
			cm <sup>3</sup>	fração de área=f <sup>a</sup>	
Ni	0,55	8,90	0,0618	0,50864	0,003855
Fe	0,24	7,87	0,0305	0,25102	0,001903
Cr	0,21	7,19	0,0292	0,24034	0,001822

III.3. Cálculos celulares para as regiões moderadoras das células de veneno queimável, células fonte e células vazias (\*)

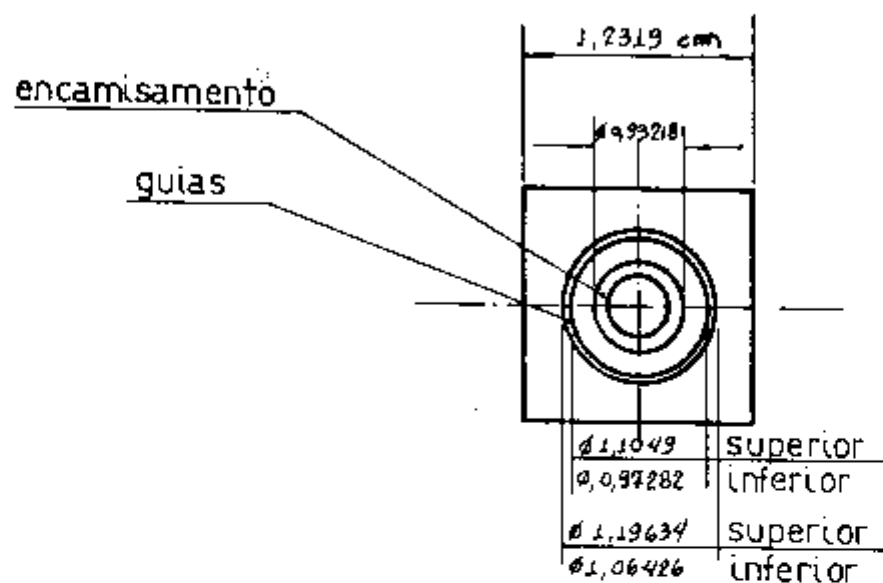


Figura III.2 - Célula de veneno queimável, célula fonte e célula vazia

região moderadora - H<sub>2</sub>O + Inconel 718 (Ni, Fe, Cr) + guias de Zircaloy 4

$$A_a = 0,006131 \text{ cm}^2$$

$$A_f = \pi \left[ (R_b^2 - R_c^2) \left( \frac{D_b}{D_a} \right) + (R_d^2 - R_e^2) \left( \frac{D_c}{D_a} \right) \right]$$

$$A_f = \pi \left[ (0,59817^2 - 0,55245^2) \left( \frac{302,26}{365,76} \right) + (0,53213^2 - 0,48641^2) \left( \frac{63,5}{365,76} \right) \right]$$

$$A_f = 0,161197 \text{ cm}^2$$

(\*) Cálculos válidos para as células fonte e células vazias, com água substituindo a barra de veneno queimável.

$$A_c = 1,51758 \text{ cm}^2$$

$$A_d = A_c - \pi \cdot R_a^2 = 1,51758 - \pi \cdot 0,46609^2 = 0,83510 \text{ cm}^2$$

$$F_a = \frac{A_f}{A_d} = \frac{0,161197}{0,83510} = 0,19303$$

$$F_b = \frac{A_a}{A_d} = \frac{0,006131}{0,83510} = 0,007342$$

$$F_c = 1,0 - 0,19303 - 0,007342 = \frac{A_b}{A_d} = 0,799628$$

Tabela III.2 - Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de veneno queimável, células fonte e células vazias

composição do Inconel em peso		Densidade g/cm <sup>3</sup>	composição em volume		f' · F <sub>b</sub>
			cm <sup>3</sup>	fração da área=f'	
Ni	0,55	8,90	0,0618	0,50864	0,003734
Fe	0,24	7,87	0,0305	0,25102	0,001843
Cr	0,21	7,19	0,0292	0,24034	0,001765



III.4. Cálculos celulares para a região moderadora das células de controle

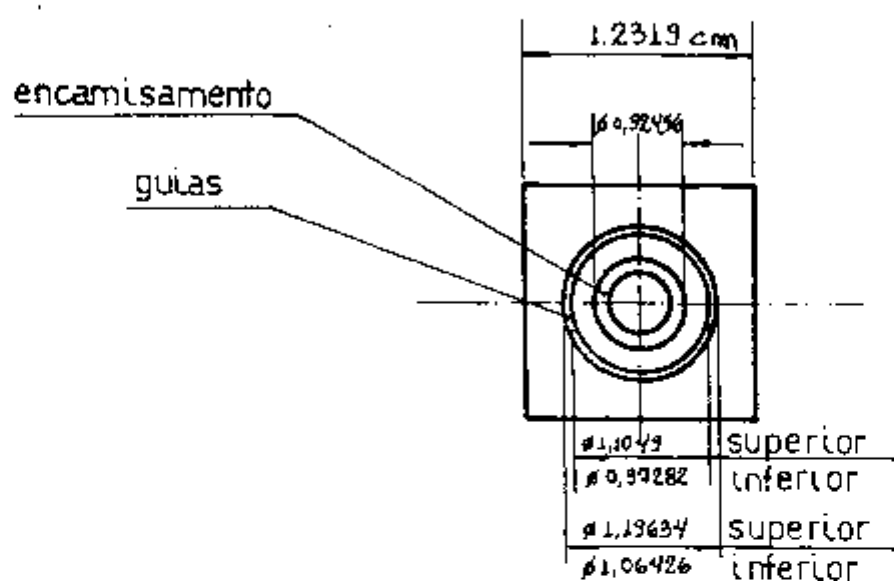


Figura III.3 - Célula de controle

região moderadora - H<sub>2</sub>O + Inconel 718 (Ni, Fe, Cr) + guias de Zircaloy 4

$$A_a = 0,006131 \text{ cm}^2$$

$$A_f = \pi \left[ (R_b^2 - R_c^2) \left( \frac{D_b}{D_a} \right) + (R_d^2 - R_e^2) \left( \frac{D_c}{D_a} \right) \right]$$

$$A_f = \pi \left[ (0,59817^2 - 0,55245^2) \left( \frac{302,26}{365,76} \right) + (0,53213^2 - 0,48641^2) \left( \frac{63,5}{365,76} \right) \right]$$

$$A_f = 0,161197 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 1,51758 \text{ cm}^2$$

$$A_d = A_c - \pi \cdot R_a^2 = 1,5178 - \pi \cdot 0,46228^2 = 0,84621$$

$$F_a = \frac{A_f}{A_d} = \frac{0,161197}{0,84621} = 0,19049$$

$$F_b = \frac{A_a}{A_d} = \frac{0,006131}{0,84621} = 0,007245$$

$$F_c = 1,0 - 0,19049 - 0,007245 = \frac{A_b}{A_d} = 0,80226$$

Tabela III.3 - Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de controle

composição do Inconel em peso		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Composição em volume		F <sup>a</sup> · F <sub>b</sub>
			cm <sup>3</sup>	fração de área=f <sup>a</sup>	
Ni	0,55	8,90	0,0618	0,50864	0,003685
Fe	0,24	7,87	0,0305	0,25102	0,001819
Cr	0,21	7,19	0,0292	0,24034	0,001741

III.5. Cálculos celulares para a região moderadora das células de instrumentação (\*\*)

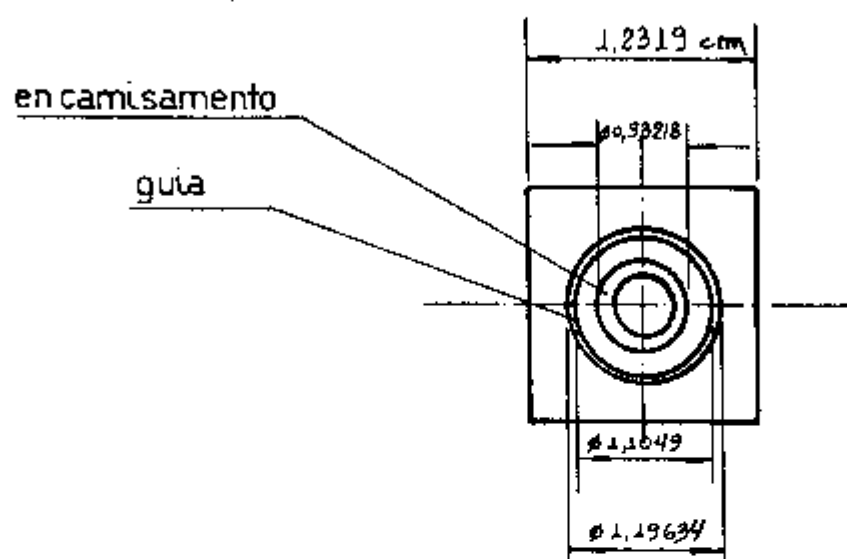


Figura III.4 - Célula de instrumentação

região moderadora -  $H_2O$  + Inconel 718 + guias de Zircaloy 4

$$A_a = 0,006131 \text{ cm}^2$$

$$A_f = \pi(R_b^2 - R_c^2) = \pi.(0,59817^2 - 0,55245^2)$$

(\*\*) Considerando-se a região ocupada pela barra de instrumentação idêntica à região ocupada pela barra de veneno queimável.

$$A_f = 0,165268 \text{ cm}^2$$

$$A_d = A_c - \pi R_a^2 = (1,2319)^2 - \pi \left( \frac{0,93218}{2} \right)^2$$

$$A_d = 0,83510 \text{ cm}^2$$

$$F_a = \frac{A_f}{A_d} = \frac{0,165268}{0,83510} = 0,19790$$

$$F_b = \frac{A_a}{A_d} = \frac{0,006131}{0,83510} = 0,007342$$

$$F_c = 1,0 - 0,19790 - 0,007342 = \frac{A_b}{A_d} = 0,794758$$

Tabela III.4 - Fração dos componentes do Inconel 718 na região moderadora das células de instrumentação

composição do Inconel em peso		Densidade g/cm <sup>3</sup>	composição em volume		f' . F <sub>b</sub>
			cm <sup>3</sup>	fração de área=f'	
Ni	0,55	8,90	0,0618	0,50864	0,003734
Fe	0,24	7,87	0,0305	0,25102	0,001843
Cr	0,21	7,19	0,0292	0,24034	0,001765

III.6. Cálculo das concentrações na região central da célula de veneno queimável

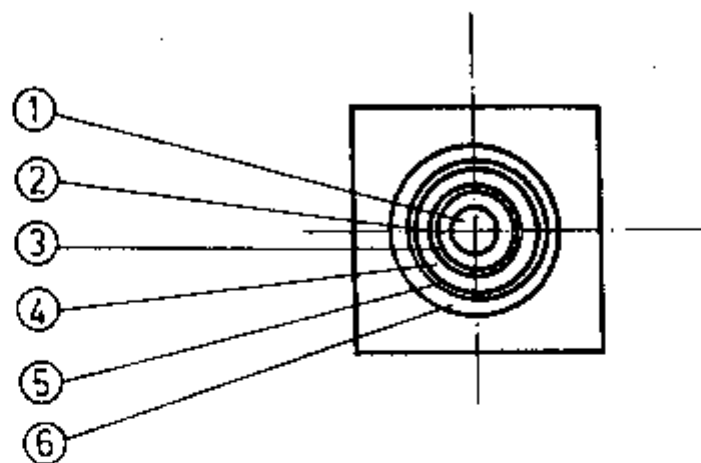


Figura III.5 - Célula de veneno queimável

Tabela III.5 - Dimensões da região central da célula de veneno queimável

	Região	raio (cm)	área (cm <sup>2</sup> )	fração de área = f <sub>a</sub>	
1	Vazio	0,198755	0,124104		Região Central
2	Encamisamento interno - SS304	0,215265	0,21474	0,040371	
3	Vazio	0,22606	0,014967		
4	Silicato de boro	0,41148	0,371376	0,698179	
5	Vazio	0,42164			
6	Encamisamento externo - SS304	0,46609			

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

$$\rho_a = 2,23 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_b = g \cdot \rho_a = 0,125 \cdot 2,23 = 0,27875 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_c = \frac{M_d}{M_e} \cdot \rho_b = \frac{21,622}{69,6202} \cdot 0,27875 = 0,086572 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_d = f \cdot \rho_c = 0,1832 \cdot 0,086572 = 0,015860 \text{ g/cm}^3$$

$$C_a = \frac{\rho_d}{M_f} \cdot N_o = \frac{0,015860}{10,01294} \cdot 0,602252 = 0,000954 \frac{\text{atm}}{\text{barn.cm}}$$

$$C_b = C_a \cdot f_a = 0,000954 \cdot 0,698179 = 0,000666 \frac{\text{atm}}{\text{barn.cm}}$$

$$\rho_e = \frac{M_g}{M_e} \cdot \rho_b = \frac{47,9982}{69,6202} \cdot 0,27875 = 0,192178 \text{ g/cm}^3$$

$$C_c = \frac{\rho_e}{M_H} \cdot N_o = \frac{0,192178}{15,9994} \cdot 0,602252 = 0,007234 \frac{\text{atm}}{\text{barn.cm}}$$

$$C_d = C_c \cdot f_a = 0,007234 \cdot 0,698179 = 0,005051 \frac{\text{atm}}{\text{barn.cm}}$$

### III.7. Cálculo aproximado do buckling geométrico

$$B^2 = \left( \frac{\pi}{D_a} \right)^2 + \left( \frac{2,4048}{R} \right)^2 = \left( \frac{\pi}{365,76} \right)^2 + \left( \frac{2,4048}{122,555} \right)^2$$

$$B^2 = 0,0004588 \text{ cm}^{-2}$$

## APÊNDICE IV. CÁLCULOS DO REATOR

### IV.1. Simbologia

- B = taxa de queima (MWD/MT).
- C = quantidade de combustível (U235 + U238) em toneladas, obtida através do programa CITATION, para o reator no início de funcionamento; 49,43 toneladas.
- C<sub>B</sub> = concentração em ppm de Boro natural na água refrigerante, para que o reator seja crítico.
- C<sub>B10</sub> = concentração em ppm de Boro-10 na água refrigerante, para que o reator seja crítico.
- f = fração isotópica natural em peso de Boro-10; 0,1832 /11/.
- f<sub>c</sub> = fator de conversão de Kg. para lb.; 0,4536 /14/.
- M<sub>H</sub> = massa atômica do hidrogênio; 1,00797 /17/.
- M<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = massa molecular da água; 18,0153 /17/.
- M<sub>O</sub> = massa atômica do oxigênio; 15,9994 /17/.
- M<sub>U235</sub> = massa atômica do urânio 235; 235,0.
- M<sub>U238</sub> = massa atômica do urânio 238; 238,0.
- N<sub>H</sub> = concentração média de hidrogênio por unidade de volume do núcleo ativo do reator.
- N<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = concentração média de água por unidade de volume do núcleo ativo do reator.
- N<sub>O</sub> = número de Avogrado;  $0,6022552 \frac{\text{atm. cm}^2}{\text{barn.}}$  /17/.
- P = potência do reator Megawatt térmico; 1876,0 /13/.
- P<sub>B</sub> = massa total de Boro no reator (Kg.).
- P<sub>B10</sub> = massa total de Boro-10 no reator, obtida através do programa CITATION (Kg.).

