

ANÁLISE TERMO-HIDRÁULICA DAS PLACAS EXTERNAS DE UM ELEMENTO COMBUSTÍVEL TIPO PLACA UTILIZADO NO REATOR DE PESQUISAS IEA-R1

Pedro Ernesto Umbehaun
Walmir Maximo Torres
Delvonei Alves de Andrade

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária
CEP 05508-970 – São Paulo – SP
Tel.: 3816-9165(267)
IPEN/CNEN
umbehaun@ipen.br
wmtorres@ipen.br
delvonei@ipen.br

Resumo: Este trabalho apresenta a análise termo-hidráulica para as placas externas do elemento combustível, para uma potência de operação de 5MW, considerando a distribuição de vazão interna ao elemento, determinada experimentalmente, e parametrizando a vazão nos canais entre elementos combustíveis, vazão externa. Os resultados demonstraram a necessidade de mudança do projeto do elemento combustível, a qual foi contemplada com a redução da concentração de urânio nas placas laterais, de forma a garantir o seu resfriamento adequado.

Palavras Chave: Simulação, Análise Termo-hidráulica, Reatores de pesquisa, Segurança

1. Introdução

O IEA-R1 é um reator de pesquisas tipo piscina que usa elementos combustíveis MTR “Material Testing Reactors”. Cada elemento possui 18 placas combustíveis fixadas por duas placas suporte laterais, formando 17 canais fechados independentes. Uma vez conhecida a vazão nestes canais, a análise termo-hidráulica dos mesmos se torna relativamente simples uma vez que a fenomenologia de transferência de calor envolvida é bem conhecida. No entanto, a face externa das placas laterais é resfriada pela vazão que passa através dos canais formados entre elementos combustíveis a qual não se consegue medir com facilidade, pois estes canais são abertos, nos quais há escoamento transverso. A operação segura do reator é garantida mantendo-se as margens de segurança termo-hidráulicas em qualquer condição operacional. Para a análise termo-hidráulica é necessário conhecer alguns parâmetros, tais como: distribuição do fluxo de calor, características geométricas, propriedades dos materiais e a vazão através dos elementos combustíveis, bem como suas incertezas. A vazão através do elemento combustível é um parâmetro importante e é difícil de ser determinado devido à complexidade geométrica do núcleo. Um elemento combustível “dummy” instrumentado foi projetado e construído para medir a distribuição de vazão no núcleo, bem como nos canais internos. Os resultados mostraram, que a distribuição de vazão real, no núcleo é praticamente uniforme, variando em torno de 3%, porém os valores medidos estão abaixo dos estimados. A distribuição entre canais não é uniforme, sendo que os canais mais externos apresentam uma vazão de 10 a 15% inferior ao valor médio

A determinação experimental da vazão resfriamento das placas combustíveis é de fundamental importância para a realização das análises termo-hidráulicas. Esta análise deve garantir a operação segura do reator respeitando todas as margens de segurança, dentre elas, a temperatura máxima na superfície do revestimento das placas combustíveis, que no caso do reator IEA-R1, é a mais importante devido ao aumento da taxa de corrosão, caso esta temperatura ultrapasse o valor de 95^o C.

A Agência Internacional de Energia Atômica, “AIEA” no documento IAEA-TECDOC 233 (1980), sugere que a vazão nos elementos combustíveis seja obtida dividindo-se a vazão total da bomba pelo número de elementos combustíveis. Este valor está longe do real porque o núcleo, Fig. (1), tem além dos elementos combustíveis, outros dispositivos, tais como: refletores, irradiadores, furos secundários, folgas e acoplamentos, etc., os quais desviam parte da vazão total. Uma outra maneira, um pouco mais conservativa, seria dividir a vazão da bomba pela área de escoamento total do núcleo, ou seja, admitir que a vazão se distribua proporcionalmente à área de escoamento dos canais formados entre as placas combustíveis e os canais entre elementos combustíveis e entre irradiadores. Nenhuma das aproximações apresentadas acima se mostra adequada. A primeira devido ao desvio de vazão. A segunda devido ao fato da distribuição de vazão não ser função apenas da relação de áreas. Portanto, o projeto de construção de um elemento instrumentado, Fig. (2), foi de fundamental importância para a determinação da vazão através dos elementos, conseqüentemente a realização de análises termo-hidráulicas mais realistas e uma melhor avaliação das reais margens de segurança durante a operação.

