



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO NA ATENUAÇÃO DO PERFIL DE DECAIMENTO DE CALOR DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR QUEIMADO DISPOSTO EM PISCINA DE RESFRIAMENTO

Cristiane Viana¹, Fernando Pereira^{1,2}, Cláudia Pereira^{1,2}

¹Departamento de Engenharia Nuclear – Escola de Engenharia
Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP
31270-901, Brasil, Phone/Fax: 55-31-34096662

²Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Reatores Nucleares Inovadores/CNPq, Brazil

Palavras-Chave: Combustível nuclear queimado, Perfil de calor de decaimento, Piscina de resfriamento, Ansys.

RESUMO

A análise do comportamento térmico de combustíveis nucleares queimados depositados em piscinas é importante para o conhecimento da variação da temperatura da água, tanto para fins de projeto da piscina quanto para possíveis falhas no sistema de resfriamento da água. Neste trabalho, foram realizados estudos a partir de simulações numéricas utilizando a plataforma Ansys CFX, na qual se estimou a influência do revestimento de zircaloy da vareta na atenuação do perfil de calor de decaimento do combustível queimado de um reator do tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), o qual foi descarregado e disposto em piscina de resfriamento. Na modelagem matemática, considerou-se a geometria real de uma vareta de combustível totalmente imersa em água, com condições de contorno adiabáticas nas paredes da piscina e com troca de calor no topo, entre a água e o ambiente. Os resultados mostram que o revestimento de zircaloy atenua a intensidade do calor emitido pelo combustível queimado em aproximadamente 10%.

1. INTRODUÇÃO

Após a descarga do reator nuclear, é essencial o resfriamento controlado dos combustíveis nucleares queimados (CNQ), dado que liberam energia proveniente do decaimento dos radionuclídeos nele presentes. Uma das maneiras adotadas para o resfriamento inicial é através de piscinas construídas nas dependências da própria instalação nuclear.

Neste contexto, é necessário o estudo do comportamento térmico do combustível em processo de resfriamento, pois a estrutura montada para tal finalidade deve ser adequada ao perfil térmico do CNQ armazenado. Este armazenamento se dá em containers especiais devidamente projetados para acondicionar uma quantidade máxima de CNQ, exceto para o CNQ de UO₂ proveniente de reatores PWR, cujos elementos são acondicionados na piscina intactamente. O sistema de resfriamento e purificação da piscina é comumente projetado para suportar o calor do CNQ de forma que não seja ultrapassada a temperatura máxima estipulada para a água em especificações técnicas [1].

O estudo completo da transferência de calor do CNQ armazenado em piscinas compreende a troca de calor entre o CNQ e o revestimento, deste para água e da piscina para o ambiente externo. Estes estudos são realizados através de simulações computacionais que utilizam algoritmos de integração numérica e a técnica de elementos finitos para resolver as equações diferenciais parciais que governam a transferência



de calor nestes sistemas em geometria real. A fim de economizar esforço computacional, é comum simplificar o processo de troca de calor excluindo o revestimento do CNQ. Dessa forma, o calor é considerado fluir diretamente do CNQ para a água.

Neste trabalho foi avaliado o impacto do revestimento de uma vareta de CNQ proveniente de um reator PWR no calor transferido para a água. Os estudos foram realizados para tempos de armazenamento em piscinas entre 0,5 e 15 anos, aos quais estão associados diferentes valores de calor de decaimento de CNQ [2].

2. METODOLOGIA

2.1. Geometria do Problema

O problema descrito foi modelado na plataforma *Ansys CFX* no módulo de regime estacionário, no qual as propriedades físicas do sistema e as próprias simulações são independentes do tempo [1].

Foi modelado um sistema básico que consistiu de uma vareta no formato cilíndrico com as seguintes dimensões padrões: 0,41266 cm de diâmetro e 365,7 cm de altura para o combustível; 0,061704 cm de espessura lateral e 1,75 cm de espessura nas extremidades para o revestimento de zircaloy. A vareta foi imersa em um cubo de água de 4 m de aresta. A Fig. 1 apresenta a geometria descrita.

