

CALIBRAÇÃO DE UMA SONDA RESISTIVA DE RÁDIO-FREQUÊNCIA, NA
MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM
TÉCNICA DE ABSORÇÃO GAMA

Edson Kassar (IPEN/CNEN-SP)
Raimundo Dias da Silva (IPEN/CNEN-SP)

RESUMO

Foram feitas medidas de fração de vazio por 2 métodos diferentes: a) técnica de sondas de rádio-frequência; b) técnica de absorção (atenuação) de raios gama. A calibração do circuito eletrônico associado à sonda de rádio-frequência foi feita em comparação com os resultados obtidos pela técnica de absorção gama.

ABSTRACT

Measurement of void fraction by two different methods was done: a) high frequency probe technique; b) gamma ray technique. It was able to calibrate the electronic circuits used with the high frequency probes to a level which can give the same result as gamma ray technique.

INTRODUÇÃO

O fenômeno de escoamento bifásico é de grande importância em reatores refrigerados à água. Quando o refrigerante sofre uma mudança parcial de fase ocorre, então, escoamento bifásico. Normalmente, o fenômeno ocorre em reatores a água fervente (BWR), e em reatores a água pressurizada (PWR), ou a outro líquido refrigerante, quando operando com alta densidade de potência.

Dentre os parâmetros de interesse em escoamento bifásico, a fração de vazio ou densidade bifásica é o que mais se destaca e muitas técnicas tem sido desenvolvidas com objetivo de determiná-la experimentalmente. Basicamente, a fração de vazio pode ser determinada por métodos locais e globais. Os locais são representados pelas técnicas de: anemômetro à fio quente, cujo parâmetro medido é a variação do coeficiente de transferência de calor entre o líquido e o gás (vapor); sondas ópticas, que medem a variação do índice de refração do meio ou a atenuação de um feixe de luz; e sondas elétricas, que medem os tempos de residência das fases em contato com a ponta da sonda. Os globais utilizam as sondas elétricas e ópticas, fazendo integração dos dados ponto a ponto, técnicas de absorção ou difusão de radiação tal como: raios X, γ , β e nêutrons. Medição direta dos volumes de líquido e gás: técnica de válvula de fechamento rápido.

Este trabalho descreve a calibração de um sistema eletrônico associado a uma sonda de rádio-frequência, para determinação da fração de vazio local e global, usando um circuito ar-água, no qual se trabalhou com o regime a bolhas aglomeradas. Para comparação dos resultados obtidos pelas sondas de rádio-frequência foi utilizada a técnica de absorção gama.

TÉCNICA DE ABSORÇÃO DE RAIOS GAMA

A técnica de medida de fração de vazio por absorção de raios gama se baseia no princípio de que a intensidade de um feixe de raios gama, colimado, ao atravessar uma substância qualquer, diminui exponencialmente. Matematicamente, a intensidade emergente é dada por [1]:

$$N = N_i e^{-(\mu/\rho)\rho x} \quad (1)$$

onde:

N = intensidade do feixe emergente (contagem/seg)

N_i = intensidade do feixe incidente (contagem/seg)

μ/ρ = coeficiente de absorção de massa do material para a energia do feixe incidente (cm^2/g)

ρ = densidade do material (g/cm^3)

x = espessura do material atravessado pelo feixe de raios gama (cm).

Fração de vazio média linear

Quando um feixe de raios gama, colimado, atravessa uma seção de testes, por onde flui uma mistura bifásica, ar-água ou vapor-líquido, ao longo de uma corda, o feixe sofre atenuação diferenciada, dependendo do material, ao atravessar a parede da seção de testes, o líquido e o gás. Admitindo que as fases fluem separadas de maneira que a atenuação seja em série, tem-se que:

$$N = N_i \exp(-\mu_p x_p) \exp[-\mu_l (1 - \bar{R}_{g1}) x_d] \exp(-\mu_g \bar{R}_{g1} x_d) \quad (2)$$

onde:

x = espessura total da parede
 x_d^p = comprimento da corda interna na qual incide o feixe de raios gama
 μ_p, μ_g, μ_l = coeficientes de atenuação linear do material da parede da secção de testes, do gás e do líquido (cm⁻¹).
 \bar{R}_{g1} = fração de vazío média linear

A fração de vazío média linear, \bar{R}_{g1} , é a relação entre o volume de gás contido em uma corda e o volume total desta corda na secção de testes.

