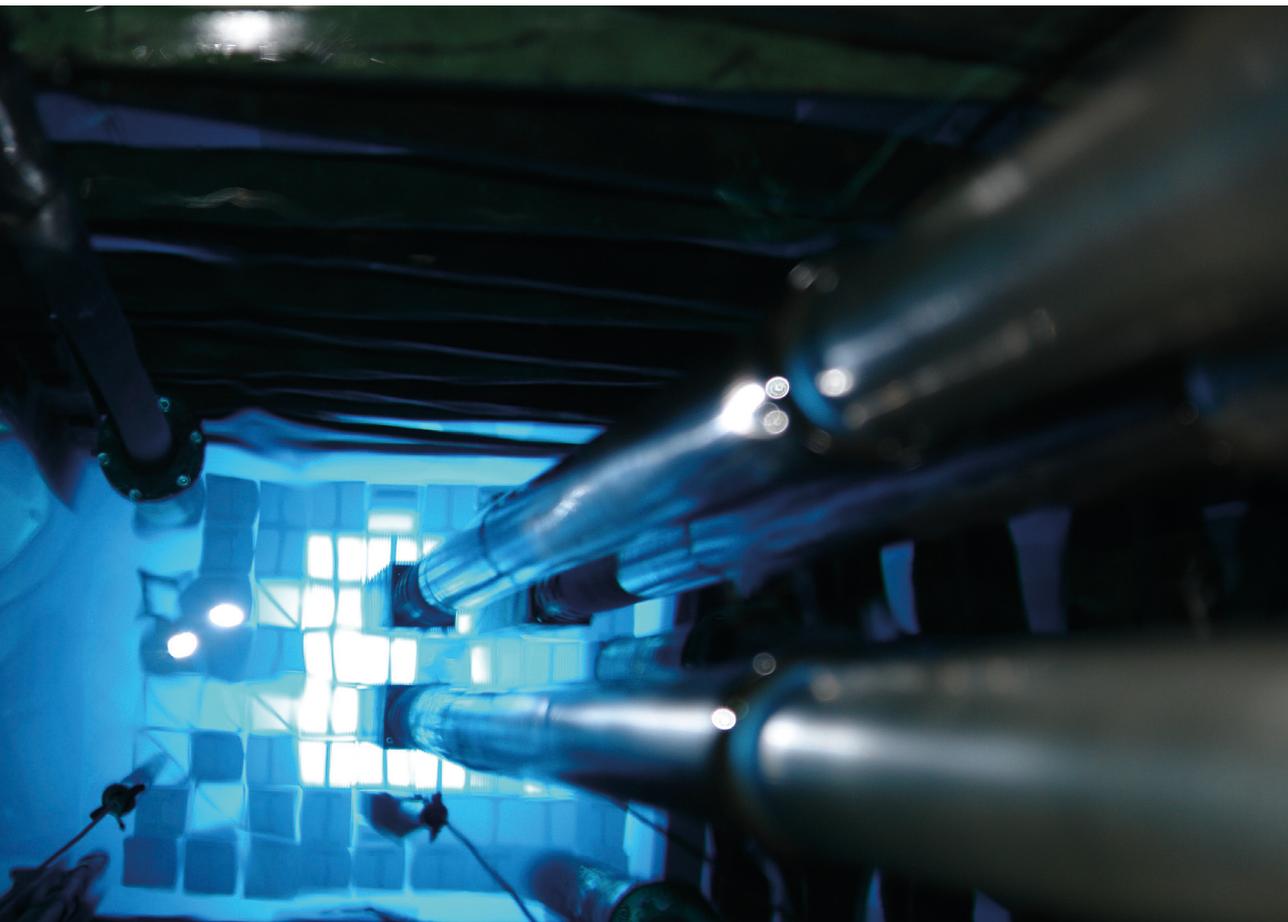


Paulo Sergio Cardoso Da Silva
Guilherme Soares Zahn
Francisco De Assis Souza
organizadores

CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR

Conselho editorial

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

Blucher Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA
GUILHERME SOARES ZAHN
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR
WARP2: II Workshop Anual do
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019
Centro do Reator de Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Diagramação Taís do Lago

Capa Laércio Flenic

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :
São Paulo)
Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.
478 p : il.
21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de
Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Bibliografia
ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)
ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)
1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

COMITÊ ORGANIZADOR

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

COMITÊ CIENTÍFICO

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

APOIO

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO ENTRE OS CANAIS DE RESFRIAMENTO DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL DO IEA-R1

*Walmir M. Torres¹, Pedro E. Umbehaun¹,
Delvonei A. Andrade¹, José A. B. Souza²*

¹Centro de Engenharia Nuclear – IPEN-CNEN/SP

²Centro do Combustível Nuclear – IPEN-CNEN/SP

Av. Professor Lineu Prestes, 2242

05508-000 São Paulo, – SP

wmtorres@ipen.br

RESUMO

Um elemento de combustível “*dummy*” instrumentado (DMPV-01) com as mesmas características geométricas de um elemento de combustível MTR foi projetado e construído para experimentos de medição de distribuição de vazão no núcleo do reator IEA-R1. Esse elemento instrumentado também foi usado para medir a distribuição de vazão entre os canais retangulares formados pelas placas do elemento combustível. Duas sondas com tomadas de pressão foram construídas e montadas dentro dos canais de escoamento para medir a queda de pressão, enquanto a velocidade de escoamento foi calculada usando uma equação

de queda de pressão para canais fechados. Este trabalho apresenta o procedimento experimental e os resultados da medição da distribuição de vazão entre os canais de escoamento. Os resultados mostram que a vazão nos canais periféricos é de 10% a 15% menor que a vazão média. É importante conhecer a vazão nos canais periféricos devido a incertezas nos valores da vazão no canal aberto formado entre dois elementos combustíveis adjacentes. Essas vazões são responsáveis pelo resfriamento de placas externas do elemento combustível.

1. INTRODUÇÃO

O IEA-R1 é um reator de pesquisa do tipo piscina de 5 MW que utiliza elementos combustíveis tipo MTR (Materials Testing Reactor) no núcleo. Cada elemento combustível possui dezoito placas de combustível montadas em duas placas de suporte laterais, formando dezessete canais de escoamento internos independentes. O núcleo ativo do reator, em um arranjo 5x5, possui vinte elementos combustíveis padrão, quatro elementos combustíveis de controle e um irradiador central de Berílio, montados em uma placa matriz quadrada 10x8. A operação segura do reator é garantida, mantendo-se margens de segurança adequadas em quaisquer condições operacionais. Essas margens de segurança (DNBR, ONB, CHF e temperatura máxima da superfície das placas combustíveis) são verificadas na análise termo-hidráulica (ATH) do núcleo. Para realizar a ATH é necessário conhecer alguns parâmetros, como: distribuição do fluxo de calor, características geométricas, propriedades dos materiais e as vazões através dos elementos combustíveis. As incertezas desses parâmetros também são necessárias para a ATH.

A vazão através dos elementos combustíveis é um parâmetro muito importante e é de difícil de determinação devido à complexidade geométrica do núcleo. A AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) TECDOC 233 [1] sugere que o cálculo da vazão através dos elementos combustíveis seja feito dividindo a vazão total do circuito primário do reator pelo número de elementos combustíveis. O valor de vazão obtido neste cálculo mostrou não ser uma boa aproximação para a ATH porque o núcleo possui elementos de combustíveis e outros componentes, como: refletores, irradiadores, plugues e ainda orifícios secundários, folgas e acoplamentos que desviam vazão. Um elemento de combustível “dummy” (DMPV-01) [2] foi projetado e construído para medir a distribuição da vazão entre os elementos de combustível do núcleo do reator IEA-R1. Ele é construído em alumínio com as mesmas dimensões de um elemento combustível padrão e possui tomadas de pressão estática na região de entrada e saída e possui uma tomada de pressão dinâmica no bocal de saída. Os valores medidos co DMPV-01 mostram

