

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DO ESCOAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM UM SISTEMA PNEUMÁTICO DE IRRADIAÇÃO DE AMOSTRAS

Marcelo Teruo Oguma, marcelo.oguma@usp.br¹
Marcos de Mattos Pimenta, mpimenta@usp.br¹

¹ Departamento de Engenharia Mecânica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, São Paulo, 05508-970, Brasil.

Resumo: Sistemas pneumáticos de irradiação são instalações utilizadas em reatores nucleares de pesquisa. Sua função principal é de prover um meio rápido de envio de materiais provenientes de laboratórios para a irradiação em posições localizadas nas proximidades do núcleo do reator. Durante sua utilização, cápsulas contendo os materiais de estudo são enviadas por meio de tubulações utilizando um fluido propulsor gasoso. Ao chegar à posição desejada, a cápsula sofre exposição à radiação proveniente do reator possibilitando as transformações do material alocado em seu interior, porém como consequência da exposição também ocorre seu aquecimento térmico pela sua interação com os subprodutos da fissão nuclear. Este trabalho estudou de forma numérica, utilizando a dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e experimental, por meio de uma bancada de ensaios, o escoamento e transferência de calor durante o processo de irradiação. Os resultados encontrados demonstraram um aquecimento significativo para tempos de irradiação na ordem de 1 minuto considerando uma taxa de geração de calor constante de 5W/g, provocando a elevação da temperatura da cápsula próximas à temperatura de fusão, para materiais de fabricação das cápsulas comumente utilizados como o polietileno de alta densidade (PEAD). Além disso, foram levantados os campos de velocidade, pressão e temperatura para o fluido propulsor e água de resfriamento no interior do tubo de irradiação que abriga a cápsula durante sua irradiação.

Palavras-chave: Transporte Pneumático, Sistemas de Irradiação, Reatores de Pesquisa, CFD

1. INTRODUÇÃO

Sistemas pneumáticos de irradiação são instalações auxiliares, comumente encontradas em complexos nucleares, que provêm um meio rápido de transporte de materiais oriundos de laboratórios ao núcleo do reator. Estes sistemas são utilizados principalmente em reatores nucleares de pesquisa, ou seja, aqueles reatores que possuem baixa potência e são destinados principalmente à geração de nêutrons para finalidades de pesquisa, produção de materiais para a medicina e indústria, diferentemente dos reatores de potência que objetivam a produção de energia elétrica.

O princípio básico deste sistema é o de transportar materiais, no interior de dutos ou tubulações, pelo intermédio de um meio fluido que pode ser um gás ou líquido (neste caso sistema hidráulico). Basicamente, cápsulas contendo os materiais de interesse em seu interior são inseridas em uma tubulação e o fluido propulsor é forçado a escoar pela tubulação provocando o arraste da cápsula conforme Fig. 1.

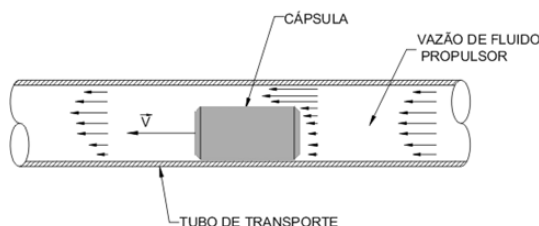


Figura 1. Esquema de funcionamento do transporte pneumático

Segundo Fernando (2011) os sistemas pneumáticos de irradiação são muito usados em instalações nucleares devido a fatores como versatilidade, confiabilidade e rapidez. Como exemplo, o autor cita a utilização do sistema para movimentação de embalagens com rejeitos radiativos no Japão, estudo dos efeitos na saúde em longo prazo para a exposição de organismos a nêutrons rápidos no *Nuclear Science Center Reactor* (NSCR) da *Texas A&M University*, nos centros de fabricação de radioisótopos, transportando radioisótopos de meia-vida curta como Iodo-123, Flúor-18, Gálio-67 e Tálcio-201 e por fim nos laboratórios de Análise por Ativação com Nêutrons (NAA).

Nas duas últimas aplicações citadas, é comum a utilização do transporte pneumático utilizando cápsulas cujos materiais empregados para a fabricação diferem de acordo com vários fatores. IAEA (2014) cita que a maioria dos reatores de alto fluxo faz o uso de cápsulas de Alumínio, que possui baixa seção de choque para absorção de nêutrons e boa condutividade térmica, enquanto os de baixo fluxo utilizam polietileno pela facilidade de manuseio e baixa radioatividade induzida.

Durante o processo de irradiação os materiais alocados no interior das cápsulas são enviados às proximidades do núcleo do reator para receberem um fluxo de nêutrons necessário ao seu estudo ou transformação. Porém devido à interação dos próprios nêutrons e principalmente dos subprodutos da fissão do núcleo ocorre o seu aquecimento e das cápsulas que os abrigam. Para evitar a degradação física (derretimento) da cápsula, principalmente no caso das plásticas, durante o processo de irradiação o sistema pneumático também exerce a função de resfriamento. Desta maneira, uma vazão de fluido que antes era somente utilizado para a propulsão escoava no tubo de irradiação provendo o resfriamento da cápsula. Além disso, continuamente circula água leve no interior do tubo, isolada do fluido propulsor, para resfriamento de todo o conjunto.

A importância da utilização do polietileno na confecção das cápsulas de transporte se dá na sua característica de alta pureza e baixo preço. Segundo Kucera e Soukal (1982) devido a sua baixa seção de choque para nêutrons térmicos o uso do polietileno minimiza interferências no fluxo de nêutrons e apresenta uma baixa atividade após irradiação em um reator nuclear. Como a temperatura de fusão deste material é próxima de 90°C a 120°C, longos períodos de exposição da cápsula ao reator podem provocar o derretimento da mesma e comprometimento funcional do tubo de irradiação, que é o equipamento mecânico que abriga a cápsula durante o processo de irradiação.