Para escoamento bifásico, gás-água, à pressão e temperatura ambientes de mostra-se que [1]:

$$\bar{R}_{g1} = \frac{\log \frac{N/N_0}{N_1/N_0}}{\log \frac{N_1/N_0}{N_0/N_0}} \quad (3)$$

onde:

N_0 = intensidade emergente para a secção de testes contendo apenas líquido do ($\bar{R}_{g1} = 0$)
 N_1 = intensidade emergente para a secção de testes contendo apenas gás ($\bar{R}_{g1} = 1$)
 N = intensidade emergente para a secção de testes contendo uma mistura gás-água.

SONDA DE RÁDIO-FREQUÊNCIA

A técnica de sondas resistivas de rádio-frequência utiliza coeficientes diferenciados de reflexão para ar (bolhas) e água. A sonda de rádio-frequência é basicamente um fio condutor de diâmetro de 0,3 mm encamisada em um microtubo de aço isolado com Al_2O_3 (alumina). Um gerador de rádio-frequência produz uma onda estacionária que é estabelecida no conjunto linha de transmissão e sonda de rádio-frequência. A largura do sinal resultante da demodulação da onda estacionária, obtida por um medidor de razão de onda estacionária, contém a informação do tempo de trânsito (tamanho da bolha) na referida sonda de rádio-frequência [2,3], conforme vemos na Figura 1. No entanto, o sinal resultante da sonda de rádio-frequência é muito irregular para bolhas pequenas, ocasionando erros na medida de fração de vazío. Para resolver esse problema foi construído um circuito formatador de pulsos [2].

O circuito formatador de pulsos é constituído basicamente de 2 blocos: um bloco discriminador (Schmith-Trigger) e um bloco diferenciador. O sinal formado (quadrado) resultante é "disparado" concomitantemente ou opcionalmente pelo discriminador mínimo ou pelo tempo de subida do pulso selecionado no circuito diferenciador e zerado pelo discriminador máximo ou tempo de descida do pulso. O maior problema relacionado ao uso da técnica de sondas de rádio-frequência está associado à calibração da sensibilidade do formatador. O sinal elétrico proveniente da sonda é, em grande parte, de bolhas em processo de coalescência resultando sinais elétricos "empilhados" que somente o bloco diferenciador pode resolver com maior eficiência. A característica principal dos pulsos de saída da sonda é de pulsos de mesma altura, só variando a largura associada ao tamanho das bolhas. Somente as pequenas bolhas não seguem esse padrão. O ajuste do circuito formatador é crítico pois o bloco diferenciador é muito sensível.

ARRANJO EXPERIMENTAL

O arranjo experimental utilizado compõe-se de uma bancada de estrutura metálica (calhas), onde foram fixadas 3 plataformas: uma para posicionamento da blindagem da fonte gama (Cs-137), outra plataforma para posicionamento da blindagem do detector NaI(Tl) e uma terceira, em um plano mais baixo, para fixação da base da secção de testes. O restante do equipamento utilizado: gerador UHF Rohde e Schwarz tipo SDR, gravador HP 3960A, amplificador ORTEC 435A, contador ORTEC 430 e um temporizador ORTEC 773, amplificadores, sondas de rádio-frequência e medidores de razão de onda Estacionária, fabricados pelo IKH (Universidade de Hannover, RFA) e um computador Analisador de Fourier HP-5451B. A sonda foi fixada na parede da secção de testes através de uma flange, e a direção do seu deslocamento radial era a mesma da corda percorrida pela radiação gama, apenas que em uma cota imediatamente inferior para não ser interceptada pela flange da sonda de rádio-frequência. A fonte gama e o detector foram alinhados com o auxílio de um raio laser Hélio-Neônio com feixe de diâmetro 1 mm. Ver as Figuras 2, 3 e 4.

O tempo de gravação dos sinais da sonda de rádio-frequência para cada posição da sonda foi de 10 minutos, suficientes para criar 300 blocos de dados contínuos para termos uma boa estatística. O cálculo da fração de vazio local foi feito por um programa utilizando teclado de funções do Analisador de Fourier, calculando a área dos pulsos formatados dividido pela área total. Esses valores de fração de vazio locais foram integrados através da "regra de Simpson" num programa em BASIC.

