

# AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE COMBUSTÍVEIS REPROCESSADOS DILUÍDOS EM TÓRIO EM REATORES DO TIPO PWR

MONTEIRO, F. B. A.<sup>1,2</sup>; PEREIRA, C.<sup>1,2</sup>; SOUSA, R.V.<sup>1</sup>; FARIA, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Nuclear – Escola de Engenharia  
Universidade Federal de Minas Gerais

Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha 31270-901 – Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Reatores Nucleares Inovadores/CNPq

Modalidade Doutorado

e-mail: fabianabeghini@yahoo.com.br



## Introdução

O foco atual em diminuir o impacto ambiental do rejeito nuclear e aumentar o tempo de vida de um reator leva a novos projetos relacionados a combustíveis, com o intuito de obter um maior burnup, um menor nível de radioatividade liberada, a utilização de recursos naturais [1] e o desenvolvimento de novos meios para reprocessar o combustível queimado [2].

Entre as técnicas de reprocessamento, o UREX – uma variante do PUREX, desenvolvido nos Estados Unidos – consistiu-se em uma série de cinco etapas de extração por solvente, que separa o urânio do combustível queimado sem recuperar plutônio puro [3]. UREX+ é um melhoramento do UREX, pois extrai também plutônio misturado com alguns actínidos [4]. O combustível reprocessado diluído em tório apresenta alguns aspectos favoráveis quando comparado com o combustível baseado em urânio ou plutônio, tal como nível de radiotoxicidade do combustível queimado, considerado bem menor para o ciclo do tório do que para outros ciclos [5].

Neste trabalho, um estudo preliminar da inserção de combustível reprocessado diluído em tório em reatores do tipo pressurizados a água (PWR) foi realizado.

## Metodologia

Inicialmente, um elemento combustível típico de um reator PWR foi modelado [6] utilizando o SCALE 6.0, mantendo inalteradas as posições das barras de combustível, das barras de veneno queimável e dos tubos guias (fig. 1). Em seguida, os combustíveis reprocessados obtidos através do código ORIGEN 2.1 (considerando um combustível PWR padrão – 33,000 MWd/T de queima – enriquecido inicialmente a 3.1%, resfriados por cinco anos e reprocessados através da técnica de reprocessamento UREX+) foram diluídos em tório até obter enriquecimentos que variaram de 5,5% a 7,0%. Os combustíveis reprocessados e diluídos em tório foram carregados nas varetas de combustível em substituição ao combustível padrão. Todos os outros parâmetros do reator permaneceram inalterados.

