

CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

VALIDAÇÃO DO CÓDIGO XSDRN PARA CÁLCULOS NEUTRÔNICOS
EM REATORES PWR, COM COMBUSTÍVEL CERÂMICO, COM
ENRIQUECIMENTO DA ORDEM DE 4%

Leda Cristina Cabelo Bernardes Fanaro

PUBLICAÇÃO IPEN 73

AGOSTO/1985

SÃO PAULO

ISSN 0101-3084

PUBLICAÇÃO IPEN 73

AGOSTO/1985

**VALIDAÇÃO DO CÓDIGO XSDRN PARA CÁLCULOS NEUTRÔNICOS EM
REATORES PWR, COM COMBUSTÍVEL CERÂMICO, COM
ENRIQUECIMENTO DA ORDEM DE 4%**

Leda Cristina Cabelo Bernardes Fanaro

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO - BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

F51.00

**COMPUTER CODES
CROSS SECTIONS
PWR TYPE REACTORS
URANIUM DIOXIDE**

VALIDAÇÃO DO CÓDIGO XSDRN PARA CÁLCULOS NEUTRÔNICOS EM REATORES PWR, COM COMBUSTÍVEL CERÂMICO, COM ENRIQUECIMENTO DA ORDEM DE 4%

Leda Cristina Cabelo Bernardes Fanaro

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a validade do programa XSDRN⁽²⁾, para geração de seções de choque, para o cálculo de reatores moderados por água leve, alimentado por combustível cerâmico, UO₂, com enriquecimento da ordem de 4%.

Os resultados obtidos são comparados com o código HAMMER⁽⁵⁾.

EVALUATION OF XSDRN CODE FOR PWR CROSS-SECTION GENERATION

ABSTRACT

Evaluation of XSDRN code for the 4% enriched uranium oxide fueled Light-Water-Reactor cross-section generation was performed.

The comparison were made against the HAMMER code results.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o grupo de neutrônica, da Divisão de Física de Reatores (RTF), do Departamento de Tecnologia de Reatores (RT), deste Instituto de Pesquisas (CNEN/SP), utiliza o código HAMMER em cálculos celulares, afim de gerar seções de choque, para o cálculo de reatores moderados por água leve, alimentados por combustível cerâmico, com enriquecimento da ordem de 4%. Contudo, o programa HAMMER permite a homogeneização da célula em uma única célula. Sendo assim, a geração de seção de choque para as células combustíveis, barra de controle e veneno queimável é realizada separadamente.

O objetivo deste trabalho é avaliar a validade do código XSDRN para a geração de seções de choque, para o cálculo neutrônico de reatores PWR, com combustível cerâmico enriquecido, aproximadamente, a 4%. A vantagem do XSDRN é que este código possibilita, homogeneização sucessiva em grupos finos de energia, permitindo assim, gerar seções de choque das regiões de combustível, da barra de controle e do veneno queimável, com a interferência das barras de controle e de veneno queimável no elemento combustível, e vice-versa.

2. PROGRAMAS UTILIZADOS

2.1. Programa HAMMER

O programa HAMMER é um sistema composto por 5 programas que calculam os parâmetros neutrônicos de células unitárias, definidas por dados geométricos e pela temperatura^(3, 4, 5).

a) Programa CAPN

Este programa interpreta os dados de entrada, seleciona os programas subsequentes e indica os erros existentes nos parâmetros de entrada.

b) Programa THERMOS

O programa THERMOS efetua o cálculo da distribuição de fluxo térmico (0eV até 0,625eV), em multigrupos, pela teoria integral de transporte em geometria unidimensional. Os cálculos são realizados para 30 grupos de energia, através da discretização espacial para o máximo 20 zonas homogêneas, e o espalhamento é considerado isotrópico. Os parâmetros térmicos de saída são colapsados para um único grupo de energia.

c) Programa HAMLET

O HAMLET, resolve a equação integral de transporte de maneira análoga ao programa THERMOS, no intervalo de energia entre 0,625eV e 10MeV. Os cálculos são realizados em 54 grupos de energia e os parâmetros de saída são colapsados para 3 grupos de energia. As integrais efetivas de ressonância são obtidas pelo método integral de Nordheim.