Chung (2006) cita que no reator sul coreano *High-Flux Advanced Neutron Application Reactor* (HANARO), a temperatura das cápsulas é limitada a 80°C durante a irradiação, o que corresponde a um tempo de exposição na ordem de 10 a 80 segundos em uma taxa de geração de calor devido à exposição ao aquecimento da interação com os raios gama (*Gamma Heating*) de 5 W/g. No reator MIT *Nuclear Reactor Laboratory* (MIT-NRL) o tempo de irradiação é da ordem de 10 segundos a 10 minutos para cápsulas plásticas, sendo que para cápsulas fabricadas de titânio é em torno de 10 horas segundo Carpenter et. al. (2012).

Dyer (1987) descreve em seu trabalho que na posição de irradiação denominada PT-1 do reator *High Flux Isotope Reactor* (HFIR) do *Oak Ridge Research Reactor* (ORR) o aquecimento devido à interação das cápsulas com a radiação gama (*Gamma Heating*) de 5 W/g limita severamente a utilização de cápsulas de polietileno de alta densidade possibilitando um tempo de irradiação seguro, para uma cápsula vazia, na ordem de 10 a 20 minutos e que variações individuais de amolecimento ocorrem pela variação no posicionamento das cápsulas. O autor cita ainda que outra limitação para a utilização das cápsulas se dá no derretimento do material em seu interior. Materiais biológicos como cabelos e penas são posicionados de forma cuidadosa para que entrem em contato com as paredes da cápsula a fim de trocar calor, evitando sua degradação. Outros materiais como amostras de solo propiciam a redução do tempo seguro de irradiação para aproximadamente 20 segundos.

Sheibley (1974) cita que o uso de cápsulas de Alumínio no *Plum Brook Reactor* (PBR) causava a perda de dados para elementos de meia vida curta obtidas após 5 minutos de decaimento e exposição pessoal significativa à radiação durante o manuseio das cápsulas. A utilização de cápsulas de polietileno de alta densidade (PEAD) mostrou-se adequada já que o material não se degradava significativamente em períodos de irradiação de até 1 hora e a ativação das impurezas presentes no polietileno foram mínimas permitindo a abertura manual das cápsulas após a irradiação no reator. Ambas as cápsulas continuaram a ser utilizadas, porém mantendo as de Alumínio para longos períodos de irradiação enquanto as de polietileno para curtos períodos de irradiação.

Em reatores nucleares de pesquisa do tipo piscina aberta (*Open Pool*), considerados como referência para este trabalho, os tubos de irradiação são localizados no vaso refletor conforme Fig. 2 e as tubulações de transporte e retorno de fluido propulsor penetram pela parte superior da piscina do reator até atingirem o vaso.

O estudo do escoamento e transferência de calor nos tubos de irradiação é de difícil realização de forma experimental *in loco*, visto que a acessibilidade e periculosidade do local em que os mesmos estão instalados dificultam possíveis intervenções e instalações de instrumentos de medição. Deste modo surge a motivação de estudar o processo por meio de métodos numéricos como a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) com o objetivo de levantar características que auxiliem a prever o fenômeno físico ali encontrado.

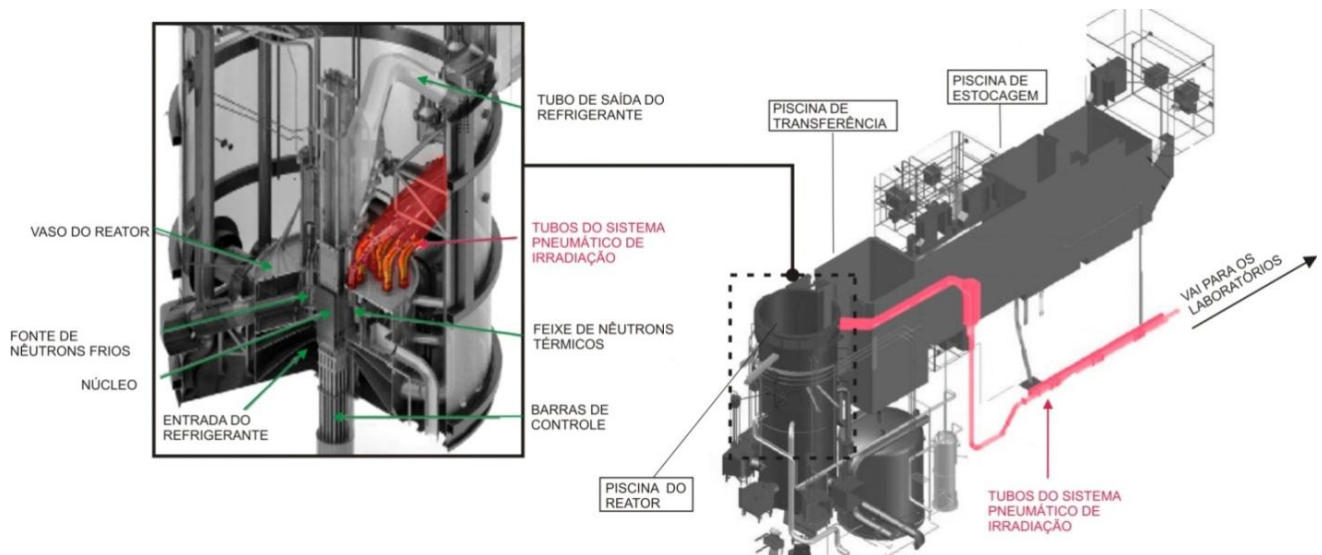


Figura 2 – Esquema geral do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). (Mazufri et. al, 2014) – modificado pelo autor

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM ANÁLISE

Dada a grande variedade de formas, concepções, condições de operação da aplicação estudada e ao mesmo tempo a escassez de informações detalhadas na literatura sobre geometrias e dados de projeto dos tubos de irradiação, foi considerado para o trabalho um modelo genérico contendo as principais características de funcionamento de tubos de irradiação encontrados na literatura, porém com dimensões e formas construtivas executáveis com materiais de fácil obtenção e técnicas de fabricação acessíveis. O modelo desenvolvido (Fig. 3) foi baseado principalmente nos trabalhos de Hosokawa et. al.(2008) que descreve alguns tubos de irradiação utilizados no reator OPAL (*Australia's Open Pool Australian Lightwater*).

