

Análise do desempenho do método *Staggered PRT* na medição de velocidade de escoamento em cilindro girante

Performance analysis of *Staggered PRT* method in measuring spinning cylinder flow rate

RESUMO

Suzana Laís Silva de Souza
Suzanalss1@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Fabio Rizental Coutinho
fabiocoutinho@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

A estimativa da velocidade de escoamentos utilizando ultrassom é muito utilizada para análise de escoamentos na área da engenharia de fluidos. A técnica Doppler estima a velocidade usando ultrassom pulsado, que libera rajadas curtas de ondas ultrassônicas. O método *Staggered PRT* (*Pulse Repetition Time*) utiliza um intervalo de tempo não uniforme entre as emissões ultrassônicas. O objetivo deste trabalho é analisar o método *Staggered PRT* para verificar seu desempenho em um escoamento real. Para isso foi utilizado um escoamento com cilindro girante, preenchido por uma solução de água, glicerina bidestilada e partículas Nylon de densidade 1,07 g/L. Foram testadas 10 velocidades entre 7 a 44 RPM. Para estabilizar a velocidade das partículas, foram aguardados 2,5 minutos. Os sinais foram adquiridos por um transdutor de ultrassom de 4 MHz excitado com rajadas de 2, 4 e 6 ciclos. A técnica *Staggered PRT* foi utilizada com dois intervalos de tempo alternados, $T_1=1,6$ ms e $T_2=2,4$ ms. Os resultados obtidos mostraram que é possível medir velocidades 2 vezes acima da velocidade máxima convencional (considerando um intervalo entre emissões de 1,6 ms) com um erro relativo menor que 5%. Verificou-se também que o aumento no número de ciclos emitidos melhora o desempenho da técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Método Doppler ultrassônico; estimacão de velocidade de escoamentos; *Staggered Trigger*.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

Flow velocity estimation using ultrasound is widely used for flow analysis in the area of fluid engineering. The Doppler technique estimates velocity using pulsed ultrasound, which releases short bursts of ultrasonic waves. The *Staggered PRT* (*Pulse Repetition Time*) method uses a non-uniform time interval between ultrasonic emissions. The aim of this work is to analyze the *Staggered PRT* method to verify its performance in a real flow. A rotating cylinder flow filled with a solution of water and glycerol with 1.07 g/L and nylon particles was used. Cylinder velocities between 7 to 44 RPM were tested. To stabilize the particle velocity, 2.5 minutes delay was adopted. The signals were acquired by a 4 MHz ultrasound transducer that was excited at 2, 4 and 6 cycle bursts. The *Staggered PRT* technique was used with two alternating time intervals, $T_1 = 1.6$ ms and $T_2 = 2.4$ ms. The obtained results showed that it is possible to measure velocities up to 2 times above the conventional maximum velocity (considering an emission interval of 1.6 ms) with a relative

error of less than 5%. It was also found that the increase in the number of cycles emitted improves the technique performance.

KEYWORDS: ultrasonic Doppler method; flow velocity estimation; staggered trigger.

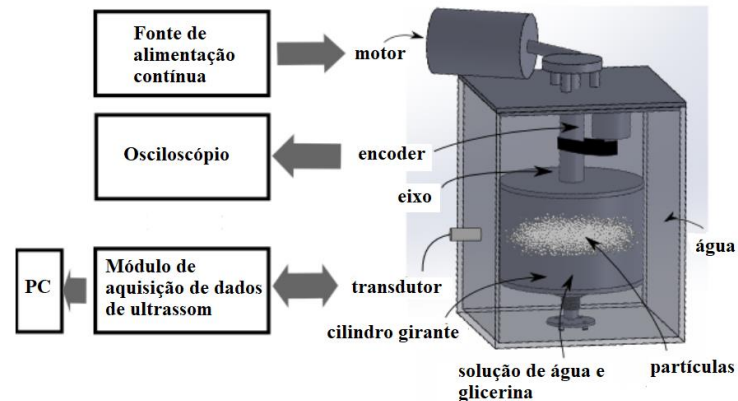
INTRODUÇÃO

A instrumentação baseada em ondas de ultrassom para medição de escoamentos é considerada não-intrusiva e não-invasiva. Tal característica torna esta técnica muito interessante para o ambiente industrial por permitir que os sensores sejam instalados externamente a tubulações. O método Doppler de ultrassom pulsado para estimar a velocidade é uma das metodologias mais aplicada atualmente (TAKEDA, 2012). Porém, esta técnica tem suas limitações em relação ao alcance máximo que pode ser medido. Aumentar o período entre as emissões pode melhorar esse alcance, mas com uma redução proporcional na velocidade máxima medida. Se a velocidade do escoamento é maior que a velocidade máxima que o sistema consegue medir, então o fenômeno de *aliasing* na velocidade será observado (TAKEDA, 2012). O método *staggered PRT* (*PRT – Pulse Repetition Time*) é uma forma de evitar o efeito do *aliasing*. Ele é caracterizado pelo uso de um tempo de repetição de disparos não uniforme, onde ocorre a alternância da emissão de pulsos com um período curto e longo. Essa técnica foi introduzida pela primeira vez para medição do fluxo sanguíneo por Nishiyama e Katakura (1992). Mais tarde, foi estendido para campo de radar meteorológico (FRANCA; LEMMIN, 2006). Recentemente, Murakawa et. Al. (2014) adaptaram-na à engenharia de fluidos, implementando um sistema de medição de para altas vazões. Este trabalho visa aplicar o método *Staggered PRT* a um escoamento de cilindro girante para analisar o desempenho dessa técnica.

