



Otimização de parâmetros de uma geometria de medição para cálculo de velocidade em escoamento monofásico usando rastreamento de partícula radioativa

J. L. O., Pereira^{1,2}, R. S. F., Dam^{1,2}, W.
L. Salgado^{1,2}, J. C. Suita¹ e
C. M. Salgado¹

¹ *julianaluzie@poli.ufrj.br; otero@ien.gov.br; suita@ien.gov.br, Instituto de Engenharia Nuclear – (IEN)
Rua Hélio de Almeida 75*

21941-906 Cidade Universitária, RJ, Brasil

² *rdam@coppe.ufrj.br; william.otero@coppe.ufrj.br, Universidade Federal do Rio de Janeiro – (UFRJ)
Programa de Engenharia Nuclear – (PEN/COPPE)*

Avenida Horácio de Macedo 2030, G – 206

21941-914 Cidade Universitária, RJ, Brasil

1. Introdução

A vazão é um dos parâmetros mais importantes para o transporte de fluidos em tubulações, sendo essencial para medir corretamente a quantidade de recursos naturais, tais como água, gás e petróleo. No âmbito industrial, a maior parte dos medidores convencionais de vazão necessitam entrar em contato com os fluidos, que podem ser abrasivos, o que acarreta no aumento de manutenções periódicas com a possibilidade de interrupção do funcionamento da planta. Desta forma, para contornar tais dificuldades, medidores de vazão baseados em técnicas nucleares têm sido estudados [1]. O Rastreamento de Partícula Radioativa (RPR) é uma técnica nuclear baseada no acompanhamento de uma partícula radioativa em um dado volume de interesse, monitorada por meio de um arranjo de detectores de radiação. Esta técnica tem sido bastante estudada devido à sua aplicabilidade, como por exemplo para avaliar a homogeneização de substâncias através de agitadores ou misturadores industriais [2]. Utilizando a técnica de RPR é possível calcular a velocidade dos fluidos transportados em tubulações [3].

Portanto, o presente trabalho consiste em analisar uma geometria de medição para cálculo de velocidade superficial por meio do rastreamento de uma partícula radioativa imersa dentro de uma tubulação em regime de fluxo monofásico. As simulações foram realizadas por meio do Método Monte Carlo, utilizando o código MCNPX [4].

2. Metodologia

A geometria de medição consiste em um duto de *Polyvinyl Chloride* (PVC), preenchido por água salgada ($H_2O + 4\% NaCl$, densidade = 1.0466 g / cm^3). O duto tem um comprimento total de 100 cm, o diâmetro interno de sua parede é de 24,365 cm e o diâmetro externo é de 25 cm (parede com 0,635 cm de espessura). A partícula radioativa é uma fonte volumétrica de ^{137}Cs (662 keV), em formato esférico, encapsulada com vidro borossilicato (vidro pyrex). Ao redor do duto, há um conjunto de cinco detectores de Na(Tl), em que D1, D2, D3 e D4 são utilizados para cálculo de fração de volume e D1 e D5 são usados para o cálculo de velocidade superficial da partícula. Neste trabalho, o estudo será focado nos detectores D1 e D5. A geometria de medição inicial é mostrada na Fig. 1. No arranjo A1, os detectores D1 e D5 estão afastados 10 cm um do outro e no arranjo A2, essa distância é de 20 cm. As simulações foram elaboradas usando o código MCNPX [4].

