



Projeto de Iniciação Científica

Medidor de concentração de ar em água em escoamento

Aluna: Renata Fornasari Guerra
Orientador: Prof. Eugênio Spanó Rosa

Índice

1. Introdução	3
1.1. Resumo	3
1.2. Motivação	4
1.3. Objetivo	4
1.4. Revisão da Literatura	4
2. Processo Construtivo da Sonda	5
3. Princípio de funcionamento da sonda e do circuito de Acionamento	8
4. Método da medida da concentração de vazios média, $\langle \alpha \rangle$	11
5. Procedimento Experimental	13
5.1. Cálculo da concentração média, $\bar{\alpha}$	15
5.2. Método da medida da concentração de vazios local, α_i	15
6. Resultados experimentais	17
7. Referências Bibliográficas	18

1. Introdução

O escoamento bifásico é um desafio para a elaboração de modelos físicos, também por existirem diferentes padrões de escoamento, por exemplo, na vertical: bolhas dispersas (que será o estudado por esse projeto), intermitente, agitado e anular.

Entre outros parâmetros locais, tais como velocidade da bolha, frequência e tamanho da bolha, a fração de vazios é importante na área da engenharia para o design de reatores nucleares, boilers, equipamentos de refrigeração e outros. Portanto, a determinação de vazios em escoamento vem sendo enfatizada, tendo vários trabalhos bem sucedidos.

No trabalho que realizamos, a sonda intrusiva é inserida no escoamento, perfurando o gás disperso e sentindo a mudança de fase pelas propriedades elétricas, pois a água é um bom condutor, enquanto o ar apresenta baixa condutividade. A medida de concentração é então encontrada no tempo em que a bolha permanece em contato com a sonda dividido pelo tempo total do teste.

1.1. Resumo

O presente trabalho pretende realizar medidas de concentração volumétrica de gás em uma mistura de gás e líquido. Para tanto, construímos uma sonda adaptada para sentir as duas fases do escoamento ao longo da linha que cruza o diâmetro de um tubo. Os sinais da sonda serão lidos em um programa feito no Software LabView, a partir do qual tiraremos uma concentração local de pontos. A medida de comparação será a concentração volumétrica média, que por meio de válvulas de fechamento rápido, é medida pela variação de volume em colunas de líquido estacionário.

1.2. Motivação

A motivação é a construção do sensor intrusivo de impedância para determinar a concentração de bolhas para diferentes tipos de escoamento. Faremos uma análise para determinar a partir de que ponto podemos considerar o sinal adquirido como sendo bolha ou apenas ruído.

Esse estudo servirá como base para trabalhos futuros, onde poderemos, por exemplo, encontrar a velocidade da bolha. Isso porque, obtendo bons resultados para a sonda de um único fio, construiremos outra com fio duplo, permitindo o estudo de outros parâmetros de escoamentos.

1.3. Objetivo

Mediremos concentrações locais em pontos diferentes do diâmetro do tubo, e integraremos numericamente, e também teremos medidas médias para cada concentração. Será obtida experimentalmente uma curva correlacionando a posição radial com a medida da concentração volumétrica para os diferentes padrões de escoamento, nos permitindo analisar a diferença entre as medidas da sonda e as medidas médias.

1.4. Revisão da Literatura

O método de sonda com resistividade elétrica foi proposto por Nassos (1963), e posteriormente, entre outros, no artigo de Serizawa et. al. (1975), onde também é usada a diferença de condutividade entre água e ar, calculando a concentração de vazios pelo tempo em contato com a bolha dividido pelo tempo total do teste. Mas nesse caso foi usada uma sonda de fio duplo, e assim o tempo em contato com a bolha era medido a partir do momento em que a bolha encostava no fio mais comprido (start) até atingir o fio mais curto (stop).

O mesmo método para concentração de vazios foi publicado no artigo de Kocamustafaogullari and Wang (1991). Tendo a distancia de uma ponta até

outra, foi possível calcular também a velocidade da bolha, como foi proposto por Herringe and Davis (1976).

No artigo de Herringe and Davis, tendo a velocidade da bolha e o sinal captando o tempo desse trajeto, é proposta uma correlação para achar o tamanho da corda da bolha que foi perfurada, da forma:

$$x = u_c \Delta t_i \quad (1)$$

Onde u_c é a velocidade calculada anteriormente e Δt_i é o tempo de contato com cada bolha. Seguindo a mesma linha, Dias et. al. (2000) faz análises estatísticas e expressões para distribuição de velocidade e cordas das bolhas.

2. Processo Construtivo da Sonda

Etapa 1 – Trefilação:

O fio que entra em contato com o escoamento é de ouro, pois é um metal nobre e de difícil oxidação. O ouro é achado no mercado com diâmetro de no mínimo 0,9 mm, portanto precisamos trefilá-lo. Na trefilação o fio é esticado através de uma matriz em forma de canal convergente (ver fig. 1a e 1b), sendo tracionado ao lado da saída da matriz, ver fig. 1c. Passamos por várias matrizes até chegar ao diâmetro de 108 micrômetros, ver fig. 1d.

Etapa 2 – Isolamento:

Foi comprado um fio encapado de menos de 10 mm de diâmetro, do qual trocamos seu fio de dentro pelo fio de ouro, usando sua capa para isolar o fio de ouro, ver fig. 2.

Etapa 3 – Inserção na agulha:

Usamos uma agulha de aço inoxidável de 0,9 mm de diâmetro externo com um comprimento de aproximadamente 100 mm (na parte de aço), ver fig. 3.

Etapa 4 – Vedação da sonda:

Colocamos uma rosca para ligar a sonda ao tubo de escoamento, ver fig. 4a. Ela também servirá de vedação, pois colocamos em seu interior uma borracha que impedirá vazamento de água pelo furo onde entrará a sonda. Logo após, inserimos o fio, ver fig. 4b.

Etapa 5 – Moldagem da sonda:

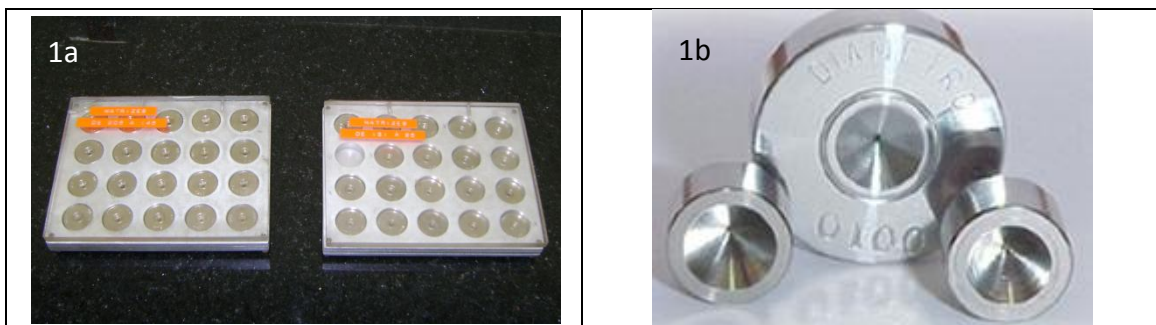
Curvamos a agulha 90° num raio de 11 mm, pois assim a face não isolada da sonda ficará perpendicular ao escoamento, percebendo em toda sua área facial a passagem de líquido ou gás, ver fig. 5.