2. Determinação da Vazão de Resfriamento

O elemento combustível instrumentado foi montado em um circuito experimental, Fig. (3), onde foram obtidos dados para a construção de uma curva de calibração relacionando a queda de pressão com a vazão. Posteriormente esse elemento foi montado no núcleo para medir a vazão através de elementos combustíveis localizados em posições significativas, EC152, EC153, EC169 e EC170, Fig. (1). A Fig. (4) mostra a montagem do elemento no núcleo. A Fig. (5) apresenta os resultados das medidas onde se observa que a distribuição de vazão é praticamente uniforme, conforme Torres et al (2001).

O elemento “dummy” instrumentado foi usado em outro experimento com o objetivo de medir a distribuição interna de vazão entre canais de um elemento combustível. Para isso foi novamente montado no circuito experimental, onde foram realizados testes para três valores de vazão total através do elemento: 21,9; 18,7 e 14,4 m³/h. Os valores médios de velocidade de escoamento no canal são respectivamente: 1,845; 1,575 e 1,213 m/s.

Foram construídas, com tubos de aço inox de 2 mm, duas sondas para medir a queda de pressão em dois canais distintos. A vazão no canal foi calculada utilizando-se correlação de queda de pressão em canais fechados. Os resultados podem ser vistos na Fig. (6), onde é possível observar que a vazão nos canais mais periféricos é cerca de 10 a 15% inferior ao valor médio, enquanto que a vazão nos canais mais internos é cerca de 5% superior, Torres et al (2003).

ΔP	PD	PD	PD	PD	PD	PD	PS
PS	PS	PS	PS	PS	SP	FN	R
R	SP	R	EIRA	R	R	R	R
EIS	EIS	R	EIRA	R	GI	R	R
EIS	EIS	EC 153	EC 168	EC 156	EC 160	EC 150	R
R	EIGRA I	EC 168	ECC 166	EC 169	ECC 180	EC 171	EIF
R	R	EC 164	EC 161	EIBE	EC 162	EC 163	R
R	EIGRA II	EC 159	ECC 179	EC 170	ECC 167	EC 154	R
R	R	EC 152	EC 155	EC 157	EC 165	EC 151	R
R	R	R	R	R	R	R	R

LEGENDA

ΔP = queda de pressão no núcleo
 PD = plugue duplo
 PS = plugue simples
 FN = fonte de nêutrons
 R = refletor de grafite
 EC = elemento combustível
 ECC = elemento comb. de controle
 EIGRA's = irradiador
 EIS = irradiador
 EIBE = irradiador
 GI = irradiador
 EIF = irradiador
 EIRA = irradiador

Figura 1. Núcleo do reator IEA-R1 com seus componentes e as posições de medida com o elemento “dummy”.

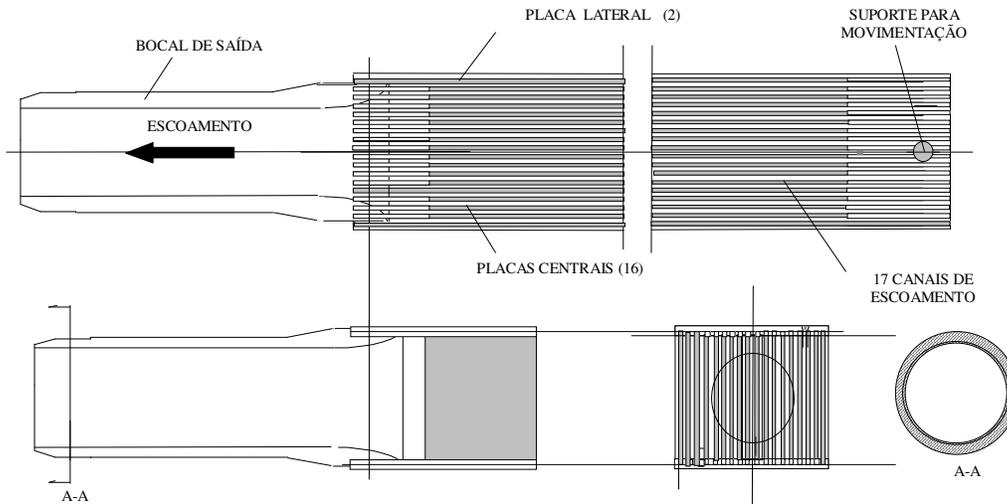


Figura 2. Elemento "dummy".

