

ESTUDO SIMPLIFICADO DO CAMPO DE TEMPERATURA NO TUBO DE REVESTIMENTO DE UMA VARETA DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR

João Luís A. Abreu¹, Newton G. C. Leite¹ e Humberto A. Machado^{1,2}

¹UERJ, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Mecânica e Energia

²IAE, Instituto de Aeronáutica e Espaço

¹Rodovia Presidente Dutra km 298 – Pólo Industrial - CEP 27537-000 - Resende – Rio de Janeiro

E-mail para correspondência: joaofls@hotmail.com

Introdução

Este trabalho tem o objetivo de mostrar o comportamento da transferência de calor de uma vareta de um elemento combustível nuclear típico, utilizado na Usina Nuclear de Angra 1, e fabricado nas Indústrias Nucleares do Brasil. Ela é composta por um tampão superior, um tampão inferior, um tubo de ZirloTM, por uma mola, e pelas pastilhas de UO₂ (dióxido de urânio). A geometria da vareta é cilíndrica, e seus componentes estão representados na Fig. 1.

Neste trabalho foi modelado apenas o tubo de revestimento da vareta, que contém a coluna de pastilhas de UO₂, chamada coluna ativa da vareta, da qual provém a energia para transferência de calor considerada em análises térmicas de uma vareta combustível. Assim, os resultados obtidos mostram o comportamento da transferência de calor, neste caso por condução, na região do tubo de revestimento.

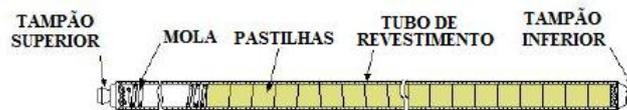


Figura 1 – Vareta combustível nuclear.

Modelagem matemática e numérica

A equação de conservação de energia, bidimensional (variação radial e axial somente) e regime estacionário foi utilizada para modelar o processo térmico ocorrido na vareta. A solução foi obtida discretizando a equação de conservação utilizando a técnica de Volumes Finitos, e posteriormente solucionando o sistema de equações algébricas por meio de um programa específico em linguagem FORTRAN. A equação de conservação foi colocada na seguinte forma:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S \quad (1)$$

A Eq.(1) pode ser chamada de equação diferencial geral, pois dependendo do significado da variável dependente geral ϕ , ela pode representar a equação da conservação de massa ($\phi=1$), quantidade de movimento ($\phi=u$ e $\phi=v$) ou ainda conservação de energia ($\phi=T$). O significado das variáveis dependentes específicas u , v e T são componentes de velocidade na direção axial, radial e temperatura respectivamente. O termo Γ representa o coeficiente de difusão que assume valor zero no caso da equação de conservação de massa e S representa o termo fonte. As quantidades Γ e S são específicas para significados particulares de ϕ . No presente modelo o termo convectivo da Eq.(1) foi desprezado, já que somente a difusão na parede do tubo de revestimento era de interesse. Maiores informações sobre a técnica de Volumes Finitos pode ser encontrado em Patankar (1980), o qual também descreve a forma de se obter a solução do conjunto de equações diferenciais que surgirão a partir da Equação (1).

A condutividade térmica no tubo de revestimento variou durante o processo de obtenção da solução segundo a função abaixo, sendo que as unidades de 'k' e 'T' são W/m°C e °C respectivamente:

$$k(T) = 13,3 + 0,0137T \quad (2)$$

As condições de contorno necessárias a solução do problema são superfícies adiabáticas nas tampas e fluxo de calor variável na superfície interna e temperatura conhecida na superfície externa. As expressões usadas foram:

$$q'' = q'_0 \cos\left(\frac{\pi z^*}{L}\right) / \pi D \quad (\text{superfície interna}) \quad T = \frac{q''}{h_\infty} + T_\infty \quad (\text{superfície externa}) \quad (3)$$

A Tabela 1 define os coeficientes utilizados nas condições de contorno. Deve-se observar que tais valores foram baseados em estudos realizados por fabricantes de combustíveis nucleares do mesmo modelo considerado neste trabalho.

Tabela 1 – Informações a respeito dos coeficientes das condições de contorno.

COEFICIENTE	VALOR - UNIDADE	NOTA
q'_0	17 kW/m	---
z^*	---	Coordenada de apoio localizada no meio (L/2) do tubo de revestimento.
L	3,6576 m	---
D	$9,144 \cdot 10^{-3}$ m	Diâmetro nominal do tubo de revestimento.
h_∞	42700 W/(m ² °C)	Valor estimado a partir de estudos numéricos.
T_∞	$T_\infty = 13,4 \ln \left(\frac{1}{\dots} \right) + 302,1$ °C	Assumido ter um comportamento semelhante a um trocador de calor.

Considerações Finais

A malha utilizada na solução é estruturada com espaçamento uniforme nas direções z e r. O programa foi aferido com os resultados analíticos de problemas de condução pura encontrados na literatura. O tamanho da malha escolhido foi determinado a partir da comparação dos resultados analíticos com os numéricos durante a aferição. O critério de parada adotado foi também baseado em dados da literatura, ou seja, quando o resíduo atingiu 10⁻⁵ o programa encerrou.

O resultado encontrado e ilustrado na Fig.2, apesar de não ter sido comparado com resultados experimentais, mostra uma boa coerência física com o que se espera em relação ao campo de temperatura dentro do tubo de revestimento de uma vareta de combustível nuclear.

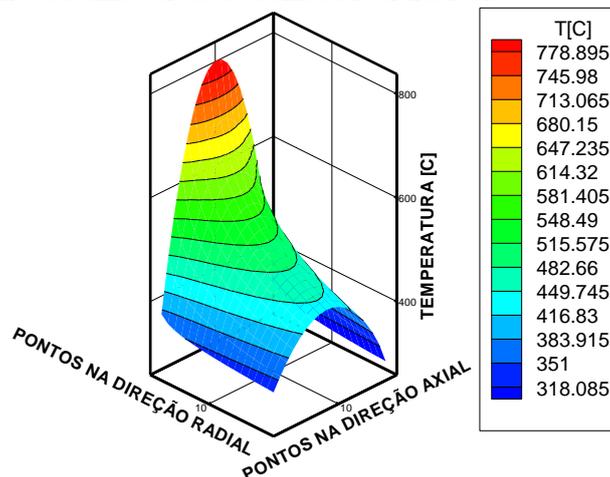


Figura 2 – Campo de temperatura para uma malha 20 X 20.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CFRE – Centro de Fontes Renováveis de Energia da UERJ-FAT.

Referências Bibliográficas

- Nijising, R., “Temperature and Heat Flux Distribution in Nuclear Fuel Rods”, Nuclear Engineering and Design 4, 20p., North Holland, Amsterdã, 1966.
- Todreas, E., Neil, Mujid, S., Kazimi, “Nuclear Systems I”, Hemisphere Publisher Corporation., Vol. 1, pp. 19-339, 1990.
- Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation 1980.