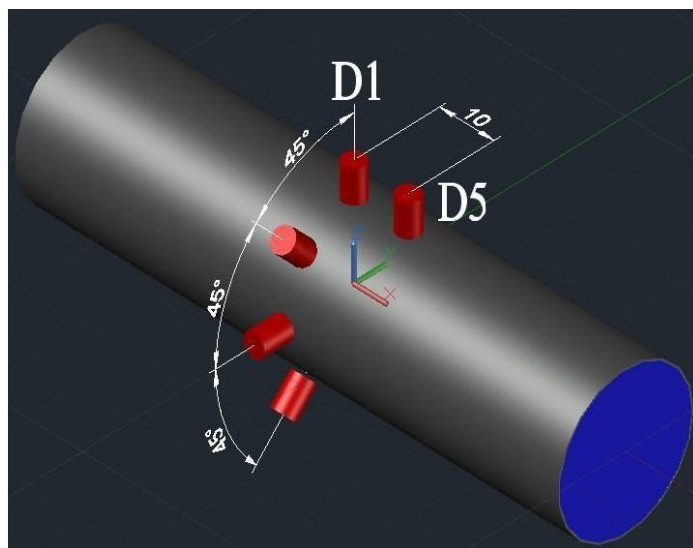


Figura 1: Geometria de medição representativa do arranjo A1.

Em seguida, foram elaboradas trajetórias hipotéticas da partícula ao longo do comprimento do duto, com o objetivo de calcular a velocidade superficial. Uma representação das trajetórias pode ser vista na Fig. 2. Três trajetórias retilíneas (P1 – extremidade superior do duto; P2 – centro do duto; P3 – extremidade inferior do duto) foram criadas com o objetivo de observar o comportamento dos sinais registrados nos detectores D1 e D5, usando os arranjos A1 e A2. Além disso, foram criadas quatro trajetórias oscilatórias formadas por ondas triangulares com duas amplitudes (0,5 cm e 1 cm) e dois comprimentos de ondas (16 cm e 24 cm) distintos, usando o arranjo A1. É importante destacar que T1 representa o comprimento de onda de 16 cm e T2 descreve o comprimento de onda de 24 cm.

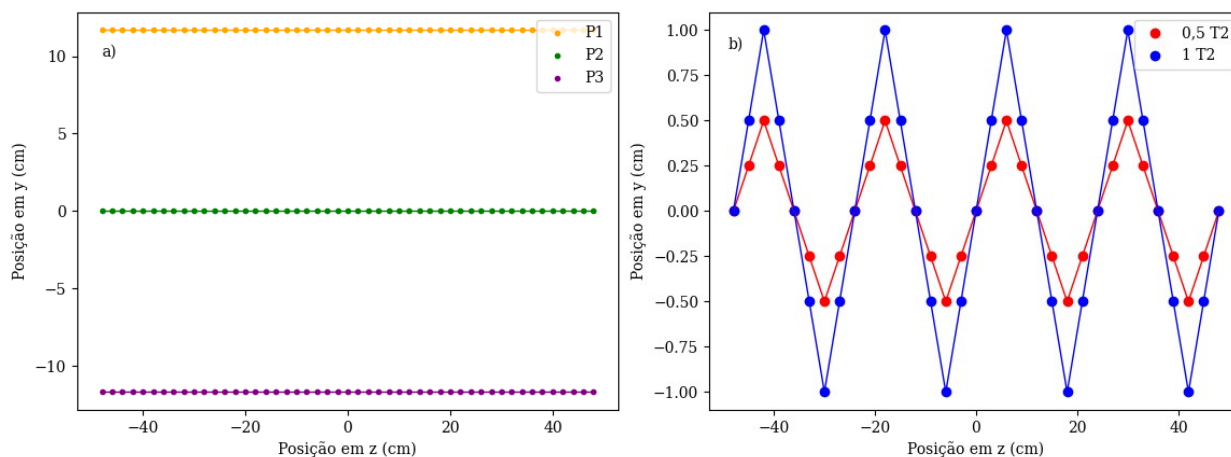


Figura 2: Representação das trajetórias: a) retilíneas P1, P2 e P3 no arranjo A1; b) oscilatórias triangulares com comprimento de onda T2.

Na saída do código MCNPX, o espectro das contagens registradas nos detectores é obtido usando o cartão *tally* F8, em que a resposta da simulação é normalizada para um evento por segundo. A região de absorção fotoelétrica (fotopico) de cada um dos espectros foi utilizada para traçar a curva de *Cross-Correlation* e determinar o tempo de retardo entre os sinais de D1 e D5.