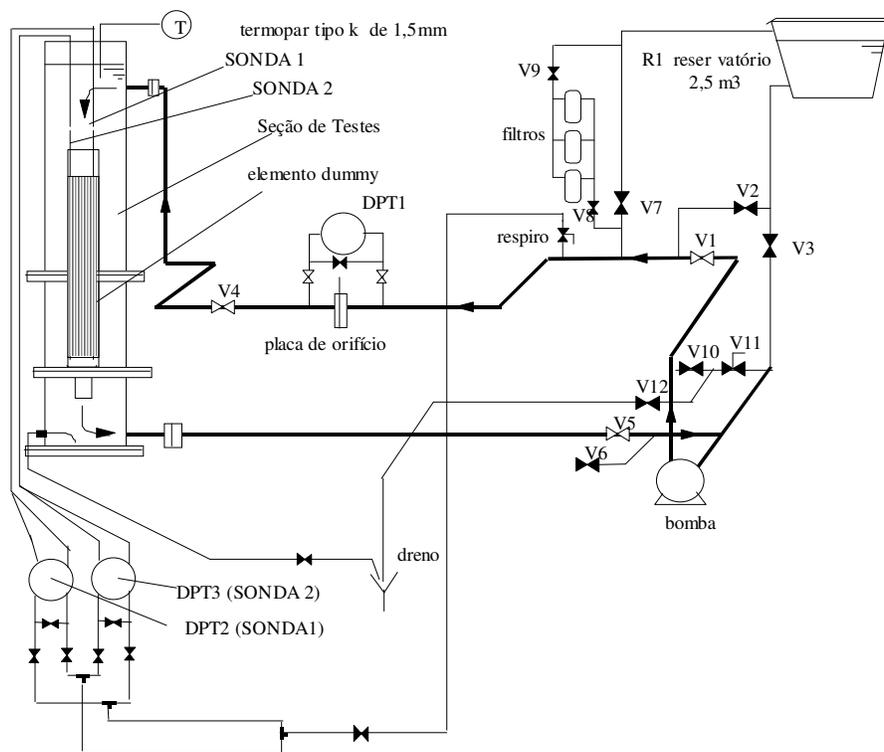


Figura 3. Circuito experimental.

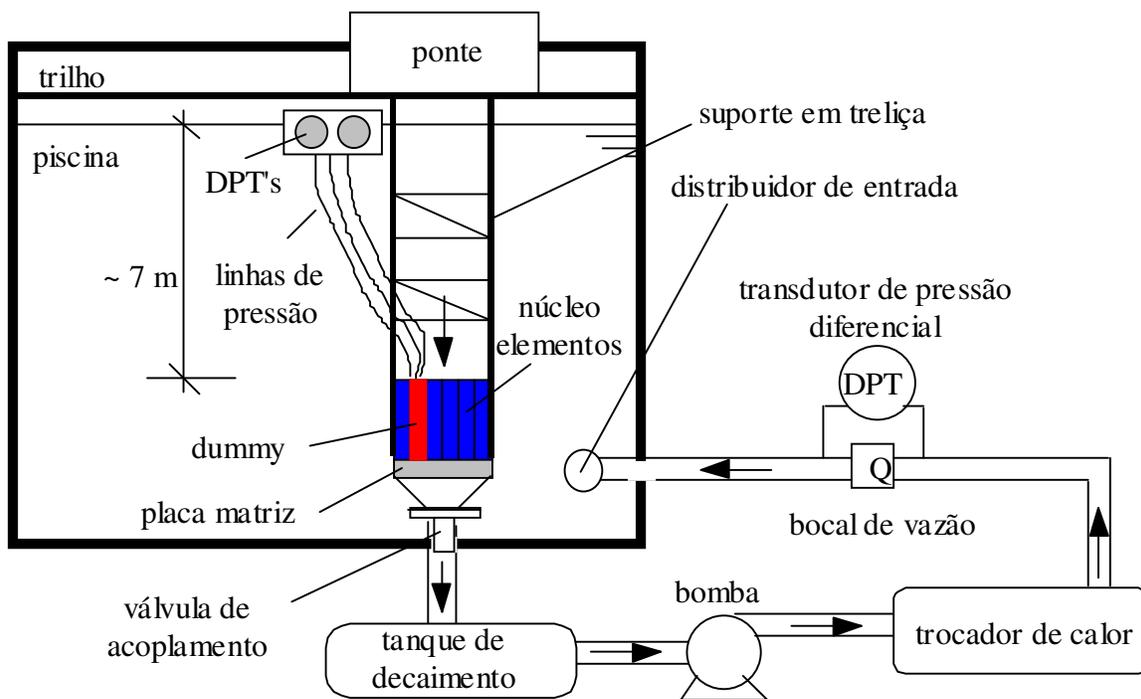


Figura 4. Montagem do elemento no núcleo.