que a distribuição de vazão no núcleo é aproximadamente uniforme (diferença de 4% entre os valores máximos e mínimos) e que a vazão de resfriamento através dos elementos de combustíveis é menor que os valores calculado com base no TECDOC 233, indicando vazão de desvio por caminhos secundários [3]. A vazão primária total do IEA-R1 é de 681,3 m³/h (3000 gpm) e a vazão individual calculada do combustível, com base no TECDOC 233, é de 28,4 m³/h (125 gpm), enquanto a vazão média medida com o DMPV-01 é 19,8 m³/h, uma diferença aproximada de 43%.

Normalmente, a THA considera uma vazão uniforme através dos elementos combustíveis do núcleo do reator e, também, uma vazão distribuída uniformemente entre os canais de escoamento do elemento combustível. Isso não é completamente verdade, por exemplo, há uma distribuição de escoamento nos dois casos. No primeiro caso, foi observada uma pequena diferença experimental (4%) entre os elementos combustíveis do IEA-R1. No segundo caso, também foi realizado um experimento e o procedimento e os resultados são objetos deste trabalho.

2. EXPERIMENTO

O elemento combustível DMPV-01 foi utilizado para realizar um experimento para medir a distribuição de vazão entre os canais de escoamento (Figura 1). Ele foi montado no circuito experimental (Figura 2) que possui uma placa de orifício calibrada e um transmissor de pressão diferencial calibrado (DPT1) para medir a vazão total através do DMPV-01. Um termopar do tipo K foi usado para medir a temperatura do fluido durante o experimento e correções de propriedades.

Duas sondas foram construídas com tubo de 2,5 mm de diâmetro em aço inoxidável com duas tomadas de pressão separadas a 475 mm de distância. Essas sondas foram montadas dentro dos canais de escoamento do DMPV-01, na região central do canal para medir a queda de pressão com dois transdutores de pressão diferencial calibrados (DPT2 e DPT3). A Figura 3 mostra uma seção reta de dois elementos combustíveis adjacentes e detalhes dimensionais dos canais de escoamento de um elemento combustível padrão do IEA-R1. Os experimentos foram realizados em três vazões: 21,9 m³/h, 18,7 m³/h e 14,4 m³/h. A velocidade de escoamento e as vazões no canal foram calculadas usando a equação de queda de pressão para canais fechados.

Figura 1 – Elemento instrumentado DMPV-01.

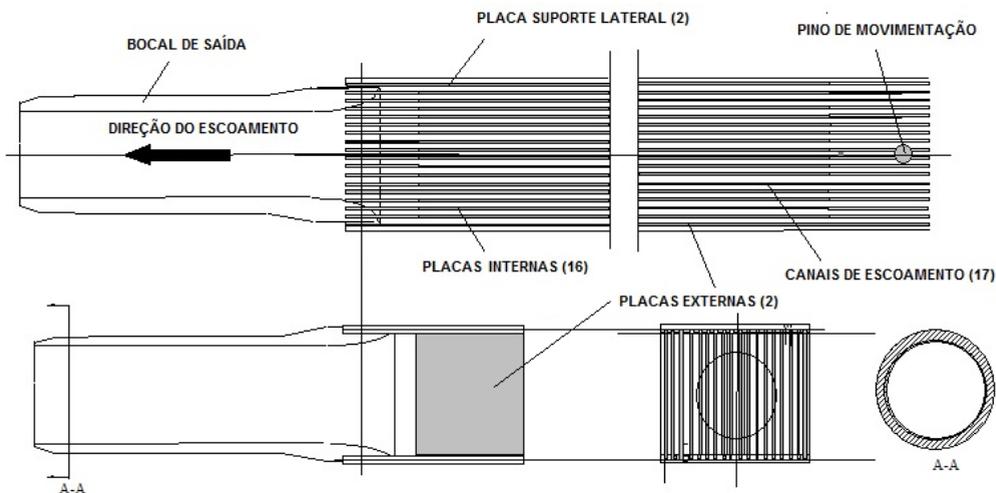


Figura 2 – Circuito experimental, instrumentos e DMPV-01.