Com os tempos de retardo e a distância entre os detectores, é possível calcular a velocidade da partícula radioativa para cada movimento realizado, por meio da Eq. 1:

$$v = \frac{L}{\tau} \quad (1)$$

Em que:

L – distância entre os detectores (cm);

τ – tempo de retardo entre os sinais dos detectores (s).

3. Resultados e Discussão

Depois de identificadas as faixas de energias correspondentes a essa região, foram identificadas as contagens registradas nos detectores correspondentes a cada valor dessas energias. A partir dos espectros dos detectores D1 e D5, foram traçadas curvas utilizando a função de *Cross-Correlation* (FCC), onde o ponto máximo da curva corresponde ao tempo de retardo entre os sinais dos detectores. Tais curvas são mostradas na Fig. 3. Para fins de comparação, as contagens foram normalizadas.

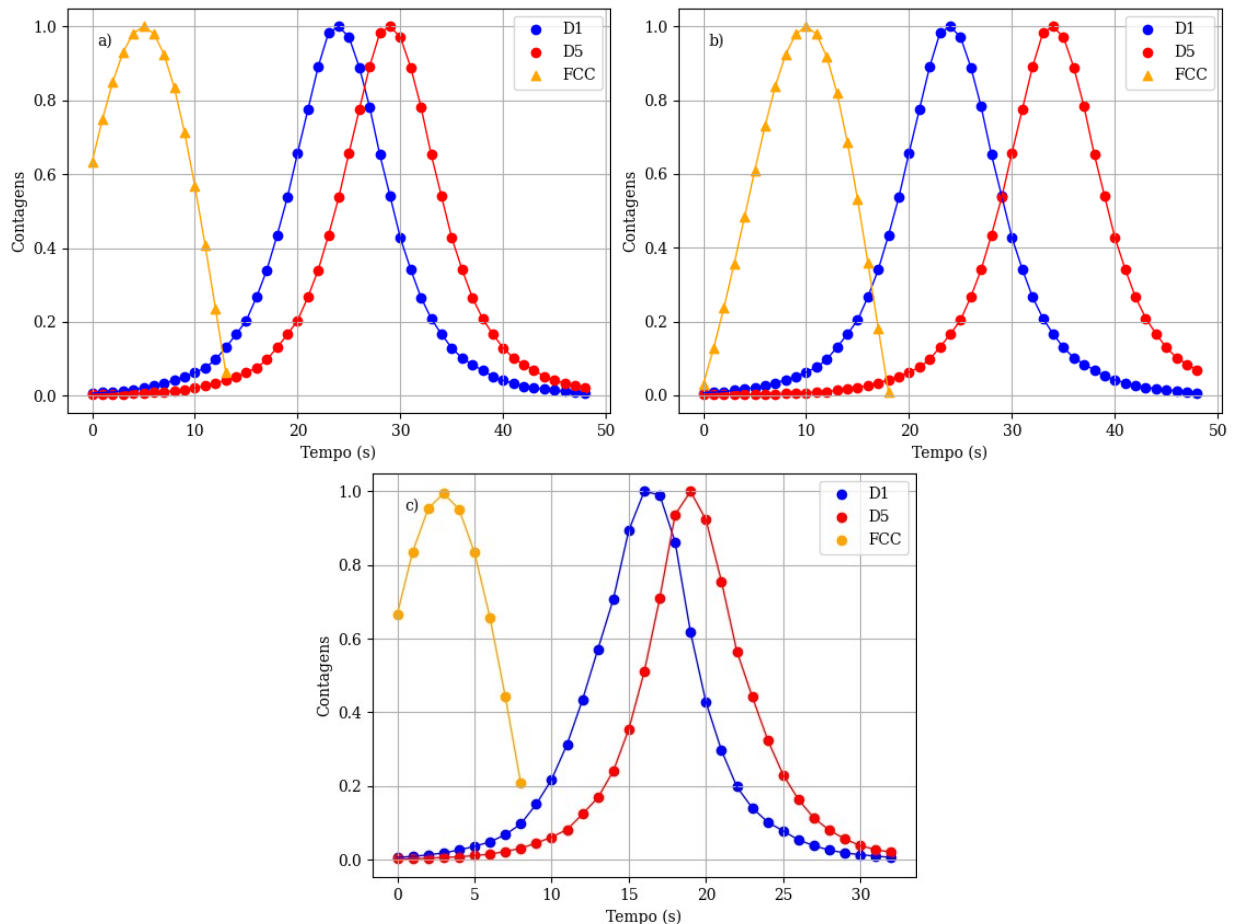


Figura 3: Contagens nos detectores D1 e D5 e função Cross-Correlation: a) trajetória P2 no arranjo A1; b) trajetória P2 no arranjo A2; c) trajetória oscilatória 0,5 T2 no arranjo A1.

Os resultados mostram que os valores das funções de *Cross-Correlation* para as três trajetórias retilíneas no arranjo A1 de detectores apresentaram o mesmo valor $\tau = 5$ s e para as trajetórias retilíneas no arranjo A2 apresentaram o dobro do valor dos tempos de retardo anteriores ($\tau = 10$ s), fazendo todos esses movimentos terem a mesma velocidade de 2 cm/s. Entretanto, os movimentos formados por ondas triangulares com amplitudes de 24 cm apresentaram $\tau = 3$ s, então a velocidade calculada foi de 3,33 cm/s. Por fim, as trajetórias formadas por ondas triangulares com amplitudes de 16 cm não apresentaram sinais bem definidos e, portanto, não foi possível calcular a velocidade nesse caso. Vale destacar que, as trajetórias oscilatórias formadas por ondas triangulares representam ondas senoidais com poucos pontos, resultando em sinais com pouca definição, não sendo viável aplicar a função de *Cross-Correlation*.