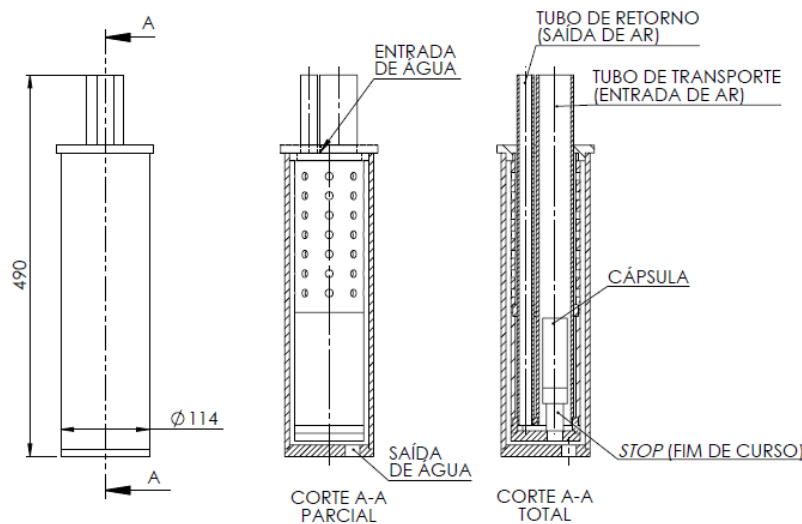


Figura 3. Modelo de tubo de irradiação desenvolvido para o estudo

Para a realização do estudo, as seguintes hipóteses simplificadoras foram adotadas:

- Foi desconsiderada a geração de calor no tubo de irradiação para o estudo experimental, sendo somente adotada a geração de calor na cápsula (Ø31,6x90mm). Este procedimento foi realizado devido aos aspectos construtivos do experimento que utilizou de resistência elétrica para simular o efeito de geração de calor na cápsula, sendo inviável a aplicação de geração de calor em todo o tubo de irradiação;
- Não foi adotado um modelo matemático para o transporte da radiação e cálculo da geração por *Gamma Heating*, desta maneira a taxa de geração de calor volumétrica para a cápsula foi considerada como constante de 5W/g (totalizando aproximadamente 140W para toda a cápsula) a partir de referências na literatura;
- Foi desprezada a possível troca de calor do tubo de irradiação por condução com os demais componentes do reator, como por exemplo, o vaso refletor onde o tubo é fixado;
- Foi utilizado como fluido propulsor o ar atmosférico sem tratamento pós-compressão (resfriamento);

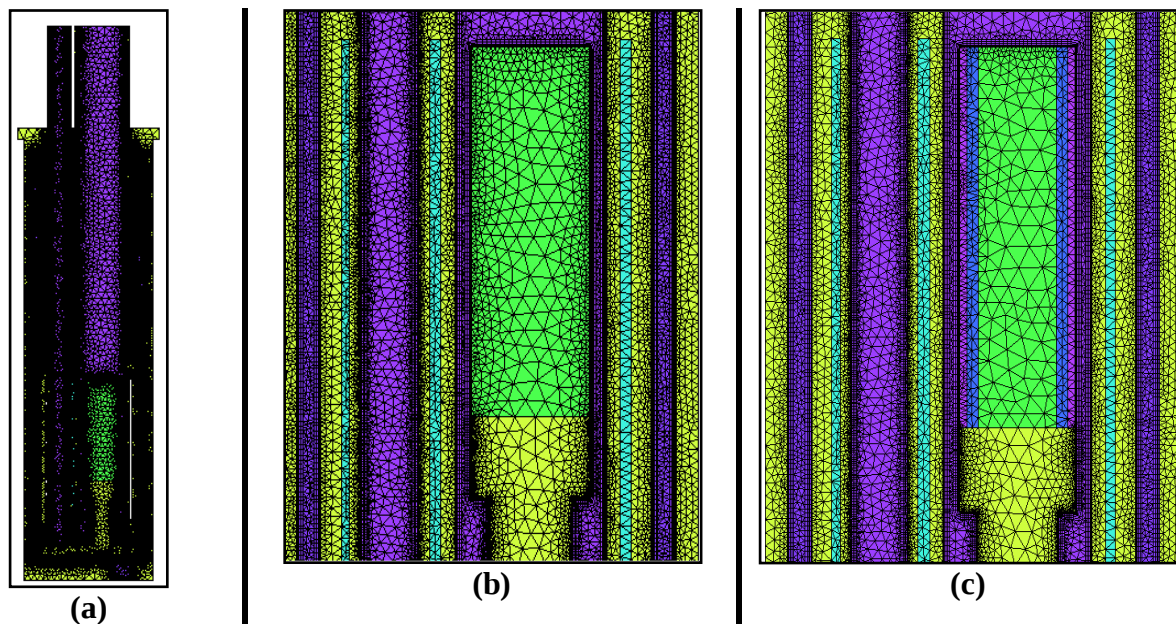
- O posicionamento da cápsula foi considerando como concêntrico ao tubo de transporte. As condições de processo utilizadas no estudo estão apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Condições de processo para o estudo

Condições de processo	
Entrada de ar	Vazão = 200 LPM Número de Reynolds = 6738 Temperatura = Ambiente
Saída de ar	Descarga atmosférica (Pressão relativa = 0 Pa)
Entrada de água	Vazão = 17 LPM Número de Reynolds = 16 926 Temperatura = 22°C
Saída de água	Pressão relativa = 0 Pa
Contato entre a cápsula e o <i>stop</i>	Resistência de contato = 11400 W/m ² °C
Geração de calor na cápsula	Taxa de geração = 5 W/g (totalizando 140W para a cápsula)

O estudo numérico foi desenvolvido utilizando os softwares ICEM® CFD para o processo de geração de malha e Ansys CFX® como solver. O software Ansys CFX® é um software comercial de CFD que utiliza uma formulação matemática conhecida por método dos volumes finitos (MVF) com uma abordagem de aproximação baseada em elementos finitos utilizando funções de formas para tal.