$P_H$  = massa total de hidrogênio no reator, obtida através do programa CITATION (Kg.).

$P_{H_2O}$  = massa total de água no reator.

$P_{U235}$  = massa total de urânio 235 no reator, obtida através do programa CITATION (1283,17 Kg. - ver Tabela 4.3)

$P_{U238}$  = massa total de urânio 238 no reator, obtida do programa CITATION (48149,74 Kg. - ver Tabela 4.3).

$Q$  = quantidade inicial de  $UO_2$  presente no reator (Lb.).

$T$  = tempo efetivo de queima (dia).

$V$  = volume do núcleo ativo do reator.

IV.2. Esquema para o cálculo da concentração de Boro crítico através dos dados obtidos pelo programa CITATION.

$$N_{H_2O} = \frac{No. P_{H_2O}}{M_{H_2O} \cdot V} \quad e \quad N_H = \frac{No. P_H}{M_H \cdot V}$$

$$\text{mas } N_H = 2 \cdot N_{H_2O}, \text{ ou seja } \frac{No. P_H}{M_H \cdot V} = 2 \cdot \frac{No. P_{H_2O}}{M_{H_2O} \cdot V}$$

$$\text{então } P_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{2M_H} \cdot P_H = \frac{18,0153}{2 \cdot 1,00797} \cdot P_H \quad P_{H_2O} = 8,93643 \cdot P_H$$

$$P_B = \frac{P_{B10}}{f} = \frac{P_{B10}}{0,1832}$$

e como

$$C_B = \frac{P_B}{P_{H_2O}} \cdot 10^6 = \frac{P_{B10}}{0,1832} \cdot \frac{10^6}{8,93643 \cdot P_H} = 610816,0959 \frac{P_{B10}}{P_H}$$



IV.3. Relação entre queima acumulada e intervalo de queima

$$B = \frac{P \cdot T}{C} = \frac{1876,0 \cdot T}{49,43291} \quad \text{então} \quad T = \frac{49,43291}{1876,0} \cdot B$$

$$T = 2,6350165 \cdot 10^{-2} \cdot B$$

IV.4. Esquema para o cálculo da quantidade inicial de UO<sub>2</sub> presente no início da vida do reator

$$Q = \left[ \frac{M_{U235} + 2 \cdot Mo}{M_{U235}} \cdot P_{U235} + \frac{M_{U238} + 2 \cdot Mo}{M_{U238}} \cdot P_{U238} \right] \cdot f_c$$

$$Q = \left[ \frac{235,0 + 2 \cdot 15,9994}{235,0} \cdot 1283,16655 + \frac{238,0 + 2 \cdot 15,9994}{238,0} \cdot 48149,74368 \right] \cdot 2,205$$

$$Q = (1457,88906 + 54623,41602) \cdot 2,205$$

$$Q = 123659,2777 \text{ libras}$$

APÊNDICE V. DADOS DE ENTRADA PARA OS PROGRAMAS LEOCIT E CITATION

V.1. Dados de entrada no cálculo de seções de choque para o programa LEOCIT

```

//ANSCELJ# 079 1917.777,
// 0025,00197,1 PAI[STA] 1,TIME=0020,CLASS=0,
// EXPRUN=HOLD,NMTE[EX]=14270
// EXFC 00M=LEOCIT,POSITION=240K
//STEP16 00 DSX=FN270,LEOCIT,LOAD,DISP=SHR
//FIO[EF-01] 00 DSX=CP443,LEOCIT,LIBR,DISP=SHR
//FIO[EF00] 00 *
PROGRAMA LEOCIT - CELULA U02 2.10 W/O - ANGRA I - CELULA N. 01
1 3 0 0 0 1 1 1 2
  99 1.0
  19 1.0E-10
  21 1.0E-10
  22 1.0E-10
  23 1.0E-10
  24 1.0E-10
  3 -0.41783
  100 0.992420
  6 0.001903
  7 0.003955
  11 0.001822
  777 0.0 0.0 0.0
  13 -0.021
  29 1290.0
  777 0.0
  612.777 777.838 352.805 307.8 0.0004588
  0.409575 0.47478 1.2319
  2250.0 0.95
  1.0 109.698 0.84
  1 -100.0 1290.0
  2 -100.0 990.0
  3 -2000.0 905.0
  4 -2000.0 730.0
  5 -2000.0 615.0
  777 0.0 0.0
PROGRAMA LEOCIT - CELULA U02 2.60 W/O - ANGRA I - CELULA N. 02
1 3 0 0 0 1 1 1 2
  99 1.0
  19 1.0E-10
  21 1.0E-10
  22 1.0E-10
  23 1.0E-10
  24 1.0E-10
  3 -0.41783
  100 0.992420
  6 0.001903
  7 0.003955
  11 0.001822
  777 0.0 0.0 0.0
  13 -0.026
  29 1290.0
  777 0.0
  612.777 778.838 352.805 307.8 0.0004588
  0.409575 0.47478 1.2319
  2250.0 0.95
  1.0 109.698 0.84
  1 -100.0 1290.0
  2 -100.0 990.0
  3 -2000.0 905.0
  4 -2000.0 730.0
  5 -2000.0 615.0
  777 0.0 0.0
PROGRAMA LEOCIT - CELULA U02 3.10 W/O - ANGRA I - CELULA N. 03
1 3 0 0 0 1 1 1 2
  
```

99	1.0					00000640
19	1.0E-10					00000650
21	1.0E-10					00000660
22	1.0E-10					00000670
23	1.0E-10					00000680
24	1.0E-10					00000690
3		-0.41783				00000700
100			0.992420			00000710
6			0.001903			00000720
7			0.003955			00000730
11			0.001922			00000740
777	0.0	0.0	0.0			00000750
18	-0.031					00000760
24	1290.0					00000770
777	0.0					00000780
612.777	779.939	352.805	307.8	0.0004588		00000790
0.409575	0.47498	1.2319				00000800
2250.0		0.95				00000810
1.0	109.699			0.84		00000820
1	-100.0	1740.0				00000830
2	-100.0	980.0				00000840
3	-2000.0	975.0				00000850
4	-2000.0	780.0				00000860
5	-2000.0	615.0				00000870
777	0.0	0.0				00000880
PROGRAMA LEUCIT - CELULA VENTRO DUFIMAYFL - ANGRA I - CELULA N. 04						
1	3	0	0	0	1	1
29		0.00666				00000900
2		0.005051				00000910
304	0.040371	-0.42164				00000920
100			0.799628			00000930
3			0.19303			00000940
6			0.001843			00000950
7			0.003734			00000960
11			0.001765			00000970
777	0.0	0.0	0.0			00000980
29	615.0					00000990
777	0.0					00001000
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001010
0.409575	0.47498	1.2319				00001020
2250.0						00001030
PROGRAMA LEUCIT - CELULA INSTRUMENTACAO - ANGRA I - CELULA N. 06						
1	3	0	0	0	1	1
100	1.0	1.0	0.799628			00001050
3			0.19303			00001060
6			0.001843			00001070
7			0.003734			00001080
11			0.001765			00001090
777	0.0	0.0	0.0			00001100
29	615.0					00001110
777	0.0					00001120
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001130
0.409575	0.47498	1.2319				00001140
2250.0						00001150
PROGRAMA LEUCIT - CELULA VAZIA - ANGRA I - CELULA N. 09						
1	3	0	0	0	1	1
100	1.0	1.0	0.799628			00001170
3			0.19303			00001180
6			0.001843			00001190
7			0.003734			00001200
11			0.001765			00001210
777	0.0	0.0	0.0			00001220
29	615.0					00001230
						00001240
						00001250
						00001260

777	0.0					00001270
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001280
0.409575	0.47478	1.2319				00001290
2250.0						00001300
PROGRAMA LEUCIT - CELULA H2O - ANGRA I - CELULA N. 10						
1 1 0 0 0 1 1						00001310
100	1.0	1.0	1.0		2	00001320
777	0.0	0.0	0.0			00001330
29	615.0					00001340
777	0.0					00001350
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001360
0.409575	0.47478	1.2319				00001370
2250.0						00001380
PROGRAMA LEUCIT - CHICANA - ANGRA I - CELULA N. 17						
1 3 0 0 0 1 1						00001390
304	1.0	1.0	1.0		2	00001400
777	0.0	0.0	0.0			00001410
777	0.0					00001420
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001430
0.409575	0.47478	1.2319				00001440
2250.0						00001450
						00001460
						00001470
						00001480
						00001490
//						00001500
//						00001510
//						00001520
//						00001530
//						00001540

//  
//ET06F001 DO DUMMY  
//ET06F001 DD DSN=FN220,RECFM=FB,DATA,DISP=(,CATLG),  
// UNIT=SYSSTN,VOL=SER=TA0004,LABFL=RETPO=7,  
// SPACE=(TRK,(20,10),RLSE),  
// DCB=(BLKSIZE=800,LRFL=80,RECFM=VRS)  
//

V.2. Dados de entrada no cálculo de concentrações celulares para  
o programa LEOCIT

```
//ENEENJLH JOB (595,220,
// 0900,0035), ' BATISTA ', TIME=0800, CLASS=M
// EXEC PGM=IEBUPOTE, PARM=NEW
//SYSPRINT DD SYSOUT=A
//SYSUT2 DD DSNAME=CGWILLEN, UNIT=SYSDA, DISP=(NEW,PASS),
//      SPACE=(CYL,(2,1))
//SYSIN DD *
/* ADD
/* NUMBER NEM1=10, INCR=10
CODIGO CITATION - 1/4 DO CORE DE ANGRA-I - REFERENCIA FSAR
GEOMETRIA TIPO PLACA - (X,Y)
000                               TITLE 01
*                               TITLE 02
001                               0001
    1                               000F2
        1 1 1 1 1 1 1                6 001 1
    999999100 10 10                001 2
002                               001 3
        1 3 1 1 1 1                001 4
                               001F5
        1 3 1 1 1 1                002 1
                                03    002 2
    2.63501653702.635016537026.350165370 002 3
    1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 002 4
003                               002F5
        6 1 1                        003 1
                                003 2
                                003 3
                                003F4
        5.129046369 0.25             004 1
004                               004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 2 2.467600 1 0.101600 2 2.467600004 2
    1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900 1 1.231900004 2
    1 1.231900 1 1.235700 1 2.857500 8 40.00000 004F2
005                               005 1
```

29	1290.0					00000640
777	0.0					00000650
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00000660
0.41148	0.44609	1.2319				00000670
2250.0						00000680
PROGRAMA LEUCIT - CELULA VENENO QUEIMAVEL - CONCENTRACAO BORO QUEIMAVEL						
1	3	0	0	0	1	1
29	1290.0					00000700
2	0.000660					00000710
304	0.040371	-0.42164				00000720
100			0.799628			00000730
3			0.19303			00000740
6			0.001843			00000750
7			0.003734			00000760
11			0.001765			00000770
777	0.0	0.0	0.0			00000780
777	0.0					00000790
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00000800
0.41148	0.44609	1.2319				00000810
2250.0						00000820
PROGRAMA LEUCIT - CELULA VENENO QUEIMAVEL - CONCENTRACAO BORO SOLUVEL						
1	3	0	0	0	1	1
304	1.0	-0.42164				00000840
100			0.799628			00000850
3			0.19303			00000860
6			0.001843			00000870
7			0.003734			00000880
11			0.001765			00000890
777	0.0	0.0	0.0			00000900
29	1290.0					00000910
777	0.0					00000920
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00000930
0.41148	0.44609	1.2319				00000940
2250.0						00000950
PROGRAMA LEUCIT - CELULA INSTRUMENTACAO - ANGRA I - CELULA N. 06						
1	3	0	0	0	1	1
100	1.0	1.0	0.799628			00000970
3			0.19303			00000980
6			0.001843			00000990
7			0.003734			00001000
11			0.001765			00001010
777	0.0	0.0	0.0			00001020
29	1290.0					00001030
777	0.0					00001040
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001050
0.409575	0.47499	1.2319				00001060
2250.0						00001070
PROGRAMA LEUCIT - CELULA VAZIA - ANGRA I - CELULA N. 09						
1	3	0	0	0	1	1
100	1.0	1.0	0.799628			00001090
3			0.19303			00001100
6			0.001843			00001110
7			0.003734			00001120
11			0.001765			00001130
777	0.0	0.0	0.0			00001140
29	1290.0					00001150
777	0.0					00001160
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588		00001170
0.409575	0.47499	1.2319				00001180
2250.0						00001190
PROGRAMA LEUCIT - CELULA H2O - ANGRA I - CELULA N. 10						
1	3	0	0	0	1	1
100	1.0	1.0	1.0			00001210
						00001220
						00001230
						00001240
						00001250
						00001260

777	0.0	0.0	0.0		00001279		
24	1200.0				00001280		
777	0.0				00001290		
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0001588	00001300		
0.409575	0.47473	1.2319			00001310		
2250.0					00001320		
PROGRAMA LEONIT - CHICANA - ANGRA I - CELULA N. 17					00001330		
1	1	0	0	1	1	2	100001340
104	1.0	1.0	1.0				00001350
777	0.0	0.0	0.0				00001360
777	0.0						00001370
307.8	307.8	307.8	307.8	0.0004588			00001380
0.409575	0.47498	1.2319					00001390
2250.0							00001400
/*					00001410		
//ET06F001 00 SYSOUT=A					00001420		
//ET03F001 00 DUMMY					00001430		
//					00001440		

