

A UTILIZAÇÃO DO PACOTE SCALE PARA PROCESSAR SECÇÕES DE CHOQUE DEPENDENTE DO TEMPO E REALIZAR A ANÁLISE DE DEPLEÇÃO

Thiago Carluccio e José Rubens Maiorino

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
maiorino@ipen.br

RESUMO

Este trabalho mostra a utilização do Pacote SCALE desenvolvido no Oak Ridge National Laboratory, para realizar a análise da depleção do combustível, processando as secções de choque dependentes do tempo. Fez-se uma pequena descrição dos códigos envolvidos nesta análise. Como exemplo da aplicação desta metodologia foi calculada a célula de um reator PWR típico. Este trabalho é parte inicial de um estudo do mesmo pacote para a análise de ciclos de combustível avançados, utilizando combustíveis com Th, U e Pu. O SCALE realiza esta análise através do módulo de controle SAS2, que acopla e faz o interface entre os códigos NITAWL, BONAMI, XSDRPM, COUPLE e ORIGEN-S.

1. INTRODUÇÃO

A análise dos ciclos de combustível requer, em casos reais, repetidos cálculos do espectro na célula devido às mudanças decorrentes durante o processo de queima. Os códigos que fazem cálculos celulares espectrais, tais como LEOPARD, HAMMER e WINS, utilizam secções de choque multigrupo, térmicas e rápidas, processadas com modelos como MUFT-SOFOCATE, THERMOS, probabilidade de colisão, etc. [1]. Entretanto, tais modelos de queima incluem poucos actínídeos e os produtos de fissão são tratados implicitamente.

O código ORIGEN-S [2] pode fazer os cálculos de depleção usando bibliotecas de trabalho para certos tipos de reatores (PWR, HWR). Este trabalho irá mostrar a utilização do módulo SAS2 [3] do pacote SCALE-4 para acoplar os cálculos celulares com o código de depleção ORIGEN-S. O SAS2 utiliza os códigos NITAWL [4], BONAMI [5] e XSDRPM [6] para processar uma biblioteca “master” e gerar secções de choque ponderadas para serem utilizadas com o ORIGEN-S. O código COUPLE [7] atualiza as bibliotecas do ORIGEN-S com as secções de choque calculadas anteriormente. Após o cálculo de depleção ser realizada para um dado intervalo de tempo, as concentrações são atualizadas e o cálculo celular é efetuado novamente com estes dados.

Está se implementando essa metodologia de cálculo para estudos de ciclos de combustível avançados, sobretudo com Tório. Neste trabalho será apresentado um exemplo da aplicação desta metodologia.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho fez-se o cálculo celular através do módulo de controle SAS2H do SCALE4.4a. A partir da definição da geometria da célula unitária, a composição de região e sua respectiva temperatura. O SAS monta uma tabela de mistura, a partir da qual, juntando-se a histórico de potência, será efetuado a análise neutrônica e a depleção do combustível.

Além dos nuclídeos que fazem parte da composição inicial, o SAS2 adiciona nesta tabela traços (10^{-20} g/barn cm) de nuclídeos relevantes na análise neutrônica, tal como Xenônio. No caso de cálculos de células com combustível de tório, outros nuclídeos devem ser adicionados pelo usuário, como por exemplo o ^{233}U .

Para o BONAMI, NITAWL-II e XSDRNPM executarem a análise neutrônica adequadamente os nuclídeos relevantes devem constar na biblioteca master e estarem na tabela de mistura. O BONAMI é um módulo do SCALE que realiza cálculos do fator de Bondarenko para “corrigir” as seções de choque devido aos efeitos de auto-blindagem, utilizando como dado inicial seções de choque e fatores de Bondarenko da biblioteca master.

Uma grande quantidade de arranjos e geometrias de células podem ser tratados utilizando aproximações de Dancoff. As entradas (seções de choque e fatores de Bondarenko) e saídas de dados são dadas no formato AMPX, padrão do SCALE.

Para acessar as bibliotecas “Master” do AMPX e produzir bibliotecas “de trabalho” que serão utilizadas em cálculos de transporte o SAS2 utiliza o módulo NITAWL. O NITAWL faz um Tratamento Integral de Nordheim para auto-blindagem ressonante.

Para cada composição do combustível dependente do tempo, o SAS2 utiliza o módulo XSDRNPM [5] para resolver a equação multi-grupo, unidimensional de transporte de nêutrons através do método de ordenadas discretas. O fluxo de nêutrons calculado pelo XSDRNPM é utilizado para obter as seções de choque apropriadas para uma composição do combustível que depende da queima (“burn up”). O XSDRNPM colapsa seções de choque e calcula autovalores (K infinito).

O código COUPLE automaticamente acopla o fluxo e as seções de choque ponderadas pelo fluxo ao código ORIGIN-S [2], que resolve as equações da cadeia de decaimento e transmutação produzindo como resultado as concentrações isotópicas para um dado “passo” de queima. A entrada de dados principal requerida pelo COUPLE [7] é uma “biblioteca de trabalho” produzida pela análise neutrônica feita com o XSDRNPM, BONAMI e NITAWL.

Esta técnica permite que o ORIGIN-S utilize as seções de choque representativas do reator, geradas pelos módulos anteriormente descritos. O ORIGIN-S resolve as equações de decaimento e transmutação em 3 grupos de energia, ponderando o fluxo em cada grupo pelo fluxo térmico e usando três fatores de peso calculados pela análise neutrônica TERM, RES e FAST.

