

## APLICAÇÃO DE TACÔMETRO MAGNÉTICO E MICROELETRÔNICA PARA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PIGs

Carlos Yuri Ferreira Silva, carlosyurisilva@gmail.com<sup>1</sup>  
Werbeth Luiz Almeida da Silva, werbethluizz@hotmail.com<sup>1</sup>  
Gustavo Fernandes de Lima, gustavo.lima@ifrn.edu.br<sup>2</sup>  
André Laurindo Maitelli, maitelli@dca.ufrn.br<sup>3</sup>  
Andrés Ortiz Salazar, andres@dca.ufrn.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

<sup>2</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Rua Antônia de Lima Paiva, 155, Nova Esperança, CEP: 59143-455, Parnamirim, RN.

<sup>3</sup>Laboratório de Automação em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

**Resumo:** A inspeção de dutos utilizando um Pipeline Inspection Gauge (PIG) é um dos métodos mais aplicados para aquisição de dados sobre a estrutura física das tubulações. É frequente os PIGs alcançarem picos de velocidade ("tiros") prejudiciais para a coleta de dados e para sua estrutura. O objetivo deste trabalho é apresentar um método para a determinação da velocidade e espaço percorrido por um PIG protótipo utilizando tacômetro magnético e microeletrônica. O PIG protótipo foi lançado em uma tubulação de testes e os valores das grandezas foram salvos em um cartão de memória. Estes valores foram comparados com as medições realizadas pelo sistema supervisor que monitora a tubulação de testes. O erro entre as leituras foi menor do que 3%, permitindo validar a metodologia proposta com sucesso.

**Palavras-chave:** Inspeção de dutos, picos de velocidade, efeito Hall, diferencial de pressão, microcontrolador.

### 1. INTRODUÇÃO

A inspeção e avaliação de dutos objetivam aumentar a confiabilidade do transporte de fluidos e reduzir custos com manutenções corretivas. Esse processo é realizado por PIGs instrumentados, que segundo Diaz (2008), fornecem informações das condições do duto, extensão e localização dos defeitos na tubulação. Eles são empurrados pelo diferencial de pressão ( $p_1 - p_2$ ) produzido pelo fluido transportado, conforme a Fig. 1(a).

Durante a inspeção é frequente o PIG instrumentado ter seu movimento interrompido devido à obstruções ou curvas acentuadas no duto. Para recolocá-lo em movimento é necessário que o diferencial de pressão aumente até que a inércia seja vencida. Segundo Pereira (2012), esse procedimento submete o PIG instrumentado a um pico de velocidade ("tiro") prejudicial para sua estrutura e para a coleta de dados sobre a tubulação. Para compreender melhor o que acontece antes, durante e depois de um "tiro" foi produzida a Fig. 1(b).

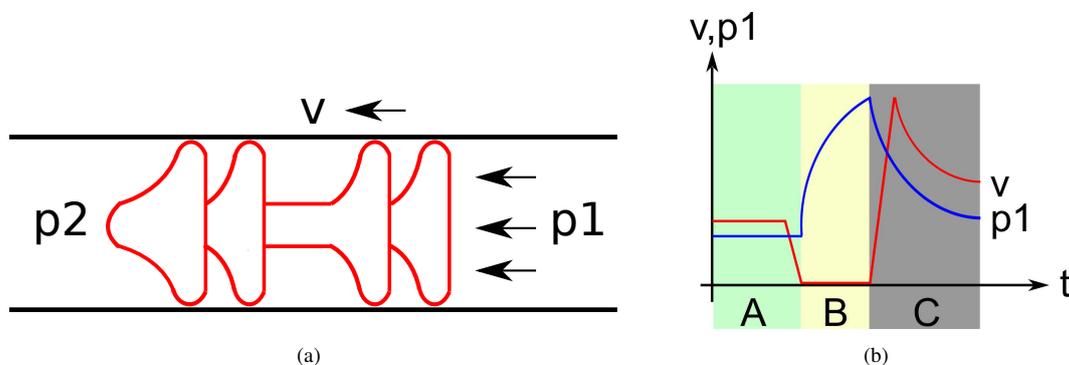


Figura 1: Características do PIG. (a) Inserido no Duto; (b) Comportamento  $p, v \times t$ .