Foi gerada uma malha não estruturada com camadas prismáticas nas regiões de camada limite com 9193748 elementos no total para as cápsulas de Alumínio e PEAD, além de uma malha com 9190599 elementos considerando uma cápsula que simula os aspectos construtivos da resistência elétrica com paredes externas de aço (espessura de 3mm) e camada isolante de óxido de magnésio (espessura de 2mm).

**Figura 4. Malha desenvolvida: (a) Visão geral. (b) Detalhe da cápsula. (c) Detalhe da cápsula modificada**

As simulações foram realizadas utilizando o modelo de turbulência $k-\varepsilon$, esquema advectivo para equações de continuidade, transporte de quantidade de movimento e energia como *High Resolution* e esquema advectivo para as equações de transporte do modelo de turbulência *Upwind* de primeira ordem. Devido à baixa velocidade dos escoamentos presentes no estudo, foi adotado o modelo de equação conservação de energia somente referente à energia térmica (*Thermal Energy*) desprezando assim o efeito da energia cinética em seu equacionamento. O passo temporal utilizado (*timestep*) foi adotado como 0,2 s. Todas as simulações foram definidas para calcular de forma iterativa até atingir resíduo RMS (*Root Mean Square*) máximo de $1,0E-4$.

3. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento do estudo experimental foi confeccionada uma bancada de ensaios (Fig. 5) contendo um modelo de tubo de irradiação. A bancada foi desenvolvida a fim de reproduzir as condições de processo por meio de equipamentos mecânicos básicos como bombas hidráulicas, sopradores/compressores de ar, resistências elétricas, válvulas, etc. A vazão de fluido propulsor circulante foi fornecida por meio de um soprador de ar do tipo centrífugo. Para o controle fino de vazão e medição foram adicionados respectivamente uma válvula globo do tipo registro de pressão e um rotâmetro após o soprador. Para a vazão de água leve de resfriamento foi desenvolvido um circuito contendo dois tanques (para reaproveitamento da água durante a realização dos experimentos), uma bomba para o recalque, uma válvula globo do tipo registro fino da vazão e um rotâmetro para medição da vazão.

Durante o estudo experimental, a bomba d'água realiza o recalque da água contida no tanque de alimentação para o interior do tubo de irradiação. Neste interior a água percorre as passagens internas (câmara molhada) e sai na parte inferior do equipamento sendo conduzida para o tanque de retorno. O soprador de ar por sua vez, admite ar atmosférico em condições ambientais, e realiza sua compressão forçando-o a escoar pelo tubo de irradiação, primeiramente no tubo de transporte e por fim no tubo de retorno. Após esta passagem o ar é exaurido na atmosfera. O efeito de geração de calor é realizado por meio de uma resistência elétrica de 140W que simula a cápsula.

Ao término do experimento a água acumulada no tanque de retorno é recalçada novamente ao tanque de água de resfriamento. Este procedimento é realizado via manobra de válvulas nas tubulações de recalque e sucção da bomba d'água. Para posterior comparação com o estudo numérico foram coletadas as temperaturas em três pontos (T1, T2 e T3), cujos sensores estão destacados em vermelho na Fig. 5, por meio de termopares fixados conforme Fig. 6 sendo respectivamente na face da cápsula, a jusante da cápsula e na descarga de ar. A aquisição e processamento dos sinais dos termopares foram realizados por meio de uma placa de aquisição e um computador pessoal.

O tubo de irradiação construído para o estudo está apresentado na Fig. 6. Ele foi confeccionado em liga de Alumínio e foram adaptadas conexões roscadas para a interligação com as tubulações da bancada de ensaios (Fig. 7).