d) Programa FLOG

É um programa baseado na teoria de difusão em uma dimensão e utiliza os dados de saída dos programas THERMOS e HAMLET, colapsados em 4 grupos de energia, para pesquisa de criticalidade do reator finito.

e) Programa DIED

Neste programa, os fluxos e as seções de choque obtidas com os programas THERMOS, HAMLET e FLOG são combinados para produzir o balanceamento de nêutrons. Para cálculos celulares, o balanceamento de nêutrons é baseado nos dados obtidos somente com os programas THERMOS e HAMLET.

2.2. Programa XSDRN

É um código de ordenadas discretas para geração de seções de choque em multigrupos nas regiões de energias: rápida, epitérmica e térmica⁽²⁾.

O programa XSDRN, constitui-se de 3 principais subprogramas. O primeiro, realiza cálculos de ressonância para determinar parâmetros de grupos finos; o segundo, efetua cálculos neutrônicos para determinar fluxos em grupos finos; e o terceiro, determina constantes de multigrupos para gerar parâmetros que serão utilizados em cálculos subsequentes, para solucionar problemas de fontes fixas, auto-valores e pesquisa de criticalidade, no programa XSDRN ou em outros códigos.

O XSDRN, permite utilizar uma biblioteca de seções de choque microscópicas com uma estrutura arbitrária de grupos de energia, contendo espalhamento elástico de ordem P_3 , espalhamento inelástico, matrizes de espalhamento $(n, 2n)$ e outras formas de reações unidimensionais. A presente biblioteca, acoplada ao programa, contém 123 grupos de energia no intervalo de 10^{-4} eV a 15 MeV, podendo ser colapsada para quaisquer estruturas de grupos largos, utilizando-se os fluxos calculados de grupos finos.

A estrutura de grupos largos, utilizada neste trabalho, para os códigos XSDRN e HAMMER, estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1

Estrutura de grupos largos para os programas XSDRN e HAMMER.

| grupos | Energia (limite superior) | |
|--------|---------------------------|----------|
| | XSDRN | HAMMER |
| 1 | 14,918 | 10,0 MeV |
| 2 | 1,0026 MeV | 1,05 MeV |
| 3 | 11,709 KeV | 9,12 KeV |
| 4 | 0,6552 eV | 0,625 eV |

3. PROBLEMAS RESOLVIDOS

3.1. Problema 1 – Consiste de uma célula de combustível cerâmico, com duas regiões (Figura 3.1.), à temperatura de 20°C .

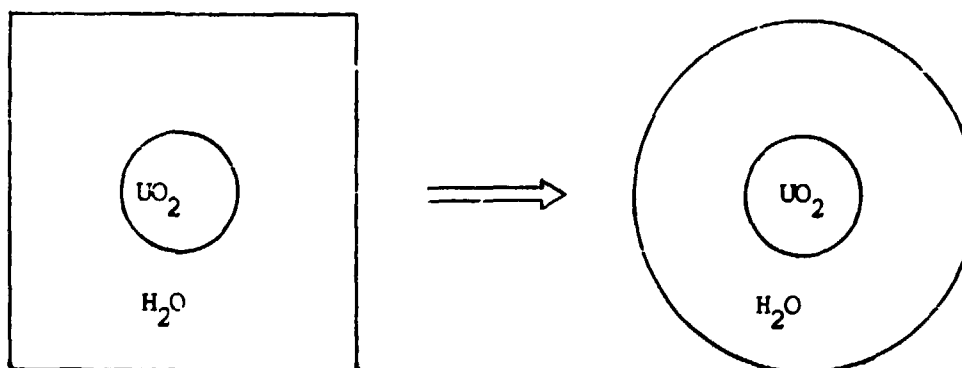


Figura 3.1. – Cilindrização da célula combustível com 2 regiões.