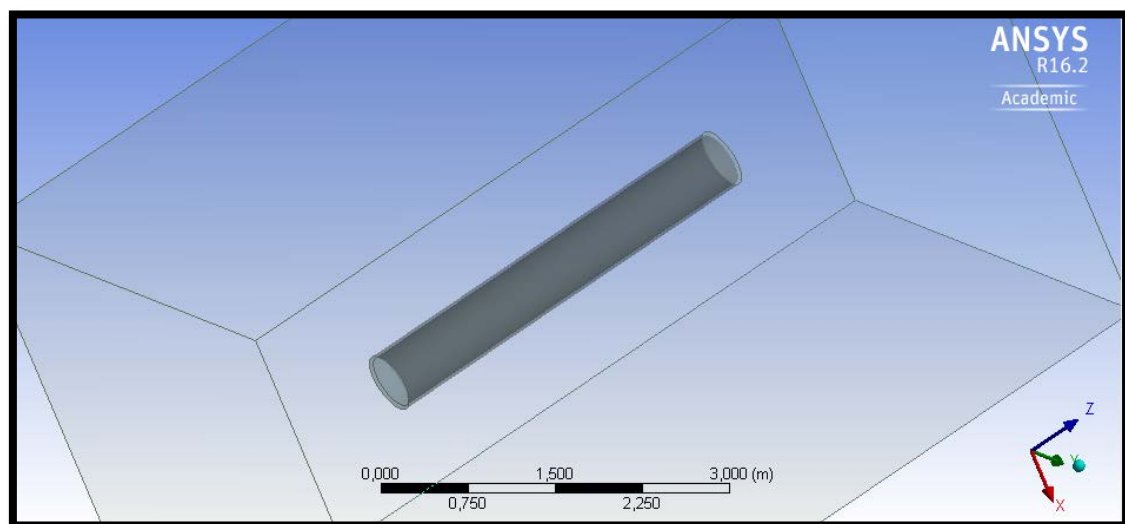


Fig. 1. Modelo do CNQ com revestimento imerso em água.

2.2. Discretização da geometria, condições iniciais e de contorno

Após a definição da geometria, esta foi discretizada em elementos (chamados de nodos de agora em diante) para a solução numérica das equações que governam o transporte de calor. Como os tamanhos dos nodos são determinantes para os estudos de análise térmica, várias simulações prévias foram executadas, variando o tamanho dos nodos e aplicando algumas ferramentas de refinamento de malha providas pela



plataforma Ansys. Essas simulações permitiram concluir que, para o presente estudo, o dimensionamento automático da plataforma Ansys era o adequado.

Neste tipo de dimensionamento, o algoritmo de discretização do Ansys secciona a geometria levando em conta as dimensões de cada parte da mesma, ou seja, o revestimento, que é uma capa de espessura muito pequena, é subdividido em nodos muito menores do que o CNQ, por exemplo. Além disso, nas proximidades das interfaces entre o CNQ e o revestimento e entre este e a água, os nodos são ainda menores, a fim de minimizar os efeitos de contorno. A Fig. 2 apresenta um corte transversal da geometria modelada, permitindo visualizar o seccionamento em nodos de diferentes tamanhos e formatos.