V.3. Dados de entrada do reator PWR Unidade 1 de Angra dos Reis  
para o programa CITATION

```

//ENFCNTRY JOB (012,220,
// 0125,0033),* BATISTA 1,TIME=0020,CLASS=0,
// TYPRUN=HOLL,NOTIFY=FN220
// EXEC PGM=LEFCIT,REGION=260K
//STEPL1R DD DSN=CN220,LEFCIT.LOAD,DISP=SHR
//STEPL2R DD DSN=CP889,LEFCIT.LOAD,DISP=SHR
//CROSSJOB DD *
PROGRAMA LEFCIT - CELULA U02 2.10 W/O - ANGRA I - CELULA N. 01
 1 3 0 0 0 1 1 2
  99      1.0
  3
 100      -0.41783
  6      0.992420
  7      0.001903
 11      0.003855
 18      0.001872
 777      0.0      0.0      0.0
 18      -0.021
 29      1290.0
 777      0.0
 612.777  778.888  352.805  307.8  0.0004588
 0.409575 0.47498  1.2319
 2250.0      0.95
PROGRAMA LEFCIT - CELULA U02 2.60 W/O - ANGRA I - CELULA N. 02
 1 3 0 0 0 1 1 2
  99      1.0
  3      -0.41783
 100      0.992420
  6      0.001903
  7      0.003855
 11      0.001872
 777      0.0      0.0      0.0
 18      -0.021
 29      1290.0
 777      0.0
 612.777  778.888  352.805  307.8  0.0004588
 0.409575 0.47498  1.2319
 2250.0      0.95
PROGRAMA LEFCIT - CELULA U02 3.10 W/O - ANGRA I - CELULA N. 03
 1 3 0 0 0 1 1 2
  99      1.0
  3      -0.41783
 100      0.992420
  6      0.001903
  7      0.003855
 11      0.001872
 777      0.0      0.0      0.0
 18      -0.021
 29      1290.0
 777      0.0
 612.777  778.888  352.805  307.8  0.0004588
 0.409575 0.47498  1.2319
 2250.0      0.95
PROGRAMA LEFCIT - CELULA VENENQ QUEIMAVEL - ANGRA I - CELULA N. 04
 1 3 0 0 0 1 1 2 1
  29      0.00666
  2      0.00551
 304      0.069371  -0.42164
 100      0.799628
  3      0.19303
  6      0.001843
  7      0.003734
 11      0.001765
 777      0.0      0.0      0.0
  
```





















4	4	16	VENENO	012	2		
5	5	17	INSTR. VAZIA	012	2		
6	6	17	INSTRUMENT.	012	2		
7	7	18	FONTE	012	2		
8	8	19	INTERCONJ.	012	2		
9	9	18	CEL VAZIA	012	2		
10	10	19	H2O	012	2		
11	11	18	BANCO A	012	2		
12	12	18	BANCO B	012	2		
13	13	18	BANCO C	012	2		
14	14	18	BANCO D	012	2		
15	15	18	BANCO S1	012	2		
16	16	18	BANCO S2	012	2		
17	17	20	CHICANA	012	2		
0				012	2		
020				020	1		
1	1			020	2		
1.02526510	23.02847260	44.00451425	33.00008648	35.00018861	31.00008026	020	3
10.00016840	12.00775165	78.00000537				020	3
2	2					020	2
1.02526510	23.02847260	44.00451425	33.00008648	35.00018861	31.00008026	020	3
10.00020848	12.00771156	78.00000537				020	3
3	3					020	2
1.02526510	23.02847260	44.00451425	33.00008648	35.00018861	31.00008026	020	3
10.00024856	12.00767148	78.00000537				020	3
4	4					020	2
1.02090450	23.01221210	44.00457210	33.00578344	35.00097650	31.00165762	020	3
32.00016608	78.00000445	83.00023204				020	3
5	5					020	2
1.04226330	23.02113160	44.00458002	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000899						020	3
6	6					020	2
1.04226330	23.02113160	44.00458002	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000899						020	3
7	7					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
8	8					020	2
1.04750590	23.02375300	78.00001010				002	3
9	9					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
10	10					020	2
1.04750590	23.02375300	78.00001010				002	3
11	11					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
12	12					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
13	13					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
14	14					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
15	15					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
16	16					020	2
1.04238770	23.02119380	44.00446731	33.00008403	35.00018331	31.00007801	020	3
78.00000902						020	3
17	17					020	2

```
33.05950450 35.00823921 31.01647840 32.00173457
028 1 1 1.0 78 1
999 0 0
// ENDUP
// EXEC PGM=CITATION,REGION=1350K,TIME=800
//STEP18 DD DSN=EN220.ENCITATN.LOAD,DISP=SHR
//FT01F001 DD SYSOUT=A
//FT01F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(CYL,(2,1))
//FT02F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT03F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT04F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT05F001 DD DSN=EN220.WILLEN,UNIT=SYSDA,DISP=(OLD,PASS)
//FT06F001 DD SYSOUT=A
//FT07F001 DD DUMMY
//FT08F001 DD DSN=EN220.EECLIT1.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,),(NI
//FT09F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT10F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT11F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT12F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT13F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT14F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT15F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT16F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT17F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT18F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(3520,(100,50))
//FT19F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT20F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(13000,(100,50))
//FT21F001 DD DSN=EN220.POWER3.DATA,DISP=(,CATLG),
// UNIT=3350,VOL=SER=TRAD09,
// SPACE=(TRK,(140,20),RLSE),
// DCB=(BLKSIZE=3520,LRECL=3516,RECFM=VB)
//
```

```
002 3
020F2
028 1
028 2
028 3
END DATA
END CASE
END JOB
```

APÊNDICE VI. PROGRAMA PARA NORMALIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA

VI.1 - Descrição

Este programa foi criado para efetuar a normalização dos dados provenientes de um arquivo preparado pelo programa CITATION, contendo a distribuição de densidade de potência para cada ponto espacial. A normalização é efetuada através do valor médio da densidade de potência de todo o reator, valor este obtido, considerando-se todas as células combustíveis com igual volume.

Os dados de saída do programa são os seguintes: densidade média de potência do reator, densidade de potência para cada conjunto combustível, densidade normalizada de potência para cada conjunto e elemento combustível.

VI.2. Programa utilizado no cálculo das distribuições normalizadas de potência a partir dos dados em arquivo fornecidos pelo programa CITATION.

```
//ENECNJL# J78 (595,220,
// 0025,0035),* BATISTA *,TIME=0002,CLASS=0,
// TYPRUN=HOLD,NOTIFY=FN270
// EXEC FORTHCLG,REGION,GO=240K
//FORT.SYSIN DD *
DIMENSION PO(200,200,1), TITL1(18), TITL2(18), DX(200), DY(200),
:          OZ(1), NMESH1(20), NMESHF(20), POWER(100), DENSG(100),
:          NLOC(100), PNORM(100), PDNORM(20,20)
C
C      REMIND 1
C
C      READ(1,END=20) (TITL1(I),I=1,18), (TITL2(I),I=1,18), NUAC5, JMAX,
:      IMAX, KRMAX, NGC7, NGC7, (DX(J),J=1,JMAX), (DY(I),I=1,IJMAX),
:      (OZ(KB),KB=1,KBMAX)
C
C      WRITE(6,600) (TITL1(I),I=1,18)
C      WRITE(6,600) (TITL2(I),I=1,18)
C
C      WRITE(6,610) NUAC5
C      WRITE(6,620) JMAX, IMAX, KRMAX, NGC7, NGC7
C
C      READ(1) T, P, X
C
C      WRITE(6,630) T, P, X
C
C      READ(1) ((PD(J,I,KB),J=1,JMAX),I=1,IJMAX,KR=1,KRMAX)
C
C      READ(5,500) N
C      READ(5,510) (NMESH1(I), NMESHF(I),I=1,N)
C
C      WRITE(6,640) N
C      WRITE(6,645)
C      WRITE(6,650) (NMESH1(I), NMESHF(I),I=1,N)
C
C      NU = N*N
C      DO 10 K=1,NU
C          NLOC(K) = K
C          POWER(K) = 0.
C 10 CONTINUE
C
C      WRITE(6,655)
C      KF = 0
C      DO 15 K=1,NU
C          KI = KF + 1
C          KF = N*K
C          WRITE(6,660) (NLOC(I),I=K[KI,KF])
C 15 CONTINUE
C
C      NCONJ = 1
C      DO 60 NCY=1,N
C          N3 = NMESH1(NCY)
C          N4 = NMESHF(NCY)
C          DO 50 NCX=1,N
C              N1 = NMESH1(NCX)
C              N2 = NMESHF(NCX)
C              NUMESH = 0
C              DO 40 J=N1,N2
C                  DO 30 I=N3,N4
C                      DO 20 KR=1,1
C                          POWER(NCONJ) = POWER(NCONJ) + PD(J,I,KB)
C                          IF (PD(J,I,KB).EQ.0.0) GO TO 20
C                          NUMESH = NUMESH + 1
C 20 CONTINUE
C 30 CONTINUE
C 40 CONTINUE
C 50 CONTINUE
C 60 CONTINUE
C
C      20
C
C      CONTINUE
```

INSTITUTO DE FÍSICA DE CAROLINA DE RIBEIRÃO PRETO

```
30          CONTINUE
40          CONTINUE
          IF(POWER(NCONJ),EQ,0.0) NUMESH = 1
          DENSC(NCONJ) = POWER(NCONJ)/NUMESH
          NCONJ = NCONJ + 1
50          CONTINUE
60          CONTINUE
C
  WRITE(6,685)
  KF = 0
  DO 70 K=1,N
    KI = KF + 1
    KF = N*K
    WRITE(6,670) (DENSC(I),I=KI,KF)
70          CONTINUE
C
  ITER = 0
  VALOR = 0.
  DO 80 K=1,NQ
    IF(DENSC(K),EQ,0.0) GO TO 80
    VALOR = VALOR + DENSC(K)
    ITER = ITER + 1
80          CONTINUE
  DENST = VALOR/ITER
  WRITE(6,680) DENST
C
  DO 90 K=1,NQ
    PNORM(K) = DENSC(K)/DENST
90          CONTINUE
C
  KF = 0
  WRITE(6,685)
  DO 100 K=1,N
    KI = KF + 1
    KF = N*K
    WRITE(6,690) (PNORM(I),I=KI,KF)
100         CONTINUE
C
  NCONJ = 1
  DO 180 NCY=1,N
    N3 = NMESH(NCY)
    N4 = NMESH(NCY)
    DO 170 NCX=1,N
      N1 = NMESH(NCX)
      N2 = NMESH(NCX)
      DO 150 J=N1,N2
        DO 140 I=N3,N4
          DO 130 KB=1,1
            DO 120 J=N1,N2
              KJ = J - N1 + 1
              DO 110 I=N3,N4
                KI = I - N3 + 1
                PNORM(KJ,KI) = PDIJ(I,KB)/DENST
110             CONTINUE
120             CONTINUE
130             CONTINUE
140             CONTINUE
150             IF(POWER(NCONJ),EQ,0.0) GO TO 165
                WRITE(6,695) NCONJ
                DO 160 J=N3,N4
                  KJ = J - N3 + 1
                  KI = 1
00000640
00000650
00000660
00000670
00000680
00000690
00000700
00000710
00000720
00000730
00000740
00000750
00000760
00000770
00000780
00000790
00000800
00000810
00000820
00000830
00000840
00000850
00000860
00000870
00000880
00000890
00000900
00000910
00000920
00000930
00000940
00000950
00000960
00000970
00000980
00000990
00001000
00001010
00001020
00001030
00001040
00001050
00001060
00001070
00001080
00001090
00001100
00001110
00001120
00001130
00001140
00001150
00001160
00001170
00001180
00001190
00001200
00001210
00001220
00001230
00001240
00001250
00001260
```

```

          KF = N2 - N1 + 1
          WRITE(6,700) (PDNORM(I,KJ),I=K),KF)
160      CONTINUE
165      NCONJ = NCONJ + 1
170      CONTINUE
180  CONTINUE
C
      STOP
500  FORMAT(I3)
510  FORMAT(24I3)
600  FORMAT(1H ,18A4)
610  FORMAT(1H ,*OPTION= ',I2,10X,'TWO DIMENSIONAL SLAB (X,Y)')
620  FORMAT(1H ,*NUMBER OF COLUMNS= ',I3,5X,'NUMBER OF ROWS= ',I3,5X,'NUMBER OF PLANES= ',I3,5X,'CITATION SECTION 001  NGC7= ',I3,2X,'NG000001390
      :C21= ',I3)
630  FORMAT(1H ,*DEPLETION TIME= ',E12.6,5X,'POWER LEVEL= ',E12.6,5X,'K000001420
      : EFFETIVE= ',F12.9)
640  FORMAT(1H ,*NUMBER OF CONJUNTOS COMBUSTIVEIS= ',I4)
645  FORMAT(1H ,2(I/,10X,'MESH INICIAL',20X,'MESH FINAL')
650  FORMAT(1H ,15X,13,28X,13)
655  FORMAT(1H ,5(I/,15X,'LOCALIZACAO DOS CONJUNTOS COMBUSTIVEIS')
660  FORMAT(1H ,15X,20I4)
665  FORMAT(1H ,5(I/,40X,'DENSIDADE DE POTENCIA PARA CADA CONJUNTO COMBUSTIVEL')
670  FORMAT(1H ,10I12.6,1X)
680  FORMAT(1H ,5(I/,10X,'DENSIDADE DE POTENCIA MEDIA DO REATOR = ',E12.6,5X,'K000001520
      :.6)
685  FORMAT(1H ,5(I/,20X,'DENSIDADE NORMALIZADA DE POTENCIA PARA CADA CONJUNTO COMBUSTIVEL')
690  FORMAT(1H ,20(F5.3,1X))
695  FORMAT(1H ,5(I/,20X,'DENSIDADE NORMALIZADA DE POTENCIA PARA O CONJUNTO COMBUSTIVEL NUMERO ',I3)
700  FORMAT(1H ,20(F4.2,1X))
      END
/*
//GD.FTOIF001 DD DSN=ENZ20.POWER3.DATA,DISP=SHR
//GD.SYSIN DD *
  1  8 10 25 27 42 44 59 61 76 78 93 95110
/*
//
00001270
00001280
00001290
00001300
00001310
00001320
00001330
00001340
00001350
00001360
00001370
00001380
00001390
00001400
00001410
00001420
00001430
00001440
00001450
00001460
00001470
00001480
00001490
00001500
00001510
00001520
00001530
00001540
00001550
00001560
00001570
00001580
00001590
00001600
00001610
00001620
00001630
00001640
00001650
00001660
00001670
```