3.2. Problema 2 – Consiste de uma célula de combustível cerâmico, com três regiões (Figura 3.2) à temperatura 600°K .

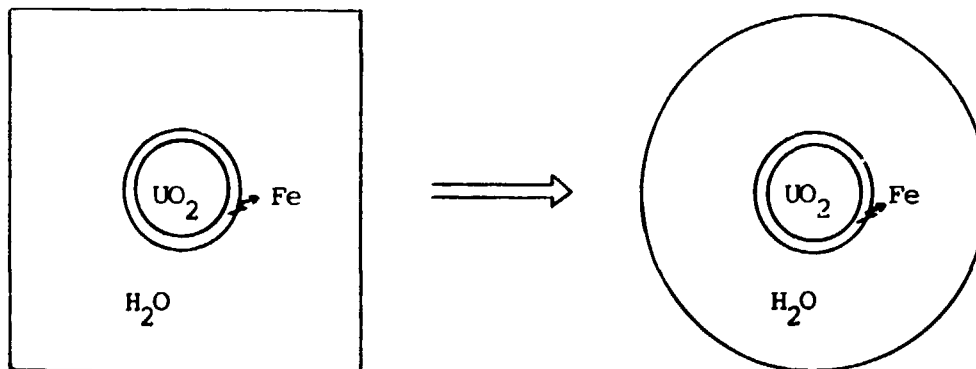


Figura 3.1. – Cilindrização da célula combustível com 3 regiões.

A comparação dos códigos XSDRN e HAMMER, foi realizada através da solução do problema de homogeneização de uma célula combustível, determinando-se os parâmetros K-efetivo e K-infinito com ambos os códigos, e demais parâmetros, para 4 grupos de energia.

Os problemas escolhidos, são os mais simples possíveis, de modo que os resultados obtidos sejam facilmente comparados.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. O problema 1, foi resolvido com o programa HAMMER, considerando-se dois modelos de espalhamento: o modelo de gás livre e o modelo de Nelkin⁽¹⁾. Os valores encontrados para K-efetivo e K-infinito, estão listados na Tabela 3.1., não se observando, portanto, significativa diferença entre os dois modelos.

Tabela 3.1.

Valores de K-efetivo e K-infinito, obtidos com o programa HAMMER, para dois diferentes modelos de espalhamento.

| Modelo | K-infinito | K-efetivo |
|-----------|------------|-----------|
| gás livre | 1,48343 | 1,44072 |
| Nelkin | 1,48168 | 1,43883 |

Os dados de entrada do programa HAMMER, para o problema 1, com os modelos de espalhamento de gás livre e de Nelkin, encontram-se, respectivamente, nos Apêndices A e B.

O programa XSDRN, foi executado várias vezes para resolver o problema 1, sendo que foram utilizadas todas as possibilidades oferecidas pelo código. Na Tabela 3.2., são dados os valores de K-efetivo, determinados em cada opção escolhida. O valor de K-infinito, obtido com o programa XSDRN é igual a: K-infinito = 1,50855. Os dados de entrada, do programa XSDRN, para o problema 1, estão listados no Apêndice C.

Tabela 3.2.

K-efetivo, das diversas opções de entrada do programa XSDRN *H = HAMMER; X = XSDRN.

| ordem de espalhamento | ordem de quadratura | definição da seção de choque de transporte | nº de intervalos espaciais | condição de albedo | K-efetivo | $\Delta \cdot \frac{X - H}{H}$ (%) |
|-----------------------|---------------------|--|----------------------------|--------------------|-----------|------------------------------------|
| P ₁ | S ₄ | 40 | 04 | - | 1,48104 | 2,83 |
| P ₁ | S ₄ | 40 | 10 | - | 1,48078 | 2,92 |
| P ₁ | S ₈ | 40 | 10 | - | 1,48055 | 2,90 |
| P ₃ | S ₄ | 40 | 10 | - | 1,48111 | 2,94 |
| P ₃ | S ₄ | 40 | 10 | 1,0 | 1,48111 | 2,94 |
| P ₃ | S ₈ | 40 | 10 | - | 1,48151 | 2,97 |
| P ₃ | S ₈ | 41 | 10 | - | 1,48151 | 2,97 |

O fluxo médio na célula, por região, calculado em 4 grupos de energia, varia pouco, com relação à variação dos parâmetros de entrada do programa XSDRN. Contudo, estes resultados, diferem muito daqueles obtidos com o programa HAMMER (Tabela 3.3.).