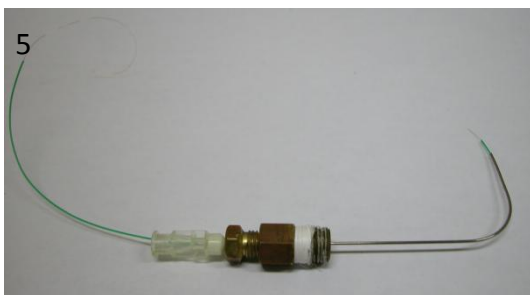
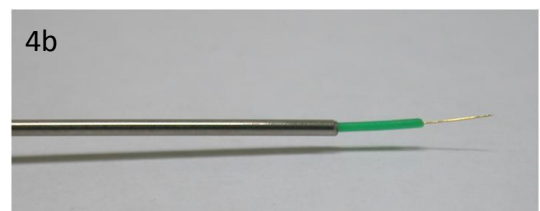
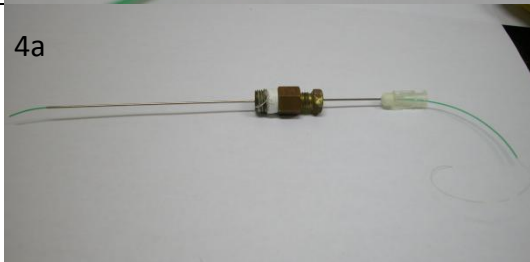
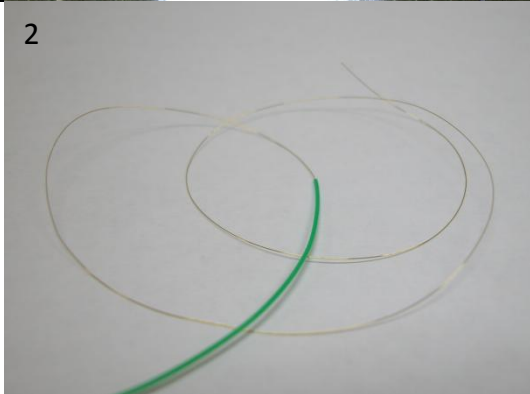
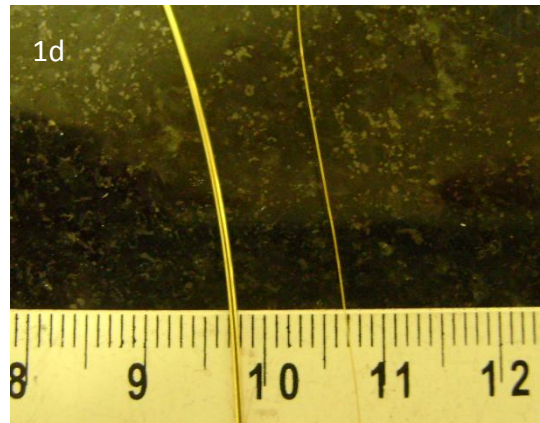
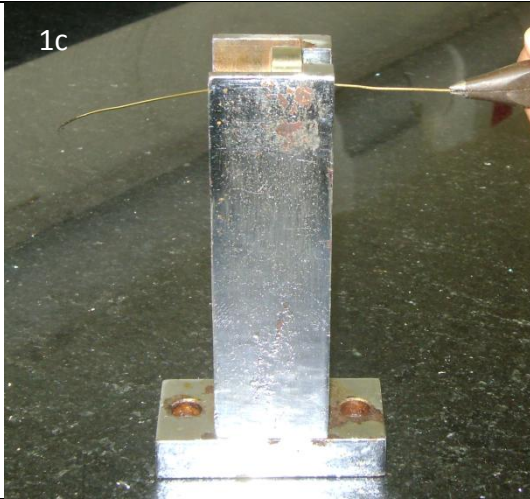
Etapa 6 – Adaptação ao micrômetro:

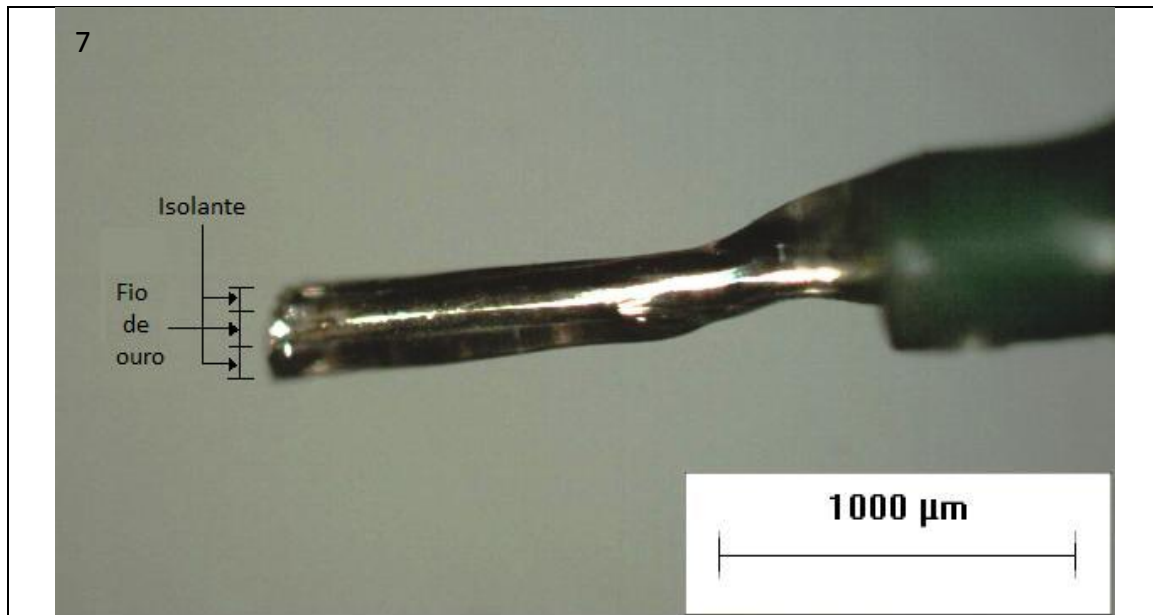
Fazemos uma rosca em sua parte de plástico para encaixar a sonda a um micrômetro, ver fig. 6. Esse conjunto é montado em um suporte feito de acrílico, para manter a sonda sempre ligada ao escoamento na mesma reta. O micrômetro fará a sonda se mover ao longo do diâmetro do tubo com escoamento, ao mesmo tempo que medirá sua posição

Etapa 7 – Acabamento da extremidade:

Para que o fio de ouro tenha somente a face em contato direto com o escoamento, isolamos sua ponta com a cola de epóxi Araldite aproveitando também suas propriedades para fixar o fio na capa e à agulha. A ponta da sonda terá aproximadamente 2 mm, ver fig. 7.







3. Princípio de funcionamento da sonda e do circuito de Acionamento

O circuito se baseia em obter um sinal variando de 1 a 5, através das impedâncias da água e do ar vistas pelo sensor. Como a impedância da água é menor que a do ar, calibramos o sensor para 1 com o tubo cheio de água, e 5 para o tubo cheio de ar.

O circuito primeiramente gera uma onda senoidal de alta frequência, 100KHz e com amplitude de aproximadamente 9V rms. Essa onda é gerada por uma ponte de Wien, e pode ser ajustada através de um trimpot que regulará a amplitude do sinal de saída, que é a parte do ganho da ponte, que conseqüentemente regula a frequência. A onda senoidal será importante para evitar a hidrólise do sensor em contato com a água, e a alta frequência diminui a impedância no sensor.

Essa onda então “alimentará” uma ponte de Wheatstone (veja Figura 8), que possui em uma das ramificações, um resistor e o sensor, e na outra ramificação, um resistor e um trimpot, que será o sinal de referência. Esta ponte equilibrará apenas a amplitude do sinal, ou seja, caso o sensor tenha uma capacitância,

como a outra ramificação possui apenas resistores, haverá uma defasagem entre o sinal de referência e o do sensor. Para regulação da fase, há um circuito derivador do sinal de referência, cuja constante de tempo RC pode ser regulada por um trimpot. A regulação do sinal foi para água, ou seja, com o tubo cheio de água, a diferença do sinal do sensor e da referência, após ajuste de amplitude e fase, deve ser o mais próximo de zero. Caso o tubo esteja cheio de ar, a diferença será maior. Essa diferença é medida através de um amplificador operacional regulado com um certo ganho, em que as entradas serão o sinal de referência e o sinal do sensor, e a saída será a diferença destes sinais amplificada.