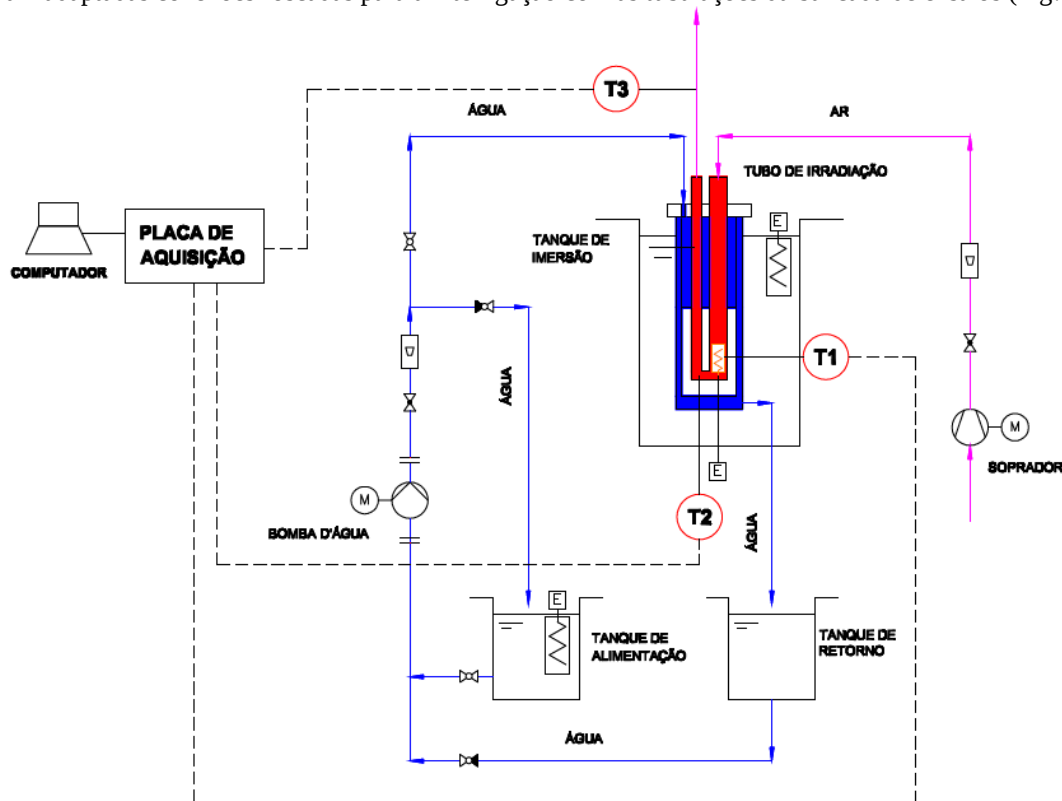


Figura 5. Esquemático do estudo experimental

A coleta de dados foi realizada durante três dias e buscando mitigar possíveis interferências da temperatura ambiente. Ao todo foram realizadas 8 medições e as incertezas de medição foram calculadas seguindo a referência JCGM (2008) compondo dois tipos de incertezas denominadas do tipo A, determinada pela análise estatística das medições e do tipo B, para as fontes de incerteza devido ao elemento de medição (termopar) e o processamento da placa de aquisição.

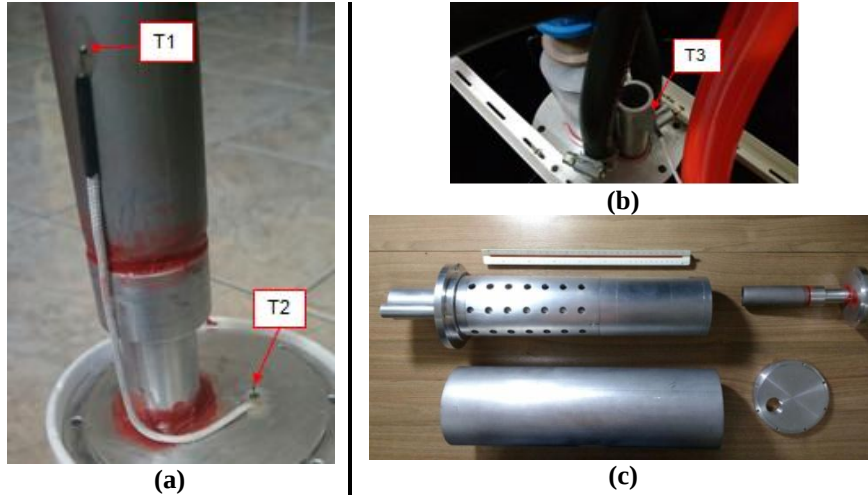


Figura 6. (a) Fixação dos termopares T1 e T2. (b) Fixação do termopar T3. (c) Montagem do tubo de irradiação

A incerteza de medição do tipo A foi calculada considerando uma função densidade de probabilidade do tipo normal ou gaussiana para o estudo. Desta maneira a incerteza do tipo A (u_A), Eq. (1), associada às flutuações estatísticas na medição foi calculada a partir do desvio padrão da amostra σ_{n-1} , Eq. (2). Onde n representa o número de amostras (medições) e t_i o desvio em relação ao valor médio das medições.

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$u_A = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

As incertezas do tipo B são caracterizadas pela ocorrência de erros sistemáticos provenientes de fontes externas a aleatoriedade das medições como, por exemplo, defeitos de fabricação nos sensores de temperatura. Para este estudo foram adotadas as incertezas devido aos termopares e também a placa de aquisição cujos fornecedores/fabricantes especificaram as exatidões para as medições são de respectivamente $\pm 2,5^\circ\text{C}$ e $\pm 2,0^\circ\text{C}$. Foi adotada uma distribuição de probabilidade uniforme para estimar a incerteza do tipo B (u_B) para ambos os casos, sendo calculada conforme Eq. (3) onde a o limite superior de exatidão informado para cada equipamento/sensor.

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Para contabilizar os efeitos das incertezas do tipo A e B, foi considerada como incerteza padrão da medição a combinação de ambas calculada conforme a Eq. (4) e denominada incerteza combinada (u_C).

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_{B\text{termopar}}^2 + u_{B\text{placa}}^2} \quad (4)$$

Deste modo, os resultados dos experimentos para cada medição são apresentados contabilizando a incerteza de medição de acordo com a Eq. (5).

$$T = \bar{T} \pm u_C \quad (5)$$

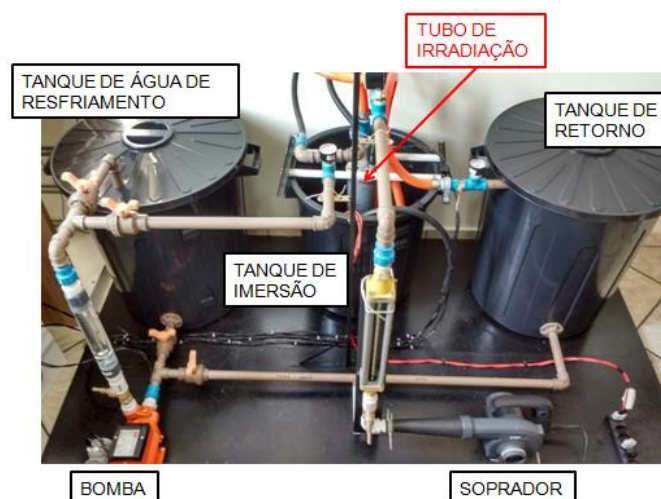


Figura 7. Fotografia da bancada de ensaios

4. RESULTADOS

As evoluções temporais das temperaturas nos pontos referentes às localizações dos termopares T1, T2 e T3 tanto para o estudo numérico como experimental, estão apresentadas nas Fig. 8, Fig. 9 e Fig. 10. Além disso, estão presentes os resultados das simulações para os materiais (PEAD e Alumínio) comumente utilizados na fabricação das cápsulas e o modelo desenvolvido para simular os aspectos construtivos da resistência elétrica do tipo cartucho.