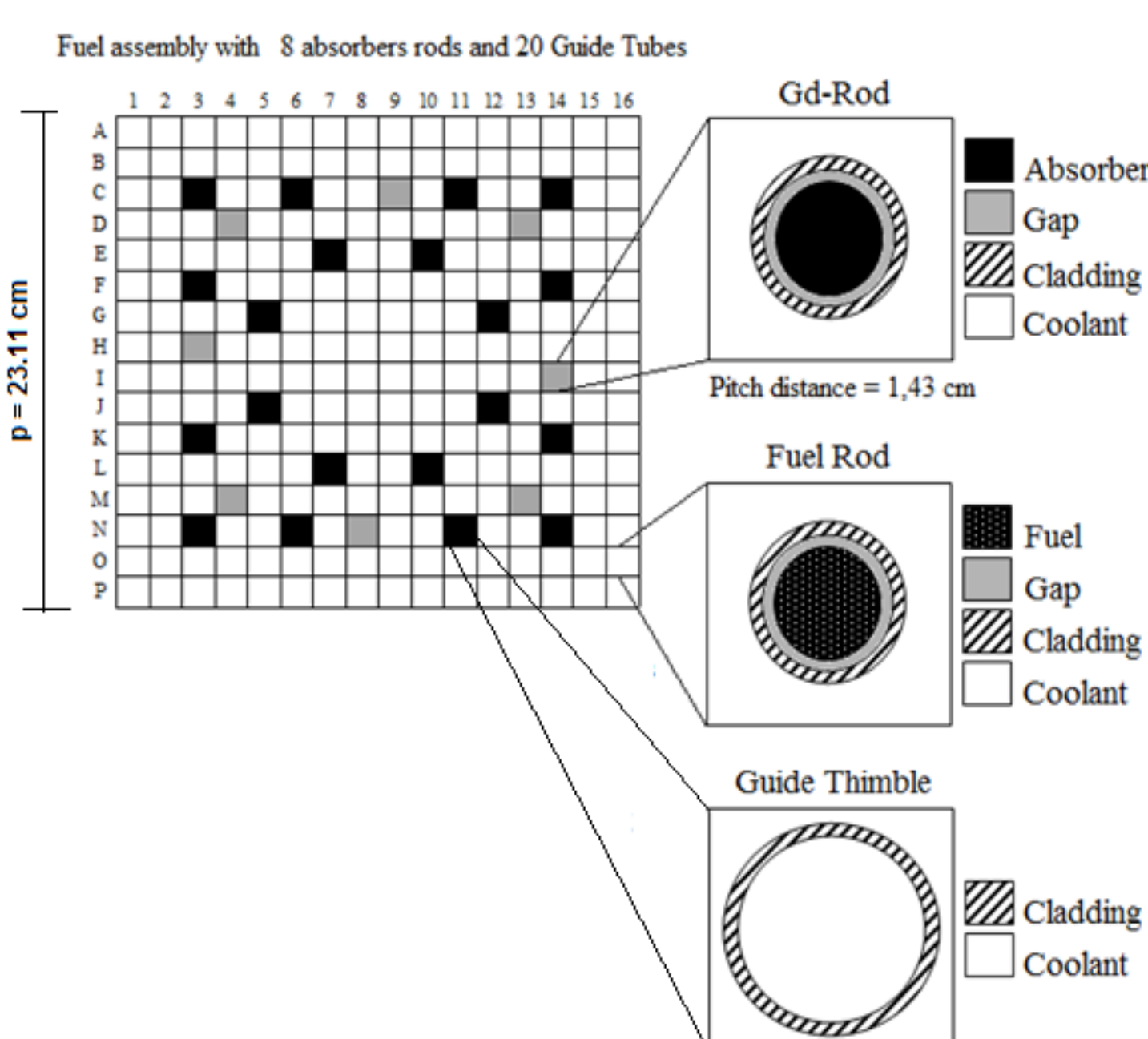


Figura 1 – Configuração do elemento combustível.

## Resultados e Discussão

O primeiro parâmetro analisado foi o fator de multiplicação infinito. Considerando todos os combustíveis, o valor inicial de  $k_{inf}$  é menor para o (TRU-Th) do que para o ( $UO_2$ ), pois a sessão de choque de captura que é maior para  $^{232}Th$  do que para  $^{238}U$ . O ciclo de TRU, 7.0% enriquecido, apresentou melhor valor de  $k_{inf}$  durante o burnup. Quanto maior a quantidade de material fissil (TRU-Th), mais similar fica o comportamento de  $k_{inf}$  comparado ao combustível padrão  $UO_2$ .