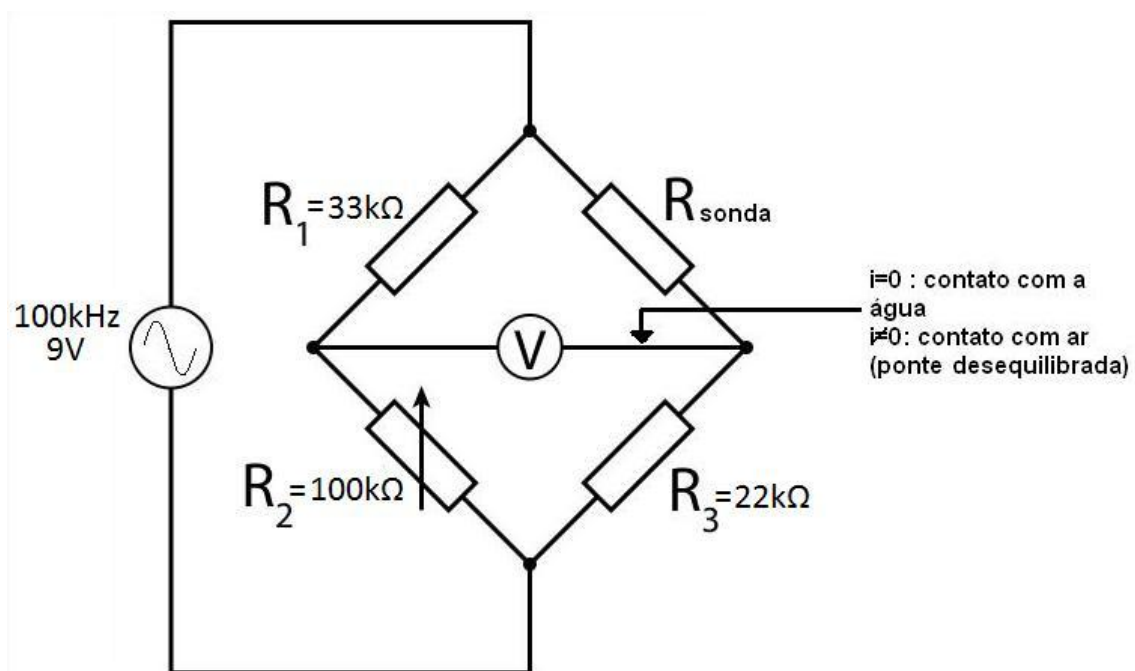


Figura 8 – Ponte de Wheatstone

Na saída do amplificador operacional citado, a onda gerada ainda será uma senóide, no entanto é esperado um sinal contínuo. Portanto, na saída do amplificador operacional há um filtro utilizando um diodo, capacitores e resistores para se obter a tensão média, como um demodulador AM. Isso pois caso a tensão de pico seja baixa, significa que a diferença entre a referência e o sensor é mínima, ou seja, o tubo está com água. Se a tensão média for alta, existe uma maior diferença entre a referência e o sensor, caracterizando um tubo com ar na região do sensor.

Existe uma regulagem de offset e ganho posterior a demodulação, para que o sinal seja 1 com o tubo cheio de água e 5 para o tubo com ar.

A regulagem de ganho é feita através de um amplificador operacional com ganho não-inversor dado por:

$$A=[1+(R_{\text{ganho}}/R)] \quad (2)$$

Em que “R” é uma resistência fixa e “R_{ganho}” é um trimpot.

Com a regulagem do ganho, podemos calibrar a diferença de amplitude na saída, entre o tubo cheio de água ou de ar. Idealmente esta diferença deve ser 4, pois 5-1=4.

Também é necessária a regulagem de offset, pois caso contrário, mesmo com o ganho regulado, o sinal poderia trabalhar entre 0 e 4, ou 0,5 e 4,5, etc. Para isto, utilizamos um amplificador operacional como follower, mas com regulagem de tensão na entrada positiva do amplificador operacional. Pela entrada do amplificador operacional ser um curto virtual, ou seja, um curto com alta impedância, a tensão na entrada negativa deve ser praticamente a mesma da entrada positiva, mas sem distorção no sinal devido a alta impedância. Ou seja, a tensão na saída será a da entrada positiva somada a tensão na entrada negativa sem modifica-la.

A tensão na entrada positiva é regulada através de um divisor de tensão utilizando um trimpot cujas tensões máxima e mínima são as de alimentação do amplificador operacional.

Após esta etapa, o sinal está quase pronto para viajar na linha, faltando apenas converter o sinal em tensão para corrente, pois a tensão pode variar de um ponto a outro caso haja uma impedância entre estes pontos, mas a corrente é a mesma se não houver ramificações.

Para esta conversão, foi utilizado um circuito com amplificador operacional que transforma sinais de 1 a 5Vs para 4 a 20mA. Este sinal viaja pela linha

até um bloco que converterá a corrente para tensão, e posteriormente para um sinal digital que será interpretado pelo computador.

Medindo a impedância da sonda no multímetro, obtivemos 142,9 k Ω e fase -56° quando em contato com a água, e 266,4 k Ω e fase -90° quando em contato com ar.

4. Método da medida da concentração de vazios média, $\langle \alpha \rangle$

Para que se tenha uma base comparativa da concentração de vazios que a sonda medirá, calculamos uma concentração média baseada na geometria da seção de testes.

A seção de testes constitui de um tubo de 26 mm de diâmetro interno. Escolhemos o nível de água em seu interior preenchendo-o manualmente com água por sua extremidade. As bolhas são geradas em sua parte inferior a partir de uma pedra porosa ligada a uma mangueira fina que vem do compressor de ar. O nível de bolhas é regulado por válvulas presentes tanto no compressor, quanto outra montada na mangueira. Trabalharemos com bolhas de diâmetro entre 3 e 4 mm.

Tendo medido a altura da coluna de água sem gás (chamaremos de h) e, posteriormente, com gás (chamaremos de H), veja Figura .

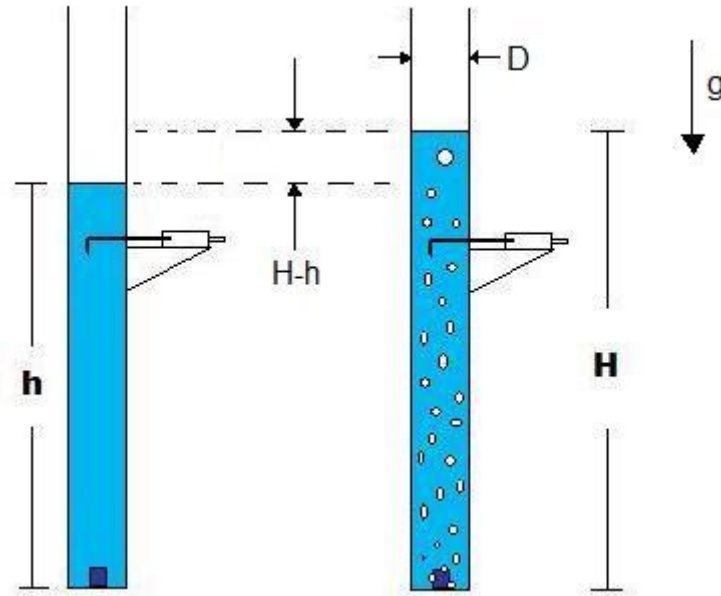


Figura 9 – Seção de testes para medida de $\langle \alpha \rangle$ pela diferença de alturas