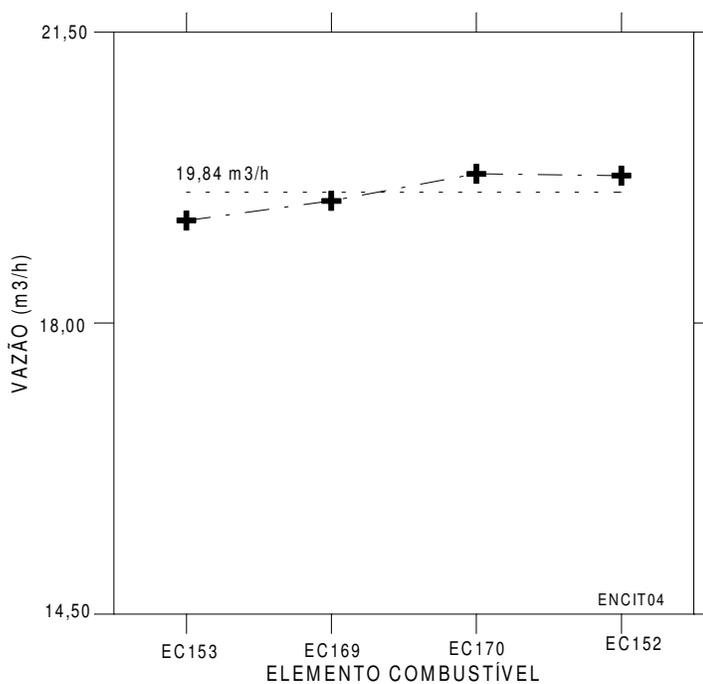


Figura 5. Resultados das medidas de vazão efetuadas no núcleo.

