



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DA ROCHA NO PERFIL DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO CANISTER EM REPOSITÓRIOS GEOLÓGICOS

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 decaimento de calor, Repositório geológico, Ansys.

RESUMO

A determinação do perfil de calor de decaimento (PCD) de combustíveis nucleares queimados (CNQ) é fundamental para os estudos de análise térmica das condições de armazenamento destes combustíveis. Neste trabalho são realizados estudos a fim de compreender a influência da espessura da camada de rocha na temperatura da superfície de um *canister* de CNQ contendo quatro elementos intactos do reator tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), sob condições de deposição geológica. Também é avaliada a influência da temperatura do solo, a qual depende da profundidade do repositório geológico, considerando o gradiente geotérmico constante. O estudo foi baseado em simulações numéricas realizadas através da plataforma *Ansys*, considerando o CNQ armazenado em *canister* padrão e envolto por rochas. Os resultados mostram que o patamar alcançado pela temperatura na superfície do *canister*, bem como a taxa de seu decréscimo é dependente da espessura da camada de rocha e da temperatura no fundo e no topo do repositório geológico.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento do combustível nuclear queimado inicia com a descarga do reator que contém isótopos físeis, isótopos fissionáveis, produtos de fissão e vários actínides. No caso de reprocessamento, esses isótopos são separados para reaproveitamento, enquanto que o restante do combustível, de alta atividade, deve ser adequadamente acondicionado para o armazenamento temporário ou eliminação, em locais apropriados. O método de eliminação que tem sido amplamente proposto nos principais países que utilizam energia nuclear é o método de repositório geológico [1].

Um exemplo de repositório geológico, conforme mostrado na Fig. 1, está localizado na Inglaterra e foi desenvolvido pela *Swedish Nuclear Fuel and Waste Company*. Neste caso, o combustível queimado é acondicionado em um recipiente selado apropriado, denominado de *canister*, o qual é introduzido em buracos perfurados em rochas em profundidades que variam de 300 a 1000 m [2]. Os *canisters*, cujas dimensões e geometria estão detalhadas em [1], são dispostos em linhas paralelas com um espaçamento que garanta que a temperatura na superfície dos mesmos não exceda 100°C. Esses *canisters* são circundados por camadas de bentonite, que servem de barreira entre eles e a rocha e, sobre a camada de bentonite, há um espaço denominado *backfill*, que é preenchido por rocha triturada após a colocação dos *canisters* nas perfurações.

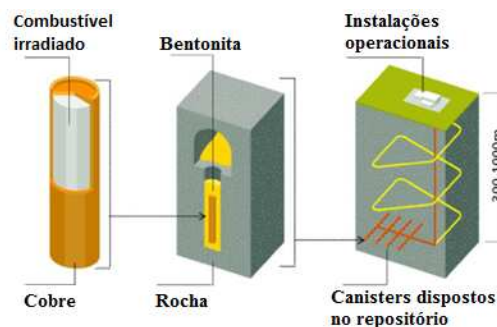


Fig. 1. Modelo de repositório geológico segundo o conceito inglês [3].

O combustível nuclear queimado gera calor, proveniente do decaimento dos radionuclídeos presentes no mesmo. Logo, para fins de projeto de repositório geológico, é importante determinar como esse calor altera a temperatura no *canister*, sempre tendo como referência que a temperatura máxima recomendada para a superfície do *canister* é de 100°C [1].

O cálculo, em geometria real, da temperatura do *canister* em uma porção de repositório geológico é realizado numericamente, sendo que tais simulações numéricas demandam a definição dos materiais utilizados, o desenho detalhado em escala real da geometria, bem como a discretização espacial do modelo geométrico e a definição das condições iniciais e de contorno do sistema.

O presente trabalho consistiu no estudo da influência da alteração de alguns parâmetros, tais como a espessura da rocha acima e abaixo do *canister* e a temperatura do solo, na temperatura de um *canister* de PWR. O trabalho foi implementado na plataforma *Ansys Workbench 16.2*, versão Estudante.

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição do modelo

Para o atual estudo, foi utilizado o módulo *Ansys Transient Thermal*, no qual foram definidos os materiais do modelo a partir dos valores das suas propriedades físicas, a saber: a densidade, a condutividade térmica e o calor específico. A Tab. 1 apresenta as propriedades utilizadas para cada tipo de material presente no sistema.

A construção da geometria de uma porção do repositório geológico seguiu a ideia apresentada na Fig. 1. A Fig. 2 apresenta uma visão dessa geometria seccionada por dois planos de simetria, XZ e YZ, a fim de facilitar a visualização e também para diminuir o tempo de execução da simulação. As camadas, de dentro para fora são: CNQ de PWR, revestimento de zircaloy, Ferro, cobre, bentonite, backfill (rocha triturada e bentonite que preenche a região escavada e acima dos *canisters*) e rocha. Na Fig. 3 é mostrada a mesma porção apresentada na Fig. 2 já discretizada em nodos. A discretização foi realizada escolhendo o tamanho dos elementos e levando em conta as dimensões de cada região da geometria. Os tamanhos adequados foram determinados a partir de simulações prévias, que consistiram em diminuir gradativamente os tamanhos até que a grandeza de interesse – a temperatura média na superfície do *canister* – não sofresse nenhuma influência. Os tamanhos considerados adequados foram: 0,06 m, 0,008 m, 0,05 m, 0,035 m, 0,15 m e 0,25 m, para o combustível, revestimento, ferro, cobre, bentonite e backfill, respectivamente. Para a rocha, as regiões distantes até 2 m da bentonite e do backfill, o tamanho dos elementos foi de 0,35 m para as demais regiões, 1,5 m.