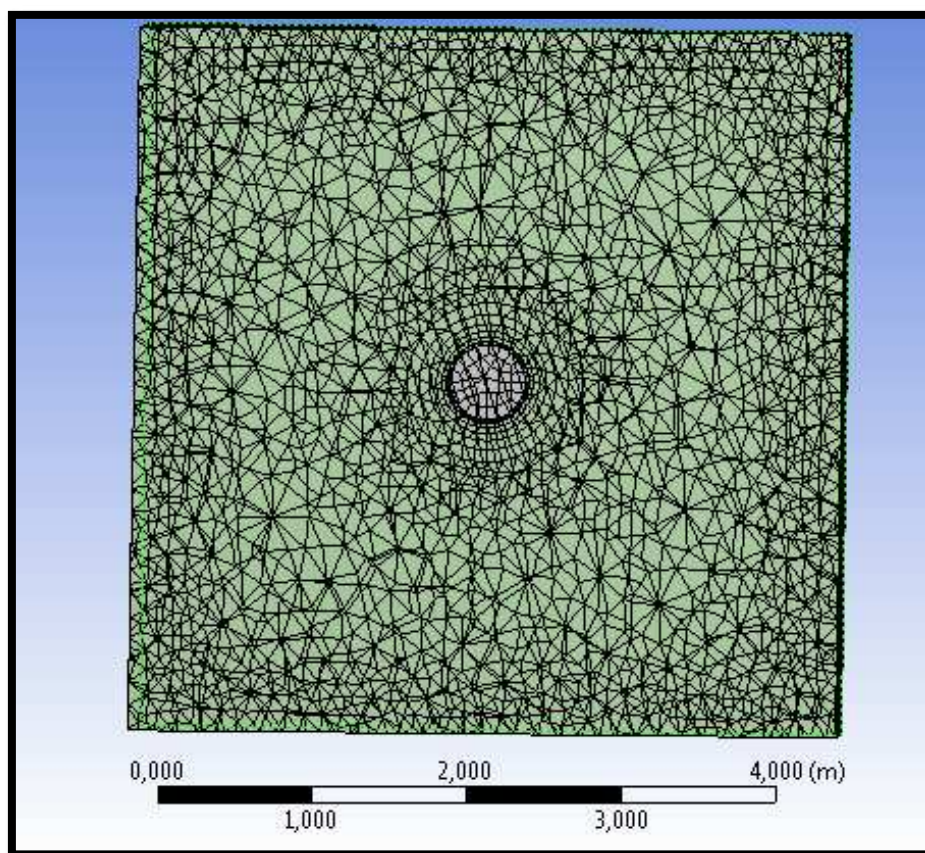


Fig. 2. Corte transversal da geometria seccionada em nodos.

Como condições de contorno, foram aplicadas condições adiabáticas nas paredes externas da piscina e adotado o modelo laminar. As condições iniciais da água estão resumidas na Tab. 1. O revestimento de zircaloy foi considerado à temperatura de 80 °C.



Tab. 1. Condições iniciais do modelo.

Propriedades da água	Valores
Massa molar	18.02 kg·mol ⁻¹
Densidade	992.2907 kg·m ⁻³
Temperatura	40°C
Pressão	1 atm
Calor específico	4178.656 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
Viscosidade dinâmica	6.53E-4 kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹
Condutividade térmica	0.6286571 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

A fonte de calor foi especificada no CNQ através da grandeza *Internal Heat Generation*, em W·m⁻³ e a grandeza avaliada foi o fluxo médio de calor, em W·m⁻², na superfície externa do revestimento. Esta grandeza foi convertida em uma outra, denominada neste trabalho de *Total heat leakage*, em W·m⁻³, utilizando as dimensões padrões da vareta. Foram realizadas simulações para diferentes valores de fontes de calor, que correspondem a tempos que variam de 0,5 a 15 anos após a descarga do CNQ. Estes valores, que serão citados na seção de resultados, são derivados de simulações com o código de queima Origen2.1 [3] para a determinação do perfil de calor de decaimento do combustível UO₂ descarregado de um reator PWR, enriquecido a 3,2%, burnup de 33GW/tHM durante três anos de operação e com quantidade de material fissil de 1,46% [4]. A Fig. 3 apresenta o calor de decaimento do combustível UO₂ descarregado de um reator PWR em função do tempo após a descarga do reator. Como pode ser observado dessa figura, os valores são dados em W/tHM e, portanto, eles são convertidos em W·m⁻³ utilizando a densidade do combustível.