Tabela 3.3.

Fluxo médio na célula por região, normalizado para 1, calculado com os programas HAMMER e XSDRN.

| Grupo | Região 1 (UO ₂) | | | Região 2 (H ₂ O) | | | Região 3 (célula) | | |
|-------|-----------------------------|---------|--------|-----------------------------|---------|--------|-------------------|---------|--------|
| | HAMMER | XSDRN | Δ (%) | HAMMER | XSDRN | Δ (%) | HAMMER | XSDRN | Δ (%) |
| 1 | 0,29275 | 0,23876 | -18,44 | 0,26943 | 0,22051 | -18,16 | 0,27750 | 0,22682 | -18,26 |
| 2 | 0,32845 | 0,32311 | - 1,62 | 0,31544 | 0,30754 | - 2,50 | 0,31994 | 0,31292 | - 2,19 |
| 3 | 0,24621 | 0,28038 | +13,88 | 0,24774 | 0,29026 | +17,16 | 0,24721 | 0,28684 | +16,03 |
| 4 | 0,13583 | 0,14989 | +10,35 | 0,16554 | 0,18582 | +12,25 | 0,15525 | 0,17339 | +11,68 |

Outro parâmetro analisado, é a integral de ressonância do U-238. Em ambos os códigos, o modelo utilizado é o método integral de Nordheim. Deste modo, o parâmetro IR, é praticamente o mesmo para o HAMMER e XSDRN. Quando calculada com o HAMMER, IR = 18,132 barn, e com o XSDRN, IR = 17,999.

4.2. O problema 2, foi resolvido com os programas XSDRN e HAMMER para dois valores diferentes de bucling correspondentes as alturas de 310 cm e 65 cm. Os dados de entrada dos programas HAMMER e XSDRN, para o problema 2, encontram-se, respectivamente nos Apêndices D e E.

Os resultados obtidos com os programas XSDRN e HAMMER, para o problema 2, estão listados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4.

Parâmetros determinados com os programas XSDRN e HAMMER, para a célula combustível de 3 regiões.

| Altura (cm) | Programas | I. R. | K-efetivo | Δ (%) |
|-------------|-----------|-------|-----------|--------------|
| 65,0 | HAMMER | 19,75 | 1,15909 | 5,42 |
| | XSDRN | 20,56 | 1,22188 | |
| 310,0 | HAMMER | 19,75 | 1,27427 | 2,08 |
| | XSDRN | 20,56 | 1,30079 | |

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados, no capítulo 4, permitem concluir que, o programa XSDRN não produz bons resultados para cálculos neutrônicos de reatores PWR com combustível cerâmico enriquecido, aproximadamente, a 4%.

Na região epitérmica, os programas XSDRN e HAMMER apresentam resultados concordes, como mostram os valores das integrais de ressonância, calculadas com o modelo integral de Nordheim.

Na região térmica, os modelos de espalhamento de Nelkin e do Hydrogen-thermos, foram testados com o programa HAMMER e apresentaram, praticamente, os mesmos resultados (Tabela 3.1.). Entretanto, quando se compara os resultados obtidos com os programas HAMMER e XSDRN (Tabela 3.2. e Tabela 3.3.), observa-se que há divergência nos resultados. Salienta-se que em ambos programas, são considerados 30 grupos térmicos^(1, 2, 5).

O tempo de CPU, gasto na execução do programa HAMMER é, de aproximadamente, 15 segundos, utilizando 240 K, contra, um tempo de CPU, para a execução do programa XSDRN, que varia desde 3 min., para a opção P₁S₄, até 13 min., para a opção P₃S₈, utilizando 450 K.