4. Conclusões

Neste estudo, foram simulados dois arranjos de detectores NaI(Tl) para o cálculo da velocidade superficial em um regime de fluxo monofásico utilizando a técnica de Rastreamento de Partícula Radioativa. As simulações foram realizadas usando o código MCNPX. Primeiramente, a função de *Cross-Correlation* foi usada para determinar o tempo de retardo entre os detectores para, então, calcular a velocidade. O cálculo da velocidade foi realizado com sucesso para trajetórias retilíneas, no entanto, para as trajetórias oscilatórias houve dificuldade no cálculo da velocidade devido ao comportamento do sinal. Foi observado que, para as trajetórias retilíneas estudadas, para ambos arranjos de detectores a velocidade foi a mesma.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelas bolsas de estudos financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. Agradecimentos também ao Instituto de Engenharia Nuclear (IEN).

Referências

- [1] E. J. A. Puertas, “Medidas de Vazão Usando Espalhamento da Radiação Gama e a Técnica de Cross Correlation”, Ms. C. dissertação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, (2014).
- [2] R. S. F. Dam, C. M. Barbosa, J. M. Lopes, J. L. Thalhafer, L. B. Silva, C. M. Salgado, A. X. Silva, “Radioactive particle tracking methodology to evaluate concrete mixer using MCNPX code”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 160, pp. 26 – 29, (2019).
- [3] R. S. F. Dam, R. R. W. Affonso, R. C. Nunes, T. P. Teixeira, W. L. Salgado, C. M. Salgado, A. X. Silva, “Velocity calculation of a flow using a sealed gamma ray source and MCNPX code”, *Proceedings of International Nuclear Atlantic Conference*, Santos, SP, Brazil, (2019).
- [4] D. B. Pelowitz, “MCNP-XMCNPX TM User’s Manual, Version 2.5.0, LA-CP-05-0369”, Los Alamos National Laboratory, USA, (2005).