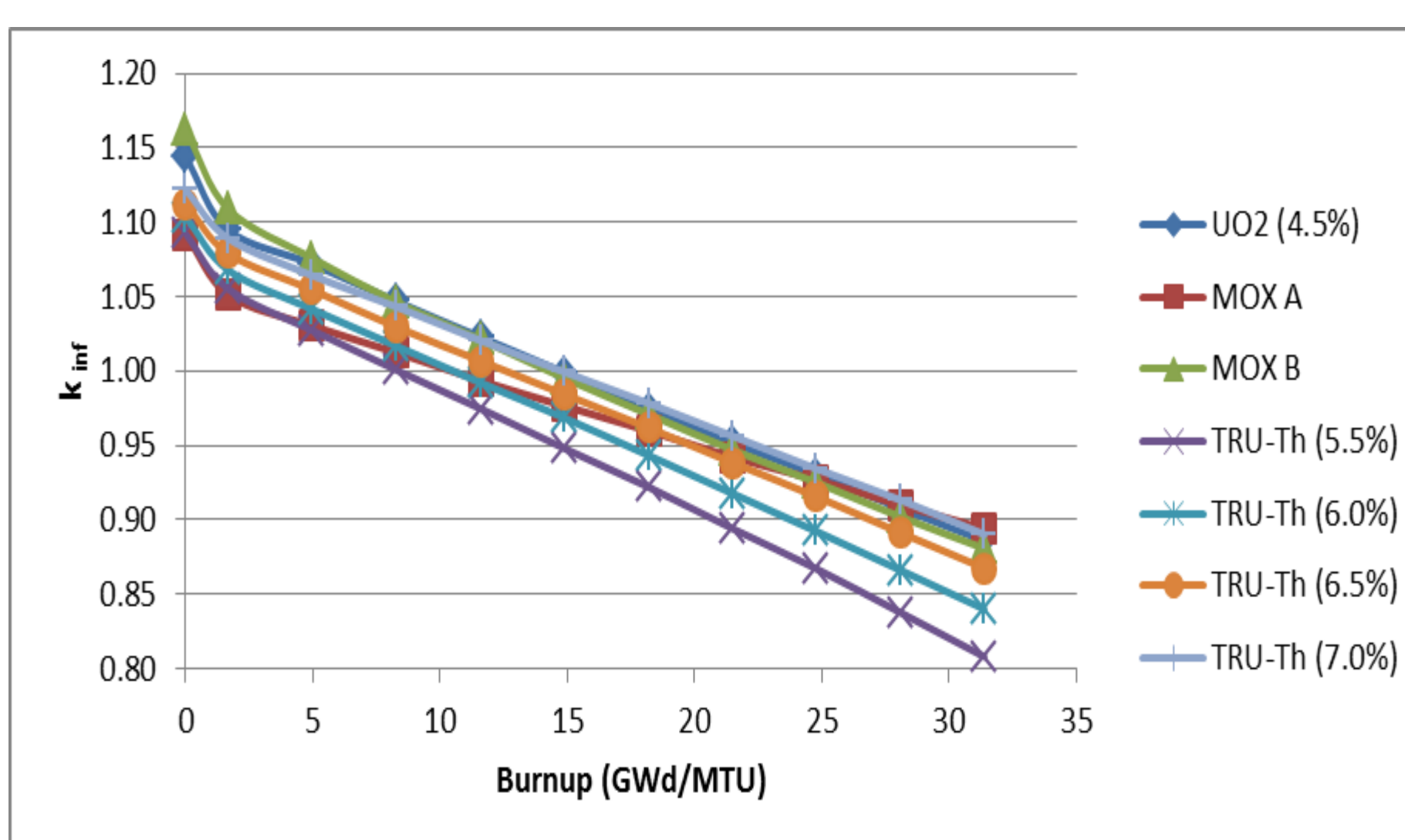


Figura 2 – Comparação do  $k_{inf}$  para os ciclos ( $UO_2$ ), (TRU-TH) e MOX.

A figura 3 mostra a razão do fluxo térmico pelo rápido para os combustíveis considerados. O espectro endurecido observado no MOX é uma consequência da alta quantidade de plutônio. Ele é menos pronunciado no TRU comparado ao MOX.