APÊNDICE VII. MODIFICAÇÕES IMPLEMENTADAS NO PROGRAMA LEOPARD

```
SUBROUTINE OUTPUT
COMMON INDX(15),FAC(5,7),WORD(35,2),OTE(4,3,6),YIELD(27,27) 00014970
1 TEUGR(4,2),SSMND(25),SSCAPA(25),CORPEL(25),SPVOLM(25) 00014990
COMMON DMFVRY,THORV,SSAMND(25),SSEMND(25),SSGMND(25) 00015000
1 SAMND,SFMD,SMND,BIGA(4),FSTFLX,FISA,FLSD,FLFX,FLGX,FLSR,FAU(4) 00015010
2 ONFFST(25,5),FLUX(2),XST(5,4),XSA(5,7),XSPEM(5,4),BALNCE(30,5) 00015020
3 PNL,CF(SX(6)),CELHTX,CORHTX,CORERA,CORERB,CORERC,CORERD,OMFGAM, 00015030
4 STDM,CAYINE,SPWZX,PIX,VIF,ENEOS(27),TEMX(4),RADX(4),FLUXED(2) 00015040
COMMON ZINDATA7,ICON(24),MACR3,MACX(35),DENMAC(35,4),MICRQ, 00015050
1 MICK(35),DENM(35),TEFC,TEMI(3),REFFUC,GRUCKL,BSQARE,HEDGE, 00015060
2 RAD(3),PITCH,SHARE,RH020,RH0200,RH0202,RH0202,RH0202,PRESSH, 00015070
3 PRESSD,CUTOFF,PUTINI,VOLUME,PINSTY,LOADNG,FRSCAL,STEPS(40), 00015080
4 PDISN(40),PUREN(35,4),VFAST(27),HXIS,FRACVL(3) 00015090
EQUIVALENCE (XLOADNG,LOADNG),(BURNUP,BURNS) 00015100
COMMON /TRSLT/ SMDND,SSTMND(25),SOCND,SSTCOM(25),SSACND(25), 00015110
1 SSECND(25),SSGCON(25),PFLPHI(3),DL25N,DL25N,PHI,VPI(27),SACND, 00015120
2 SFCND,SGCON 00015130
COMMON /MSLT/ DMFGAC,DMEGAS,FL,NOZNL,DEFC,DDPLRO,RT28,PSUB28, 00015140
1 TRDIS,OPDIS,SEARCH,GAMM(3),D(3),SIGMA(3),SX(3),GNUSX(3),SR(3), 00015150
2 ST(25,3),SA(25,3),SIGFK(25,3),GSX(25,3),SRA(25,3),SREM(25,3), 00015160
3 HOLON(5),ZERNL 00015170
COMMON /HEAD/ TITLE(10),NOSTEP,TIMBNS,BUBNS,TIMES,BUENS,NSTEPS 00015180
REAL*8 WORD,OTE 00015190
COMMON CR1,CR2,CR3,CR4,DEL25N,DEL25U,DLTA28,RH028N,RH028U, 00015200
1 CHRD,PRICOR,HWTU02,HWTU02,HWTU02,HWTU,WTOM 00015210
J=NSTEP,GT,11 GO TO 110 00015220
CALL HEADER 00015230
WRITE(6,5) 00015240
5 FORMAT(//50X,25H- MACROGROUP INPUT DATA -//3(1X,9HINDEX 5XNAME 00015250
1 6X,6HPELLETSX,6HCLAD 3X 9HMODERATOR 3X 5HEXTRA //) 00015260
DO 20 I=1,MACR0 00015270
DO 15 J=1,35 00015280
16 IINDEX(J),EQ,MACX(I) GO TO 20 00015290
15 CONTINUE 00015300
20 WRITE(6,25)MACX(I),WORD(J,1),WORD(J,2),(DENMAC(I,J),J=1,4) 00015310
25 FORMAT (1(35,2X)A6,4F10,6) 00015320
16 IINDEX(J),EQ,01 GO TO 68 00015330
WRITE(6,45) 00015340
45 FORMAT (//34X,42H TRACE ELEMENTS AND CORRESPONDENCE FACTORS // 00015350
X 39X,30H INDEX NAME FACTOR/) 00015360
DO 60 I=1,MICR0 00015370
DO 55 J=1,35 00015380
16 IINDEX(J),EQ,1A5MICX(I) GO TO 60 00015390
55 CONTINUE 00015400
60 WRITE(6,65)MICX(I),WORD(J,1),WORD(J,2),DENM(1) 00015410
65 FORMAT (1A3,4X,2A6,G13,6) 00015420
68 WRITE(6,105) SHARE,HEDGE 00015430
105 FORMAT (//10X24HNON-LATTICE FRACTION IS G14.6,39H AND THE NON-LAT 00015440
LICE PEAKING FACTOR IS G14.6) 00015450
110 CALL HEADER 00015460
J=ICON(2)+1 00015470
WRITE(6,130)OTE(J,1,1),OTE(J,2,1),TEMX 00015480
130 FORMAT (//39X27HTEMPTEMPERATURES, DEGREES 2A6//11X6HPELLETT(16X)13HCLAD 00015490
XND V(1)14X9HMODERATOR(16X)10HRESONANCE-EFFECTIVE/P(17,2,2F25,2,F28,2)100(1500 00015500
J=ICON(3)+1 00015510
I=ICON(4)+1 00015520
WRITE(6,135)OTI(1,1,2),OTE(J,1,6),OTE(J,2,6),RADX,FRACVL 00015530
135 FORMAT(//45X46,14H CELL GEOMETRY/18X13HOISTANCES IN 2A6,28X,25HUNION 00015540
17 CELL VOLUME FRACTIONS/4X9HPellet OR7X7HCLAD OR6X12HMODERATOR OR 00015550
26X5HPITCH9X13HPellet REGION3X11HCLAD REGION2X16HMODERATOR REGION /00015560
3F11,4,3F15,4,4X,3F15,4) 00015570
16 ILOADNG,EQ,0,01 GO TO 295 00015580
WRITE(6,235)HTON02,HWTU02,WTOM,HWTU,CELHTX,CORERA,CORERB,CORERC00015590
```

```
1, COREFD, CORHTX 00015600
235 FORMAT (//47X17HMODERATING RATIOS/ 8X16HCELL WATER/OXIDE 2X20HCELL 00015610
1HOT-WATER/OXIDE 2X16HCELL WATER/METAL2X20HCELL HOT-WATER/METAL 4X100015620
22HCELL H2O-235 /5X,5G20.6//8X16HCORE WATER/OXIDE2X20HCORE HOT-WATE00015630
3R/OXIDE2X16HCORE WATER/METAL2X20HCORE HOT-WATER/METAL4X12HCORE H2O0015640
4-235/5X,5G20.6) 00015650
IF(ICON(5).GT.0) GO TO 270 00015660
IF(VFAST(12).GE.VFAST(21)) 00015670
* WRITE(6,250) OPLRD,R(28),OMEGAC,OMEGAS,OMEGAM,DEFC,STOM,EL, 00015680
1 PSUB2B,PR3CUR 00015690
250 FORMAT (//39X32HTWO-STEP OMEGA SEARCH PARAMETERS /12X7HDOPPLER10X00015700
114HU-238 RFS.INT. 7X11HCALE.OMEGA*7X16HCONVERGED OMEGA* 6X,10HMUFT00015710
2 OMEGA/3X5G20.6//12X7HDANC OFF 8X18HSURFACE/MASS U-238 8X6HL-U23815X00015720
3 4HP-23 10X16HPR3-28 (CANOLE) /3X2G20.6,G21.6,G20.6,G19.6) 00015730
IF(VFAST(21).GT.VFAST(12)) 00015740
* WRITE(6,260) OPLRD,R(28),OMEGAC,OMEGAS,OMEGAM,DEFC,STOM,EL, 00015750
1 PSUB2B,PR3CUR 00015760
260 FORMAT (//39X32HTWO-STEP OMEGA SEARCH PARAMETERS /12X7HDOPPLER 9X00015770
115HTH-232 RFS.INT.7X11HCALE.OMEGA*7X16HCONVERGED OMEGA* 6X,10HMUFT00015780
3 OMEGA/3X5G20.6//12X7HDANC OFF 8X18HSURFACE/MASS U-238 7XTNL-TH2321500015790
3X4HP-02 10X16HPR3-28 (CANOLE) /3X2G20.6,G21.6,G20.6,G19.6) 00015800
IF(OMEGAS.LT.0.) WRITE(6,265) 00015810
265 FORMAT (47HNOCAUTION -- MUF3 SEARCH DID NOT FULLY CONVERGE.) 00015820
GO TO 295 00015830
C
FIXED L-FACTOR 00015840
270 WRITE(6,275) ZFNL,PUTINI,EL,OMEGAS,PR3CUR 00015850
275 FORMAT (//43X25HFIXED L-FACTOR PARAMETERS/ 5X17HZERNIK'S L-FACTOR 00015860
1 1X14HINPUT L-FACTOR 2X14HL USED BY MUF3 4X10HMUFT OMEGA 4X16HPR3- 00015870
228(CANOLE) / F(5,5,5F16.5) 00015880
295 WRITE(6, 300)RHOD20,RHOD2D,RHOD2Z,RHOPO2,RHOTO2,ONEVRV 00015890
300 FORMAT (//48X15H-MISCELLANEOUS-/10X,12HMZ-D DENSITY 4X,12HD2-D 0E+00015900
1SITY 4X,12HU-D2 DENSITY 4X,12HPD2 DENSITY 4X,12HTH02 DENSITY 3X, 00015910
114HMAXWELLIAN 1/V /8X,6G16.6) 00015920
WRITE(6, 335)PRSSH,PRESSD,GBUCKL,CHORD,HXIS,THOVVV 00015930
335 FORMAT (//10X12HM20 PRESSURE 4X17MO20 PRESSURE 6X 8HBUCKLING 7X10H00015940
1EFF, CHORD 4X13HXI-SCATTERING 19H WIGNER-WILKINS 1/V /8X2G16.6,G1400015950
2.6,2X,3G16.6) 00015960
IF(XADNG.EQ.00.00) GO TO 403 00015970
WRITE(6,355) H0LDK, CAYINE 00015980
355 FORMAT (//11X9H4-GROUP K 7X7HK *ONE* 9X,7HK *TWO* 6X,9HK *THREE* 00015990
18X,8HK *FOUR* 8X,10HK INFINITY/8XG16.7,1PG13.6,G16.6,G18.6,G16.6, 00016000
2G17.6) 00016010
WRITE(6,360) XADNG,P0NSTY,POK,SPWRX,FLUXED 00016020
360 FORMAT (//12X14HLOADING 4X13HPWER DENSITY4X13HPWER DENSITY3X14HSPED00016030
1111C POWR2X9HFAST FLUX9X12HTHERMAL FLUX/13X6HIC/CC)4X13HMK / L(100016040
2ER) 4X13HMK / CU.FT.)3X14H (KW / KG) 2X10H(ABSOLUTE)4X12H (ABS00016050
3DLUTE) /4F17.3,1P2G14.5) 00016060
IF(SEARCH.EQ.0.)WRITE(6,370) BSQARE 00016070
370 FORMAT (11H014X18HMATERIAL BUCKLINS=1PG12.5) 00016080
IF(SEARCH.GT.0.) WRITE(6,380) QP0IS,TP0IS 00016090
380 FORMAT (11H014X15HTHERMAL POISON=1PG12.5,23H GROUP THREE T-FACTOR= 00016100
1 OPF4.2,1H2) 00016110
IF(SEARCH.LT.0.) WRITE(6,390) 00016120
390 FORMAT (11 CONTROL SEARCH BYPASSED) 00016130
WRITE(6,400) 00016140
400 FORMAT (11H+2X25HRUILT-IN K-BIAS IS 1.00361 00016150
403 CONTINUE 00016160
CALL HEADPR 00016170
WRITE(6, 405) 00016180
405 FORMAT (//11X14HELEMENT)4X16HNUMBER DENSITIES 23X 15HDIFFERENTIAL REMOV00016190
1AL CROSS SECTIONS/5X5HINDEX 5X4HNAMF9X9HFLUX WTD.5X11HVOLUME WTD.3X00016200
25HRATIO7X4HGROUP ONE4X9HGROUP TWO 5X11HGROUP THREE/1 00016210
DO 420 I=1,25 00016220
```



```
IF(VP(I)+VFAST(I)) 420, 420, 410 00016230
410 SNAKE=VP(I)/VFAST(I) 00016237
WRITE(6, 415)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),VP(I),VFAST(I),SNAKE, 00016259
1 ISREM(I),J),J=1,3,11 00016260
415 FORMAT (10,3X2A6,2X,1P2014.6,0PF9.5,2X,1P3G15.6) 00016277
420 CONTINUE 00016280
00 425 I=26,27 00016290
425 IF(VFAST(I).NE.0.0) WRITE(6,430)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2), 00016307
1 VFAST(I) 00016310
430 FORMAT (10,3X,2A6,1AX,1PG14.6) 00016320
WRITE(6,440)(INDEX(I+30),WORD(I+30,1),WORD(I+30,2),(XSREM(I),J), 00016330
1 J=1,3),I=1,5) 00016340
440 FORMAT (10,3X2A6,4X1P3G15.6) 00016350
IF(NQZWL.NE.0) WRITE(6,460) WORD(NQZWL,1),WORD(NQZWL,2) 00016360
460 FORMAT (//39HORDERLY CROSS SECTIONS ARE FITTED FOR ZA6) 00016370
CALL HEADER 00016380
WRITE(6, 470) 00016390
470 FORMAT (//13X,THE ELEMENT 37X36MICROSCOPIC TRANSPORT CROSS SECTIONS// 00016407
7X,5HINDEX3X,4HNAME18X, 9HGROUP ONE 6X, 9HGROUP TWO 5X,11HGROUP THREE 00016410
XREE 6X 7HTHERMAL 6X,11HTHERMAL MND) 00016420
WRITE(6,480)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),(ST(I),J),J=1,3),SSCON(I),I=1,25) 00016430
1 (I),SSMND(I),I=1,25) 00016440
480 FORMAT (110,3X,2A6,10X,5G15.7) 00016450
WRITE(6, 480)(INDEX(I+30),WORD(I+30,1),WORD(I+30,2),(ST(I),J),J=1,3),I=1,5) 00016460
1,5),I=1,5) 00016470
C ABSTRACTION PAGE 00016480
CALL HEADER 00016490
WRITE(6, 495) 00016500
495 FORMAT (// 7X7HELEMENT 37X37MICROSCOPIC ABSORPTION CROSS SECTIONS// 00016510
1/2X5HINDEX2X4HNAME)OYHGROUP ONE6X9HGROUP TWO 7X,8H3-SMOOTH 6X, 9H00 00016520
RESONANCE7X7HTHERMAL6X11HTHERMAL MND) 00016530
WRITE(6, 505)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),ISA(I),J),J=1,3),SRAC(I), 00016540
1 3),SSCON(I),SSMND(I),I=1,25) 00016550
505 FORMAT (15,2X2A6,6G15.7) 00016560
WRITE(6,505)(INDEX(I+30),WORD(I+30,1),WORD(I+30,2),(XSA(I),J),J=1,3),I=1,5) 00016570
1 6),I=1,5) 00016580
C FISSION,NUFISSION 00016590
CALL HEADER 00016600
WRITE(6, 515) 00016610
515 FORMAT (//15X7HELEMENT 36X36MICROSCOPIC FISSION CROSS SECTIONS// 7X00 00016620
1X5HINDEX5X4HNAME)7X9HGROUP ONE6X,9HGROUP TWO5X11HGROUP THREE6X7HTHE 00016630
RMAL6X)11HTHERMAL MND) 00016640
00 525 I=1,25 00016650
525 IF(SIGFX(I,1)+SIGFX(I,2)+SIGFX(I,3)+SSCON(I).NE.0.0) 00016660
* WRITE(6, 480)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),(SIGFX(I),J),J=1,3),SSC 00016670
1 CON(I),SSMND(I) 00016680
WRITE(6, 530) 00016690
530 FORMAT (//15X7HELEMENT 35X36MICROSCOPIC NUFISSION CROSS SECTIONS// 7000 00016700
1X5HINDEX5X4HNAME)7X9HGROUP ONE6X9HGROUP TWO5X11HGROUP THREE6X7HTHE 00016710
RMAL6X)11HTHERMAL MND) 00016720
00 540 I=1,25 00016730
540 IF(GSX(I,1)+GSX(I,2)+GSX(I,3)+SSCON(I).NE.0.0) 00016740
* WRITE(6, 490)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),(GSX(I),J),J=1,3),SSCON 00016750
1 (I),SSMND(I) 00016760
C ONE FAST 00016770
CALL HEADER 00016780
WRITE(6, 550) 00016790
550 FORMAT (// 40X,41HONE-FAST-GROUP MICROCOPIC CROSS SECTIONS // 1000 00016800
XX,7HELEMENT)3X10HABSORPTION 5X,9HTRANSPORT 7X,7HEFISSION 8X,THRENOVO 00016810
DAL 7X,10HNU-FISSION//) 00016820
WRITE(6, 560)(INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),(ONEFST(I),J),J=1,3), 00016830
1 ONEFST(I),ONEFST(I,4),I=1,25) 00016840
560 FORMAT (17,3X2A6,5X,5G15.7) 00016850
```

```
BLURP=0.0 00016860
WRITE(6, 560){INDEX(I+30),WORD(I+30,1),WORD(I+30,2),KSA(I,7),XST 00016870
I (1,6),BLURP,XSREM(I,4),BLURP,I=1,5) 00016880
CALL HEADER 00016890
WRITE(6, 565) 00016900
565 FORMAT (1H0/36X39NFUTRON BALANCE USING MATERIAL BUCKLING//14X 7H00016910
ELEMENT 10X67HFAST CAPTURE FAST FISSION SLOW CAPTURE SLOW F100016920
XSSTON TOTAL %) 00016930
DO 575 I=1,25 00016940
575 IF(BALNCF(I,5),NF,0.0) 00016950
* WRITE(6, 595)INDEX(I),WORD(I,1),WORD(I,2),{BALNCF(I,J),J=1,5) 00016960
595 FORMAT(1I12,1X246,1PG17.6,G14.6,G17.6,G14.6,G17.6) 00016970
IF(BALNCF(29,5),GT,0.0) WRITE(6,585){BALNCF(29,J),J=1,5,2) 00016980
585 FORMAT(1H012X6HP01SON1G23.6,2G31.6) 00016990
IF(BALNCF(30,5),GT,0.0) WRITE(6,600){BALNCF(30,J),J=1,5,2) 00017000
600 FORMAT(1H012X,7HLEAKAGE 1PG22.6,2G31.6) 00017010
C BROAD-GROUP RESULTS AND CONVERSION RATIOS. 00017020
CALL HEADER 00017030
WRITE(6, 610) 00017040
610 FORMAT(//53X16HMACROSCOPIC EDIT //5X6HSCHEME3X9HDIFFUSION5X,10HAB500017050
10RPT10N7X7HREMOVALBX,7HFISSION7X9HNUFISSION6X3HAGE.6X1HP5X4HFLUX 00017060
2 3X,10HKAPPA FSN.) 00017070
DO 650 I=1,3 00017080
SNAKE=SR(I)/ISR(I)+SIGMA(I) 00017090
650 WRITE(6, 655)I,D(I),SIGMA(I),SR(I),SX(I),GNUSX(I),TAU(I),SNAKE, 00017100
1 GAMM(I),CFISN(I) 00017110
655 FORMAT(16,5H OF 3 F12.7,2X,4G15.7,F8.3,F8.5,F8.4,F12.5) 00017120
SNAKE=FISR/(FISR+FISA) 00017130
IF(FIFX) 740, 740, 750 00017140
740 G1NU = 0. 00017150
GO TO 760 00017160
750 G1NU = F1GX/F1FX 00017170
760 IF(SFCO) 770, 770, 780 00017180
770 G2NU = 0. 00017190
GO TO 790 00017200
780 G2NU = SGC0N/SFCO0N 00017210
790 GREM0 = FISR + FISA 00017220
WRITE(6, 660)F1SD,FISA,FISR,FIFX,F1GX,TAU(4),SNAKE,FSTFLX,CFISN100017230
14 ) 00017240
660 FORMAT (/5X,6H1 OF 1,F12.7,2X,4G15.7,F8.3,F8.5,F8.4,F12.5) 00017250
WRITE(6, 665)SDCO0N,SAC0N,SFCO0N,SGCO0N,PHI,CFISN(5) 00017260
WRITE(6, 670)SDMND,SAMND,SFMND,SGMND,CFISN(6) 00017270
665 FORMAT(/4X7HTHERMAL F12.7,G17.7,15X,2G15.7,F24.4,F12.4) 00017280
670 FORMAT(13H0 THERMAL MND F10.7,G17.7,15X,2G15.7,F36.4) 00017290