Tab. 1. Propriedades dos materiais para modelagem matemática [1].

Material	Densidade (kg m^{-3})	Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Calor específico ($\text{W kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
Combustível	2000	0,135	2640
Zircaloy	6550	18,8	337,6
Ferro fundido	7200	52	504
Cobre	8900	386	383
Bentonita	1970	1	1380
Rocha	2650	3,2	815

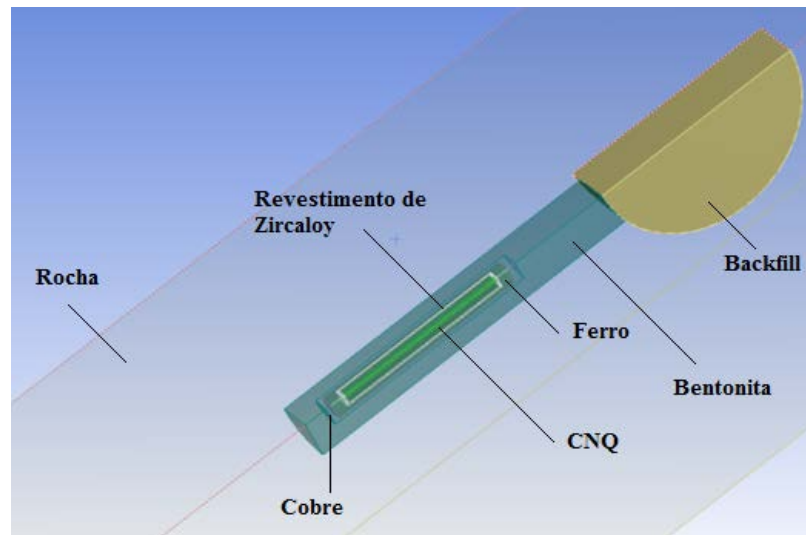


Fig. 2. Geometria modelada.

O CNQ armazenado no interior do canister é estabelecido como fonte de calor através da grandeza *Internal Heat Generation*, dada em W.m^{-3} , e cujos valores são derivados de simulações para o cálculo do perfil de calor de decaimento do CNQ a partir do instante de sua descarga do reator nuclear [4]. A Fig. 4 apresenta o calor de decaimento do combustível UO_2 enriquecido a 3,2%, em função do tempo de descarga de um reator PWR, *burnup* de 33GW/tHM durante três anos de operação e quantidade final de material fissil de 1,46%. Para os presentes estudos, foi suposto que o CNQ esteve sob armazenamento em piscinas durante 50 anos e o tempo de simulação considerado em repositório geológico foi de 20 anos. Portanto os valores utilizados como fonte de calor estão no intervalo de tempo entre 50 e 70 anos no gráfico da Fig. 4.

As simulações de análise térmica consistiram na determinação da evolução temporal da temperatura média na superfície de um *canister* de PWR. Como condições de contorno, as paredes laterais foram estabelecidas adiabáticas – trocas de calor com o ambiente externo desprezadas e as paredes superior e inferior do repositório tendo temperaturas constantes, para fins de simulação do gradiente geotérmico de $30^\circ\text{C}/\text{km}$.

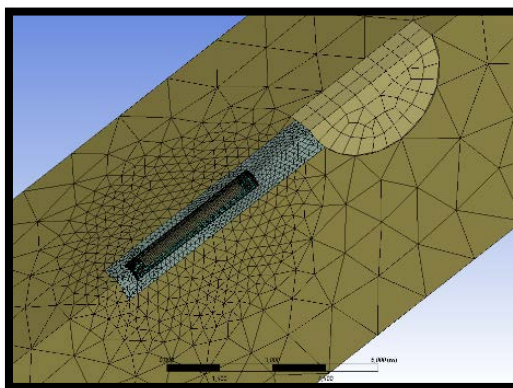


Fig. 3. Porção do repositório modelada e discretizada.

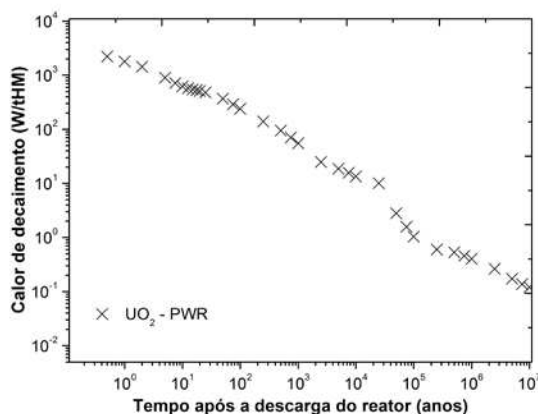


Fig. 4. Calor de decaimento em função do tempo do CNQ descarregado de um reator PWR [4].