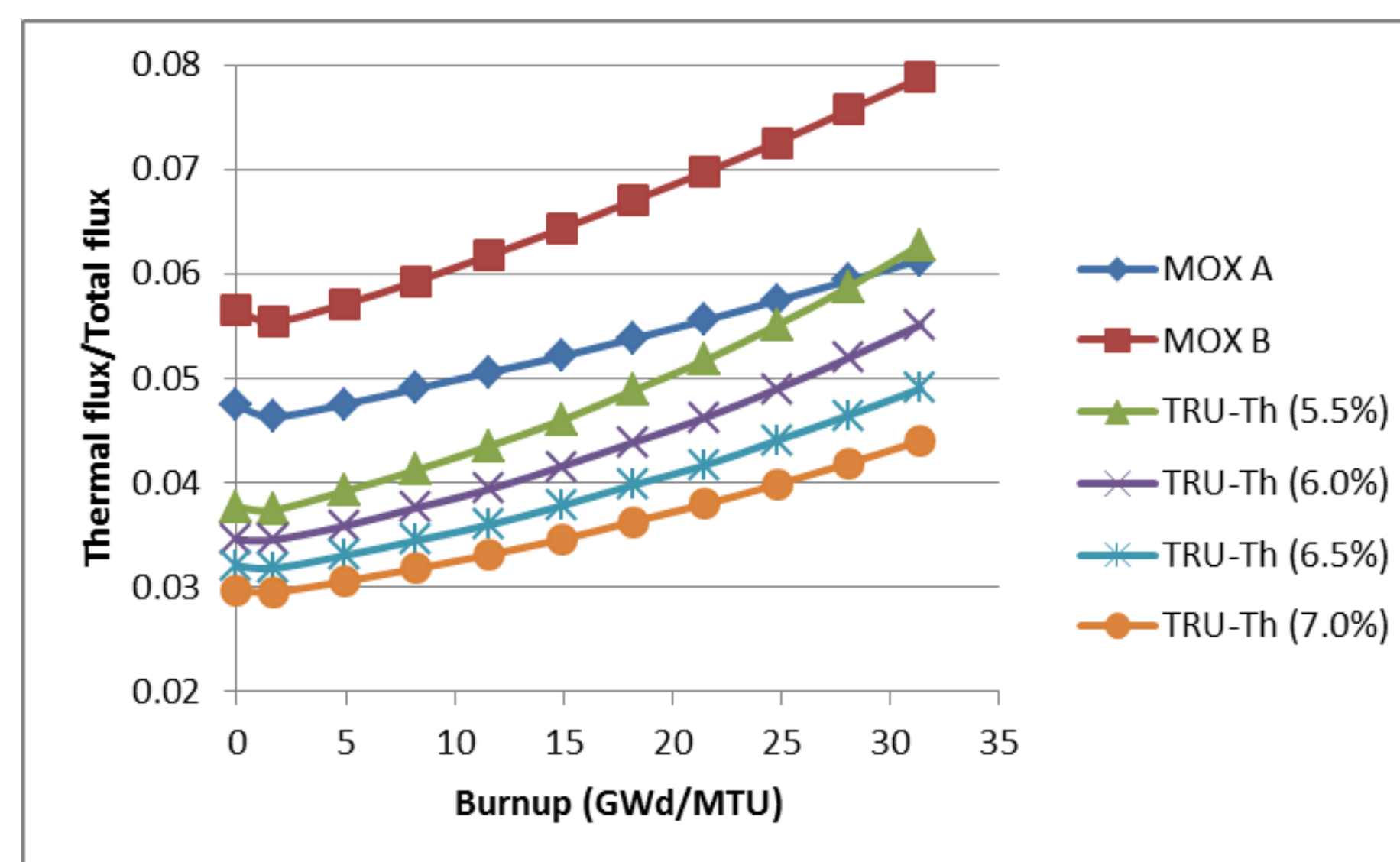


Figura 3 – Comparison of the hardening spectrum for the ( $UO_2$ ), (U-Th) and (TRU-TH) fuel cycle.

A figura 4 apresenta a concentração, em gramas, de  $^{239}Pu$  durante o burnup para cada ciclo. Observa-se que o comportamento entre eles é muito similar, apesar da quantidade de núclidos ser maior para os combustíveis reprocessados, devido à concentração inicial. A menor taxa de queima do plutônio do combustível TRU-Th, 7,0% enriquecido, sugere um burnup estendido.