O ORIGIN-S fornecerá as novas composições que serão utilizadas no próximo passo (resolver a equação de transporte) num processo iterativo. Esta seqüência se repete de acordo o histórico de operação do reator. Na figura 1 ilustra-se este esquema de cálculo.

3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Como exemplo da utilização desta metodologia, utilizou-se o SAS2 para o estudo da depleção de um combustível típico de um PWR. A seguir a descrição do elemento combustível:

- Arranjo 17x17;
- 264 varetas cilíndricas de combustíveis por arranjo;
- 24 tubos guia por arranjo;
- Comprimento ativo do combustível = 365,76 cm;
- 461,4 kg de U por arranjo;
- Composição isotópica em massa: $^{234}\text{U} = 0,028$; $^{235}\text{U} = 3,2$; $^{236}\text{U} = 0,0015$; $^{238}\text{U} = 96,757$.
- Tubos guias e encamisamento de Zircaloy;
- Temperatura médias em Kelvin: Combustível = 811, Encamisamento = 620, $\text{H}_2\text{O} = 570$;
- Pressão = $1,55 \times 10^7$ Pascal
- 550 PPM em massa de Boro no moderador;
- “Pitch” = 1,25984 cm
- Diâmetro externo do encamisamento = 0,94996 cm;
- Diâmetro interno do encamisamento = 0,83566 cm;
- Raio externo do tubo guia = 0,611214;
- Raio interno do tubo guia = 0,57150;
- Massa de elementos leves kg/arranjo:
C = 0,05999 N = 0,03377 O = 62,14 Al = 0,04569 Si = 0,06586 P = 0,1422
Ti = 0,04983 Cr = 2,340 Mn = 0,1096 Fe = 4,599 Co = 0,03344 Ni = 4,402
Zr = 100,8 Nb = 0,3275 Mo = 0,1816 Sn = 1.652

Utilizou-se uma queima de extração (“Burn up”) de 33 MWd/kgU, operando-se com uma potência específica de 37,5 kW/kgU durante 880 dias.

4. RESULTADOS

No processo de resolver as equações de transporte 1-D, o XSDRNPM calcula os autovalores desta equação. Os resultados estão exibidos na Fig. 1a.

O ORIGEN-S [2] calcula a concentração da maioria dos actínideos e produtos de fissão. Um resumo das concentrações de actínideos, calculado pelo ORIGEN-S está na Fig. 1b.

5. RESULTADOS

Os resultados encontrados são coerentes com os valores esperados para os parâmetros calculados. Esta metodologia já foi validada para reatores PWR tradicionais [3]. A continuidade deste trabalho será validar esta metodologia para combustíveis com Tório, será utilizado para tanto o “Benchmark” numérico relatado em [8].

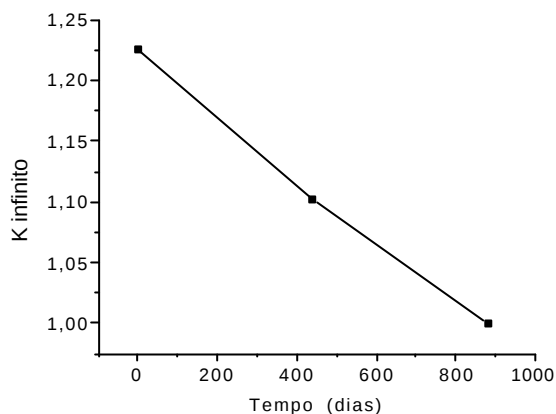


Figura 1a. Variação do fator de multiplicação com a queima.

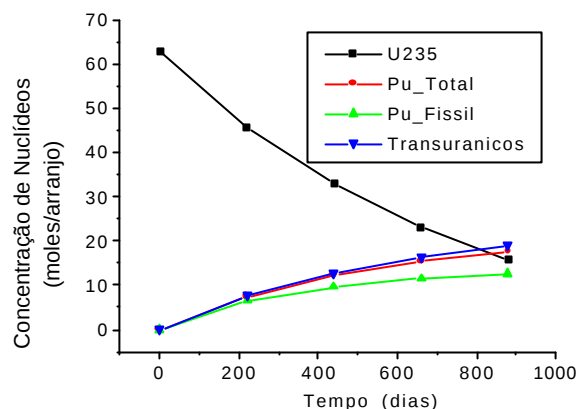


Figura 1b. Concentrações dos Actínídeos em moles.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o suporte financeiro oferecido pela FAPESP (Proc. N.º 03/13188-6).

REFERÊNCIAS

1. G. L. Bell, S. Glasstone, *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinhold Company, New York & USA (1970).
2. O. W. Hermann, R. M. Westfall, ORIGIN-S: Scale System Module To Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup And Decay, And Associated Radiation Source Terms, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F7, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
3. O. W. Hermann, C. V. Parks, SAS2H: A Coupled One-dimensional Depletion And Shielding Analysis Module, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 1, Section S2, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
4. N. M. Greene, L. M. Petrie, R. M. Westfall, NITAWL-II: Scale System Module For Performing Resonance Shielding And Working Library Production, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F2, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
5. N. M. Greene, BONAMI: Resonance Self-Shielding By The Bondarenko Method, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F1, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
6. N. M. Greene, L. M. Petrie, XSDRNPM: A One-dimensional Discrete-Ordinates Code For Transport Analysis, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F3, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
7. O. W. Hermann, COUPLE: Scale System Module To Process Problem dependent Cross Sections And Neutron Spectral Data For ORIGIN-S Analyses, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F6, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R6, 2000.
8. Potential of thorium based fuel cycles to constrain plutonium and reduce long lived waste toxicity, IAEA-TECDOC-1349, 2003.