Na região A, o PIG está em movimento, pois a velocidade e a pressão são diferentes de zero; em B, o PIG está parado, pois a velocidade é zero e a pressão aumenta atrás dele; e em C o PIG volta ao movimento, pois ocorre o "tiro" e as obstruções são vencidas.

Uma pesquisa na literatura revela alguns trabalhos sobre PIGs e sistemas de controle de sua velocidade.

Sutherland and Paz (2000) explicam que uma válvula *bypass* desacopla a velocidade do PIG da velocidade do fluxo no gasoduto. A velocidade do PIG é então controlada por uma válvula ou mecanismo de regulação de pressão.

Nguyen *et al.* (2001) apresentam um método de controle de velocidade não-linear em dutos de gás natural, usando um *bypass* de fluxo por dentro do corpo do PIG.

Yardi (2004) propôs um *bypass* de fluxo que é regulado por uma unidade de controle com base no *feedback* de um medidor de fluxo. Uma válvula borboleta motorizada é usada para o controle ativo do fluxo *bypass*.

Guibin *et al.* (2011) mostram um sistema inovador de controle de velocidade ativo no PIG com válvula *bypass*. Eles explicam o modelo dinâmico e o processo de controle do fluxo *bypass* dentro do PIG, também descrevem as características de várias válvulas *bypass*.

Mirshamsi and Rafeeyan (2012) apresentam um método simples e eficiente baseado em *Quantitative Feedback Theory* (QFT) para controlar a velocidade de um PIG com *bypass* de fluxo.

Money *et al.* (2012) apresentam uma válvula *bypass* que é controlada por um disco rotativo com 3 palhetas, cuja área movel é a metade da total.

Em de Lima (2014) é proposta uma tecnologia eletromecânica cuja válvula *bypass* é acionada pneumaticamente utilizando parte da pressão do fluido transportado.

Com base na revisão acima é possível perceber a importância da correta e confiável determinação da velocidade do PIG instrumentado, para que os sistemas de controle de velocidade funcionem adequadamente.

Atualmente, no Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo (LAMP) foram construídos: um PIG para testes (ou PIG protótipo); e uma Tubulação de Testes monitorada por um Sistema Supervisório. Tais equipamentos objetivam a realização de ensaios experimentais, que consistem, basicamente, em inserir o PIG protótipo dentro da Tubulação de Testes, produzir um diferencial de pressão capaz de empurrá-lo por toda extensão dessa tubulação e depois retirá-lo, para resgatar os dados de velocidade e espaço percorrido, que são salvos no cartão de memória. O registro dessas grandezas foi realizado empregando um tacômetro magnético, que utiliza um sensor de efeito Hall. Este produz um trem de pulsos quadrados necessários para o cálculo da velocidade e espaço, realizado pela eletrônica embarcada.

A tecnologia proposta neste artigo permite o registro *off-line* da velocidade e espaço percorrido pelo PIG protótipo, uma vez que o monitoramento em tempo real destas grandezas ainda não está disponível. Com a obtenção dos resultados apresentados neste artigo, uma etapa foi finalizada e iniciada uma nova fase de testes, na qual uma válvula *bypass* acionada por uma eletroválvula pneumática, aproveitando uma parte da pressão existente no duto, será aplicada para obtenção do controle de velocidade do PIG protótipo.

As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte maneira: na seção 2, são abordados os materiais para construção da Tubulação de Testes e do PIG protótipo; na seção 3, é apresentada a metodologia para realização dos ensaios experimentais; na seção 4, são apresentados os resultados das duas implementações testadas; por fim, na seção 5, estão as conclusões deste artigo.