Com dois volumes diferentes $[(\pi D^2/4) \cdot h]$ e $[(\pi D^2/4) \cdot H]$, tomamos como hipótese, que o volume de gás no escoamento é a diferença desses dois, e fazemos a aproximação de que sua concentração média $\langle \alpha \rangle$ é seu volume dividido pelo volume total (da altura H), temos então:

$$V_i = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h - V_p \quad (3)$$

$$V_f = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H - V_p \quad (4)$$

V_p = Volume da pedra porosa = 4415,625 mm³

$$\langle \alpha \rangle = \frac{V_f - V_i}{V_f} \quad (5)$$

$$\langle \alpha \rangle = 1 - \frac{h - V_p / \pi D^2 4}{H - V_p / \pi D^2 4} \quad (6)$$

Sabemos que h_p (altura de líquido equivalente ao volume da pedra)=10,63mm

$$\langle \alpha \rangle = 1 - \frac{h - h_p}{H - h_p} \quad (7)$$

As alturas medidas têm uma margem de erro, principalmente quando se borbulha o ar pois a coluna não fica mais estática, portanto estas ficam variando entre um máximo e mínimo. Seus valores estimados foram:

Teste #	h (mm)	H (mm)	$\langle \alpha \rangle$	ϵ	$\delta \langle \alpha \rangle$
1	144,6	150	3,60%	18%	0,65%
2	144,6	152,5	5,20%	12%	0,64%
3	144,6	160	9,70%	6%	0,61%

5. Procedimento Experimental

A seção de testes constitui de um tubo de acrílico com 26 mm de diâmetro interno, posicionado na vertical. As medidas são realizadas a 147,5 mm da injeção de ar. O diâmetro das bolhas varia entre 1,5 e 3 mm. A sonda foi posicionada em alguns pontos ao longo do diâmetro no tubo. Zeramos o micrômetro na parede interna contrária de onde entra a sonda, assim varremos todo um raio até chegar ao meio, onde medirá 13 mm, ver Figura .

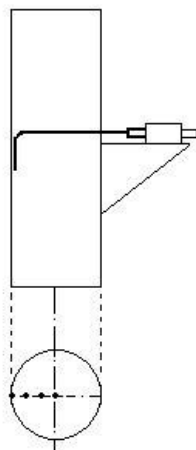


Figura 10 - Micrômetro zerado

Pegamos os pontos 3, 5, 7, 9, 11 e 13 mm medidos no micrômetro. Para cada um deles, consideramos que ao longo de toda sua área, sua concentração de ar será a mesma, veja Figura .

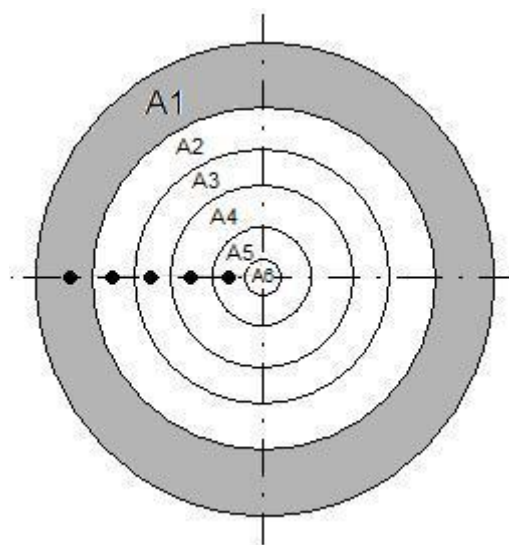


Figura 11 – Áreas médias de cada ponto

Através do perfil da medida de concentração local, α_i , obtem-se a concentração média na seção por integração numérica.

5.1. Cálculo da concentração média, $\bar{\alpha}$

As áreas são calculadas como: $\pi(R_i^2 - r_i^2)$. Acharmos a concentração total então pela somatória de cada área vezes sua respectiva concentração (medida no programa) e posteriormente dividindo tudo pela área total do tubo:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^6 (A_i \cdot \alpha_i)}{\pi \cdot R^2} \quad (8)$$

Simplificando, temos:

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{r_i}{R}\right) * \alpha_i \quad (9)$$

5.2. Método da medida da concentração de vazios local, α_i

A sonda é ligada no circuito de acionamento descrito anteriormente, e então ligado a uma placa da National Instruments (NI). Esse sinal é captado e estudado por um programa feito no Software LabView da NI, ver figura 12.

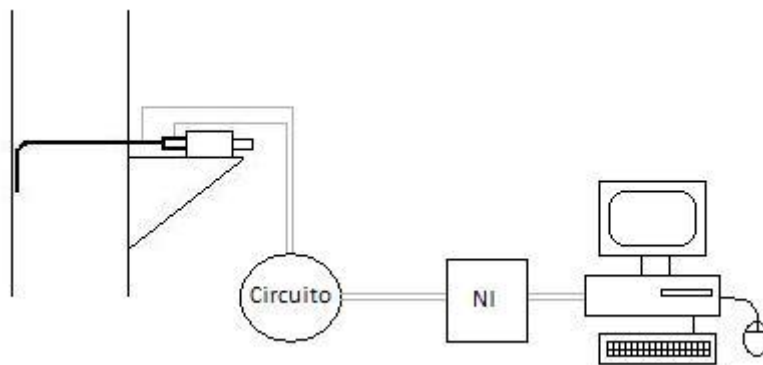


Figura 12 – Montagem para aquisição do sinal

Já que o sinal analógico da sonda varia entre 1 e 5V, com uma frequência de aquisição de 3kHz, normalizamos a curva para que varie de 0 (sonda em

contato com água) a 1 (sonda em contato com ar), obtendo um sinal quadrado, ver Figura 13.

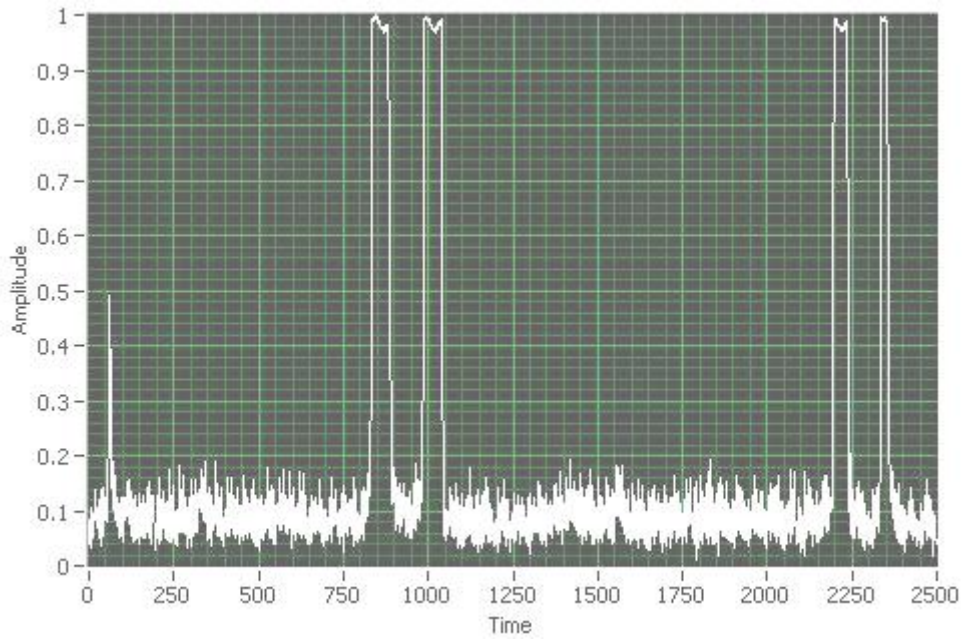


Figura 13 - Sinal da sonda

A partir desse programa, podemos calcular a concentração de vazios local, somando os tempos no qual a onda passa de um fator de corte, dividindo pelo tempo total de aquisição do sinal.

$$\alpha_i = \frac{\sum_{i=1}^N t_{g,i}}{t_{total}} \quad (10)$$

Para escolher esse fator de corte, estudamos 10 deles entre 0 e 1, sendo que os que mais se aproximam da medida média de concentração, foram 0,9 e 0,95.

