

## Tratamento de dados obtidos por sensores de dois fios aplicados a escoamento em golfadas em termossifões

## Processing of data obtained by two-wire sensors applied to slug flows in thermosyphons.

### RESUMO

O escoamento bifásico consiste no escoamento simultâneo de mais de uma fase de fluidos, esses fluidos podendo ser líquidos, gases ou sólidos. O conjunto bifásico pode assumir várias formas e distribuições no interior do tubo, chamadas de padrões de escoamento, sendo essas distribuições geométricas associadas à geometria do duto, as propriedades físicas dos fluidos e as vazões das fases. Com o intuito de analisar a caracterização do escoamento bifásico líquido-gás foram realizados experimentos em um duto carregado com os fluidos: água e gás, onde foram utilizados sensores eletrônicos de dois fios que fornecem dados sobre o fluxo. Neste sentido o objetivo deste trabalho é realizar o tratamento desses dados fornecidos pelos sensores, obtendo assim os valores dos parâmetros e realizar a análise do regime de escoamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termossifão. Escoamento bifásico. Sensores resistivos. Processamento de sinais.

### ABSTRACT

Two-phase flow consists of simultaneous flow of more than one phase of fluids, these fluids can be liquids, gases or solids. The biphasic set can assume various forms and distributions inside the pipe, called flow patterns, these geometric distributions are associated with the duct geometry, the physical properties of fluids and phase flows. In order to analyze the characterization of liquid-gas two-phase flow, experiments were carried out in a pipeline loaded with the fluids: water and gas, where two-wire electronic sensors were used to provide data of the flow. In this sense, the objective of this work is to perform the treatment of these data provided by the sensors, thus obtaining the values of the parameters and perform the analysis of the flow regime.

**KEYWORDS:** Thermosyphon. Two-phase flow. Resistive sensors. Signal processing.

**Caroline Andrade Junqueira de Souza**  
[carolineajs@hotmail.com](mailto:carolineajs@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Gustavo de Lima Ramos**  
[gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br](mailto:gustavoramos@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Paulo Henrique Dias dos Santos**  
[psantos@utfpr.edu.br](mailto:psantos@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Escoamento multifásico é caracterizado como o escoamento simultâneo de duas ou mais fases com características físicas distintas, esse tipo de escoamento pode ser encontrado em motores de combustão interna, refrigeradores, geradores de vapor e na extração e processamento de petróleo. Ao longo do escoamento a mistura pode assumir diferentes formas e distribuições no interior do duto, sendo essas distribuições geométricas associadas à geometria do duto, as propriedades físicas dos fluidos e as vazões das fases. (LLANTOY PARRA, 2013).

Em certos processos é de grande importância a caracterização dos padrões de escoamento e a detecção de alguns parâmetros, pois o tipo de escoamento determina a segurança e eficiência dos processos e equipamentos. (DA SILVA, 2017). Para que essa caracterização seja realizada existem diversas técnicas, uma delas é através de sensores resistivos de dois fios. Esses sensores são compostos por dois fios metálicos que adquirem os valores de tensão que estão relacionados com as frações de líquido e gás na tubulação.

O tratamento dos dados adquiridos pelos sensores é realizado através de um algoritmo que para cada célula unitária são obtidas as seguintes informações: velocidades da bolha alongada e pistão de líquido, comprimentos da bolha alongada e pistão de líquido, fração de vazio média da bolha alongada e pistão de líquido e frequência da célula unitária (inverso do tempo de passagem da célula unitária). O objetivo principal desse trabalho será em torno de como o tratamento de dados ocorre para um escoamento bifásico líquido-gás em golfadas em termosifões, que são dispositivos de transferência de calor compostos por um tubo evacuado preenchido com uma determinada quantidade de fluido de trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será apresentada a metodologia experimental do presente trabalho. Inicialmente será mostrado o funcionamento dos sensores resistivos de dois fios e em seguida o processamento dos dados fornecidos pelos sensores.

Os sensores resistivos de dois fios, representados na Figura 01, têm como objetivo adquirir valores de tensão relacionados com as frações de líquido e gás na tubulação. São compostos por dois fios metálicos feitos de aço inox de diâmetro 100  $\mu\text{m}$ . Através de um circuito eletrônico um dos fios, o eletrodo responsável pela excitação, é alimentado por um sinal e uma determinada frequência, essa tensão de excitação é conduzida através do fluido passante na tubulação para o outro fio, o eletrodo de recepção. A tensão medida neste eletrodo varia de acordo com: a temperatura do líquido, pois a mesma influencia diretamente a condutividade da fase líquida, representando valores de tensão diferentes para o mesmo nível de líquido; e a quantidade de líquido no duto, devido à diferença de condutividade entre a fase líquida e a gasosa do escoamento, ou seja, a tensão será máxima com o tubo cheio de líquido e mínima com ele cheio de gás. Com o sinal recebido pelo eletrodo de recepção é possível determinar, através da comparação com um sinal de calibração, a altura de líquido, possibilitando assim a aquisição do valor da fração volumétrica de gás na seção analisada do duto.