METODOLOGIA

Para validar a técnica de medição, foi utilizado um escoamento em cilindro girante. Esse experimento possui uma solução teórica bem definida tornando-o muito empregado para verificar a acurácia da medição (KITAURA et. Al., 2004). Um cilindro cheio de água e partículas refletoras de ultrassom é posto a girar com uma velocidade angular constante (Figura 1). A água arrastada pelo cilindro começa a se mover, e, depois de certo período, ela entra em regime estacionário, comportando-se da mesma maneira que um corpo rígido.

Figura 1 – Visão geral do sistema de medição/ aparato experimental



Fonte: autor.

O cilindro foi repleto com cerca de 1,8 L de uma solução de água com glicerina que serve para compatibilizar a densidade do líquido com a densidade das partículas. As partículas são um pouco mais densas que a água ($1,07 \text{ g/cm}^3$) e misturando a água com a glicerina – que é mais densa – é possível obter uma solução com a mesma densidade das partículas. De outra maneira as partículas decantariam no fundo do cilindro. As partículas servem para refletir as ondas de ultrassom e assim permitir medir a velocidade do líquido. O cilindro, imerso em uma cuba cheia de água, é posto a girar por um motor que é controlado pela tensão contínua fornecida pela fonte (Figura 1). Um *encoder* mede a velocidade do cilindro e apresenta como saída uma sequência de pulsos. Essa sequência é adquirida pelo osciloscópio para obtenção da velocidade de referência. Para que o líquido se mova como um corpo rígido é necessário esperar um tempo de 2 a 3 minutos. Decorrido esse tempo o sistema faz a medição dos dados de ultrassom pelo módulo de aquisição de dados de ultrassom da ENGAUT (2018). Este módulo é comandado pelo PC por meio de do programa SONICLAB (ENGAUT,2018). Um transdutor de ultrassom de 4 MHz foi utilizado para converter os ecos das partículas em sinais elétricos. O transdutor fica posicionado numa distância de 1,9 cm do centro do cilindro (d_r), desta forma é medido a componente tangencial da velocidade de giro do escoamento. Com a componente tangencial e a distância d_r , é possível encontrar a velocidade angular ou as rotações por minuto (RPM) do cilindro.

Os experimentos foram realizados para 3 condições de disparos ou emissão de ultrassom: 2 ciclos de onda, 4 ciclos de onda e 6 ciclos de onda. Para cada tipo de emissão foram adquiridos dados de ultrassom de 10 velocidades distintas de acordo com a Tabela 1. Cada aquisição de dados compreendeu 2 segundos de dados.

Tabela 1 – Velocidades testadas

Ciclos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	7.0	9.9	13.	18.	22.	27.	30,	34.	37.	39.
	9	6	9	0	2	0	1	0	9	0
4	7.0	10.	12.	15.	17.	22.	27.	30.	34.	36
	1	4	9	1	7	1	5	3	4	
6	7.3	10.	13.	14.	17.	22.	27.	30.	34.	39.
	7	6	1	9	8	1	3	6	3	4

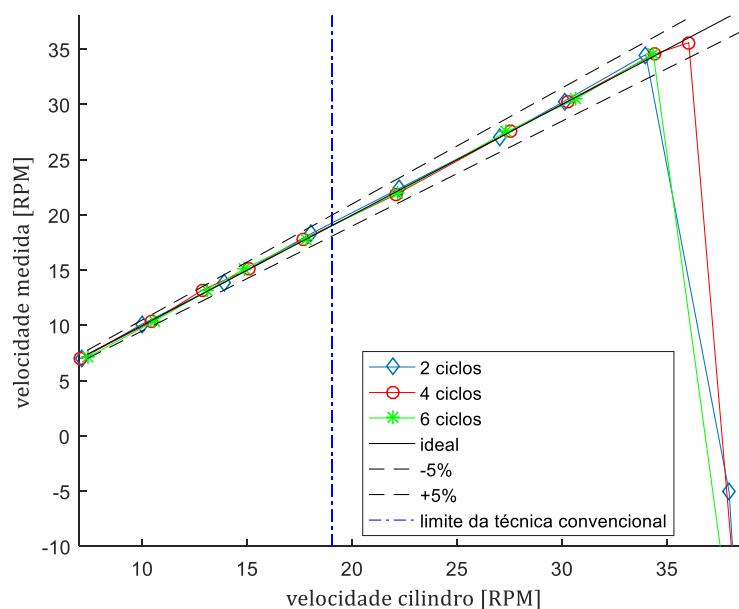
Fonte: Autor.