O nível máximo do discriminador escolhido foi 1 volt e o nível mínimo, como o nível de ruído do sinal da sonda depende criticamente da frequência de operação e dos comprimentos dos cabos, deve ser ajustado a cada série de testes. Foi gravado antes de cada série de medidas, fixada a frequência de operação, o sinal da sonda na secção de teste sem vazão de ar. Esse sinal gravado, foi aplicado ao formatador para os ajustes finais do nível do discriminador mínimo e do circuito diferenciador de modo a não termos nenhum sinal de saída do formatador. Várias séries de testes foram ajustando o circuito formatador até obtermos valores de fração de vazio o mais próximo possível da fração de vazio calculada por absorção gama.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresentamos na Tabela 1 os resultados dos valores de fração de vazio medidos pela sonda de rádio-frequência e pela técnica de absorção gama, ver a Figura 4. Na tabela, valores obtidos pela sonda subestimam sistematicamente os valores medidos pela absorção gama. Dois fatores podem explicar tais fatos, o primeiro é que deve haver bolhas cujo tamanho diminuto não "disparem" o circuito formatador e segundo fator é a geometria das sondas que não é apropriada para a nossa secção de testes, pois são projetadas para trabalhar em pressões altas e para serem instaladas na parede da secção de teste. A camisa da sonda tem diâmetro de 10 mm e a ponta da sonda, recurvada contra o sentido do escoamento, está separada do final da camisa de 2 mm dificultando a penetração, pela ponta da sonda, de bolhas com diâmetros maiores que 4 mm aproximadamente, tornando deficiente a medida de fração de vazio. Para baixos valores de fração de vazio o processo de absorção gama apresenta maiores erros, sendo que para fração de vazio na ordem de 5% o erro pode atingir 50% [4] e para valores de 10% de fração de vazio o erro pode atingir 15%. Resultados mais conclusivos só poderão ser registrados quando do teste com sondas com nova geometria e a possibilidade de obtenção de maiores valores de fração de vazio na secção de testes.

Tabela 1. Valores de Fração de Vazio, F.V., Medidas por Sonda RF, por absorção Gama e os Obtidos por Integração dos Valores Medidos por Sonda RF

Teste		POSIÇÃO DA Sonda EM MM					F.V. por Integração (%)	F.V. por Gama (%)	Erro (%)
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0			
1	F.V. sonda(%)	7,64	8,45	8,19	8,63	11,74	8,67	9,70	10,61
2	F.V. sonda(%)	14,98	15,79	15,15	14,17	13,85	14,93	16,80	11,13

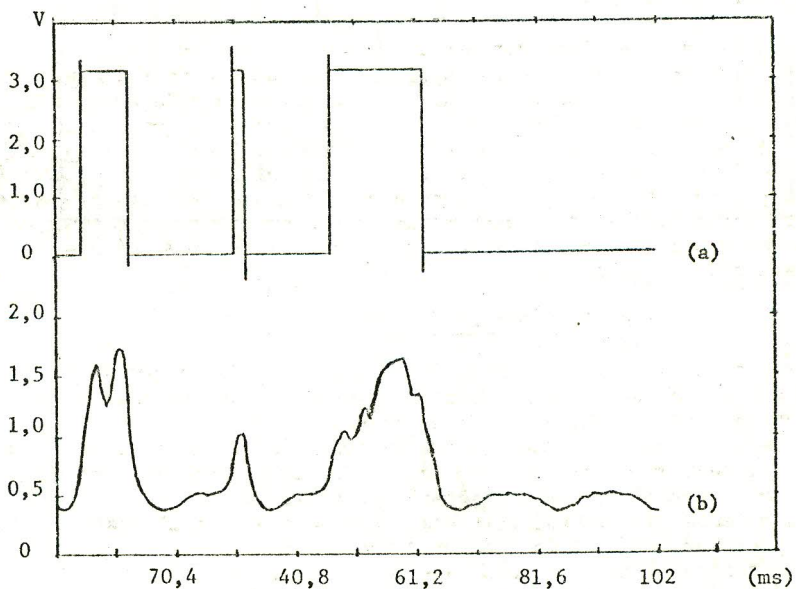


Figura 1. a) Amostra do sinal do formador de pulsos
b) Amostra do sinal da sonda RF