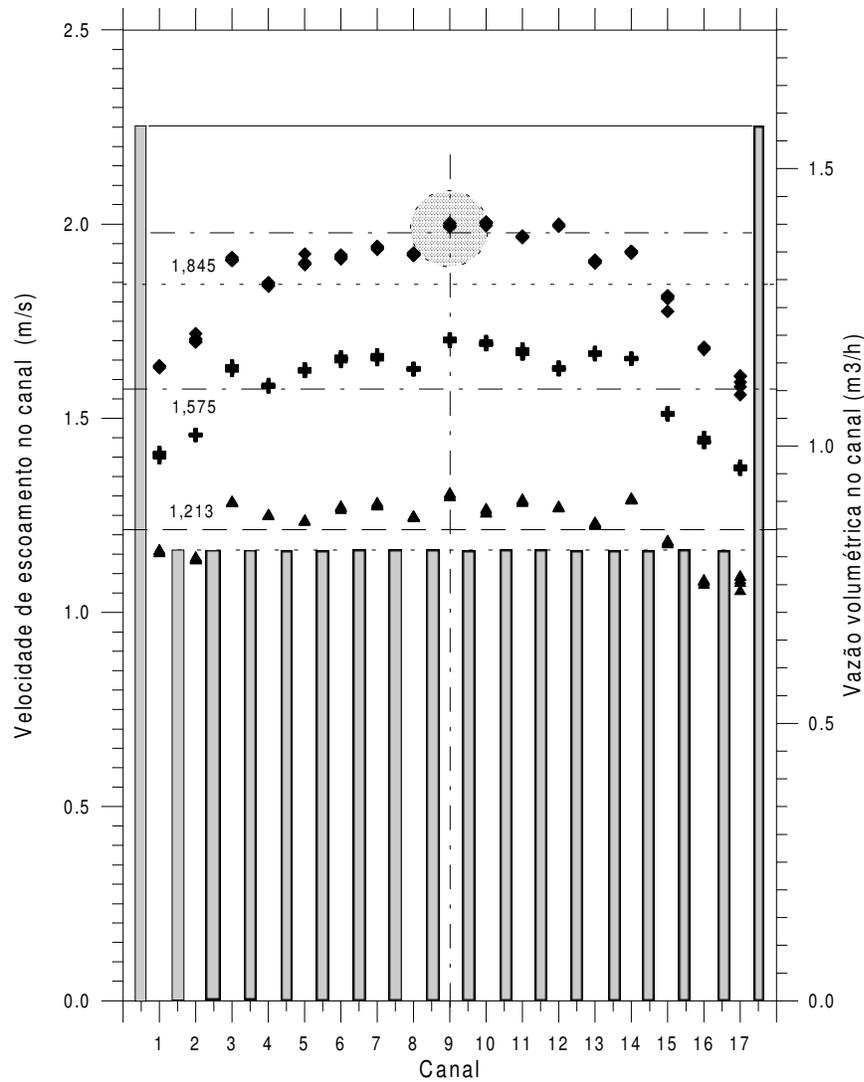


Figura 6. Resultados experimentais de vazão para os canais internos.

A Tab. (1) apresenta os resultados de vazão provenientes do TECDOC 233, os obtidos da análise por relação de áreas de escoamento e os resultados experimentais.

Tabela 1. Comparação dos valores de vazão estimados e medidos

	Vazão no Elemento Combustível [m³/h]	Varição Percentual em Relação ao TEC-DOC 233
TEC-DOC 233	28,385	0 (zero)
Área de Escoamento	23,850	-16,0%
Experimental	19,840	-30,0%

3. Análise Termo-Hidráulica

As análises termo-hidráulicas são efetuadas a partir dos valores experimentais de vazão. Os resultados experimentais, apresentados na Fig. (6), mostraram que a vazão nos canais laterais é inferior à dos canais centrais. Desta forma, a análise será concentrada nas placas externas, uma vez que a distribuição de calor na direção perpendicular às placas, é praticamente uniforme, para qualquer placa de um mesmo elemento combustível. Uma dificuldade adicional é a determinação da vazão do lado externo da placa lateral, isto é, a vazão entre dois elementos combustíveis, pois se trata de um canal aberto, como mostrado na Fig. (7).