O tempo total de aquisição também foi testado desde meio minuto até três minutos. Escolhemos o tempo de dois minutos por sua maior precisão.

Com o fator de corte e o tempo de aquisição, colocamos no programa um medidor de quantidade de bolhas, que será ativado cada vez que a curva atingir o fator de corte e contará uma unidade quando deixá-lo.

6. Resultados experimentais

Fizemos testes para 3 concentrações diferentes, calculados inicialmente pela medida média. Obtivemos os seguintes resultados:

	Teste#1		Teste#2		Teste#3	
	fc=0.9	fc=0.95	fc=0.9	fc=0.95	fc=0.9	fc=0.95
r/R	α	α	α	α	α	α
(---)	%	%	%	%	%	%
1	0	0	0	0	0	0
0,77	3,2	3,2	4,9	4,8	7,1	7,0
0,62	4,7	4,7	6,3	6,2	11,8	10,7
0,46	4,8	4,7	7,2	7,1	12,1	11,9
0,31	4,4	4,4	7,2	7,1	13,8	13,7
0,15	4,7	4,6	7,2	7,1	15,2	15,1
0,00	4,5	4,4	7,0	7,0	15,3	15,2

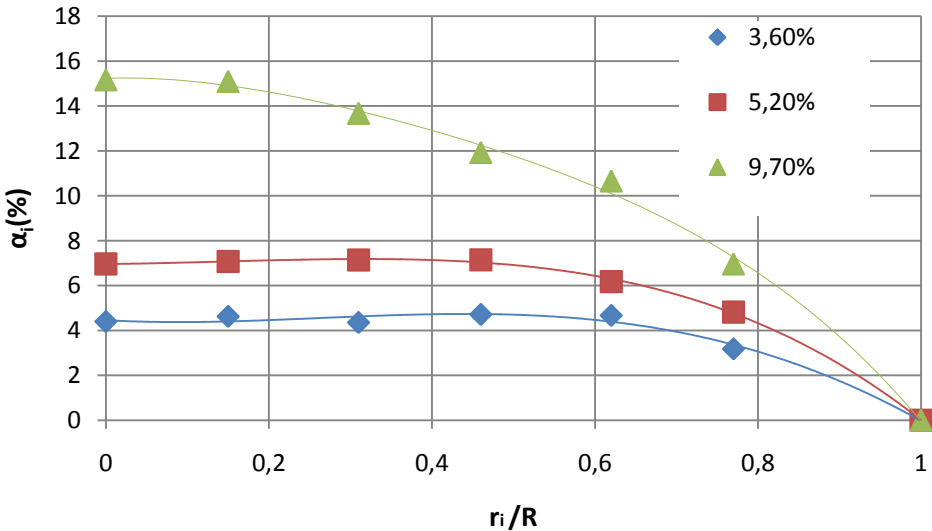


Figura 14 – Curva dos dados $r_i/R \times \alpha_i$

	Teste #1	Teste#2	Teste#3
$\langle \alpha \rangle$	3,6% $\pm 0,65\%$	5,2% $\pm 0,64\%$	9,7% $\pm 0,61$
$\alpha\%$	3,8%	5,7%	10,4%

Podemos observar pelo gráfico que há mais bolhas no centro do tubo, decrescendo a medida que chega perto da parede interna. Exceções ocorrem quando passam mais ou menos bolhas no tempo escolhido para a aquisição de determinado ponto, e assim às vezes um ponto mais próximo a parede do que o anterior, capta uma concentração maior.

Para visualizar melhor, obtivemos pelo programa a quantidade de bolhas para cada ponto e concentração média:

pontos (mm)	3,60%	5,20%	9,70%
3	444	586	781
5	665	824	1252
7	735	1026	1466
9	712	1018	1671
11	736	1075	1885
13	766	1054	1870

Pegando por exemplo, para $\langle \alpha \rangle = 5,2\%$, o ponto $r/R=0$, localizado no centro do tubo mediu menor concentração do que o ponto $r/R=0,15$ (mais próximo a parede), porque em sua aquisição passaram menos bolhas, como vemos na tabela.

7. Referências Bibliográficas

1. Dias, S.G., França, F.A. and Rosa, E.S., (2000), "Statistical method to calculate local interfacial variables in two-phase bubbly flows using intrusive crossing probes", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 26, pp. 1797-1830.
2. Herringe, R.A. and Davies, M.R. (1976), "Structural development of gas-liquid mixture flows", *J. Fluid Mechanics*, vol. 73, pp. 97-123.

3. Kocamustafaogullari, G. and Wang, Z., (1991), " An Experimental Study on Local Interfacial Parameters in a Horizontal Bubbly Two-Phase Flow", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 17, No 5, pp. 553-572.
4. Nassos, P.G., (1963), "Development of na Electrical Resistivity Probe for Void Fraction Measurements in Air/Water Flow". ANL-6738.
5. Serizawa, A., Kataoka, I. and Michiyoshi, I., (1975), "Turbulence Structure of Air-Water Bubbly Flow – I. Measuring Techniques", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 2. pp. 221-223.
6. Serizawa, A., Kataoka, I. and Michiyoshi, I., (1975), "Turbulence Structure of Air-Water Bubbly Flow – II. Local Properties", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 2. pp. 235-246.



Projeto de Iniciação Científica

**MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO VOLUMETRICA DE ÁGUA EM AR
UTILIZANDO MEDIDOR DE IMPEDÂNCIA**

Proponente: Renata Fornasari Guerra RA 073656

Orientador: Prof. Eugênio Spanó Rosa FEM/DE UNICAMP

Índice

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	RESUMO	4
3.	MOTIVAÇÃO	4
4.	OBJETIVO	5
5.	REVISÃO DA LITERATURA	5
6.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
6.1.	COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIDA	7
6.2.	NORMALIZAÇÃO DO SINAL	8
6.3.	DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA LOCAL	9
7.	MÉTODO DA MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE VAZIOS MÉDIA, $\langle \alpha \rangle$	10
8.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	12
9.	CONCLUSÕES	16
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	16

1. INTRODUÇÃO

O escoamento bifásico é um desafio para a elaboração de modelos físicos, também por existirem diferentes padrões de escoamento, por exemplo, na vertical: bolhas dispersas (que será o estudado por esse projeto), intermitente, agitado e anular.

Entre outros parâmetros locais, tais como velocidade da bolha, frequência e tamanho da bolha, a fração de vazios é importante na área da engenharia para o design de reatores nucleares, boilers, equipamentos de refrigeração e outros. Portanto, a determinação de vazios em escoamento vem sendo enfatizada, tendo vários trabalhos bem sucedidos.

No trabalho que realizamos, um sensor de impedância elétrica é inserido no escoamento, perfurando o gás disperso e sentindo a mudança de fase pelas propriedades elétricas, pois a água é um bom condutor, enquanto o ar apresenta baixa condutividade. A medida de concentração é então encontrada no tempo em que a bolha permanece em contato com a sonda dividido pelo tempo total do teste.