Apêndice A

Dados de entrada do HAMMER, para a célula combustível com 2 regiões, e modelo de espalhamento de gás livre.

| | | | | | | | |
|---------|--|-------|--|-------------------------|-----|---------|---------|
| 11 | | 21 | | 11 11 | | 1 2 111 | |
| 0 0 0 0 | | 7 1 1 | | COMPARACAO HAMMER-XSDRN | | | |
| 1 | | 17 | | CELULA DE U235-U238-H2O | | | |
| 2 3 | | 1 | | 9.31028 | | | |
| 3 1 1 | | 3 0 | | 0.3937 | | 20.0 | |
| 4 | | | | 92235. | 0.0 | | 0.00092 |
| 5 | | | | 92238. | 0.0 | | 0.02180 |
| 6 | | | | 8000. | 0.0 | | 0.04540 |
| 7 2 2 | | 2 1 | | 0.66929 | | 20.0 | |
| 8 | | | | 1001. | 29. | | 0.06700 |
| 1 9 | | | | 8000. | 0.0 | | 0.03350 |

Apêndice B

Dados de entrada do HAMMER, para 3 célula combustível com 2 regiões e modelo de espalhamento de Nordheim.

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|----|----|-------|---|------------|---------------|------|---------|
| 11 | | | 21 | | 11 11 | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | 1 | COMPARACAO | HAMMER-XSDRN | | 1 2 111 |
| | 1 | | | 17 | | | CELULA DE | U235-U238-H2O | | |
| | 2 | 5 | | | 1 | | 9.21028 | | | |
| | 3 | 1 | 1 | | 3 | 0 | 0.3937 | | 20.0 | |
| | 4 | | | | | | 92235. | 0.0 | | 0.00092 |
| | 5 | | | | | | 92238. | 0.0 | | 0.02180 |
| | 6 | | | | | | 8000. | 0.0 | | 0.04540 |
| | 7 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 0.06929 | | 20.0 | |
| | 8 | | | | | | 1001. | 1029. | | 0.06700 |
| 1 | 9 | | | | | | 8000. | 0.0 | | 0.03350 |

Apêndice C

Dados de entrada do XSDRN, para a célula combustível com 2 regiões.

| COMPARAÇÃO DOS CODIGOS XSDRN-HAMMER | CELULA DE U235-U238-H2O | 600C. |
|-------------------------------------|-------------------------|--|
| 1\$ | 0 | 4 |
| 2 | 1 | 1 |
| 50 | 3 | 4 |
| | 103 | 5 3R |
| 2\$ | 9 | 0 |
| 3\$ | 0 | 1 9R |
| 4\$ | -1 | 7 |
| 5* | 1.420892 | 3R0.0 2R0.0001 |
| 11\$ | T | |
| 13\$ | 922355 | 160201 80005 260000 |
| 14\$ | 1 2R | 2 3R |
| | 0 | -922355 922385 80005 |
| | 0 | 180201 80005 |
| 15* | 0.0 | 0.00092 0.0218 0.0454 0.0 |
| | 0.0 | 0.05 0.025 |
| 18* | 922385. | 900.0 4. 0.419 0.24679 |
| | 0.0218 | 1. 16. 7.6 |
| 3R0.0 | 1. | |
| 34* | 4R1.0 | |
| 35* | 0.0 | 0.419 0.4924 0.6342 0.776 |
| 36\$ | 1 | 2 2R 3 |
| 39\$ | 1 | 2 3 |
| 40\$ | 1 | 1 |
| 42* | 0.0 | 2R0.1666667 0.0 4R0.1666667 |
| 43* | -0.471404 | -0.333333 0.333333 -C.942809 -0.881917 |
| | 0.333333 | 0.881917 |
| 51\$ | 27R | 131R 244R 321R 4 T |

Apêndice D

Dados de entrada do HAMMER, para a célula combustível com 3 regiões.