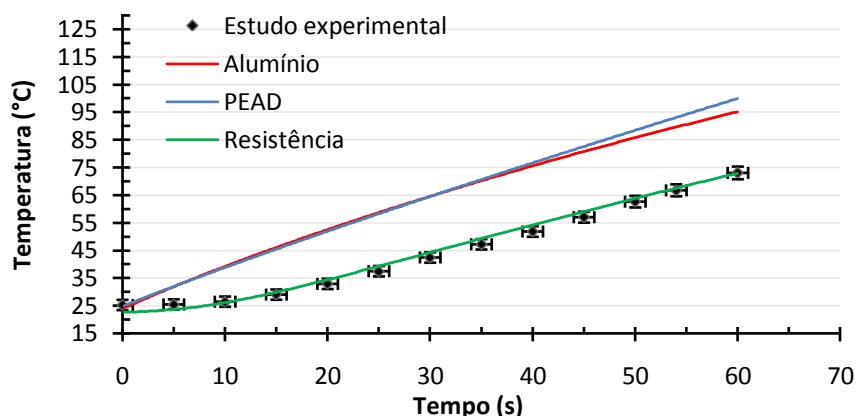


Figura 8. Comparação experimental x numérica para a evolução de temperatura referente ao termopar T1

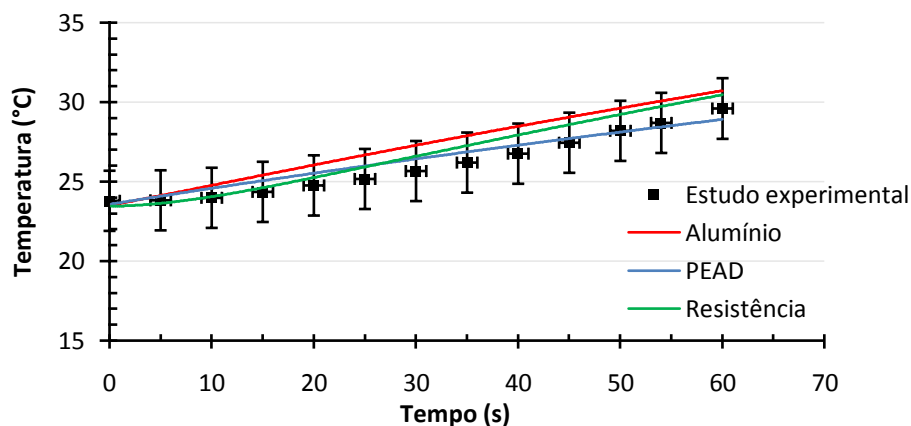


Figura 9. Comparação experimental x numérica para a evolução de temperatura referente ao termopar T2

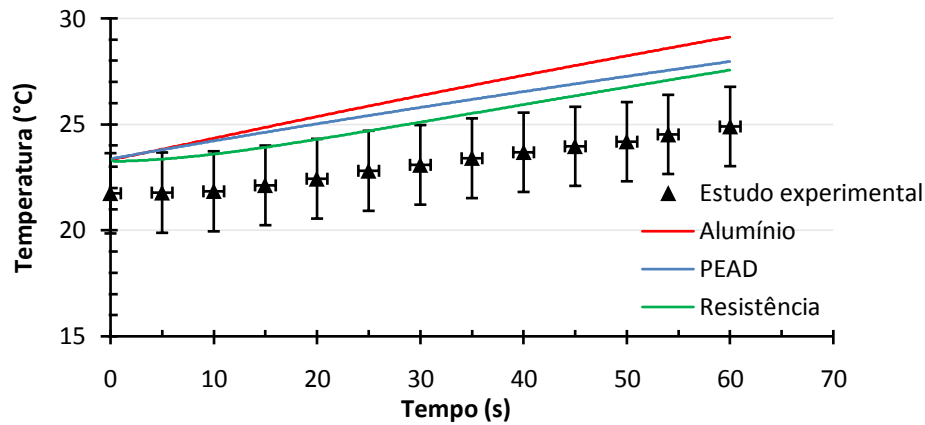


Figura 10. Comparação experimental x numérica para a evolução de temperatura referente ao termopar T3

Pelas Fig.8 a Fig. 10 é possível observar que o modelo adotado simulando as condições construtivas da resistência elétrica é mais fiel aos resultados experimentais do que as demais simulações. Isto mostra que para os materiais reais, Alumínio e PEAD, o aumento de temperatura pode ser ainda maior que o previsto pelo estudo experimental tornando-se crítico no segundo caso em que existe a possibilidade de fusão do material de fabricação. É possível observar também que para as medições do termopar T3, os resultados numéricos ficaram para todos os modelos, fora da faixa de erro do estudo experimental. Este fato pode ser atribuído à proximidade deste termopar com o meio externo, sendo assim suscetível a possíveis interferências de variações de temperatura ambiente durante a realização da coleta das medições.