2. RESUMO

Esse trabalho pretende realizar medidas de concentração volumétrica de gás em uma mistura de gás e líquido. Para tanto, construímos uma sonda adaptada (sensor de impedância elétrica) para sentir as duas fases do escoamento ao longo da linha que cruza o diâmetro de um tubo. Variaremos as velocidades de ar e água, assim, com esses dados, teremos perfis diferentes da distribuição das bolhas. Chamamos essa concentração volumétrica de fração de vazios. Após integrações podemos calcular também a fração de vazios média para cada teste.

Utilizaremos como método comparativo, a fim de validar a medida de frações média, a pressão medida por instrumentos ligados ao tubo que serão feitos os testes.

3. MOTIVAÇÃO

A motivação desse estudo é o uso do sensor de impedância elétrica no escoamento bifásico ar-água. Faremos variação das velocidades de ar e de água, estudando diferentes perfis de distribuição de bolhas dispersas ao longo do diâmetro da seção de testes.

Faremos uma análise para determinar a partir de que ponto podemos considerar o sinal adquirido como sendo bolha ou apenas ruído.

4. OBJETIVO

Com o presente trabalho pretendemos validar o método de medição da fração de vazios com o sensor de impedância elétrica, usando como base a pressão medida ao longo da seção de testes com escoamento bifásico com bolhas dispersas. Uma vez que temos as medidas locais de fração de vazio, comparamos com aquela achada através de cálculos de mecânica dos fluidos.

Será obtida experimentalmente uma curva correlacionando a posição radial com a medida da fração de vazios para os diferentes padrões de escoamento.

5. REVISÃO DA LITERATURA

Kataoka and Michiyoshi (1975) constaram, através de experimentos com sonda local, usando velocidades diferentes para líquido e ar, que é possível obter uma fração maior de vazios próximo a parede do escoamento, assim sendo, a curva de seu gráfico fração de vazios $\times r/R$ decresce a medida que chegamos próximo a $r/R=1$ (centro do tubo).

O método de sonda com resistividade elétrica foi proposto por Nassos (1963), e posteriormente, entre outros, no artigo de Serizawa et. al. (1975), onde também é usada a diferença de condutividade entre água e ar, calculando a concentração de vazios pelo tempo em contato com a bolha dividido pelo tempo total do teste. Mas nesse caso foi usada uma sonda de fio duplo, e assim o tempo em contato com a bolha era medido a partir do momento em que a bolha encostava no fio mais comprido (start) até atingir o fio mais curto (stop).

O mesmo método para concentração de vazios foi publicado no artigo de Kocamustafaogullari and Wang (1991). Tendo a distancia de uma ponta até outra, foi possível calcular também a velocidade da bolha, como foi proposto por Herringe and Davis (1976). Seguindo a mesma linha, Dias et. al. (2000) faz análises estatísticas e expressões para distribuição de velocidade e cordas das bolhas.

6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A seção de testes constitui de um tubo de acrílico com 26 mm de diâmetro interno, posicionado na vertical. O tubo é acoplado em uma treliça, a qual contém bombas e compressores que permitem a variação da velocidade tanto de água quanto de ar (JL e JG). Essas serão variadas a fim de se obter um perfil diferente para cada teste.

Zeramos um micrômetro na parede interna contrária de onde entra a sonda, e varremos com a sonda em dez posições radiais até ao centro do tubo, ver Figura 1:

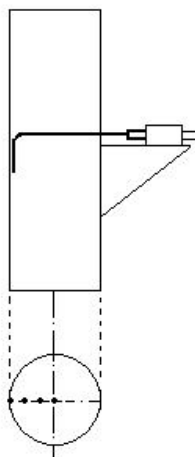


Figura 1 - Deslocamento do micrômetro ao longo da seção transversal

Para cada uma das posições radiais da sonda supomos, por simetria azimutal, que a concentração medida é a mesma em todo o anel compreendido entre a distância média de posições radiais vizinhas, ver Figura 2.

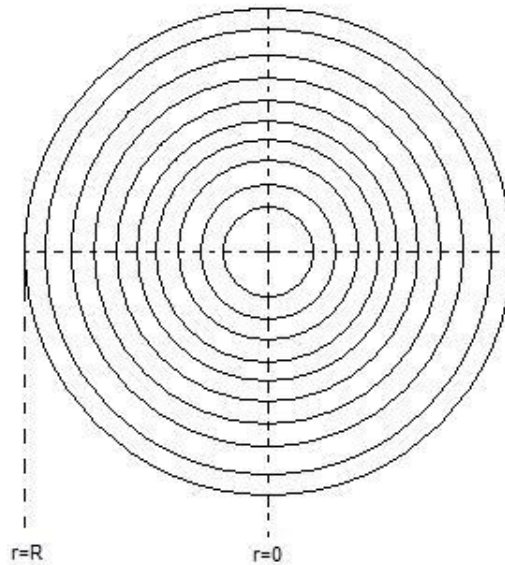


Figura 2 – Áreas que compreendem cada ponto

6.1. COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIDA

A sonda é ligada no circuito de acionamento. A corrente de saída é digitalizada e adquirida por uma placa da National Instruments (NI). O controle de sistema de aquisição é realizado pelo Software LabView da NI.

O sinal que vai para a placa da NI é de 4 a 20 mA, este então é convertido pela placa em tensão, variando entre 1V e 5V, com uma frequência de aquisição de 3kHz. Esses sinais serão lidos em um programa feito em Labview.

O tempo total de aquisição foi testado desde meio minuto até três minutos. Escolhemos o tempo de dois minutos por ter uma população de bolhas suficientemente grande e representativa estatisticamente.

6.2. NORMALIZAÇÃO DO SINAL

A normalização do sinal é feita no programa do Lab View. A voltagem de entrada na placa é normalizada entre 0 e 1 de acordo com a relação:

$$V^* = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (1)$$

Onde V_{\max} e V_{\min} correspondem aos valores máximo e mínimo que a voltagem de entrada assume; usualmente V_{\max} e V_{\min} são 5V e 1V, respectivamente. Um sinal típico após normalização é mostrado na Figura 5-16. O eixo y do gráfico será então a amplitude do sinal normalizado, enquanto o x é o tempo da aquisição. Os valores próximos de zero indicam o tempo de ocorrência da fase líquida em contato com a agulha. Complementarmente, os valores próximos de 1 indicam o tempo de contato da fase gás junto à agulha.

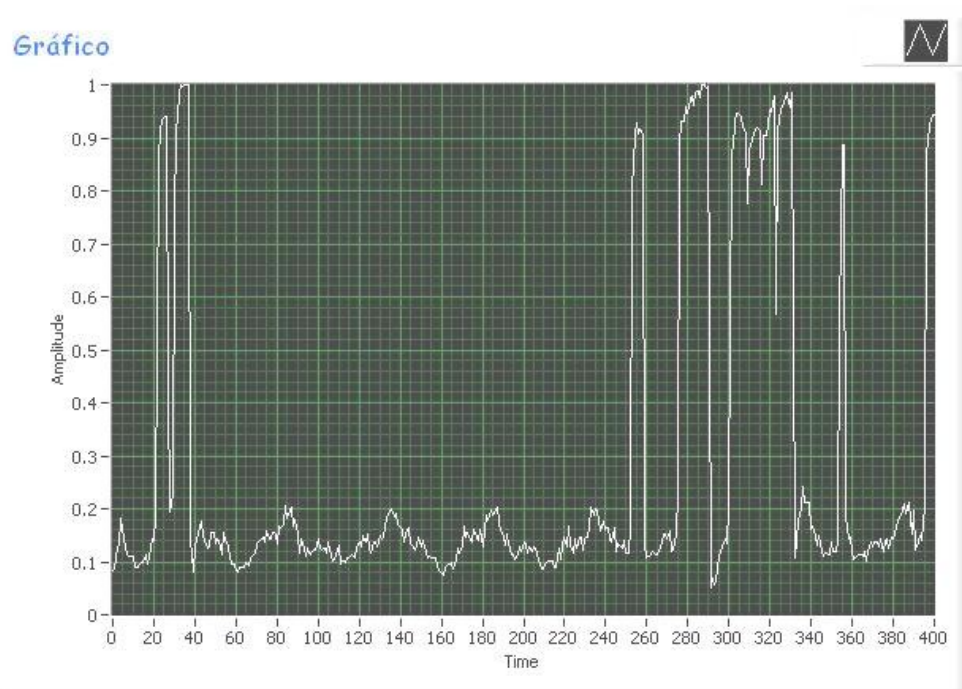


Figura 3 – Sinal normalizado

Observando o sinal na Figura nota-se que seu valor não permanece estável no nível 0 nem no nível 1, mas oscila entre os extremos. O desafio é estabelecer um valor de corte para discriminar se a sonda está em contato com a fase gás ou líquida. Não há