C PUNCH 720 , F1SD , SAC0N 00017300
C PUNCH 720 , GREM0 , SAC0N 00017310
C PUNCH 720 , FISR 00017320
C PUNCH 720 , F1GX , SGC0N 00017330
BLOD=.625 00017340
WRITE(6, 675)BLOD,RHQ2BU,DEL25U 00017350
675 FORMAT (/15H FOR CUTOFF AT F4.3,12H, RHQ-2B IS F7.4,18H, AND DELT00017360
AA-25 IS F7.4) 00017370
IF(CUTOFF.GT,0.0) WRITE(6,675)CUTOFF,RHQ2BN,DEL25N 00017380
WRITE(6, 690)CR1,CR4,CR2,CR3 00017390
690 FORMAT (/50H RATIO OF FERTILE CAPTURES TO FISSION ABSORPTIONS F8.00017400
14,10X30H'FERTILE' MEANS TH232+U234+U238+PU240.//50H RATIO OF FERTI0017410
2LE FISSIONS TO FISSION ABSORPTIONS F8.4,10X30H'FISSION' MEANS U233+0017420
3+U235+PU239+PU241.//50H RATIO OF U-238 CAPTURES TO FISSION ABSORPT00017430
4IONS F8.4//50H RATIO OF U-238 CAPTURES TO U-235 FISSIONS 00017440
5 F8.4) 00017450
WRITE(6, 695)VL6 00017460
695 FORMAT (/22H PROMPT NEUTRON LIFETIME IS F6.2,14H MICROSECONDS.) 00017470
WRITE(6,700) G1NU , G2NU , GREM0 00017480
```

```
700 FORMAT(///,5X,'NU PARTID' =',F6.3/,5X,'NU TERMICO' =',F6.3, 00017499
1 //5X,'REMOCAO (CHO) =',F10.8) 00017500
720 FORMAT(2F10.8) 00017510
IF(IICON(21),NF,1) GO TO 930 00017520
CALL CICOP1 00017530
930 IF(IICON(21),NF,2) GO TO 940 00017540
CALL CICOP2 00017550
940 IF(IICON(21),NF,4) GO TO 950 00017560
CALL CICOP4 00017570
950 RETURN 00017580
END 00017590
SUBROUTINE CICOP4 00021900
C 00021910
DIMENSION CHI(4), FT(4), OLI(10), NI(25), SCREMO(3), A1(25),
: A2(25), A3(25), A4(25), A5(25), A6(25), A16(25), 00021920
: A17(25), A18(25), A20(20), A41(25), A42(25), A43(25), 00021930
: A44(25), A45(25), A46(25), IZERO(22), ZERO(22), 00021940
: ALFR(6,25), IFIM(20), SIGMAA(25), SIGMAF(25), 00021950
: SIGMAT(25), SATO(25), PALAVR(6) 00021960
C 00021980
COMMON INDFX(38) 00021990
COMMON /INDATA/ ICN(24), DMY1(493), VFAST(27) 00022000
COMMON /TRSLT/ DMY2(27), SSICCN(25), SSACCN(25), SSFCGN(25), 00022010
: SSGCCN(25), DMY3(6), VPI(27) 00022020
COMMON /HRSLT/ DMY4(70), SX(3), GNUSX(3), SR(3), ST(25,3), 00022030
: SA(25,3), SIGFX(25,3), GSX(25,3), SRA(25,3) 00022040
COMMON /HFAO/ TITL(18) 00022050
COMMON /NR/ NPEC 00022060
C 00022070
DATA IZERO/22*0/, ZER0/22*0./, NT/0/, NU/0/, NZ/0/, NG/4/, 00022080
: CHI/0.751633,0.248166,0.0,0.0/, 00022090
: E1/10.F+06.,R21F+06.,S3F+03.,.625/, 00022100
: DL/0.124,0.005,0.11,0.30,1.14,3.01,4*0./, 00022110
: NI/01,23,44,05,33,35,27,31,32,10,11,12,14,15,16,67,58,75,78, 00022120
: 02,06,07,08,09,17/, 00022130
: A1/1.007925,15.9974,91.22,12.003804,55.847,58.71,26.9815, 00022140
: 51.998,54.019,210.049,236.0456,238.0508,239.0521, 00022150
: 240.0539,241.0,148.9172,135.0,1.0,10.012939,2.014735, 00022160
: 232.0381,233.0,233.0395,234.0409,242.0587/, 00022170
: A2/0.,9.,51.,5.,20.,10.,14.,24.,30.,143.,144.,146.,145., 00022180
: 146.,147.,87.,81.,9.,5.,1.,147.,141.,142.,148.,88./ 00022190
DATA A3/9*0.,3.233E-11,3.24E-11,3.309999E-11,3.34E-11,3.36E-11, 00022200
: 4.37E-11,5*0.,2.95E-11,0.,1.04E-11,3.02E-11,3.8E-11/, 00022210
: A4/14*0.,0.17E-08,0.,0.211E-04,4*0.,0.297E-06,3*0./, 00022220
: A5/14*0.,241.0,0.,135.0,0*0./, 00022230
: A6/14*0.,0.0209,0.,1.16,8*0./, 00022240
: A16/332.,0007.,18.,0034,2.53,4.6.,235,3,1,13,3,678,2.6., 00022250
: 2.73,1014,5.786.,1375.,40800.,2.7E+06,0.,3837.,56-03, 00022260
: 7.4,0.,573,1,35.,30./, 00022270
: A17/9*0.,577.1,0.,0.,740.6,0.03,950.,7*0.,524.5,0.,0.2/, 00022280
: A18/9*0.,2.43,0.,2.3,2.87,0.,3.0,5*0.,1.87,0.,2.48,0.,0./ 00022290
DATA A41/9*0.,.00052,3.,.00054.,.00021.,.00022,6*0.,.00169,0., 00022300
: .00057,0.,0./, 00022310
: A42/9*0.,.00346,0.,.00564.,.00182.,.00238,6*0.,.00744,0., 00022320
: .00197,0.,0./, 00022330
: A43/9*0.,.00310,0.,.00667.,.00129.,.00162,6*0.,.00769,0., 00022340
: .00166,0.,0./, 00022350
: A44/9*0.,.00674,0.,.01599.,.00199.,.00315,6*0.,.02212,0., 00022360
: .00184,0.,0./, 00022370
: A45/9*0.,.00192,0.,.00927.,.00052.,.00119,6*0.,.00853,0., 00022380
: .00034,0.,0./, 00022390
: A46/9*0.,.00066,0.,.00309.,.00027.,.00024,6*0.,.00213,0., 00022400
: .00022,0.,0./ 00022410
```













```
C RETURN 00025510
C END 00025510
SUBROUTINE CICOPE 00025600
C 00025610
DIMENSION CHI(2), FT(2), DL(10), NI(25), SCREM(3), A1(25), 00025630
: A2(25), A3(25), A4(25), A5(25), A6(25), A16(25), 00025640
: A17(25), A18(25), A20(20), A41(25), A42(25), A43(25), 00025650
: A44(25), A45(25), A46(25), ZERO(22), ZER0(22), 00025660
: ALETR(6,25), IFIM(20), SIGMAA(25), SIGMAF(25), 00025670
: SIGMAT(25), PALAVR(6) 00025680
C 00025690
COMMON INDFX(35), FACTOR(5,7), WORD(35,21), OTE(4,3,6), YIELD(27,27), 00025700
: TUGF(4,2), SSMND(25), SSCAPA(25), CORREL(25), SPVNLH(25) 00025710
COMMON ONEVPV, TWRVRV, SSAMND(25), SSFMND(25), SSGMND(25), 00025720
: SAMND, SCMND, SCMND, BIGA(4), FSTFLX, FISA, FISO, FIFX, FIGX, FISA, TAU(4), 00025730
: ONEFST(25,5), FLUX(2), XSI(5,6), XSA(5,7), XSREN(5,4), BALNCE(30,5), 00025740
: PNL, CFISN(6), CFLHTX, CURHTX, CORFRA, CORFRB, CORERC, CORERD, OMEGAM, 00025750
: STOM, CAYINF, SPWRX, PIX, VIE, ENFOS(27), TFMX(4), RADIX(4), FLUXED(2) 00025760
COMMON /INDATA/ ICON(24), DMY1(47), VFAST(27) 00025770
COMMON /TRSLT/ DMY2(27), SSICON(25), SSACON(25), SSFCON(25), 00025780
: SSGCON(25), DMY3(8), VPI(27) 00025790
COMMON /HEAD/ TITLE(18) 00025800
COMMON /NR/ NRFC 00025810
C 00025820
REAL*8 WORD,OTF 00025830
C 00025840
DATA ZERO/22*0./, ZER0/22*0./, NI/0/, NU/0/, NZ/0/, NG/2/, 00025850
: CHI/1.0,0.0/, FT/1.0,0.0,0.625/, 00025860
: DL/0.124,0.005,0.111,0.001,1.14,3.01,4*0./, 00025870
: NI/01,23,44,05,33,35,27,31,32,10,11,12,14,15,16,17,58,75,78, 00025880
: 02,04,07,08,09,17/, 00025890
: A1/1.007825,15.9094,91.22,12.003804,55.847,58.71,26.9815, 00025900
: 51.996,54.918,215.0439,236.0456,230.0508,239.0921, 00025910
: 240.0539,241.0,149.9172,135.0,1.0,10.012939,2.014735, 00025920
: 232.0381,233.0,233.0396,234.0409,242.0587/, 00025930
: A2/0.,8.,51.,6.,20.,30.,14.,23.,30.,143.,144.,145.,145., 00025940
: 146.,147.,87.,81.,0.,5.,1.,142.,141.,142.,148.,88./ 00025950
DATA A3/9*0.,3.23E-11,3.24E-11,3.3099999E-11,3.34E-11,3.36E-11, 00025960
: 3.37E-11,5*0.,2.95E-11,0.,3.04E-11,3.02E-11,3.8E-11/, 00025970
: A4/14*0.,0.17E-08,0.,0.21E-04,4*0.,0.297E-06,3*0./, 00025980
: A5/14*0.,241.0,0.,135.0,8*0./, 00025990
: A6/14*0.,0.0203,0.,1.16,8*0./, 00026000
: A16/0.332,0.0777,0.13,0.0034,2.53,4.6,235,3.1,13,3,678,2.6,, 00026010
: 2.73,1014.5,286.,1375.,40800.,2.7E+06,0.,3837.,5E-03, 00026020
: 7.4,0.,573.1,95.,30./, 00026030
: A17/9*0.,577.1,0.,0.,740.6,0.03,950.,7*0.,524.5,0.,0.2/, 00026040
: A18/9*0.,2.43,0.,2.3,2.87,0.,3.0,5*0.,1.87,0.,2.48,0.,0./ 00026050
DATA A41/9*0.,0.0052,0.,0.00054,0.00021,0.00027,6*0.,0.00169,0., 00026060
: 0.00057,0.,0./, 00026070
: A42/9*0.,0.00346,0.,0.00564,0.00182,0.00238,6*0.,0.00744,0., 00026080
: 0.00197,0.,0./, 00026090
: A43/9*0.,0.00310,0.,0.00667,0.00129,0.00162,6*0.,0.00769,0., 00026100
: 0.00166,0.,0./, 00026110
: A44/9*0.,0.00674,0.,0.01599,0.00199,0.00315,6*0.,0.02212,0., 00026120
: 0.00184,0.,0./, 00026130
: A45/9*0.,0.00182,0.,0.00927,0.00052,0.00119,6*0.,0.00853,0., 00026140
: 0.00034,0.,0./, 00026150
: A46/9*0.,0.00066,0.,0.00309,0.00027,0.00024,6*0.,0.00213,0., 00026160
: 0.00022,0.,0./ 00026170
DATA ALETR/4*4H ,*HIDR*,*OGEN*,4*4H ,*OXIG*,*ENID*, 00026180
: 4*4H ,*ZIPC*,*ALDY*,4*4H ,*CARB*,*ONO *, 00026190
```

```
1          4*4H      , 'FERR', '1' , 4*4H      , 'NIQU', 'EL' ,          00026200
2          4*4H      , 'ALLM', '1NIQ', 4*4H      , 'FROM', 'D' ,          00026210
3          4*4H      , 'HANG', 'ANFS', 4*4H      , 'URAN', '1-235',        00026220
4          4*4H      , 'IRAN', '1-236', 4*4H      , 'URAN', '1-238',        00026230
5          4*4H      , 'OJ-2', '130' , 4*4H      , 'PU-2', '140' ,          00026240
6          4*4H      , 'OH-2', '141' , 4*4H      , 'SM-1', '149' ,          00026250
7          4*4H      , 'XE-1', '135' , 4*4H      , 'PROD', 'FIS',          00026260
8          4*4H      , 'ORRO', '1-10' , 4*4H      , 'DEUT', 'ERIO',          00026270
9          4*4H      , 'TH-2', '132' , 4*4H      , 'PA-2', '133' ,          00026280
10         4*4H      , 'ORAN', '1-233', 4*4H      , 'URAN', '1-234',          00026290
11         4*4H      , 'PU-2', '142' , /          00026300
DATA PALAVR/4*4H      , 'VEN.', 'QUEI' /          00026310
C          00026320
C          00026330
IFIM(1) = -1          00026340
DO 10 M=2,20          00026350
IFIM(M) = M          00026360
10 CONTINUE          00026370
C          00026380
C          00026390
NN = 6          00026400
NO = NG - 1          00026410
DO 30 I=1,25          00026420
IF(I.EQ.16.OR.I.EQ.17.OR.I.EQ.18) GO TO 30
IF( VP(I) + VFAST(I) ) 30, 30, 20 00026430
20 NN = NN + 1          00026440
30 CONTINUE          00026450
IF(ICON(22).EQ.1) NN = 28
IF(ICON(23).EQ.1) NN = NN + 1
C          00026460
C          00026470
C          00026480
C          00026490
WRITE(6,600)          00026500
WRITE(6,605) TITLE   00026510
WRITE(6,610) NT, NN, NG, NO, NU, NZ 00026520
WRITE(6,615) (CHI(M), M=1,2)      00026530
WRITE(6,620) (ET(M), M=1,2)       00026540
WRITE(6,625) (ZERO(M), M=1,2)     00026550
WRITE(6,630) (ZERO(M), M=1,2)     00026560
WRITE(6,635) (DL(M), M=1,10)      00026570
WRITE(6,640) (ZERO(M), M=1,10)    00026580
C          00026590
C          00026600
WRITE(8) (TITLE(I), I=1,18)       00026610
WRITE(8) NT, NN, NG, NO, NU, NZ   00026620
WRITE(8) (CHI(M), M=1,2), (ET(M), M=1,2), (ZERO(M), M=1,4),
1      (DL(M), M=1,10), (ZERO(M), M=1,10) 00026630
C          00026640
C          00026650
C ***** ENTRADA DE DADOS PARA CADA NUCLIDO ***** 00026660
C          00026670
C          00026680
NREC = 3          00026690
NCONT = 1          00026700
DO 210 I=1,75          00026710
IF(I.EQ.16.OR.I.EQ.17.OR.I.EQ.18) GO TO 210
IF(ICON(22).EQ.1) GO TO 40
IF( VP(I) + VFAST(I) ) 210, 210, 40 00026720
40 NREC = NREC + 1          00026730
C          00026740
C          00026750
IF(NCONT.EQ.2) NCL(9) = 83          00026760
C          00026770
C          00026780
DO 50 N=1,20          00026790
A20(N) = ZERO(N)          00026800
50 CONTINUE          00026810
C          00026820
WRITE(6,645) NREC, NCL(1), INDEX(1), (ZERO(M), M=1,31),
```

```

      1 FACT(14,1), M=1,91
      2 WRITE(6,650) A1(1), B2(1), A3(1), B4(1), A5(1), A6(1),
      3 (ZERO(1), M=1,91), A1(1), A1(1), A1(1), A1(1),
      4 ZFR(1,1), (A2(1), M=1,20), ZERO(2), A4(1),
      5 A4(1), A4(1), A4(1), A4(1), A4(1), A4(1),
      6 (ZERO(4), M=1,14)
      7
      8 WRITE(8) N1(1), (ZERO(1), M=1,3),
      9 (AFTRIM(1), M=1,6), A1(1), A2(1), A3(1), A4(1),
      0 A5(1), A6(1), (ZERO(1), M=1,9), A1(1), A1(1),
      1 A1(1), ZFR(1,1), (A2(1), M=1,20), ZERO(2), A4(1),
      2 A4(1), A4(1), A4(1), A4(1), A4(1), A4(1),
      3 (ZERO(4), M=1,14)
      4
      5 IF1 ONEST(1,1) ) 80, 80, 90
      6 DO G1NU = 0,
      7 GO TO 100
      8 90 G1NU = ONEST(1,4)/DNFST(1,3)
      9 100 IF1 SSFGON(1) ) 170, 170, 180
      0 170 G2NU = 0,
      1 GO TO 190
      2 180 G2NU = SSOGON(1)/SSFCGN(1)
      3 190 IF1 WFAST(1) ) 192, 192, 194
      4 192 SNAKE = 1,0
      5 GO TO 196
      6 194 SNAKE = VPI(1)/VFAST(1)
      7 196 SIGMA(1) = SSACON(1)*SNAKE
      8 SIGMA(1) = SSFCN(1)*SNAKE
      9 SIGMA(1) = SSFCN(1)*SNAKE
      0
      1 NREC = NREC + 1
      2
      3 WRITE(6,655) NREC,
      4 ONEST(1,1), ONEST(1,3), ONEST(1,2), G1NU, ZERO(1),
      5 SIGMA(1), SIGMA(1), SIGMA(1), G2NU, ZERO(2),
      6 IF1 ANDX(1), FO(1) GO TO 200
      7 WRITE(6,660) (ZFR(1), M=1,4)
      8
      9 WRITE(9) ONEST(1,1), ONEST(1,3), ONEST(1,2), G1NU, ZERO(1),
      0 SIGMA(1), SIGMA(1), SIGMA(1), G2NU, ZERO(2),
      1 (ZERO(1), M=1,4)
      2
      3 GO TO 205
      4 SCRF(1) = FLSR/VFAST(1)
      5 WRITE(6,660) ZFR(1), SCRF(1), (ZERO(1), M=1,2)
      6
      7 WRITE(9) ONEST(1,1), ONEST(1,3), ONEST(1,2), G1NU, ZERO(1),
      8 SIGMA(1), SIGMA(1), SIGMA(1), G2NU, ZERO(2),
      9 ZFR(1), SCRF(1), (ZERO(1), M=1,2)
      0
      1 205 IF1CON(1,2) GO TO 210
      2 IF1CON(2,1) FO(1) AND(1) FO(1) NCONT = NCONT + 1
      3 IF1CON(1,2) GO TO 40
      4
      5 210 CONTINUE
      6
      7 CALL FLSPR2
      8
      9 WRITE(8) (F1H(H), M=1,20)
      0
      1 NUMBER = 83
      2 N1(1) = 78
      3 WRITE(6,665)