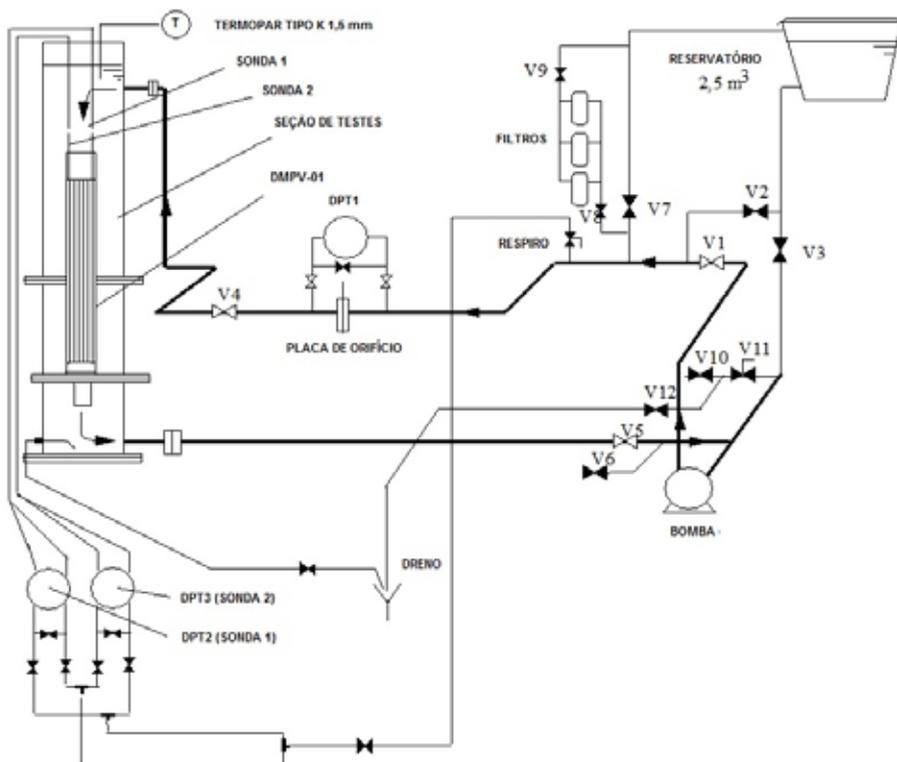
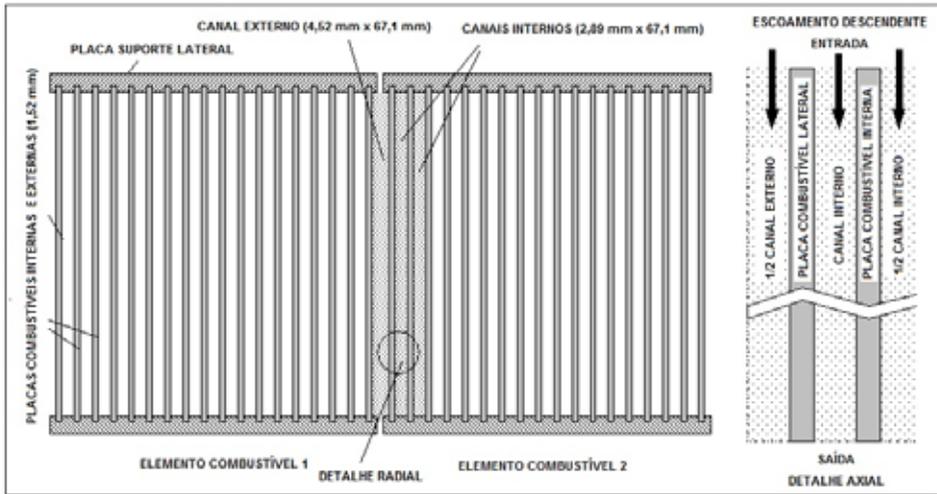


Figura 3 – Seção reta de dois elementos combustíveis adjacentes.