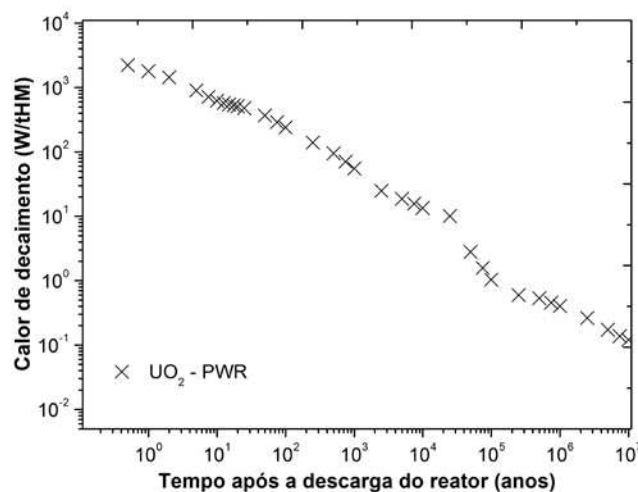


Fig. 3. Calor de decaimento em função do tempo do CNQ descarregado de um reator PWR [3].



3. RESULTADOS

A Tab. 2 apresenta os resultados para valores de fontes de calor nos tempos entre 0,5 e 15 anos após descarga do CNQ de um reator PWR. A segunda coluna apresenta os valores do calor emitido pelo CNQ sem revestimento e derivados de simulações com o código Origen2.1 (não apresentadas neste trabalho); a terceira coluna apresenta os valores do calor que emana do revestimento de zircaloy modelado neste trabalho.

Tab. 2. Atenuação de calor pelo revestimento da vareta.

Tempo (anos)	<i>Internal heat generation</i> (W.m⁻³)	<i>Total heat leakage</i> (W.m⁻³)
0,5	2158,2	1946,0
1,0	1878,0	1693,3
2,0	1458,0	1314,7
5,0	851,2	768,1
7,5	681,4	614,5
10,0	617,5	557,1
12,5	593,4	535,1
15,0	584,3	527,1

Como esperado, há uma diferença entre o calor que emana do CNQ e aquele que, de fato, escapa da superfície externa do revestimento da vareta e, como observado na Tab. 2, a atenuação de calor pelo revestimento é de aproximadamente 10% para todos os tempos avaliados após a descarga do CNQ. Para demais tipos de CNQ, serão necessários estudos adicionais para a determinação da intensidade da atenuação do calor pelo material do revestimento adotado. Vale destacar que pode ser necessária a realização de novos estudos com o revestimento em diferentes temperaturas para que seja possível determinar se a atenuação de calor pelo revestimento é ou não dependente da temperatura inicial atribuída ao mesmo.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado o impacto do revestimento de zircaloy de uma vareta de combustível nuclear queimado descarregado de um reator PWR na atenuação do calor de decaimento desse combustível em condições de armazenamento em piscinas.

Os estudos realizados permitiram concluir que o revestimento de zircaloy atenua o calor emitido pelo combustível em aproximadamente 10%. Demais estudos necessitam ser realizados para determinar o mesmo impacto para o caso de diferentes tipos de combustíveis e revestimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPQ pelo suporte financeiro dado a este projeto.



Terceira Semana de Engenharia Nuclear e Ciências das Radiações - SENCIR 2016
Belo Horizonte, 4 a 6 de outubro de 2016
Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. H. Park et al., “Estimation of the Spent Fuel Pool Water Temperature at a Loss-of-Pool-Cooling Accident”, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Scholarly and Scientific Research & Innovation, Vol. 7(7), (2013).
- [2] F. Pereira et al., “Thermal Analysis of Spent Nuclear Fuels Repository”, 5th International ATALANTE Conference Nuclear Chemistry for Sustainable Fuel Cycles (2016).
- [3] A. G. Croff et al., “Revised Uranium-Plutonium Cycle PWR and BWR Models for the ORIGEM Computer Code”, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-6051, September, Oak Ridge, Tennessee (1978).
- [4] J. A. D. Salomé et al., "VHTR, ADS and PWR Spent Nuclear Fuel Analysis", 5th International ATALANTE Conference Nuclear Chemistry for Sustainable Fuel Cycles (2016).