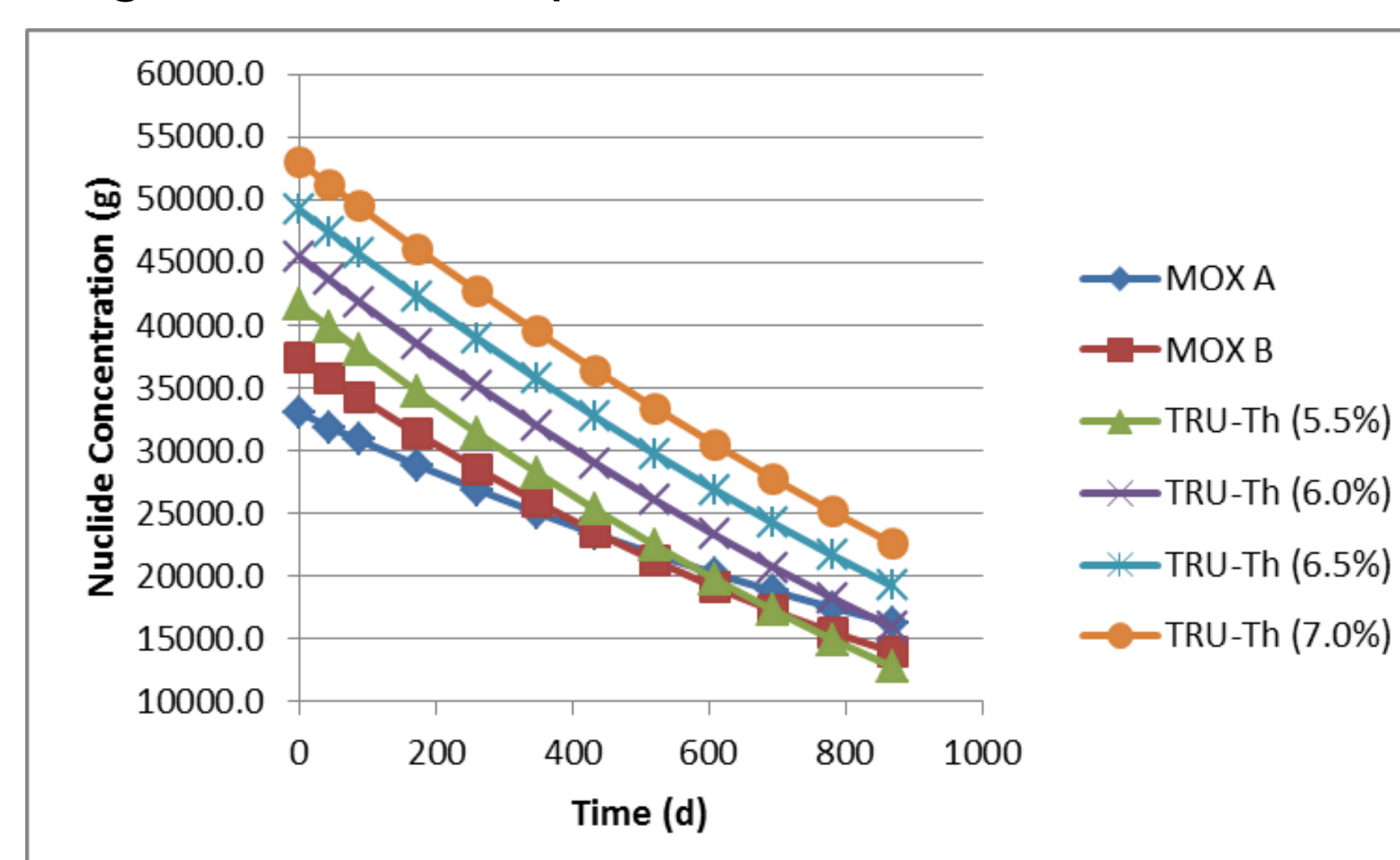


Figura 4 – Evolução do  $^{239}Pu$  para os ciclos estudados.

A figura 5 apresenta a concentração, em gramas, do  $^{241}Am$  durante o burnup para cada ciclo. Novamente, o comportamento entre eles é similar. Isso ocorre por consequência da captura neutrônica produzir mais isótopos de plutônio, que eventualmente produzirá actínidos (por exemplo: Am, Cm, etc.). Note que  $^{237}Np$ , também um actínido de longa vida, é um núclido filho na cadeia do  $^{239}Pu$ ; como resultado do decaimento do  $^{241}Am$ .