Figura 01 – Sensor resistivo



Fonte: Machado et al (2013).

O tratamento dos sinais obtidos pelos sensores resistivos é realizado com um algoritmo, implementado em MATLAB, desenvolvido por Vicencio (2013). Esse algoritmo determina: as velocidades da bolha alongada e pistão de líquido, comprimentos da bolha alongada e pistão de líquido, fração de vazio média da bolha alongada e pistão de líquido e frequência da célula unitária. Como dito anteriormente os sensores fornecem o valor de altura de líquido na seção analisada, mas o algoritmo está preparado para processar valores de fração de gás ( $R_G$ ). Portanto, através de relações geométricas, chega-se a equação (01), que é utilizada para transformar os sinais de  $h_L/D$  fornecidos pelos sensores em  $R_G$ . (ALVES, Rafael F. ; et al, 2019).

$$R_G = 1 - \frac{1}{\pi} \left( \arccos \left( 1 - \frac{2h_L}{D} \right) - \left( 1 - \frac{2h_L}{D} \right) \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{2h_L}{D} \right)^2} \right) \quad (01)$$

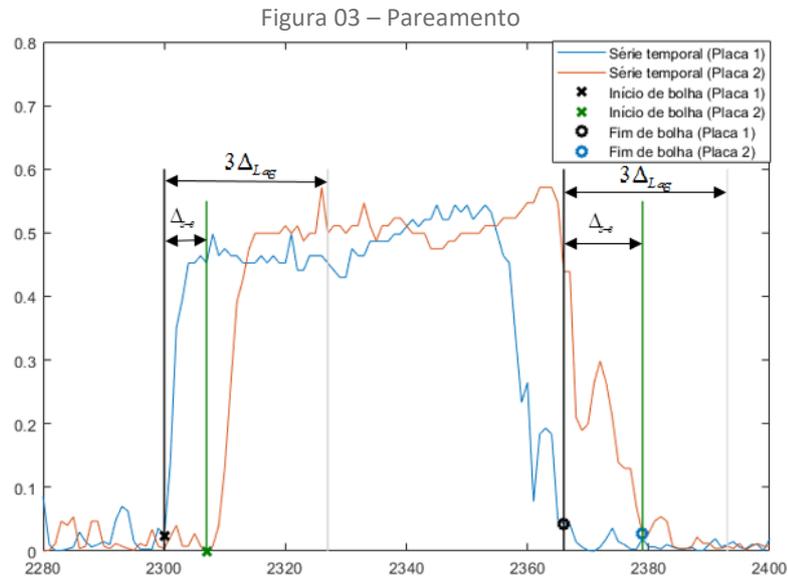
A primeira etapa no tratamento dos sinais é a detecção das estruturas do escoamento, ou seja, os limites de cada bolha e pistão. Para isso é determinado uma linha de fator de corte (FC) através de uma função binária que irá diferenciar as estruturas, sendo todos os pontos abaixo da linha regiões de pistão e acima regiões de bolha, como mostrado na Figura 02.

Figura 02 – Identificação da região da bolha alongada e pistão de líquido através do fator de corte.



Fonte: Alves et al (2019).

A etapa seguinte é o pareamento das estruturas, representado na Figura 03, onde é feita a comparação das posições das bolhas e pistões detectados com o objetivo de verificar a correspondência das bolhas entre as placas do sensor, se as bolhas não possuírem correlação as mesmas não serão consideradas na análise final juntamente com o cálculo dos parâmetros de escoamento.