3. RESULTADOS

A velocidade de escoamento nos canais (V) foi calculada usando a equação de queda de pressão para canais fechados (Equação 1), e os coeficientes de atrito para tubo liso (f) foi calculado usando as Equações 2 e 3 para regime de escoamento turbulento. A vazão no canal foi calculada com a Equação 4. Foram consideradas as seguintes condições nos cálculos: a) a geometria do canal é a mesma para todos os canais e b) a influência da sonda na área de escoamento do canal é insignificante.

$$DP = 0.5 \cdot f \cdot (L/Dh) \cdot \rho \cdot V^2 \quad (1)$$

$$f = 0.03164 \cdot Re^{-0.25} \quad (\text{tubo liso}) \quad (2)$$

$$Re = \rho \cdot V \cdot Dh / \mu \quad (3)$$

$$Q = V \cdot A \quad (4)$$

Para as Equações 1 a 4, DP é a queda de pressão medida pela sonda (N/m^2), L é a distância entre as tomadas de pressão da sonda ($0,475$ m), Dh é o diâmetro hidráulico do canal ($5,541 \times 10^{-3}$ m), ρ é o fluido densidade (kg/m^3), V é a velocidade de escoamento média fluxo (m/s), f é o coeficiente de atrito, Re é o número de Reynolds, μ é a viscosidade dinâmica do fluido ($kg/m.s$), Q é a vazão do canal (m^3/s) e A é a área de escoamento do canal ($1,94 \times 10^{-4}$ m²). A área de escoamento total (A_{total}) na região do canal é de $0,0033$ m².

A Figura 4 mostra a queda de pressão do canal em função da vazão volumétrica total no elemento dummy. Observa-se que a queda de pressão nos canais externos (1 e 17) é menor que nos outros, indicando uma vazão menor nesses canais quando comparados aos canais internos. A Figura 5 mostra a distribuição de vazão entre os canais de escoamento.

Na Figura 5 pode ser observado uma certa simetria na distribuição de vazão, como esperado. Observa-se também, em ambos os lados, que a vazão nos dois canais próximos das placas laterais apresenta valores de vazão de 10% a 15% menores que a vazão média. Essa diferença pode ser decorrente de efeitos de entrada e saída da região das placas. Essa informação de distribuição de vazão é muito relevante, pois a vazão nos canais periféricos é responsável pelo resfriamento das placas externas dos elementos combustíveis. Isso deve ser considerado na análise termo-hidráulica.

Figura 4 – Queda de pressão nos canais x vazão no DMPV-01.