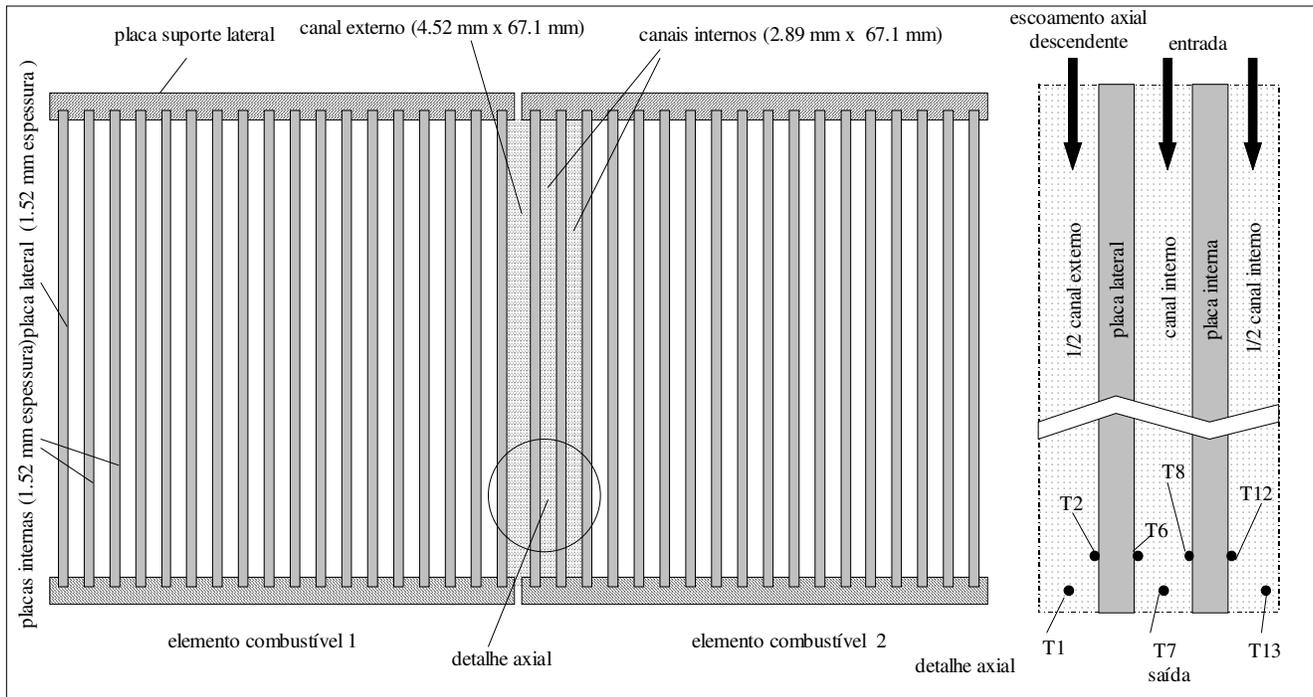


Figura 7. Ilustração do canal externo e dos canais internos para dois elementos combustíveis vizinhos.

3.1 Influência da vazão no canal externo sobre as temperaturas nas placas internas

Para verificar a influência da vazão, nos canais entre elementos, sobre as temperaturas nos canais internos, foi criado um modelo térmico baseado no detalhe axial mostrado na Fig. (7), onde é representado um meio canal externo, um canal interno e outro meio canal mais interno. Com este modelo térmico são calculadas: A temperatura T_2 que é a temperatura na superfície externa da placa lateral de um elemento combustível, T_6 a temperatura da superfície interna da placa lateral, T_8 e T_{12} são as temperaturas na superfície do revestimento da primeira placa interna. T_1 , T_7 e T_{13} são as temperaturas do fluido para: o canal externo, primeiro canal interno e segundo canal interno, respectivamente.

Nestas análises foi considerada a maior temperatura de entrada registrada para o reator IEA-R1, cerca de 40 °C, bem como todas as incertezas no cálculo de potência, de fabricação, etc..

4. Resultados

Neste item apresentam-se os resultados das análises termo-hidráulicas para as placas laterais e também um estudo para alteração do projeto do elemento combustível de forma a atender o requisito de temperatura máxima na superfície do revestimento.

A vazão de resfriamento do canal interno é de 85% da vazão média dos canais internos, conforme os resultados experimentais apresentados no item 2. A vazão no canal externo é a maior incerteza nas análises pois, trata-se de um canal aberto no qual não se pode garantir a vazão. Por este motivo faz-se um estudo paramétrico, onde se determina a vazão mínima necessária para o resfriamento destas placas laterais.

Inicialmente considera-se que a velocidade de escoamento nos canais externos seja igual à velocidade no canal lateral interno, ou seja, as mesmas condições de resfriamento. Sendo que o elemento combustível possui 17 canais internos, a vazão no canal lateral interno é: $Q_i = 19,84 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,85 / 17$, então;

$$Q_i = 0,992 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ e } v = 1,42 \text{ m/s}.$$

Para manter a mesma velocidade de escoamento no canal externo, a vazão deve ser, $Q_e = 1,534 \text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, 55% superior a vazão no canal lateral interno.

Para analisar o impacto do erro na estimativa da vazão nos canais entre elementos combustíveis, na temperatura máxima do revestimento, foi feita uma análise paramétrica onde se manteve constante a vazão no canal lateral interno e variou-se a vazão no canal externo, conforme Fig. (8).