A última etapa do processamento é o cálculo dos parâmetros do escoamento, o algoritmo irá calcular a velocidade da frente da bolha, utilizando a distância entre os sensores ( $d_s$ ) e o tempo necessário para o deslocamento da frente de bolha entre as placas do sensor, representada pela equação (02). Com o valor da velocidade, os períodos (em segundos) de passagem da bolha e do pistão pelo sensor ( $T_B$  e  $T_S$ ) e os valores de fração de gás obtidos anteriormente é possível determinar os outros parâmetros do fluxo, sendo eles: os comprimentos da bolha alongada e pistão de líquido, fração de vazio média da bolha alongada e pistão de líquido e frequência da célula unitária. O cálculo destes parâmetros é realizado de acordo com as equações (03) a (07).

$$V_B = \frac{d_s}{\Delta t_B} \quad (02)$$

$$f = \frac{1}{T_B + T_S} \quad (03)$$

$$L_B = V_B T_B \quad (04)$$

$$L_S = V_B T_S \quad (05)$$

$$R_{GB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{G_i} \quad (06)$$

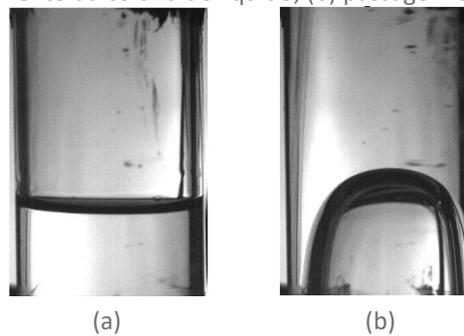
$$R_{GS} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j \quad (07)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os sensores resistivos de dois fios foram realizadas três baterias de testes, onde onze pontos de interesse foram observados, sendo eles combinações diferentes de velocidades superficiais de gás e líquido. Os dados obtidos foram convertidos em sinais digitais e ordenados em uma matriz no programa MATLAB.

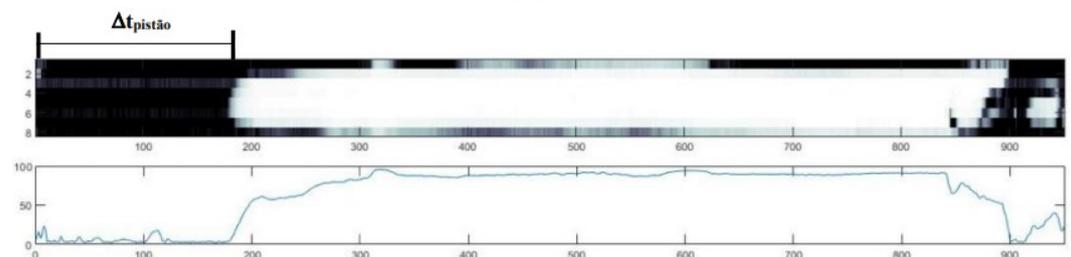
Na Figura 04 é exibido um exemplo do padrão de escoamento bifásico em termosifões e na Figura 05 é mostrado um exemplo de aplicação dessa metodologia na análise do escoamento.

Figura 04 – Pistão de líquido ao ser atravessado pelo sensor;  
 (a) deslocamento da coluna de líquido; (b) passagem da bolha alongada



Fonte: Souza (2019).

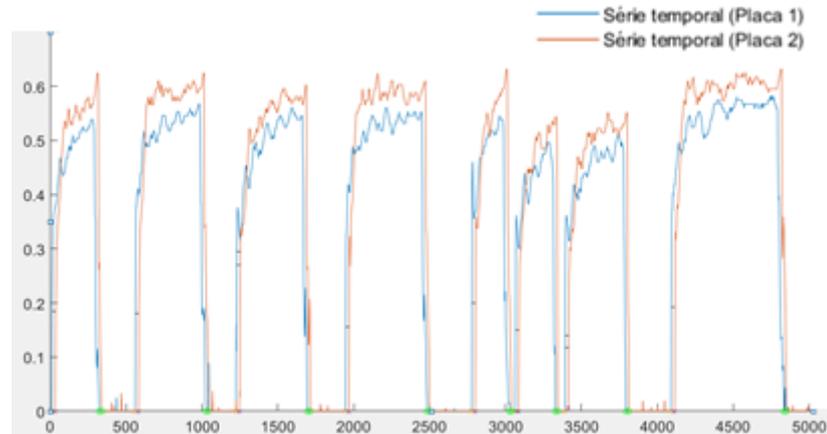
Figura 05 – Reconstrução da bolha com o auxílio dos sensores “*wire mesh*” e o programa MATLAB



Fonte: Souza (2019).