```

```

00027930
00026440
00026554
00025560
00026670
00026990
00026900
00026920
00026920
00026936
00025940
00026950
00025962
00026970
00026980
00026970
00027000
00027010
00027020
00027030
00027040
00027050
00027060
00027070
00027080
00027090
00027100
00027110
00027120
00027130
00027140
00027150
00027160
00027170
00027180
00027190
00027200
00027210
00027220
00027230
00027240
00027250
00027260
00027270
00027280
00027290
00027300
00027310
00027320
00027330
00027340
00027350
00027360
00027370
00027380
00027390
00027400
00027410
00027420
00027430
00027440
00027450

```

```
07 240 I=1,25                                00027460
IF( VP(I) + VFAST(I) ) I 240, 240, 220      00027470
IF( ICON(23).EQ.1.AND.I.EQ.19) GO TO 230    00027480
WRITE(6,670) (ALETRIM,I), M=1,6), N(I), VFAST(I) 00027490
GO TO 240                                     00027500
230 WRITE(6,690) (ALETRIM,I), M=1,6), N(I)    00027510
WRITE(6,690) (PALAVR(M), M=1,6), NUMBER      00027520
240 CONTINUE                                  00027530
C
IF(ICON(24).NE.1) GO TO 250                  00027540
WRITE(6,675)                                  00027550
END FILE B                                    00027560
C
C
600 FORMAT(1H,7(7),10000 ENTRADA DE DADOS PARA O PROGRAMA CITATION *00027600
:10000,7,1X,'RECORD ')                      00027610
605 FORMAT(1H,11TITLE ***** 1,10A4)       00027620
610 FORMAT(1H,1RECORD 2,7,1X,'DATA TYPE, NUCLIDS, NOGRPS, DWSCAT, UPS00027630
:CAT, EXTRA',6I4)                            00027640
615 FORMAT(1H,1RECORD 3,7,1X,'GROUP CHIS',7,1X,2(2X,E12.6)) 00027650
620 FORMAT(1H,1UPPER ENERGY OF EACH GROUP',7,1X,2(2X,E12.6)) 00027660
625 FORMAT(1H,1MEAN ENERGY OF EACH GROUP',7,1X,2(2X,E12.6)) 00027670
630 FORMAT(1H,11/2 SIGMA FOR EACH GROUP',7,1X,2(2X,E12.6)) 00027680
635 FORMAT(1H,1DELAYED NEUT. PRECURSOR DECAY CONSTS.',7,1X,9(2X,E12.6)00027690
:1,7,3X,E12.6)                                00027700
640 FORMAT(1H,1GAMMA ENERGY STRUCTURE',7,1X,9(2X,E12.6),7,3X,E12.6) 00027710
645 FORMAT(1H,1RECORD',13,7,1X,'SIMPLE NUC.NO, OTHER NUC.NO, SIGMA [NO00027720
:DWSCAT,INO, EXTRA',14,1H,3I4,7,1X,'NAME ***** 1,6A4) 00027730
650 FORMAT(1H,1GENERAL DATA',7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,900027740
:1(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,900027750
:1,6(2X,E12.6))                                00027760
655 FORMAT(1H,1RECORD',13,7,1X,'(SIGMA(K), SIGF(K), SIGTR(K), SNU(K), 00027770
:SIGX(K), K=1,KMAX)/1(SIGS(KK,K),KK=1,KMAX),K=1,KMAX)',7,1X,9(2X,E12.6)00027780
:12.6),7,1X,5(2X,E12.6))                      00027790
660 FORMAT(1H,4(2X,E12.6))                    00027800
665 FORMAT(1H,7,15X,'NUCLIDE NAME, NUCLIDE NUMBER AND NUCLIDE DENSITY00027810
: TO INPUT SECTION 020 - CITATION CODE')      00027820
670 FORMAT(1H,10X,A4,10X,11,10X,E12.6)       00027830
675 FORMAT(1H,13(7),10X,'*****' FINAL DE ENTRADA DE DADOS00027840
:OS PARA O FILE B *****')                  00027850
680 FORMAT(1H,10X,A4,10X,13)                  00027860
C
C
250 RETURN                                    00027870
C
END                                            00027880
SUBROUTINE FISPR2                             00027890
C
C
DIMENSION N1(6), N2(6), A1(6), A4(6), A20(20), IZERO(3), ZERO(56),00027900
: ALETR(6,6), YEP26(25), YEP27(25), YEP17(25), SIGMA(2), 00027910
: SIGTR(2), YEP13(25)                          00027920
C
COMMON INDX(35), FACTOR(5,7), WPOD(15,2), DT(4,3,6), YIELD(27,27), 00027930
: TENG(4,7), SSM7(125), SSCAPA(25), CORREL(25), SPVOLM(25) 00027940
COMMON ONEVAV, TWOVRV, SSMND(25), SSMND(25), SSMND(25), 00027950
: SAMND, SFMND, SGMND, RIGA(4), FSTFLX, FISA, FISO, FIFX, FIGX, FISR, TAU(4), 00029010
: ONEST(25,5), FLUX(2), XST(5,6), XSA(5,7), XSREM(5,4), BALNCE(30,5), 00028020
: PNL, CFISN(6), CFLHTX, CORHTX, CORERA, CORERB, CORERC, CORERD, OMEGAM, 00028030
: STOM, CAYTNE, SPWXY, POX, VIF, CNEOS(27), YEMX(4), RADN(4), FLUXEN(2) 00028040
COMMON /INDATA/ ICON(24), OMY(149), VFAST(27) 00028050
COMMON /TRSLT/ OMY2(27), SSTCON(25), SSACON(25), SSFCON(25), 00028060
: OMY3(31), VP(27)                              00028070
COMMON /NRSLT/ OMY4(29), ST(25,3), SA(25,3), SIGFX(25,3), 00028080
```

```

      DIMY(75), SRA(25,3)
COMMON /NR/ NREC
REAL*8 WPRD,OTF
DATA ZFRQ/3*0/, ZFRQ/56*0./, NI/13.66,57.67,58.75/,
: N2/777.75,25.26,77.28/, A1/237.,149.,135.,148.9172,135.,1./,
: A4/.341E-05.,.385E-05.,.283E-05.,.211E-04,0./,
: YFP17/9*0.,.640,002,5*0.,.5*0.002/,
: YEP18/9*0.,.6*1.,.5*0.,.5*1./,
: YEP26/9*0.,.2*0.0113,0.02,2*0.0139,0.02,5*0.,.4*0.0113,0.02/,
: YEP27/9*0.,.3*0.067,2*0.070,0.063,5*0.,.4*0.062,0.063/,
: ALETR/4*4H , 'NP-2', '39', '4*4H', 'PR-1', '49',
: 4*4H , '1-13', '15', '4*4H', 'SM-1', '49',
: 4*4H , 'XE-1', '35', '4*4H', 'PRD', 'PIS'
DO 5 K=1,2
SIGMA(K) = 1.0E-10
SIGTR(K) = 0.0
5 CONTINUE
DO 10 I=1,6
NREC = NREC + 1
DO 10 N=1,20
A20(N) = ZFRQ(N)
10 CONTINUE
IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.4) GO TO 30
J = 1
DO 20 N=1,25
IF(I.EQ.1) GO TO 15
IF(VP(N) + VFAST(N) ) 20, 20, 15
15 IF(SIGFX(N,1)+SIGFX(N,2)+SIGFX(N,3)+SSFCOM(N).EQ.0.0) GO TO 20
IF(N.EQ.20.OR.N.EQ.22) GO TO 20
IF(I.EQ.2) A20(J) = YEP26(N)
IF(I.EQ.3) A20(J) = YEP27(N)
IF(I.EQ.5) A20(J) = YEP17(N)
IF(I.EQ.6) A20(J) = YEP18(N)
J = J + 1
20 CONTINUE
30 IF(I.NE.4) GO TO 50
SNAKE = 1.0
IF(VP(16).NE.0.0.AND.VFAST(16).NE.0.0) SNAKE = VP(16)/VFAST(16)
SIGMA(1) = ONEFST(16,1)
SIGMA(2) = SSACOM(16)*SNAKE
SIGTR(1) = ONEFST(16,2)
SIGTR(2) = SSTCOM(16)*SNAKE
50 IF(I.NE.5) GO TO 55
SNAKE = 1.0
IF(VP(17).NE.0.0.AND.VFAST(17).NE.0.0) SNAKE = VP(17)/VFAST(17)
SIGMA(1) = ONEFST(17,1)
SIGMA(2) = SSACOM(17)*SNAKE
SIGTR(1) = ONEFST(17,2)
SIGTR(2) = SSTCOM(17)*SNAKE
55 IF(I.NE.6) GO TO 60
SNAKE = 1.0
IF(VP(18).NE.0.0.AND.VFAST(18).NE.0.0) SNAKE = VP(18)/VFAST(18)
SIGMA(1) = ONEFST(18,1)
SIGMA(2) = SSACOM(18)*SNAKE
SIGTR(1) = ONEFST(18,2)
SIGTR(2) = SSTCOM(18)*SNAKE