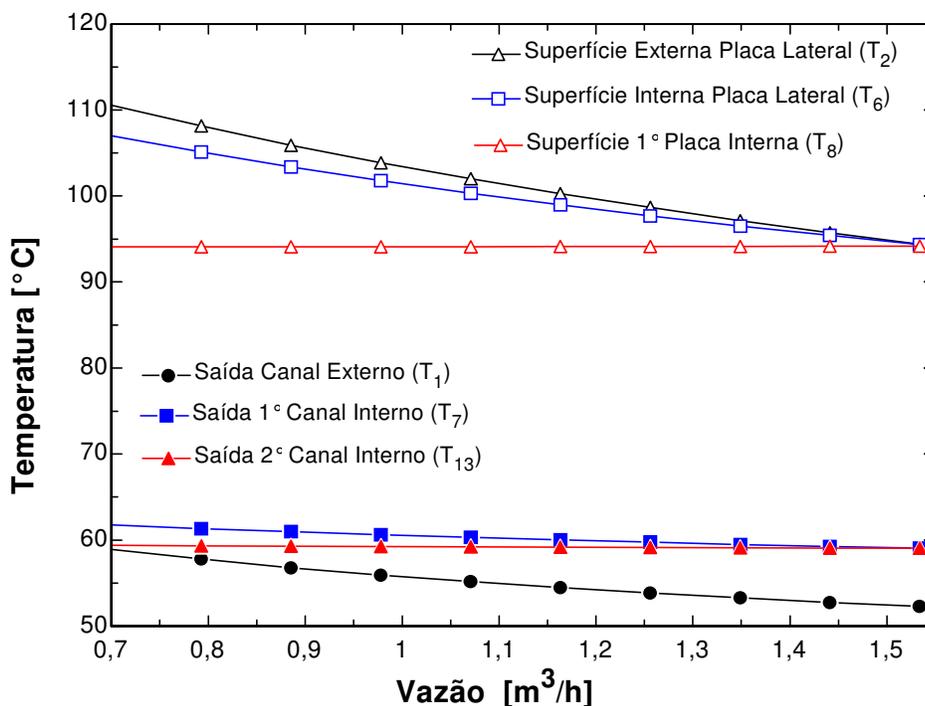


Figura 8. Temperatura máxima na superfície do revestimento e de saída do fluido em função da vazão no canal externo.

A Fig. (8) mostra que a temperatura máxima na superfície externa, T_2 , e interna, T_6 , da placa externa aumentam em função da redução da vazão no canal externo. Já a temperatura máxima na superfície da primeira placa interna, T_8 , mantém-se praticamente inalterada para toda a faixa de vazão estudada para o canal externo. O mesmo comportamento é apresentado pela temperatura de saída do fluido no segundo canal interno, T_{13} . Com a redução da vazão no canal externo, a temperatura de saída do fluido, T_1 , sofre um aumento, como esperado, mesmo comportamento apresentado pela temperatura de saída no primeiro canal interno, T_7 .

Conclui-se que a vazão no canal externo exerce pouca influência no resfriamento das placas internas. Porém, exerce grande influência no resfriamento da placa externa. Para garantir uma temperatura máxima de 95 °C, é necessária uma vazão constante ao longo do canal de 1,5 m³/h, ou seja, uma vazão aproximadamente 50% superior à vazão do canal interno, o que não pode ser assegurado, uma vez que este canal é aberto.

Então, efetuou-se um estudo paramétrico para avaliar as condições de resfriamento da placa externa considerando uma redução da potência gerada na mesma, obtida através da redução da densidade de urânio. A Tab. (2) mostra a porcentagem de potência na placa lateral em função da densidade de urânio.

Tabela 2. Comparação dos valores de vazão estimados e medidos

Densidade de Urânio na Placa Lateral	Potência na Placa
100%	100%
70%	75%
60%	66%
50%	57%

Neste estudo a vazão externa é parametrizada em função dos valores de potência apresentados na Tab. (2).

A curva da Fig. (9) mostra a vazão mínima necessária no canal externo para que a máxima temperatura na superfície do revestimento não ultrapasse o valor máximo de 95 °C. Observa-se, que com a redução da densidade de urânio há uma conseqüente redução de vazão necessária.