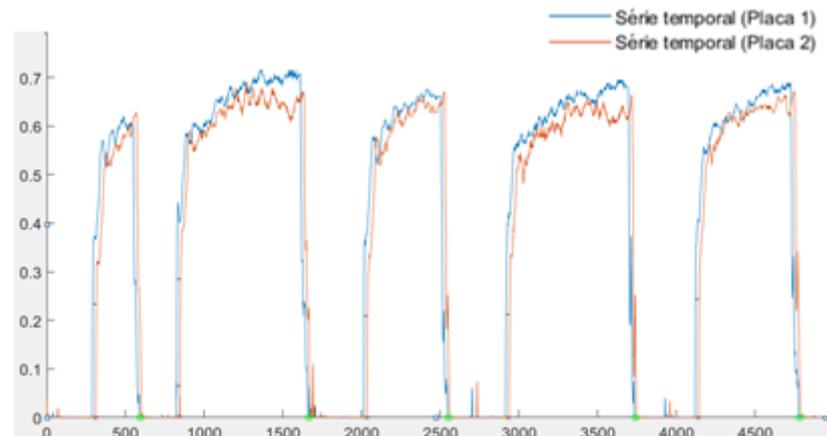
Para o processamento dos dados foi utilizado um algoritmo desenvolvido por Vicencio; et al (2015). O algoritmo recebe o valor da distância entre os sensores, a taxa de aquisição e os dados da matriz, após receber esses valores ele irá acessar a pasta do arquivo e realizar a detecção e o pareamento das estruturas e o cálculo dos parâmetros do escoamento. Após a execução completa do algoritmo ele nos fornece um gráfico das estruturas do fluxo para cada sensor e uma tabela com os valores dos parâmetros do escoamento. A seguir, nas Figuras 06 e 07 e nas Tabelas 01 e 02, são apresentados alguns resultados obtidos para um par de sensores, sendo eles: a velocidade da bolha (VB), a frequência da bolha (f), o comprimento da bolha e do pistão (LB e LS), a fração de gás na bolha e no pistão (RGB e RGS) e a frequência do escoamento (f escoamento).

Figura 06 – Estruturas do fluxo – sensor 01



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 07 – Estruturas do fluxo – sensor 02



Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 1 – Parâmetros do escoamento – sensor 01

	VB (m/s)	f (Hz)	LB (m)	LS (m)	RGB	RGS	f escoamento (Número de bolhas/tempo)
--	----------	--------	--------	--------	-----	-----	---------------------------------------

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 2 – Parâmetros do escoamento – sensor 02

	VB (m/s)	f (Hz)	LB (m)	LS (m)	RGB	RGS	f escoamento (Número de bolhas/tempo)
Média	1,2471	1,2314	0,7275	0,3884	0,5631	0,0008	1,1178

Fonte: Autoria própria (2020).

Analisando os gráficos e as tabelas acima é possível observar que entre os dois sensores a quantidade de bolhas diminuiu e houve o aumento da velocidade e do comprimento da bolha e do pistão durante o escoamento.

## CONCLUSÃO

No presente trabalho foi apresentada uma metodologia de tratamento de sinais obtidos através de sensores resistivos de dois fios, com o intuito de caracterizar o escoamento bifásico líquido-gás. Esta metodologia será aplicada na análise de um termossifão de vidro instrumentado com um par de sensores resistivos de dois fios. O algoritmo desenvolvido por Vicencio (2013) implementado em MATLAB foi de suma importância para o desenvolvimento desta metodologia. Com os resultados obtidos, o tratamento dos dados se mostrou eficiente ao detectar as estruturas e os parâmetros do escoamento bifásico em golfadas.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Bolsa de Iniciação Científica do CNPq e da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R. F.; SCHNEIDER, F. A.; BARBUTO, F. A.; SANTOS, P. H. D.; MORALES, R. E. M. An experimental analysis on the influence of flow direction changes on the transitions in gas-liquid, slug-to-stratified downward flows. **International Journal of Multiphase Flow**, v. 119, p. 155-165, 2019.

LLANTOY PARRA, V. E. **Escoamento bifásico líquido-gás em golfadas com leve mudança de direção**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MACHADO, D. ; HILDEBRANDO, F. ; LIPINSKI, L. **Sistema Multicanal de Sensores Resistivos para Medição de Escoamentos Bifásicos**. 2013. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

M. J. Da Silva, F. R. De Sousa, E. N. Dos Santos, D. J. Pagano, H. E. De Lima Ávila and F. R. M. Da Mota, "Multiphase flow instrumentation and measurement research in Brazil," **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, vol. 20, no. 2, pp. 57-62, April 2017, doi: 10.1109/MIM.2017.7919136.

SOUZA, D. O. **Estudo experimental do fenômeno da ebulição em um termossifão de vidro**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

VICENCIO, F. E. C.; SCHNEIDER, Fábio A.; COZIN, C.; BARBUTO, F. A.; DA SILVA, M. J.; MORALES, R. E. M. An experimental characterization of horizontal gas-liquid slug-flow. *In: International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Anais ... Houston, Fluids Engineering Systems and Technologies*, 2015.