Os campos da seção média do tubo de irradiação para a velocidade, pressão e temperatura obtidos para o tempo final da simulação (60s) com a cápsula de PEAD são apresentados nas Fig.11 e Fig. 12, respectivamente para o fluido propulsor (ar) e a água de resfriamento (água leve).

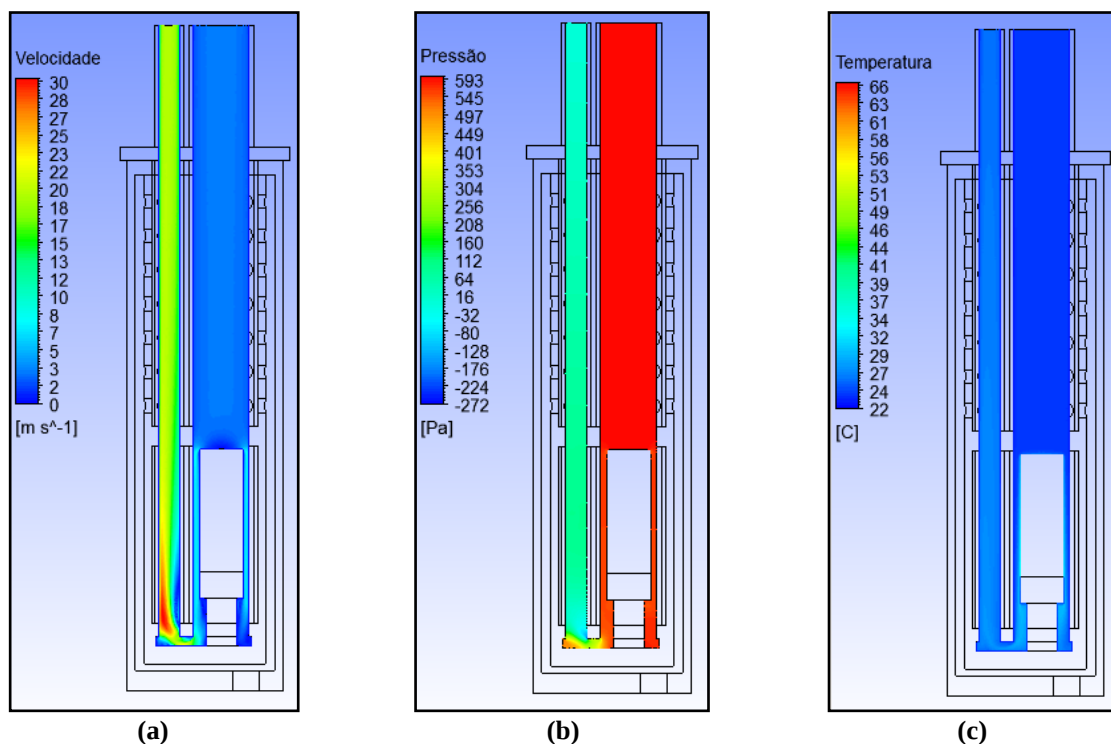


Figura 11. Campos de: (a) velocidade, (b) pressão (manométrica) e (c) temperatura, para o ar

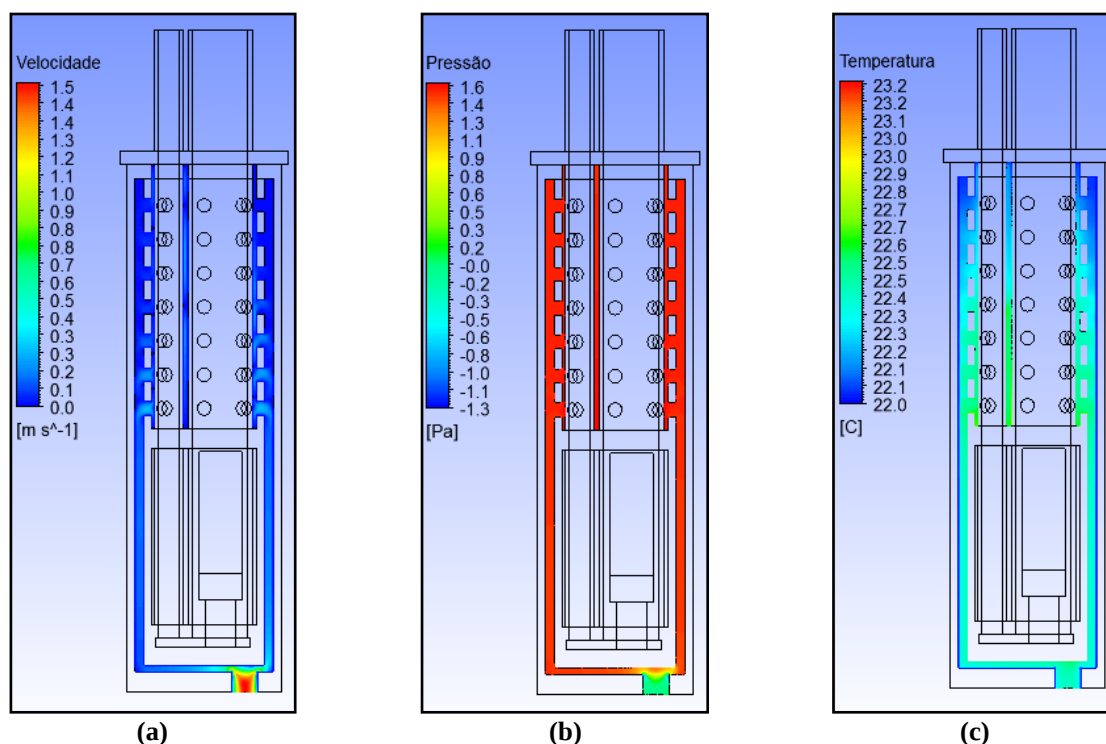


Figura 12. Campos de: (a) velocidade, (b) pressão (manométrica) e (c) temperatura, para a água leve

Os campos mostram o comportamento físico do fenômeno do escoamento de ar condizente com o esperado, sendo possível observar nas Fig. 11a e Fig. 11b regiões de aceleração do escoamento nas proximidades da parede da cápsula, bem como, regiões de gradiente de velocidade e pressão causadas pela transição entre os tubos de transporte e de retorno.