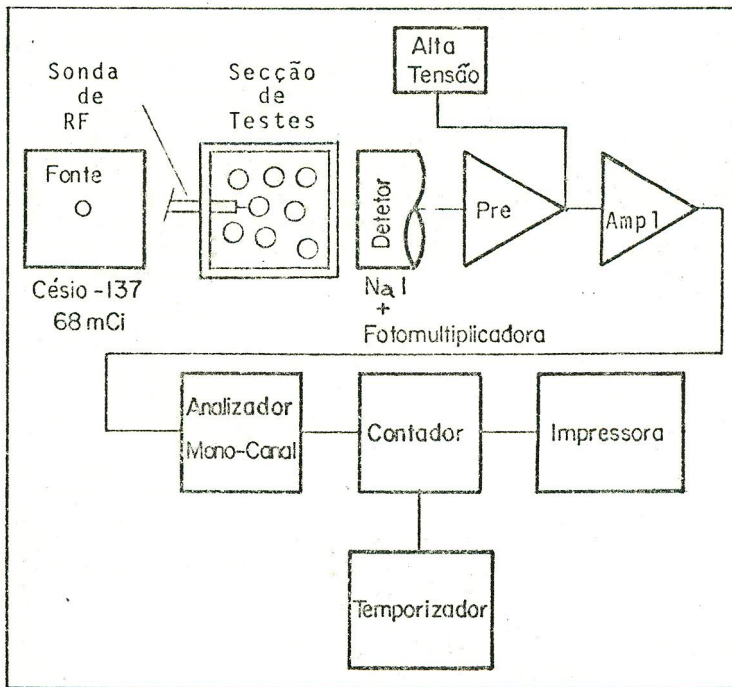


Figura 2. Sistema de Medida de Fração de Vazio média Unidimensional ($\bar{\rho}_1$) Por Absorção de Radiação Gama