2.2. Estudo da influência de parâmetros

Para a avaliação do comportamento da temperatura na superfície do *canister* em função da espessura da camada de rocha, foram realizados testes com as seguintes espessuras: 15 m, 20 m, 25 m e 30 m. Já, para a avaliação desse comportamento em função da temperatura na parte superior e inferior do repositório, foram utilizados os valores de temperatura presentes na Tab. 2, mantendo-se constante um gradiente térmico de 30°C/km e a espessura de rocha de 15 m.

Tab. 2. Temperaturas superior e inferior – condições de contorno na rocha

Testes	Temperatura na face inferior (°C)	Temperatura na face superior (°C)
I	20	19,55
II	25	24,55
III	30	29,55



3. RESULTADOS

A Fig. 5 mostra o comportamento temporal da temperatura na superfície do *canister* em função do tempo de disposição em repositório geológico para cada um dos valores de espessura de rocha.

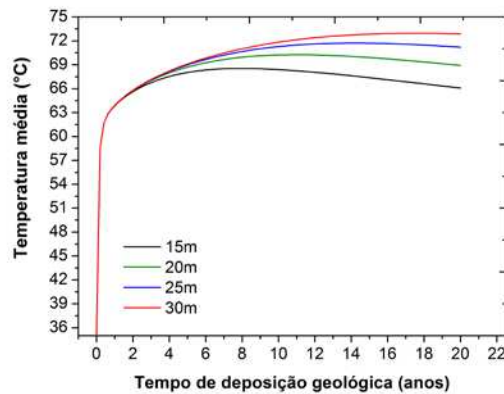


Fig. 5. Temperatura média na superfície do *canister* em função do tempo de disposição geológica para diferentes espessuras de rocha.

Observa-se da Fig. 5 que há uma correlação direta entre o aumento da espessura de rocha e o tempo necessário para que a temperatura média na superfície do *canister* alcance um patamar e, então, comece a diminuir, em concordância qualitativa com a literatura [1]. Como pode ser observado, esse patamar é alcançado em aproximadamente sete anos para uma espessura de rocha de 15 m e em torno de 16 anos para 30 m. Este comportamento observado ainda permanece em estudo, no entanto é possível que possa estar relacionado ao aumento do número de nodos na geometria discretizada.

A Fig. 6 mostra o gráfico da temperatura média na superfície do *canister* em função do tempo de disposição geológica para diferentes valores temperatura da rocha no fundo e no topo do repositório, para um gradiente térmico de 30°C/km.

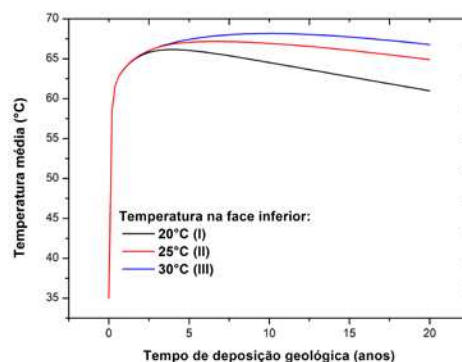


Fig. 6. Temperatura média na superfície do *canister* em função do tempo de disposição para diferentes temperaturas no fundo e no topo da rocha.

Como pode ser observado da Fig. 6, quanto maior é a temperatura na extremidade inferior da rocha, maior é o patamar de temperatura média alcançada na superfície do *canister* e menor é a taxa de



decréscimo da mesma. Os motivos de tal comportamento permanecem não esclarecidos e requerem estudos adicionais. Entretanto, como o comportamento é muito similar àquele apresentado para o estudo de influência da espessura de rocha, é possível que os motivos também estejam relacionados ou sejam os mesmos.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi simulado um *canister* de combustível nuclear queimado de PWR em um repositório geológico modelado de acordo com o conceito inglês. Foram estudadas as influências da espessura de rocha acima e abaixo do *canister* e da temperatura no fundo e no topo do repositório na temperatura média na superfície do *canister*.

Os resultados mostram que existe uma correlação entre a espessura de rocha e o patamar alcançado pela temperatura média na superfície do *canister*, bem como na taxa de decréscimo temporal dessa temperatura. O mesmo comportamento foi verificado nos estudos variando a temperatura no fundo e no topo do repositório, mantendo fixo um gradiente térmico de 30°C/km. Os motivos que justificam tais comportamentos ainda seguem em estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMIG, CAPES e CNPQ pelo suporte financeiro para execução deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. B. Acar, “Back-end nuclear fuel cycle options: effects on high level waste management and disposal”, Tese, Institute of Sciences of Hacettepe University, (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] Nirex Ltd. Technical Note: “Outline Design for a Reference Repository Concept for UK High Level Waste/Spent Fuel”, Technical Note 2005 Number: 502644.
- [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).