Além disso, observa-se nas Fig. 12a a Fig. 12c que a água de resfriamento sofre pouca alteração de velocidade, pressão e temperatura durante a sua passagem pelo tubo de irradiação, com exceção de zonas de passagem nas furações da câmara molhada e região de saída. Este fato pode ser atribuído à simplificação do estudo que adotou a hipótese de ausência de geração de calor nas paredes do tubo de irradiação a fim de viabilizar o estudo experimental.

5. CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido buscou estudar o escoamento e transferência de calor em um sistema pneumático de irradiação utilizado em reatores nucleares de pesquisa. Devido à dificuldade de acesso a sistemas reais em funcionamento, o método utilizado para a realização do estudo foi desenvolvido a partir de um estudo experimental que simplificou a geração de calor devido à interação das cápsulas utilizadas neste sistema com a radiação nuclear por meio de uma resistência elétrica e também de um estudo numérico utilizando a dinâmica dos fluidos computacional (CFD).

Os resultados obtidos numericamente mostraram que para uma taxa de geração de calor referente à 5W/g (obtida na literatura), a temperatura na face externa da cápsula em tempos de irradiação na ordem de 1 min, pode atingir valores na ordem de 100°C para a cápsula de PEAD e 95°C para a de Alumínio. Valores que para a cápsula de PEAD são críticos devido ao ponto de fusão do material de fabricação em torno de 90°C a 120°C.

Já a temperatura do fluido propulsor, neste caso o ar, pode variar atingindo cerca de 30°C a jusante da cápsula e 28°C na saída do tubo de retorno (para a cápsula de Alumínio), sendo assim pouco sensível ao aumento de temperatura da cápsula. A água de resfriamento praticamente não exibe indicações significativas de elevação de temperatura, já que a geração de calor no corpo do tubo de irradiação foi desprezada. Além disso, considerando o modelo utilizado (cápsula sendo maciça e homogênea) a temperatura máxima prevista no interior da mesma pode chegar próxima a 100°C para o Alumínio e 116°C para o PEAD considerando a mesma taxa de geração para ambas (o que pode variar pelas características de absorção de radiação gama que dependem dentre diversas variáveis, do material utilizado).

6. REFERÊNCIAS

- Carpenter, D., Kohse, G., Hu, Li-Wen. MITR User's Guide. Massachusetts: MIT, 2012.
- Chung Y.S., Kim, S.H., Moon, J.H., Kim, H.R., Kim, Y.J. Characteristics Of The Pneumatic Transfer System And The Irradiation Hole At The Hanaro Research Reactor. Nuclear Engineering and Technology. August, 2006. v.38. p585-590. 2006.
- Dyer, F.F., Emery, J.F., Robinson, L., Teasley, N.A. Design and use of the ORNL HFIR Pneumatic tube irradiation system. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 1987.

- Fernando, A. J. Desenvolvimento e implementação de um novo sistema pneumático de transferência para irradiação de materiais no reator IEA-R1. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Departamento de Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2011.
- Hosokawa, J. Izumo, H., Ishitsuka, E. Overview of Irradiation Technology in OPAL Reactor. Relatório técnico. Ibaraki-ken: Japan Atomic Energy Agency, 2008.
- IAEA. Applications of Research Reactors. Relatório técnico NP-T-5.3. Vienna: IAEA Nuclear Energy Series, 2014.
- JCGM. Análise de dados de medição – Guia para a expressão da incerteza de medição. Relatório técnico JCGM 100, 2008.
- Kucera, J., Soukal, L. Determination of trace element levels in polyethylene by instrumental neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical Chemistry, Budapest, v.80,p.121-127.1982.
- Mazufri, C., Perrota, J. A., Lorenzo, N., Soares, A. Barrera, M. The RMB Research Reactor Project. Trabalho apresentado no 16º IGGOR/ IAEA Technical Meeting., Bariloche, 2014.
- Sheibley, D. W. Trace-element analysis of 1000 environmental samples per year using instrumental neutron activation analysis. Memorando técnico NASA TM X-71519. Ohio, 1974.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF THE FLUID FLOW AND HEAT TRANSFER IN A PNEUMATIC IRRADIATION SYSTEM

Marcelo Teruo Oguma, marcelo.oguma@usp.br¹
Marcos de Mattos Pimenta, mpimenta@usp.br¹

¹Department of Mechanical Engineering - University of Sao Paulo, 2251 Prof. Mello Moraes Avenue, Sao Paulo, 05508-970, Brazil.

Abstract. *Pneumatic irradiation system facilities are used in nuclear research reactors. Its main function is to provide a fast means of sending materials to irradiation positions located near the reactor core. Capsules containing the sample materials are sent through pipes using a gaseous fluid propellant. Upon reaching the desired position, the capsule undergoes exposure to radiation from the reactor enabling the transformation of the material allocated inside, but as a consequence of exposure, its thermal heating also occurs. This study investigated numerically, using computational fluid dynamics (CFD), and experimentally the flow and heat transfer during the irradiation process. The results showed a significant heating for irradiation times on the order of 1 minute, considering a constant heat generation rate, thus causing increase in the capsule temperature near to critical values, for the materials that are commonly used for their manufacture. In particular, this is the case of the high density polyethylene (HDPE). Furthermore, the velocity, pressure and temperature fields were obtained for the propellant fluid and cooling water inside the irradiation tube house during its irradiation.*

Keywords: *Pneumatic Transport, Irradiation Systems, Research Reactor, CFD*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.