```

```
C
60 WRITE(6,600) NREC, N1(1), N2(1), (ZERO(M), M=1,3),          00023720
: (ALFTR(M,1), M=1,6)                                         00023737
: WRITE(6,605) A1(1), (ZERO(M), M=1,2), A4(1), (ZERO(M),M=1,15), 00023740
: (A20(M), M=1,20), (ZERO(M), M=1,21)                        00023760
C
: WRITE(8) N1(1), N2(1), (ZERO(M), M=1,3),                   00023770
: (ALETR(M,1), M=1,6), A1(1), (ZERO(M), M=1,21),           00023780
: A4(1), (ZERO(M), M=1,15), (A20(M), M=1,20),              00023790
: (ZERO(M), M=1,21)                                         00023800
C
: NREC = NREC + 1                                           00023810
C
: WRITE(6,610) NREC,                                         00023820
: SIGMA(1), ZFRQ(2), SIGTR(1), (ZERO(M), M=1,2),          00023830
: SIGMA(2), ZFRQ(2), SIGTR(2), (ZERO(M), M=1,2)           00023840
: WRITE(6,615) (ZERO(M), M=1,4)                             00023850
C
: WRITE(8) SIGMA(1), ZFRQ(2), SIGTR(1), (ZERO(M), M=1,2),  00023860
: SIGMA(2), ZFRQ(2), SIGTR(2), (ZERO(M), M=1,6)           00023870
C
TO CONTINUE                                               00023880
C
C
C
600 FORMAT(1H,'RECORD',I3,/,1X,'SIMPLE NUC.NO, OTHER NUC.NO, SIGMA IN 00023890
: D, SCAT,IND, EXTRA',I4,I8,3I6,/,1X,'NAME *****',6A4)  00023900
605 FORMAT(1H,'GENERAL DATA',/,1X,9I2X,E12.6),/,1X,9I2X,E12.6),/,1X,90023910
: (2X,E12.6),/,1X,9I2X,E12.6),/,1X,9I2X,E12.6),/,1X,9I2X,E12.6),/,1X,90023920
: (2X,E12.6)
610 FORMAT(1H,'RECORD',I3,/,1X,'(SIGMA(K), SIGF(K), SIGTR(K), SNU(K), 00023930
: SIGX(K), K=1,KMAX)/1SIGS(K,K),K=1,KMAX),K=1,KMAX)',/,1X,5I2X,E10023940
: (2.6),/,1X,5I2X,E12.6)
615 FORMAT(1H,'4(2X,E12.6)')
C
RETURN
C
END
SUBROUTINE CICOPI
C
DIMENSION DL(10), N1(25), A1(25), A2(25), A3(25), A4(25), A5(25), 00023950
: A6(25), A7(25), A8(25), A9(25), A10(25), A11(25), 00023960
: A12(25), A13(25), A14(25), A15(25), A16(25), (ZERO(22), 00023970
: ZFRQ(22), ALETR(6,25), (FM(20), SIGMAA(25), 00023980
: SIGMAF(25), SIGMAT(25), SIGMAG(25), PALAVR(6) 00023990
C
COMMON INDEX(35), FACTOR(5,7), WORD(35,21), DTE(4,3,6), YIFLD(27,27), 00024000
: TFRG(4,2), SSMND(25), SSCAP(25), CORREL(25), SPV(125) 00024010
COMMON DNFVRV, TDFVRV, SSMND(25), SSMND(25), SSMND(25), 00024020
: SAMND, SFMND, SGMND, ATG(4), FSTFLX, FISA, FISO, FIFX, FIGX, F(SR,TAU(4), 00024030
: ONEFST(25,5), FLIX(7), XST(5,6), XSA(5,7), XSREM(5,4), BALNCF(30,5), 00024040
: PHL,CFISN(6), CFLHTX, CRHTX, CORFRA, CORERB, CORERC, CORERD, OMEGAM, 00024050
: STOM, CAYINF, SPWRX, POX, VIF, ENFOS(27), TENX(4), RADX(4), FLUXED(2) 00024060
COMMON /INDATA/ ICNH(24), DMV(1493), VFAST(27) 00024070
COMMON /TRSLT/ DMV2(27), SSTCON(25), SSACON(25), SSGCON(25), 00024080
: SSGCON(25), DMV3(5), PHI, VPI(27) 00024090
COMMON /HEAD/ TITLE(18) 00024100
COMMON /NR/ NREC 00024110
C
REAL*8 WORD,DTE 00024120
C
DATA (ZERO/22*0/, ZERO/22*0./, NT/0/, NU/0/, NZ/0/, NG/1/, 00024130
: CHI/1.0/, ET/10.E+06/, 00024140
: DL/0.0124,.0305,.111,.301,1.14,3.01,4*0.7, 00024150
```

```

: 41/01.23.44.09.14.35.27.41.32.10.11.12.14.15.16.67.58.75.78.0002357
: 02.06.07.08.09.177. 00029360
: A1/1.007825.15.9994.91.22.12.003804.55.847.58.71.26.9815. 00029370
: 51.996.54.934.235.0439.236.0456.238.0508.239.0521. 00029380
: 240.0539.241.0.148.9172.135.0.1.0.10.012939.2.014735. 00029390
: 232.0381.233.0.233.0395.234.0409.242.05877. 00029400
: A2/0.9.9.51.6.20.30.14.28.30.143.144.146.149. 00029410
: 146.147.87.01.0.5.1.142.141.142.148.88.7 00029420
DATA A3/0.3.233E-11.3.24E-11.3.309999E-11.3.34E-11.3.36E-11. 00029437
: 3.37E-11.5*0.2.25E-11.0.3.04E-11.3.02E-11.3.8E-117. 00029440
: A4/14*0.0.178-08.0.0.211E-04.4*0.0.297E-06.3*0.7. 00029450
: A5/14*0.241.0.0.135.0.8*0.7. 00029460
: A6/14*0.0.0209.0.1.16.8*0.7. 00029470
: A16/337.0002.18.0034.2.53.4.6.235.3.1.13.3.678.2.6. 00029480
: 2.73.1014.5.246.1375.40800.2.7E+06.0.3037.5E-01. 00029490
: 7.4.0.573.1.95.30.7. 00029500
: A17/9*0.577.1.0.0.740.6.0.03.950.7*0.524.5.0.0.27. 00029510
: A18/9*0.7.43.0.2.3.2.87.0.3.0.5*0.1.97.0.2.48.0.0.7 00029520
DATA A41/0.00052.0.00054.00021.00022.6*0.00169.0. 00029537
: 00057.0.0.7. 00029540
: A42/9*0.00346.0.00564.00182.00238.6*0.00744.0. 00029550
: 00197.0.0.7. 00029560
: A43/9*0.00310.0.00667.00129.00162.6*0.00769.0. 00029573
: 00166.0.0.7. 00029580
: A44/9*0.00624.0.01599.00179.00315.6*0.02212.0. 00029590
: 00184.0.0.7. 00029600
: A45/9*0.00182.0.00927.00052.00119.6*0.00853.0. 00029610
: 00034.0.0.7. 00029620
: A46/9*0.00066.0.00309.00027.00024.6*0.00213.0. 00029630
: 00022.0.0.7. 00029640
DATA ALETR/4*4H *NIDR* *OGEN* 4*4H *PIXIG* *ENIQ* 00029650
: 4*4H *TIPC* *ALDY* 4*4H *CARB* *DNQ 00029650
: 4*4H *FFRR* *B 4*4H *NIQU* *EL 00029670
: 4*4H *AIM* *INID* 4*4H *CRM* *O 00029680
: 4*4H *YANG* *ANFS* 4*4H *URAN* *-235* 00029690
: 4*4H *URON* *-236* 4*4H *URAN* *-238* 00029700
: 4*4H *PU-2* *39 4*4H *PU-2* *40 00029710
: 4*4H *PU-2* *41 4*4H *SM-1* *49 00029720
: 4*4H *X-1* *35 4*4H *PROD* *FIS 00029730
: 4*4H *B700* *-10 4*4H *DFUT* *ERIO 00029740
: 4*4H *TH-2* *32 4*4H *PA-2* *33 00029750
: 4*4H *URAN* *-233* 4*4H *URAN* *-236* 00029760
: 4*4H *PU-2* *42 7 00029770
DATA PALAVR/4*4H *VEN* *QUEI* 00029780
: 00029790
: 00029800
: 00029810
: 00029820
: 00029830
: 00029840
: 00029850
: 00029860
: 00029870
: 00029880
: 00029890
: 00029900
: 00029910
: 00029920
: 00029930
: 00029940
: 00029950
: 00029960
: 00029970