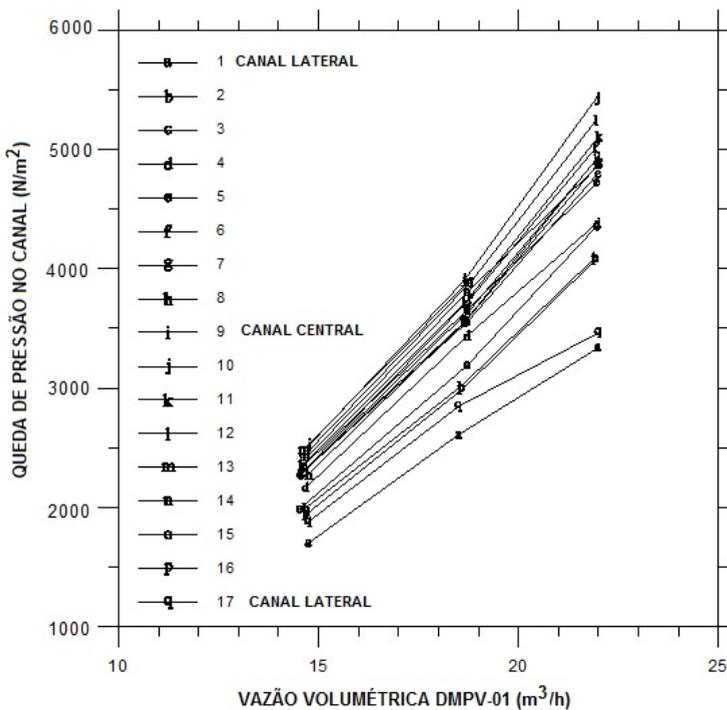
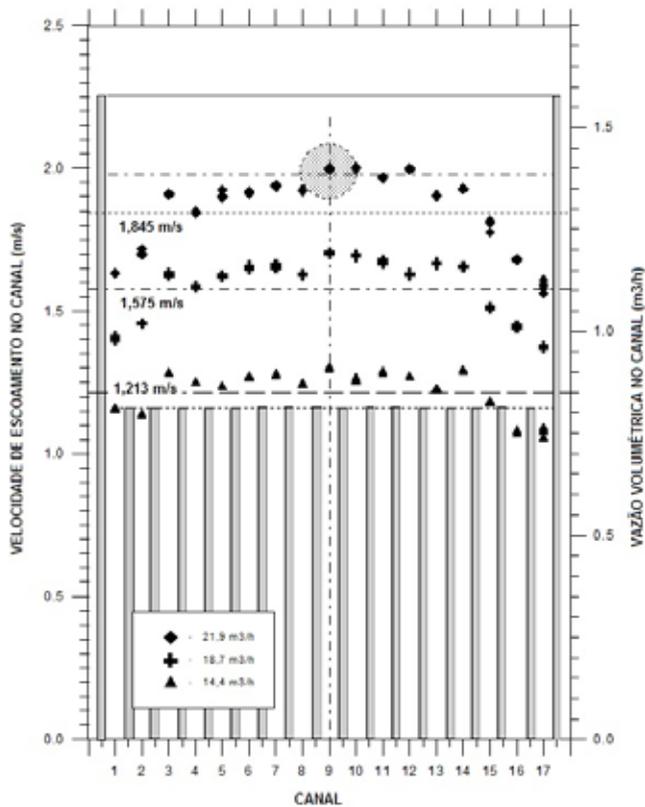


Figura 5 – Distribuição de vazão/velocidade entre os canais de escoamento.

4. CONCLUSÕES

Foram realizados experimentos para a medida de distribuição de vazão entre os canais internos de um elemento combustível do IEA-R1. A distribuição de vazão foi calculada usando os dados de queda de pressão medidos experimentalmente e a equação de queda de pressão para canais fechados. Os resultados mostram que a vazão nos canais periféricos é 10% a 15% menor que os centrais. Essa diferença pode ser decorrente dos efeitos de entrada e saída de escoamento. O resfriamento das placas de combustível externas é realizado pela vazão no canal interno e pela vazão no canal aberto formada por dois elementos combustíveis adjacentes. Esse último é um parâmetro de difícil determinação por tratar-se de um canal aberto. Geralmente um valor estimado é usado. Portanto, a vazão no canal interno é um importante parâmetro de entrada na análise termo-hidráulica do núcleo do IEA-R1.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Engenharia Nuclear (CEENG) e ao Centro do Combustível Nuclear (CECON).

REFERÊNCIAS

1. IAEA – TECDOC – 233. *Research reactor core conversion from use of high enriched uranium to use low enriched uranium fuel handbook*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 1980.
2. LIMA, R. M.; OLIVEIRA, F. S. *Relatório descritivo de fabricação do elemento DMPV-01*. IPEN Internal Report nº RDF-DMPV-01/01. 2000.
3. TORRES, W. M.; UMBEHAUN, P. E.; BAPTISTA Fº, B. D.; ALMEIDA, J. C.; SOUZA, J. A. B.; SILVA, D. G. Distribuição de vazão no núcleo do reator de pesquisas IEA-R1. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA*. 2001, Uberlândia–Minas Gerais. *Proceedings* [...]. 2001.