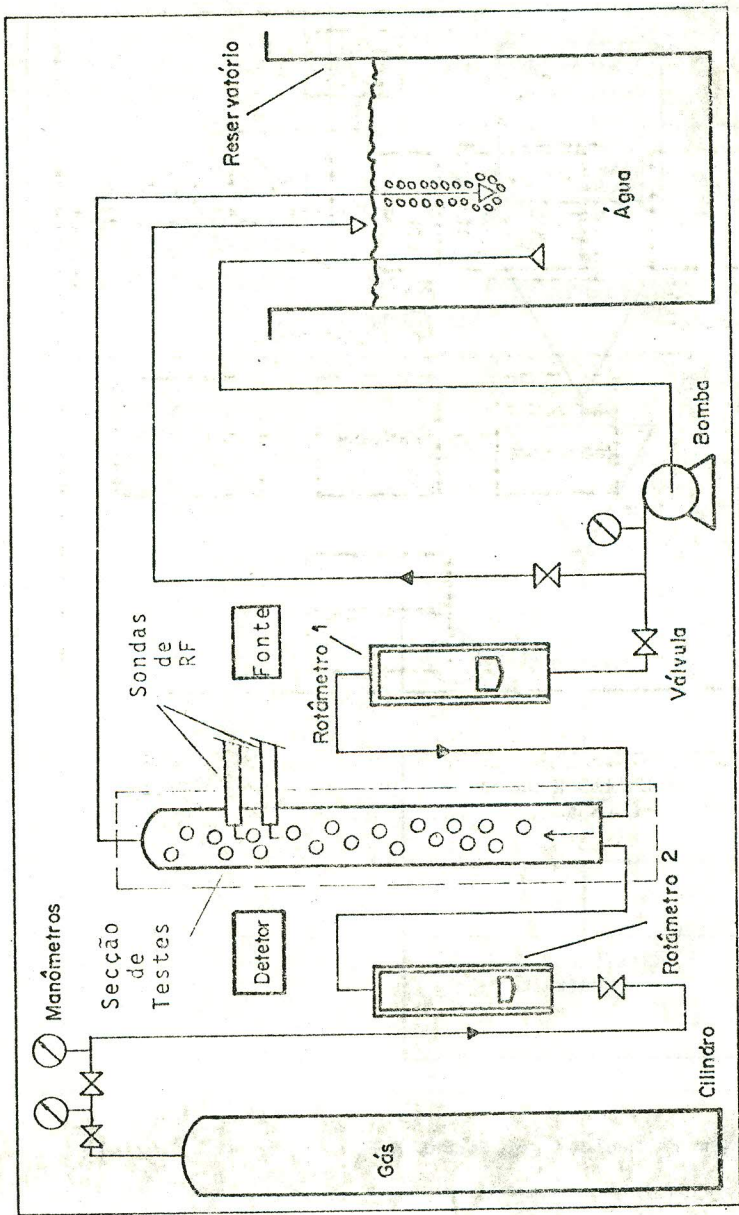


Figura 3. Arranjo Experimental

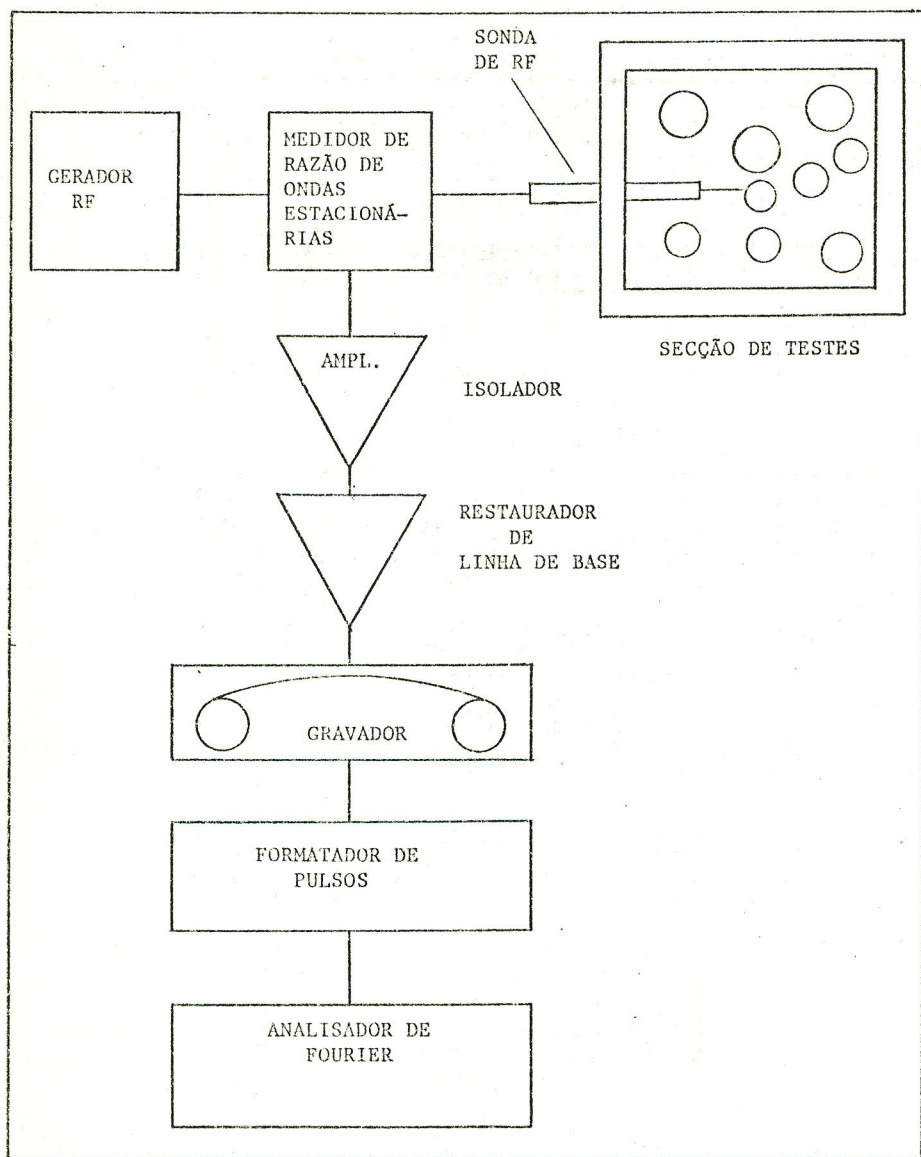


Figura 4. Sistema de Medidas por Sondas R.F.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao Dr. José Antonio Diaz Dieguez, Chefe do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais do IPEN - CNEN/SP, aos eng^{os}. Angelo Massatoshi Ebesui e José Carlos de Almeida. Um agradecimento especial à Srta. Edna Maria Martins Coelho pelo trabalho de datilografia e sugestões.

REFERÊNCIAS

- [1] J.M. DELHAYE, M. GIOT e M.L. RIETHMULLER, Thermohydraulics of two phase Systems for Industrial Design and Nuclear Engineering, Hemisphere - Mac Graw Hill, 1981.
- [2] E. KASSAR e C.G. NOGUEIRA, "Testes do Circuito Formatador de Sinais de Sondas HF", 320060045/01, IPEN-CNEN/SP.
- [3] N. ABUAF, T.P. FEIERABEND, G.A. ZIMMER e O.C. JONES Jr., "Radio Frequency Probe for Bubble Size and Velocity Measurements" Rev. Sc. Instrum., 50 (10), Oct. 1979.
- [4] H.H. HOOKER e G.F. POPPER, "Gamma Ray Attenuation Method for void Fractions Determinations in Experimental Boiling Heat Transfer Test Facilities", ANL-5766, Argonne National Laboratory, Illinois, 1958.
- [5] R.D. Silva, "Medida de Fração de Vazio em Escoamento Bifásico, Gás-Água, em Tubos Verticais Usando Absorção Gama", Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1985.