

CÁLCULO DO FATOR DE INTENSIFICAÇÃO EM CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR**Thiago A. Alves, Marcelo F. Pelegrini, Ricardo A. V. Ramos e Cassio R. M. Maia**

UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Brasil, 56, Centro, Caixa Postal 31, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP

E-mail para correspondência: antonini@dem.feis.unesp.br , cassio@dem.feis.unesp.br

Introdução

As células de combustível em reatores nucleares apresentam dimensões reduzidas e liberam altas taxas de energia térmica resultante da reação de fissão nuclear do elemento físsil (Alves et al., 2004). Neste contexto, é de grande interesse o domínio de cálculo da potência térmica visto que há um limite suportável para estas células que corresponde à temperatura do ponto de fusão do combustível. Este limite crítico é fundamental no projeto de construção da célula e de todo o conjunto de feixe do núcleo de combustível, pois a maximização da transferência da energia gerada para o fluido de trabalho, sem ultrapassar a temperatura limite, possibilita a construção de vasos de pressão de menores dimensões, bem como o estabelecimento de um inventário de combustível nuclear menor (Maia, 2003).

Formulação do Problema

Neste trabalho, utiliza-se a Técnica da Transformada Integral Generalizada – TTIG para a solução de problemas difusivos com fontes variáveis em células cilíndricas de combustível nuclear com seção transversal elíptica e retangular submetidas a condições de contorno de Dirichlet (primeiro tipo). O efeito da depressão do fluxo neutrônico no interior do reator nuclear é levado em consideração utilizando-se um modelo simplificado da Lei da Difusão de Fick (Pelegrini, 2005). Para esta análise, as propriedades termofísicas são consideradas variáveis. A dificuldade inerente da aplicação das condições de contorno em problemas com geometria elíptica foi removida empregando-se uma mudança adequada de coordenadas. Para facilitar o tratamento analítico, a equação da difusão foi convenientemente linearizada através da Técnica da Transformada de Kirchhoff (Özisik, 1993). Feito isso, as equações da difusão neutrônica e do calor resultantes são resolvidas através da aplicação da TTIG e, então, calcula-se o fator de intensificação para diversos valores da razão de aspecto (b/a) e do comprimento de difusão (L^2_d) para ambas as geometrias.

Fator de Intensificação

A taxa de geração térmica limite ($\bar{q}'''_{lim}$) corresponde à situação em que a temperatura máxima (T^*_{lim}) da célula de combustível atinge o limite crítico, ou seja, o ponto de fusão. Esta taxa pode ser determinada por:

$$\bar{q}'''_{lim} = \frac{(T^*_{lim} - T^*_p) k_0}{\theta_{max} L_{ref}^2}, \quad (1)$$

onde, L_{ref} é o comprimento de referência, k_0 é a condutividade térmica de referência da Transformada de Kirchhoff e θ_{max} é a temperatura máxima adimensional.

Para analisar o comportamento da taxa de geração térmica limite em relação aos formatos geométricos elípticos e retangulares, os cálculos são realizados para estas células que possuem a mesma área transversal de uma célula de seção circular, pois, com este procedimento, o volume de combustível estará fixado. Neste sentido, define-se, aqui o fator de intensificação (ζ) como:

$$\zeta = \frac{\bar{q}'''_{lim}}{\bar{q}'''_{C\ lim}}, \quad \bar{q}'''_{C\ lim} = \frac{(T^*_{lim} - T^*_p) k_0}{\theta_{centro} R^2}, \quad \theta_{centro} = \frac{1}{4}, \quad (2a,b,c)$$

onde, R é o raio da célula circular e θ_{centro} é a temperatura adimensional no centro da célula circular.

Admitindo, para fins de comparação, que a temperatura prescrita na parede (T_p) é a mesma para ambas as células de combustível nuclear, o fator de intensificação pode ser obtido por:

$$\zeta = \frac{\bar{q}'''_{lim}}{\bar{q}'''_{C\ lim}} = \frac{\theta_{centro} R^2}{\theta_{max} L_{ref}^2} = \frac{1}{4\theta_{max}} \left(\frac{R}{L_{ref}} \right)^2. \quad (3)$$

Resultados

Os resultados obtidos para o fator de intensificação são apresentados para diversos valores da razão de aspecto (b/a) para as geometrias elípticas e retangulares e alguns valores de L_d^2 na Tab. 1 e nas Figs. 1 e 2.