Foram escolhidos os seguintes tempos entre emissões de ultrassom: $T_1=1,6$ ms e $T_2=2,4$ ms. Para os valores definidos de T_1 e T_2 , a máxima velocidade que pode ser medida pela técnica convencional (em relação a T_1) é 19,04 RPM.

RESULTADOS

Os dados obtidos foram processados utilizando o algoritmo de Torres et. al. (2004). A velocidade média do escoamento foi obtida e comparada com a velocidade do cilindro (Figura 2). Observa-se que todos os valores medidos ficaram dentro da margem de erro de 5%, com exceção do pontos em que a velocidade excedeu cerca de 38 RPM que é o limite da técnica *Staggered PRT* nas condições de período de disparos escolhidas. Ressalta-se que utilizando a técnica convencional de medição, só seria possível medir velocidade até 19 RPM, entretanto o presente método duplica a faixa de mediação de velocidade.

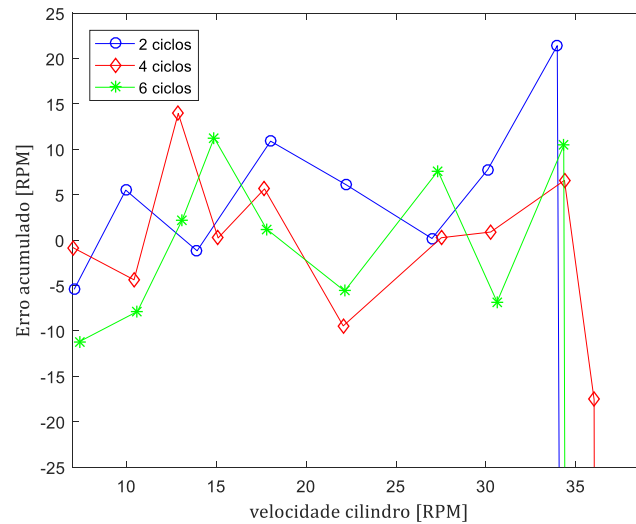
Figura 2 – Comparação entre velocidade do cilindro e velocidade medida



Fonte: autor.

O erro de medição para cada aquisição foi acumulado para verificar se a número de ciclos de excitação do transdutor interfere na acurácia da medida. Pode-se verificar que existe uma tendência de redução do erro a medida em que se aumenta o número de ciclos de emissão (Figura 3).

Figura 3 – Comparação erro acumulados par cada tipo de disparo



Fonte: autor.

CONCLUSÕES

Os experimentos realizados comprovaram que a técnica *Staggered PRT* conseguiu medir velocidades acima do limite convencional para um escoamento em cilindro girante. Os resultados mostram que a técnica apresentou um bom desempenho de exatidão (menos de 5% de erro médio). Adicionalmente, verificou-se que a escolha do número de ciclos de disparo do ultrassom pode contribuir para medidas mais acuradas de velocidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por toda a infraestrutura fornecida para a realização deste trabalho e também a Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ENGAUT. Módulo de aquisição de dados de ultrassom. Disponível em http://www.engaut.com.br/?page_id=262. Acesso 14 de maio de 2018.

FRANCA, M. J.; LEMMIN, U. Eliminating velocity aliasing in acoustic Doppler velocity profiler data, **Meas. Sci. Tech.**, n. 17, p. 313-322, 2006.

KITaura, H.; Tadata, N.; TAsaka, Y.; TAKEDA, Y. A new algorithm for low velocity measurement by UVP. **Proceedings of 4th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluids Mechanics and Fluid Engineering**, 2004.

MURAKAWA H, et. al.: Higher flowrate measurement using ultrasonic pulsed Doppler method with staggered trigger. **Proceedings of the 9th ISUD**, Strasbourg, France, 2014, 117-120, 2014.

NISHIYAMA, H.; KATAKURA, K. Non-equally-spaced pulse transmission for non-aliasing ultrasonic pulsed Doppler measurement, **J. Acoust. Soc. Jpn.**, v.13, n.4, p. 215-222, 1992.

TAKEDA, Y. **Ultrasonic Doppler fluid flow**, Springer, Japan (2012).

TORRES, S. M.; DUBEL, Y.; ZRNIC, D. S., Design, implementation, and demonstration of a staggered PRT algorithm for the WSR-88D, **J. Atmos. Ocean. Technol.**, v. 21, n. 9, pp. 1389-1399, Mar. 2004.