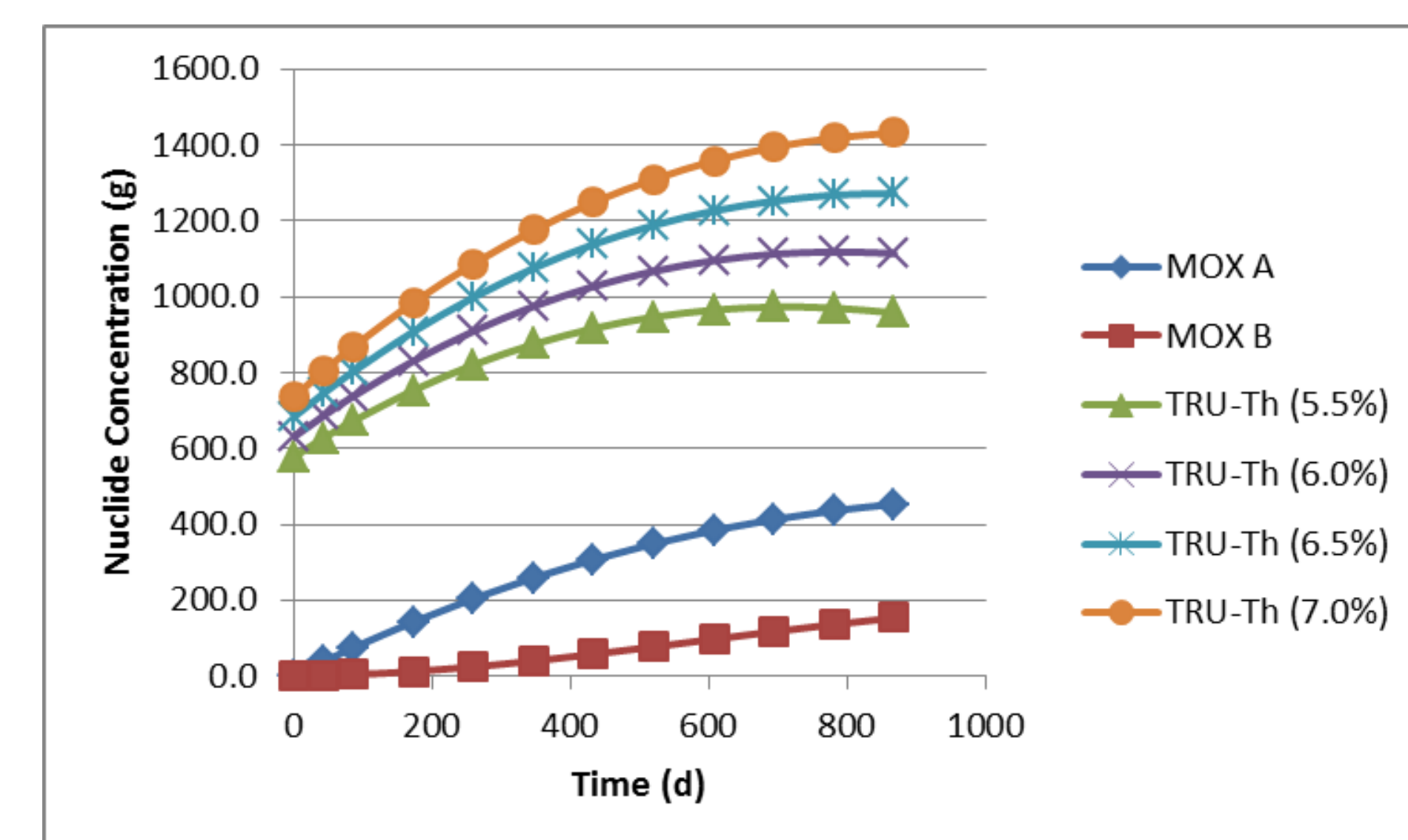


Figura 5 – Evolução do  $^{241}Am$  para os ciclos estudados.

## Conclusão

A utilização de ciclos avançados baseados no tório e em elementos transurânicos mostrou ser satisfatória em reatores do tipo PWR. Os resultados permitem estender os estudos à análise de outros parâmetros neutrônicos, assim como a variação da quantidade de veneno queimável a fim de obter um valor inicial de  $K_{inf}$  melhor. O comportamento dos combustíveis à base de TRU mostrou similaridade ao MOX em relação aos parâmetros estudados.

## Referências

- [1] IAEA, "Spent Fuel Reprocessing Options", Nuclear Fuel Cycle and Materials Section International Atomic Energy Agency (2008).
- [2] M. A. Pope, B. Boer, A. M. Ougouag, G. Youinou, "Performance of Transuranic-Loaded Fully Ceramic Micro-Encapsulated Fuel in LWRs – Interim Report, Including Void Reactivity Evaluation", Idaho National Laboratory, Idaho 83415 (2011).
- [3] M.F. SIMPSON and J.D. LAW. "Nuclear Fuel Reprocessing. INL/EXT-10-17753". Fuel Cycle Science and Technology Division. Idaho National Laboratory. Idaho 83415 (2010).
- [4] ARGONNE NATIONAL LABORATORY. "Lab-Scale Demonstration of the UREX+ Process". WM'04 Conference, February 29 – March 4, Tucson, AZ, USA (2004).
- [5] M. Lung, "A Present Review of the Thorium Nuclear Fuel Cycle", Nuclear science and Technology European Commission (1997).
- [6] Eletrobrás Termonuclear S.A., "Final safety Analysis Report – FSAR Angra 2", Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1999.

## Agradecimentos