Tabela 1 - Fator de intensificação para diversos valores de b/a e de L_d^2 para as células de combustível nuclear.

b/a	$L_d^2 = \infty$		$L_d^2 = 2.0$		$L_d^2 = 1.0$		$L_d^2 = 0.5$	
	$\zeta_{elíp}$	ζ_{ret}	$\zeta_{elíp}$	ζ_{ret}	$\zeta_{elíp}$	ζ_{ret}	$\zeta_{elíp}$	ζ_{ret}
0.10	5.0500	6.3668	5.0540	6.7580	5.0580	7.1315	5.0660	7.8402
0.20	2.6000	3.1855	2.6073	3.4582	2.6147	3.7124	2.6292	4.1839
0.30	1.8167	2.1457	1.8265	2.3797	1.8362	2.5971	1.8557	2.9972
0.40	1.4500	1.6590	1.4616	1.8694	1.4733	2.0668	1.4964	2.4319
0.50	1.2500	1.3977	1.2632	1.5920	1.2763	1.7762	1.3024	2.1199
0.60	1.1333	1.2479	1.1478	1.4314	1.1621	1.6069	1.1907	1.9367
0.70	1.0643	1.1605	1.0796	1.3372	1.0948	1.5070	1.1251	1.8279
0.80	1.0250	1.1113	1.0402	1.2839	1.0554	1.4504	1.0855	1.7660
0.90	1.0055	1.0871	1.0185	1.2576	1.0314	1.4224	1.0569	1.7353
1.00	1.0000	1.0802	1.0053	1.2501	1.0107	1.4144	1.0212	1.7265

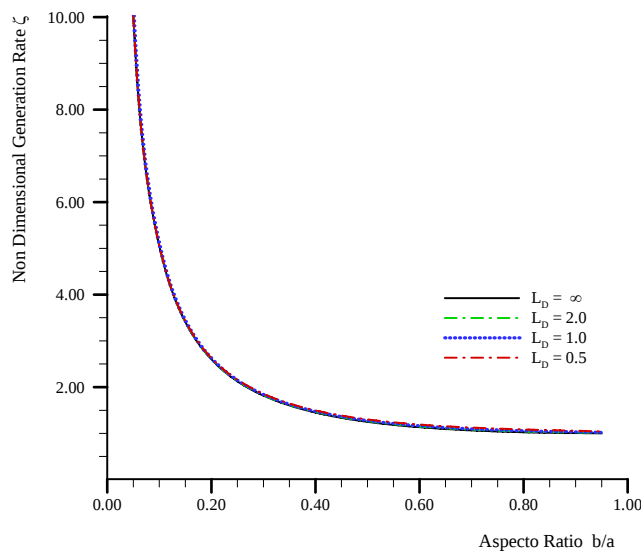


Figura 1 – Fator de intensificação em função de b/a parametrizado em L_d^2 para a geometria elíptica.

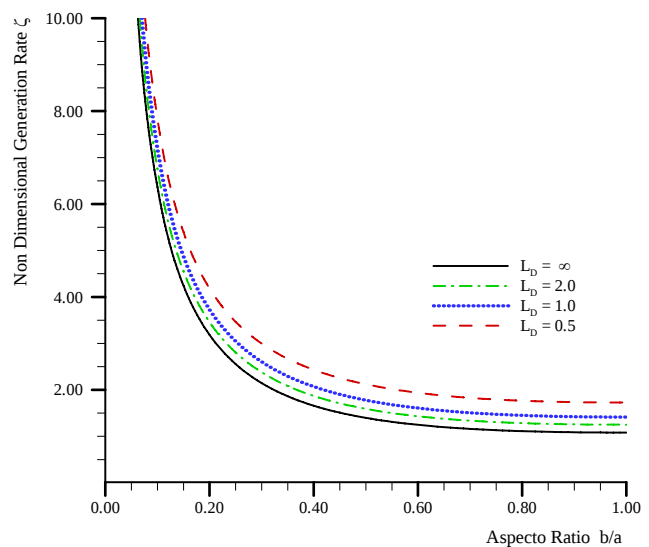


Figura 2 – Fator de intensificação em função de b/a parametrizado em L_d^2 para a geometria retangular.

Conclusões

A utilização de técnicas analítico-numéricas para solução de problemas difusivos e difusivos-convectivos vem ganhando espaço no meio técnico-científico devido à sua precisão e ao seu baixo custo computacional quando comparado aos métodos puramente numéricos. Observa-se ainda, que a Técnica da Transformada Integral Generalizada – TTIG foi aplicada com sucesso para a obtenção de solução de problemas difusivos multidimensionais, ressaltando-se, aqui, o problema com domínio de geometria elíptica, o qual não admite solução pelas técnicas analíticas clássicas.

Referências Bibliográficas

- Alves, T.A., Pelegrini, M.F., Woiski, E.R., Maia, C.R.M., “Potência Limite de Células de Combustível Nuclear Cilíndricas de Seção Bicôncava”, Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (em CD-ROM), código do trabalho CIT04-0475, 10p., Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- Maia, C.R.M., “Solução de Problemas Difusivos e Difusivos-convectivos em Domínio de Geometria Elíptica e Bicôncava pela Técnica da Transformada Integral Generalizada”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 251p, 2003.
- Özisik, M.N., “Heat Conduction”, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, USA, 1993.
- Pelegrini, M. F., “Aplicação da Técnica da Transformada Integral para Solução de Problemas Difusivos Transientes com Propriedades Termofísicas Variáveis”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil, 128p, 2005.