como conhecer a priori o fator de corte que levará às medidas experimentais mais precisas. A busca deve ser feita uma vez tomado os dados experimentais e processados com diferentes valores de fator de corte. Foi feita uma busca do melhor fator de corte entre 0,8 a 0,95.

Uma vez estabelecido um fator de corte pode-se facilmente determinar o tempo de contato da sonda com o ar. A concentração de vazios local é determinada somando os tempos no qual o sinal passa do fator de corte e dividindo pelo tempo total de aquisição do sinal.

$$\alpha_i = \frac{\sum_{i=1}^N t_{g,i}}{t_{total}} \quad (2)$$

Com o mesmo sinal normalizado também se pode determinar a frequência de passagem de bolhas contando-se o número de vezes que o sinal subiu de 0 para 1 e dividindo pelo tempo total de aquisição.

6.3. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA LOCAL

Através do perfil da medida de concentração local, α , obtêm-se a concentração média na seção por integração

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{A} \int_0^R \alpha(r) * 2 * \pi * r * dr \quad (3)$$

Esta integral será calculada numericamente a partir das medidas experimentais de α . A área transversal do tubo é $A = \pi.(13)^2 = 531 \text{ mm}^2$. O elemento de raio dr será a variação de raio entre cada ponto em relação ao centro em que mediremos uma concentração local.

As medidas da fração de vazios média na seção, α , serão comparadas contra as medidas da fração de vazios média $\langle \alpha \rangle$, como forma de validar o procedimento experimental de medida da fração de vazios local.

7. MÉTODO DA MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE VAZIOS MÉDIA, $\langle \alpha \rangle$

Para que se tenha uma base comparativa da concentração de vazios que a sonda local medirá, calculamos uma concentração média baseada na variação de pressão entre as duas tomadas de ar, uma localizada próxima a base da seção de testes e outra logo acima da sonda. Essa pressão é medida por um transmissor de pressão da Smar, modelo LD 301. Para ter uma idéia da localização, ver Figura 4.

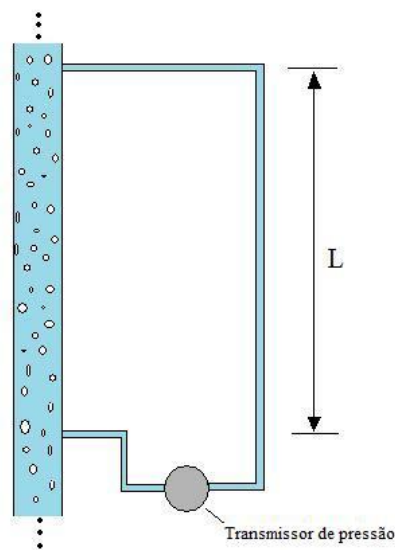


Figura 4 – Localização do transmissor de pressão

Sendo assim, calibramos inicialmente o sensor para medir 0 quando a seção de testes está cheia de água, e L quando cheia de ar.

Variamos as velocidades de ar e de água para cada teste.

Uma vez que estabelecemos valores para JL e JG (JL+JG=J), calculamos o número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{V * D}{\nu} \quad (4)$$

Onde usaremos $V=J$

Para Reynolds até $1*10^5$, que será sempre nosso caso, podemos usar a equação de Blasius para tubos lisos:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (5)$$

Finalmente, calculamos a perda de carga devido ao atrito, com a fórmula de Darcy:

$$h = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

A variação de altura encontrada será em milímetros de coluna d'água.

Sabendo que a diferença de pressão na seção de testes é:

$$\Delta p = (\rho_w * g * L) - (\Delta p_t + \rho_m * g * L) \quad (7)$$

Onde ρ_m é a densidade da mistura água+gás, L é a variação da altura entre as tomadas de ar (4685 mm), g é a aceleração da gravidade ($9,81\text{m/s}^2$), ρ_w é a densidade da água (aproximadamente 1000 kg/m^3), h é a altura de coluna de água medida pela fórmula de Darcy, e h_t é a altura de coluna de água medida pelo transmissor de pressão.

Substituindo $\rho_m = (1-\alpha) \cdot \rho_w$, onde α é a fração de vazios no teste, e dividindo tudo por $\rho_w \cdot g$, isolamos α :

$$\langle \alpha \rangle = \frac{h + h_t}{L} \quad (8)$$

8. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Sabendo que o diâmetro D , a distância L entre as tomadas de ar, a aceleração da gravidade g e a viscosidade cinemática ν são constantes:

Tabela 1 – Constantes			
D (m)	L (m)	g (m/s²)	ν (m²/s)
0,026	4,685	9,81	0,000001

Com esse dados, para cada teste aplicamos em (4), (5) e (6). Também para cada teste teremos uma leitura h_t em milímetros de coluna de água dado pelo transmissor de pressão.

TESTE #1 - $J_L=106$ cm/s e $J_G=10$ cm/s, $J = J_L+J_G = 116$ cm/s

Tabela 2 – TESTE#1				
J (m/s)	Re	f	h (mmH₂O)	h_t (mmH₂O)
1,16	30160	0,024	296,335	-34

TESTE #2 – JL=105 cm/s e JG=5 cm/s, J = 110 cm/s

Tabela 3 – TESTE#2

J (m/s)	Re	f	Δp (mmH₂O)	Δp_t (mmH₂O)
1,1	28600	0,024	270,034	-188

TESTE #3 – JL=50 cm/s e JG=5 cm/s, J = 55 cm/s

Tabela 4 – TESTE#3

J (m/s)	Re	f	Δp (mmH₂O)	Δp_t (mmH₂O)
0,55	14300	0,029	80,282	-18

Para cada teste, aplicamos a equação (8), e achamos $\langle \alpha \rangle$

Tabela 5 - Resultados

	TESTE #1	TESTE #2	TESTE #3
$\langle \alpha \rangle$	5,6 %	1,8 %	1,3 %

Para as medidas da sonda:

Tabela 6 – Medidas experimentais

r/R	TESTE #1		TESTE #2		TESTE #3	
	fc=0.8	fc=0.9	fc=0.8	fc=0.9	fc=0.8	fc=0.9
	α (%)	α (%)	α (%)	α (%)	α (%)	α (%)
1	0	0	0	0	0	0
0,95	0,24	0,13	1,01	0,88	1,32	1,22
0,9	0,30	0,19	2,24	2,07	1,52	1,38
0,85	0,73	0,56	2,75	2,58	2,14	2,00
0,8	1,77	1,51	3,04	2,87	2,53	2,34
0,7	3,31	2,85	1,21	1,12	2,17	2,02
0,6	3,62	3,13	0,58	0,54	1,73	1,61
0,5	5,45	4,76	0,27	0,25	1,24	1,15
0,3	8,11	7,07	0,07	0,06	0,76	0,69
0,1	10,46	9,00	0,03	0,02	0,47	0,45
0	10,85	8,93	0,04	0,04	0,45	0,42