| 11 | 21 | 11 11 | 1 2 111 |
|---------|-------|-------------------------|---------|
| 0 0 0 0 | 7 1 1 | COMPARACAO HAMMER-XSDRN | |
| 1 | 17 | CELULA DE U235-U238-d20 | |
| 2 3 | 1 | 1.0000 | |
| 3 1 1 | 3 0 | 0.3352 | 327.0 |
| 4 | | 92235. | 0.00092 |
| 5 | | 92238. | 0.02180 |
| 6 | | 8000. | 0.04540 |
| 7 2 2 | 1 0 | 0.3877 | |
| 8 | | 26000. | 0.08650 |
| 9 3 3 | 2 1 | 0.6108 | |
| 10 | | 1001. | 0.05000 |
| 1 11 | | 8000. | 0.02500 |
| | | 1060. | |
| | | 0.0 | |

Apêndice E

Dados de entrada do XSDRN, para a célula combustível com 3 regiões.

| COMPARACAO DOS CODIGOS XSDRN-HAMMER, CELULA DE U235-U238-H2O, 20C. | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|----|----|----|----|
| 1\$ | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 3 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 30 | 0 | | | | | | | | |
| 4\$ | 123 | 103 | 0 | 4 | 3R | 0 | | | 0 |
| 5\$ | 7 | 1 | | | | | | | |
| 6\$ | 0 | 1 | 0 | 1 | 9R | 0 | | | 0 |
| 7\$ | -1 | 4 | 3 | 7 | 7 | 4 | | | 4 |
| 8\$ | 40 | | | | | | | | |
| 9\$ | 2R0.0 | 1.420852 | 98.70 | 3R0.0 | 2R0.0001 | | | | |
| 10\$ | 2R0.0 | T | | | | | | | |
| 11\$ | 1.0 | 922351 | 922381 | 10001 | 80004 | | | | |
| 12\$ | 4R | 1 3R | 2 | | | | | | |
| 13\$ | 0 | -922351 | 922381 | 80004 | | | | | 0 |
| 14\$ | 10001 | 80004 | | | | | | | |
| 15\$ | 0.0 | 0.00092 | 0.0218 | 0.0454 | 0.0 | | | | |
| 16\$ | 0.03350 | | | | | | | | |
| 17\$ | 922381. | 294.6 | 2. | 0.5 | 0.178 | | | | |
| 18\$ | 21.30 | 1. | 10. | 7.6 | 1. | | | | |
| 19\$ | 3R0.0 | 1. | | | | | | | |
| 20\$ | 10R1.0 | T | | | | | | | |
| 21\$ | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | | | | |
| 22\$ | 0.5 | 0.64 | 0.71 | 0.78 | 0.85 | | | | |
| 23\$ | 5R | 1 5R | 2 | | | | | | |
| 24\$ | 1 | 1 | 2 | | | | | | |
| 25\$ | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| 26\$ | 0.0 | 2R0.1606667 | 0.0 | 4R0.1666667 | | | | | |
| 27\$ | -0.471404 | -0.333333 | 0.333333 | -0.942809 | -0.881917 | | | | |
| 28\$ | -0.333333 | 0.333333 | 0.881917 | | | | | | |
| 29\$ | 27R | 131R | 244R | 321R | 4 | T | | | |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELL, G. I. & GLASSTONE, S. *Nuclear reactor theory*. Huntington, N. Y., Robert E. Krieger, 1979.
2. GREENE, N. M. & CRAVEN, JR., C.W. *XSDRN, a discrete ordinates spectral averaging code*. Oak Ridge, Tnn., Oak Ridge National Laboratory, July, 1969. (ORNL-TM-2500).
3. GNUSIC, J. J. *Possibilidades teóricas de cálculo do programa de computação HAMMER*. São Paulo, SP, 1976. (dissertação de Mestrado, Instituto de Energia Atômica).
4. SABUNDJIAN, G. & Nakata, H. *Cálculo neutrônico com programas de transporte e de difusão em críticas moderadas à água leve com combustível de UO₂ enriquecido a 4,75%*. São Paulo, SP, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
5. SUICH, J. E. & HONECK, H.C. *The HAMMER System: heterogeneous analysis by multigroup methods of exponential and reactors*. Aiken, SC., Savannah River Lab., jan., 1967. (DP-1064).