```

FINI AREB

```
WRITE(6,605) TITLE                                0002942J
WRITE(6,610) NT, NN, NG, ND, NU, NZ                0002947J
WRITE(6,615) CHI                                    0003000J
WRITE(6,620) FT                                      0003001J
WRITE(6,625) ZFR0(1)                                0003002J
WRITE(6,630) ZFR0(1)                                0003003J
WRITE(6,635) (DLIM), M=1,10)                       0003004J
WRITE(6,640) (ZFR0(M), M=1,10)                     0003005J
C                                                    0003006J
WRITE(8) (TITLE), I=1,18)                           0003007J
WRITE(8) NT, NN, NG, ND, NU, NZ                     0003008J
WRITE(8) CHI, FT, (ZFR0(M), M=1,2), (DLIM), M=1,10), 0003009J
: (ZFR0(M), M=1,10)                                0003010J
C                                                    0003011J
C                                                    0003012J
C***** ENTRADA DE DAOS PARA CADA NUCLIDES ***** 0003013J
C                                                    0003014J
NREC = 3                                             0003015J
NCONT = 1                                           0003016J
FLUX0 = ESTFLX + PHI                               0003017J
DO 210 I=1,25                                       0003018J
  IF(1.EQ.16.OR.1.EQ.17.OR.1.EQ.18) GO TO 210      0003019J
  IF(1.CON(22).EQ.1) GO TO 40                       0003020J
  IF( VP(I) + VFAST(I) ) 210, 210, 40             0003021J
40  NREC = NREC + 1                                  0003022J
C                                                    0003023J
  IF(NCONT.EQ.2) N(I,19) = 0J                       0003024J
C                                                    0003025J
  DO 50 N=1,20                                       0003026J
    A20(N) = ZFR0(N)                                0003027J
50  CONTINUE                                          0003028J
C                                                    0003029J
  WRITE(6,645) NPTC, N(I), (INDEX(I), (ZFR0(M), M=1,3), 0003030J
: (ALFTR(M,1), M=1,6)                                0003031J
  WRITE(6,650) A1(I), A2(I), A3(I), A4(I), A5(I), A6(I), 0003032J
: (ZFR0(M), M=1,9), A16(I), A17(I), A18(I),         0003033J
: ZFR0(19), (A20(M), M=1,20), ZFR0(22), A41(I),    0003034J
: A42(I), A43(I), A44(I), A45(I), A46(I),          0003035J
: (ZFR0(M), M=1,14)                                  0003036J
C                                                    0003037J
  WRITE(8) N(I), (INDEX(I), (ZFR0(M), M=1,3),       0003038J
: (ALFTR(M,1), M=1,6), A1(I), A2(I), A3(I), A4(I), 0003039J
: A5(I), A6(I), (ZFR0(M), M=1,9), A16(I), A17(I), 0003040J
: A18(I), ZFR0(19), (A20(M), M=1,20), ZFR0(22), A41(I), 0003041J
: A42(I), A43(I), A44(I), A45(I), A46(I),         0003042J
: (ZFR0(M), M=1,14)                                  0003043J
C                                                    0003044J
  IF( VFAST(I) ) 60, 60, 70                          0003045J
60  SNAKE = 1.0                                       0003046J
  GO TO 90                                           0003047J
70  SNAKE = VP(I)/VFAST(I)                            0003048J
80  SIGMAA(I) = SSACON(I)*SNAKE                       0003049J
  SIGMAT(I) = SSTCON(I)*SNAKE                       0003050J
  SIGMAF(I) = SSFCON(I)*SNAKE                       0003051J
  SIGMAG(I) = SSGCON(I)*SNAKE                       0003052J
  SIGMAA(I) = ( ONEFST(I,1)*ESTFLX + SIGMAA(I)*PHI )/FLUX0 0003053J
  SIGMAT(I) = ( ONEFST(I,2)*ESTFLX + SIGMAT(I)*PHI )/FLUX0 0003054J
  SIGMAF(I) = ( ONEFST(I,3)*ESTFLX + SIGMAF(I)*PHI )/FLUX0 0003055J
  SIGMAG(I) = ( ONEFST(I,4)*ESTFLX + SIGMAG(I)*PHI )/FLUX0 0003056J
C                                                    0003057J
  IF( SIGMAF(I) ) 180, 180, 190                      0003058J
180 GINU = 0.                                         0003059J
  GO TO 200                                          0003060J
```



```
190 GINU = SIGMAG(1)/SIGMAF(1) 00030610
C 200 NREC = NPEC + 1 00030620
C 00030630
C WRITE(6,655) NREC, 00030640
SIGMAA(1), SIGMAF(1), SIGMAT(1), GINU, ZERQ(1) 00030650
WRITE(6,660) ZFRQ(1) 00030660
C 00030670
C WRITE(6) SIGMAA(1), SIGMAF(1), SIGMAT(1), GINU, ZERQ(1), 00030680
ZFRQ(1) 00030690
C 00030700
C 00030710
C 00030720
C IF(INCONT.EQ.2) GO TO 210 00030730
IF(ICON(23).EQ.1.AND.1.EQ.19) NCONT = NCONT + 1 00030740
IF(INCONT.EQ.2) GO TO 40 00030750
C 00030760
C 210 CONTINUE 00030770
C 00030780
C CALL F15PR1 00030790
C 00030800
C WRITE(6) (IFIMIM1, M=1,20) 00030810
C 00030820
C WRITE(6,645) 00030830
NUMBER = 83 00030840
N(17) = 78 00030850
DO 240 I=1,25 00030860
IF(VP(I) + VFAST(I)) 240, 240, 220 00030870
220 IF(ICON(23).EQ.1.AND.1.EQ.19) GO TO 230 00030880
WRITE(6,670) (ALETR(M,I), M=1,6), N(I), VFAST(I) 00030890
GO TO 240 00030900
230 WRITE(6,680) (ALETR(M,I), M=1,6), N(I) 00030910
WRITE(6,670) (PALAVR(M), M=1,6), NUMBER 00030920
240 CONTINUE 00030930
C 00030940
C IF(ICON(24).NE.1) GO TO 250 00030950
WRITE(6,675) 00030960
END FILE B 00030970
C 00030980
C 00030990
600 FORMAT(1H,7(1),10000 ENTRADA DE DADOS PARA O PROGRAMA CITATION *00031000
:00031010
:00031020
605 FORMAT(1H,10,1X,'RECORD 1') 00031030
610 FORMAT(1H,10,1X,'RECORD 2',7,1X,'DATA TYPE, NOGRPS, DMSCAT, UPS00031040
:CAT, EXTRA',614) 00031050
615 FORMAT(1H,10,1X,'GROUP CHIS',7,3X,E12.6) 00031060
620 FORMAT(1H,10,1X,'GROUP ENERGY OF EACH GROUP',7,3X,E12.6) 00031070
625 FORMAT(1H,10,1X,'MEAN ENERGY OF EACH GROUP',7,3X,E12.6) 00031080
630 FORMAT(1H,10,1X,'1/V SIGMA FOR EACH GROUP',7,3X,E12.6) 00031090
635 FORMAT(1H,10,1X,'DELAYED NEUT. PRECURSOR DECAY CONSTS.',7,1X,9(2X,E12.6)00031100
:),7,3X,E12.6) 00031110
640 FORMAT(1H,10,1X,'GAMMA ENERGY STRUCTURE',7,1X,9(2X,E12.6),7,3X,E12.6) 00031120
645 FORMAT(1H,10,1X,'RECORD 3',7,1X,'SIMPLE NUC.NO, OTHER NUC.NO, SIGMA IN00031130
:DMSCAT,IND, EXTRA',14,18,3(4,7,1X,'NAME ****',644) 00031140
650 FORMAT(1H,10,1X,'GENERAL DATA',7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,90031150
:(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,9(2X,E12.6),7,1X,90031160
:(2X,E12.6)) 00031170
655 FORMAT(1H,10,1X,'RECORD 4',7,1X,'(SIGMA(K), SIGFI(K), SIGTRI(K), SNU(K), 00031180
:SIGX(K), K=1,KMAX)/(SIGS(K,K),KK=L,KMAX),K=1,KMAX)',7,1X,5(2X,E100031190
:2.6)) 00031200
660 FORMAT(1H,2X,E12.6) 00031210
665 FORMAT(1H,7,15X,'NUCLIDE NAME, NUCLIDE NUMBER AND NUCLIDE DENSITY00031220
: TO INPUT SECTION 020 - CITATION CODE') 00031230
670 FORMAT(1H,10X,6A4,10X,13,10X,E12.6) 00031240
```



```
C
30 IF(I.NF.4) GO TO 50
   SNAKE = 1.0
   IF IVP(16).NE.0.0.AND.VFAST(16).NE.0.0) SNAKE = VP(16)/VFAST(16)
   SIGMA = SSACON(16)*SNAKE
   SIGTR = SSTCON(16)*SNAKE
   SIGMA = (ONEFST(16,1)*FSTFLX + SIGMA*PHI )/FLUXO
   SIGTR = (ONEFST(16,2)*FSTFLX + SIGTR*PHI )/FLUXO
50 IF(I.NF.5) GO TO 55
   SNAKE = 1.0
   IF IVP(17).NE.0.0.AND.VFAST(17).NE.0.0) SNAKE = VP(17)/VFAST(17)
   SIGMA = SSACON(17)*SNAKE
   SIGTR = SSTCON(17)*SNAKE
   SIGMA = (ONEFST(17,1)*FSTFLX + SIGMA*PHI )/FLUXO
   SIGTR = (ONEFST(17,2)*FSTFLX + SIGTR*PHI )/FLUXO
55 IF(I.NF.6) GO TO 60
   SNAKE = 1.0
   IF IVP(18).NE.0.0.AND.VFAST(18).NE.0.0) SNAKE = VP(18)/VFAST(18)
   SIGMA = SSACON(18)*SNAKE
   SIGTR = SSTCON(18)*SNAKE
   SIGMA = (ONEFST(18,1)*FSTFLX + SIGMA*PHI )/FLUXO
   SIGTR = (ONEFST(18,2)*FSTFLX + SIGTR*PHI )/FLUXO
C
60 WRITE(6,600) NREC, N1(1), N2(1), (ZERO(M), M=1,3),
   1 IALFTR(M,1), M=1,6)
   2 WRITE(6,605) A1(1), (ZERO(M), M=1,2), A4(1), (ZERO(M),M=1,15),
   3 IAZO(M), M=1,20), (ZERO(M), M=1,21)
C
   WRITE(8) N1(1), N2(1), IZERO(M), M=1,3,
   1 IALFTR(M,1), M=1,6), A1(1), (ZERO(M), M=1,2),
   2 A4(1), (ZERO(M), M=1,15), (AZO(M), M=1,20),
   3 IZERO(M), M=1,21)
C
   NREC = NREC + 1
C
   WRITE(6,610) NREC,
   1 SIGMA, ZERO(2), SIGTR, (ZERO(M), M=1,2)
   WRITE(6,615) ZERO(1)
C
   WRITE(8) SIGMA, ZERO(2), SIGTR, (ZERO(M), M=1,3)
C
70 CONTINUE
C
600 FORMAT(IH, 'RECORD', I3, /, 1X, 'SIMPLE NUC. NO, OTHER NUC. NO, SIGMA IN
:0, SCAT. JND, EXTRA', I4, I8, I3, /, 1X, 'NAME *****', I6A4)
605 FORMAT(IH, 'GENERAL DATA', /, 1X, 9(2X, E12.6), /, 1X, 9(2X, E12.6), /, 1X, 4000(2X,
:12X, F12.6), /, 1X, 9(2X, F12.6), /, 1X, 9(2X, E12.6), /, 1X, 9(2X, E12.6), /, 1X, 9(2X,
:6(2X, E12.6))
610 FORMAT(IH, 'RECORD', I3, /, 1X, 'SIGMA(K), SIGTR(K), SNU(K),
:SIGX(K), K=1, KMAX)/(SIGS(KK, K), KK=1, KMAX), K=1, KMAX)', /, 1X, 5(2X, E1000
:2.6))
615 FORMAT(IH, 2X, E12.6)
C
RETURN
C
END
```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, C.U.C. O sistema de cálculo neutrônico da CNEN. In: COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Métodos de física de reatores: anais do 1º encontro sobre... realizado em Itaipava, 29-31 de Agosto de 1979. Rio de Janeiro, 1979.p:149-59.
2. AMSTER, H. & SUAREZ, R. The calculation of thermal constants averaged over a Wigner-Wilkins flux spectrum, description of the SOFOCATE code. Pittsburg, Pa., Bettis Atomic Power Lab., Jan. 1957. (WAPD-TM39).
3. ANDERSON, W.K. & THEILACKER, J.S. Neutron absorber material for reactor control. Washington, D.C., United States Atomic Energy Commission, 1962. (Naval Reactor Handbooks).
4. ANISN-ORNL: A One dimensional discrete ordinates transport code with anisotropic scattering. Oak Ridge, Tenn., Radiation Shielding Information Center, Oct., 1977. (CCC-254).
5. BARRY, R.F. LEOPARD - a spectrum dependent non spatial depletion code for the IBM-7094. Pittsburg, Pa., Westinghouse Electric Corporation, Sep. 1963. (WCAP-3269-26).
6. BOHL, H.; GELBARD, E.; RYAN, G. MUFT-IV - fast neutron spectrum code for the IBM-704. Pittsburg, Pa., Bettis Atomic Power Lab., Jul. 1957. (WAPD-TM72).
7. BOYNTON, A.R.; BAIRD, Q.L.; CHRISTENSON, J.M.; PLUMLEE, K.E.; REDMAN, W.C.; ROBINSON, W.R.; STANFORD, G.S. In: ARGONNE NATIONAL LABORATORY. Reactor physics division annual report July 1, 1963 to June 30, 1964. Argonne, Ill., Jan. 1965. p. 33-43. (ANL-7010)
8. CORRÊA, F. Utilização de tório em reatores tipo PWR. São Paulo, 1977. (Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

9. CORREA, F.; DRISCOLL, M.J.; LANNING, D.D. An evaluation of tight pitch PWR cores. Cambridge, Mass., Massachusetts Institute of Technology, 1979. (COO-4570-10; MITNE-227; MIT-EL-79-022).
10. DUDERSTADT, J.J. & HAMILTON, L.J. Nuclear reactor analysis. New York, N.Y., John Wiley, 1976.
11. EL-WAKIL, M.M. Nuclear heat transport. New York, N.Y., International Textbook, 1971.
12. FOWLER, T.B.; VONDY, D.R.; CUNNINGHAM, G.W. Nuclear reactor core analysis code: CITATION. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, Jul. 1971. (ORNL-TM-2496, Rev.2).
13. FURNAS CENTRAISELETRICAS S.A. Final safety analysis report. Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Unit.1. Rio de Janeiro, sem data.
14. GRAVES Jr., H.W. Nuclear fuel management. New York, N.Y., John Wiley, 1979.
15. GREENE, N.M. AMPX: A modular code system for generating coupled multigroup neutron-gamma libraries from ENDF/B. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, 1976. (ORNL-TM-3706).
16. HUNTING ALLOYS HANDBOOK, West Virginia, Hunting Alloys Inc., 1970.
17. LAMARSH, J.R. Introduction to nuclear reactor theory. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1966.
18. MENDONÇA, A.G. Estudo de códigos de análises de reatores disponíveis no IPEN e suas aplicações em problemas de difusão de nêutron em multigrupo. São Paulo, 1980. (Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).
19. PINA, C.M. Comunicação pessoal.

20. PONZONI, F., P. Desenvolvimento em Furnas de um sistema de cálculo físico de núcleo de reatores. In: COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Métodos de física de reatores: anais do 1º encontro sobre..., realizado em Itaipava, 29-31 de Agosto 1979. Rio de Janeiro, 1979.
21. RHODES, W.A. & MYNATT, F.R. The DOT-III two dimensional discrete ordinates transport code. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Laboratory, 1973. (ORNL-TM-4280).
22. STRAWBRIDGE, L.E. Calculation of lattice parameters and criticality of uniform water moderated lattices. Pittsburg, Pa., Westinghouse Electric Corporation. (WCAP-3269-25).
23. SUICH, J.E. & HONECK, H.C. The HAMMER system: heterogeneous analysis by multigroup methods of exponential and reactors. Aiken, S.C., Savannah River Laboratory, Jan. 1967. (DP-1064).
24. WEHMEYER, D.B. Analysis of water moderated UO<sub>2</sub> and ThO<sub>2</sub> lattices. Lynchburg, Va., Babcock and Wilcox Co., 1962. (BAW-1257).
25. YAMAGUCHI, M. Estudo e aplicação de códigos nucleares disponíveis no IPEN em problemas de física de reatores dependentes do tempo. São Paulo, 1980. (Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).