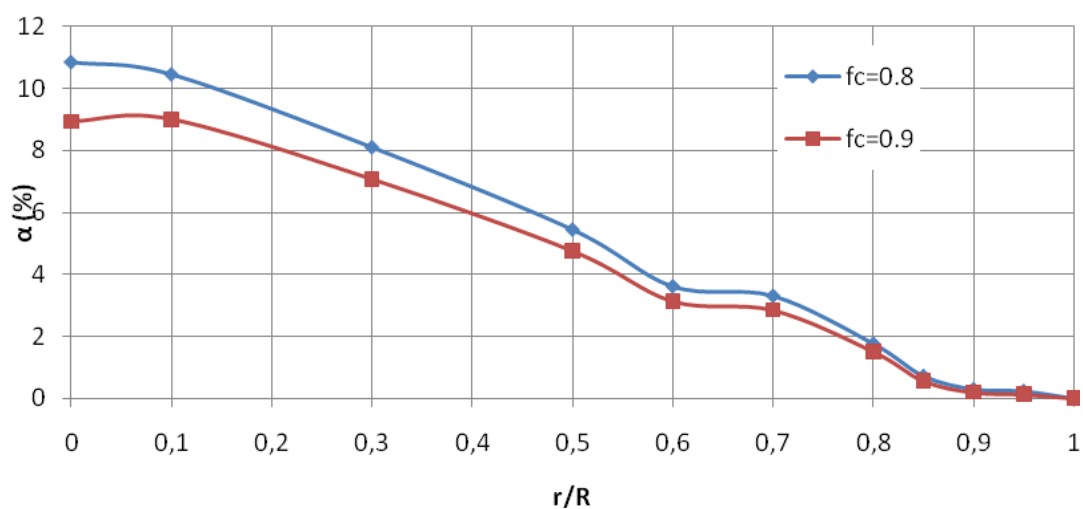


Figura 5 – TESTE#1

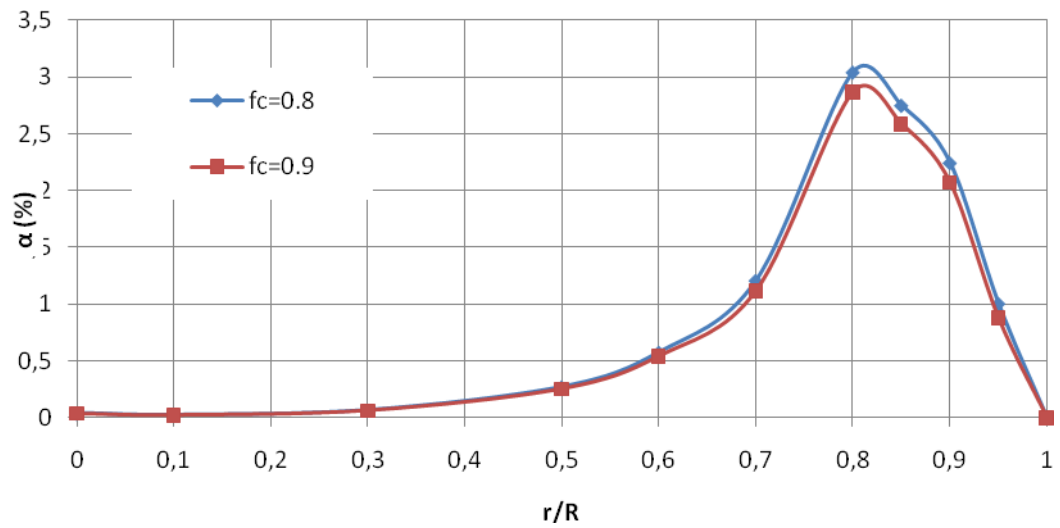


Figura 6 – TESTE#2

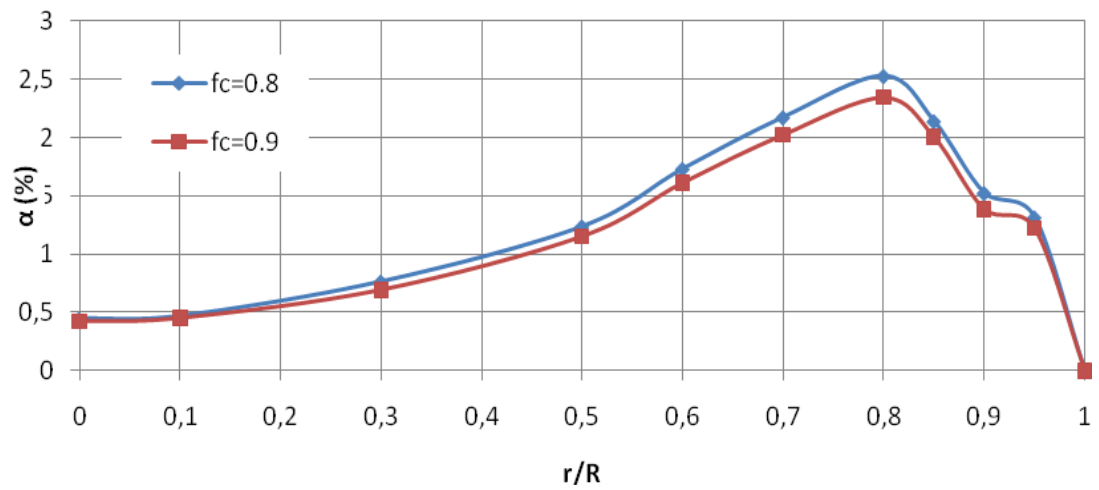


Figura 7 – TESTE#3

Após a integração dos resultados (para o fator de corte 0,8), com a eq. (7), comparamos com as frações de vazios medidas através das fórmulas de pressão

Tabela 7 – Concentração média e concentração média local

	$\langle \alpha \rangle$ (%)	$\bar{\alpha}$ (%)
TESTE #1	5,6	4,6
TESTE #2	1,8	1,2
TESTE #3	1,3	1,5

9. CONCLUSÕES

Com a integração utilizada para as frações de vazios e a comparação com as medidas dos instrumentos, verificamos que há uma diferença muito pequena em seus resultados. Podemos então considerar nossos resultados satisfatórios.

Validamos nosso método de fração de vazios com medidas locais através do uso do sensor de impedância, em regime de bolhas dispersas para escoamento bifásico de ar e água.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Dias, S.G., França, F.A. and Rosa, E.S., (2000), "Statistical method to calculate local interfacial variables in two-phase bubbly flows using intrusive crossing probes", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 26, pp. 1797-1830.

Herringe, R.A. and Davies, M.R. (1976), "Structural development of gas-liquid mixture flows", *J. Fluid Mechanics*, vol. 73, pp. 97-123.

Kocamustafaogullari, G. and Wang, Z., (1991), "An Experimental Study on Local Interfacial Parameters in a Horizontal Bubbly Two-Phase Flow", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 17, No 5, pp. 553-572.

Nassos, P.G., (1963), "Development of an Electrical Resistivity Probe for Void Fraction Measurements in Air/Water Flow". ANL-6738.

Serizawa, A., Kataoka, I. and Michiyoshi, I., (1975), "Turbulence Structure of Air-Water Bubbly Flow – I. Measuring Techniques", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 2. pp. 221-223.

Serizawa, A., Kataoka, I. and Michiyoshi, I., (1975), "Turbulence Structure of Air-Water Bubbly Flow – II. Local Properties", *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 2. pp. 235-246.