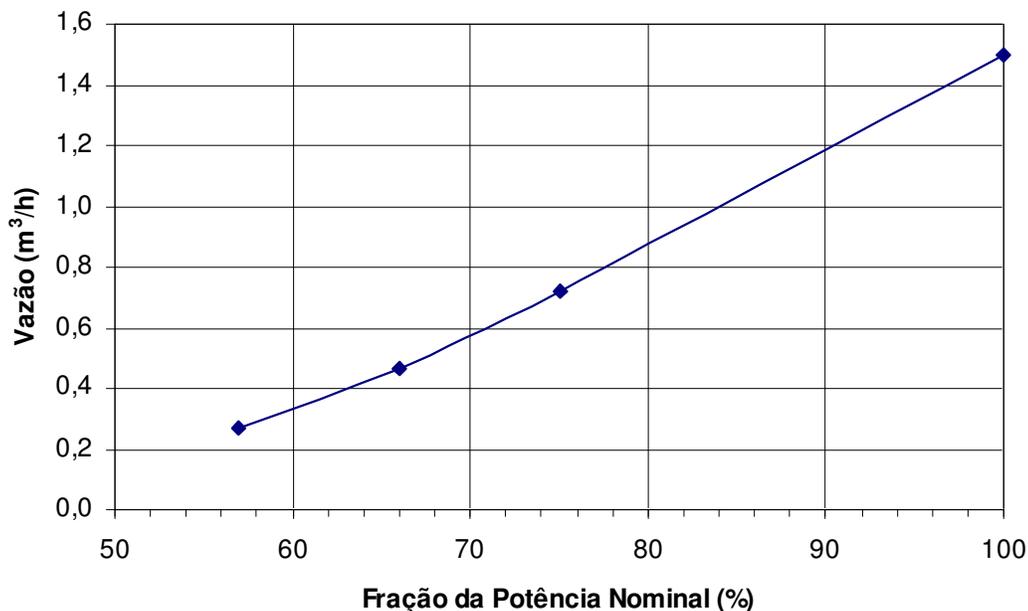


Figura 9. Vazão mínima no canal externo em função da fração de potência.

Para potências menores, que implica também em valores menores de vazão, outras correlações de transferência de calor devem ser introduzidas no modelo pois, o escoamento passa de regime turbulento para o regime de transição.

Observa-se na Fig. (9), que a vazão mínima necessária apresenta um comportamento praticamente linear com a redução de potência na placa lateral. Para a faixa de potência estudada pode-se dizer, a grosso modo, que para uma redução de 10% na potência da placa lateral pode-se ter uma redução de 20% na vazão do canal externo.

Conclui-se que, com uma redução de 50% na densidade de urânio na placa lateral, a vazão necessária no canal externo, é de 0,271 m³/h, ou 27% da vazão do canal interno.

5. Conclusões

Uma vez que não se pode garantir a vazão que passa pelos canais entre elementos, a melhor opção do ponto de vista termo-hidráulico é a redução da densidade de urânio nas placas laterais para 50%, ficando assim o resfriamento das placas laterais garantido, praticamente, apenas pela vazão do canal interno. Este trabalho demonstrou a importância da utilização de um elemento instrumentado para medidas de vazão no núcleo, uma vez que os valores, sugeridos pelo IAEA TECDOC 233 e os valores estimados através de correlações, não se mostraram adequados, o que poderia comprometer a operação segura do reator.

O resultado mais significativo do presente trabalho é a conclusão da necessidade de redução de densidade de urânio nas placas laterais dos elementos combustíveis. O projeto dos novos elementos combustíveis do IEA-R1 já contempla esta alteração.

6. Referências

- IAEA – TECDOC – 233, “Research Reactor Core Conversion from Use of High Enriched Uranium to Use Low Enriched Uranium Fuels Handbook”, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1980.
- Torres, W. M., Umbehaun, P. E., Baptista F^o, B. D., Almeida, J. C., Souza, J. A. B., Silva, D. G. “Distribuição de Vazão no Núcleo do Reator de Pesquisas IEA-R1”, Proceedings of the 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering - COBEM, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil, 2001.
- Torres, W. M., Umbehaun, P. E., Andrade, D. A., Souza, J. A. B. “A MTR fuel element flow distribution measurement – Preliminary Results”, Proceedings of the 25th International Meeting on Reduced Enrichment for Research Reactor”, Chicago, Illinois, USA, 2003.
- Umbehaun, P. E., “Metodologia para Análise Termo-Hidráulica de Reatores de Pesquisa Tipo Piscina com Combustível Tipo Placa”, M. Sc. Thesis, IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2000.

THERMAL-HYDRAULIC ANALYSIS OF THE OUTERMOST FUEL PLATES OF A MTR FUEL ELEMENT USED IN THE IEA-R1 RESEARCH REACTOR

Pedro Ernesto Umbehaun
Walmir Maximo Torres
Delvonei Alves de Andrade

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária
CEP 05508-970 – São Paulo – SP
Tel.: 3816-9165(267)
IPEN/CNEN
umbehaun@ipen.br
wmtorres@ipen.br
delvonei@ipen.br

Keywords. *Simulation, Thermal-Hydraulic Analysis, Research Reactors, Safety*

Abstract: *This work presents the thermal-hydraulic analysis for the outermost fuel plates for 5 MW reactor operation power, considering internal flow distribution experimentally measured, and by using the flow through the channels between two fuel elements, external flow. Results showed the necessity of changing the fuel element design, which was taken into account through the reduction of uranium concentration for external plates in order to guarantee its suitable cooling.*