## 2. SISTEMA PROPOSTO

Nesta seção serão apresentados os materiais utilizados no projeto, e são eles a Tubulação de Testes, o PIG Protótipo, a Placa Eletrônica e o Tacômetro Magnético.

### 2.1 Tubulação de Testes

Em de Freitas (2016) é relatado a instrumentalização de uma Laboratório de Testes, constituído de Tubulação de Testes e Sistema Supervisório, para ensaios experimentais com PIGs. Essa tubulação de testes tem por princípio de funcionamento a detecção da passagem de PIGs. Esta detecção ocorre pelo aumento de pressão depois da passagem do PIG pelos transdutores de pressão instalados ao longo da tubulação.

As Figuras 2(a) e 2(b) mostram, respectivamente, a resposta de pressão ao longo do tempo em função da passagem do PIG pelos transdutores de pressão e o comportamento esperado das pressões na tubulação de testes quando ocorre a passagem do PIG, na análise de dois transdutores.

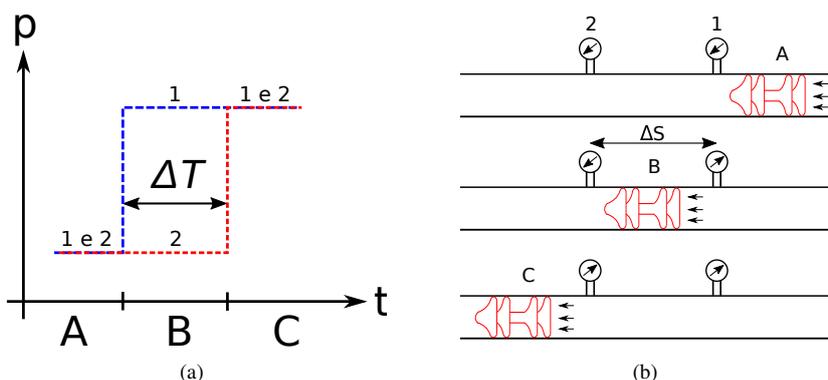


Figura 2: Transdutores de Pressão. (a) Resposta Pressão X Tempo; (b) Trecho de Duto com Dois Transdutores.

Inicialmente, o PIG está na região A da Fig. 2(b) onde as pressões 1 e 2 são baixas, assim na Fig. 2(a) as duas linhas tracejadas se sobrepõem. Estas linhas representam as leituras de pressão nos transdutores. Depois, o PIG avança e chega na região B da Fig. 2(b) onde a pressão registrada no transdutor 1 aumenta e do transdutor 2 continua baixa, assim na Fig. 2(a), a linha tracejada azul sobe e a linha tracejada vermelha continua baixa. Por último, o PIG chega na região C da Fig. 2(b), onde as pressões de 1 e 2 são altas, assim na Fig. 2(a) as linhas tracejadas se sobrepõem novamente.

Desta forma, é possível medir o tempo ( $\Delta T$ ) entre as duas leituras de pressão, sabendo a distância ( $\Delta S$ ) entre os transdutores instalados no duto, é possível estimar a velocidade média do PIG protótipo a partir da Eq. (1).

$$V_{\text{PIG}} = \frac{\Delta S}{\Delta T} \quad (1)$$

A tubulação de testes descrita acima, foi construída com dutos de aço carbono de 6" de diâmetro, espessura de 5 mm e uma extensão total de 55 m. A Figura 3 mostra uma vista aérea da tubulação em questão. Ela possui o formato da letra 'U' virada 90° para direita. Este ambiente de testes possui um lançador de PIG com 8" de diâmetro (canto superior direito da Fig. 3), o laço de principal de 6" de diâmetro, a casa do compressor de ar-comprimido (canto superior esquerdo da Fig. 3) e o receptor de PIG com 8" de diâmetro (canto inferior direito da Fig. 3).

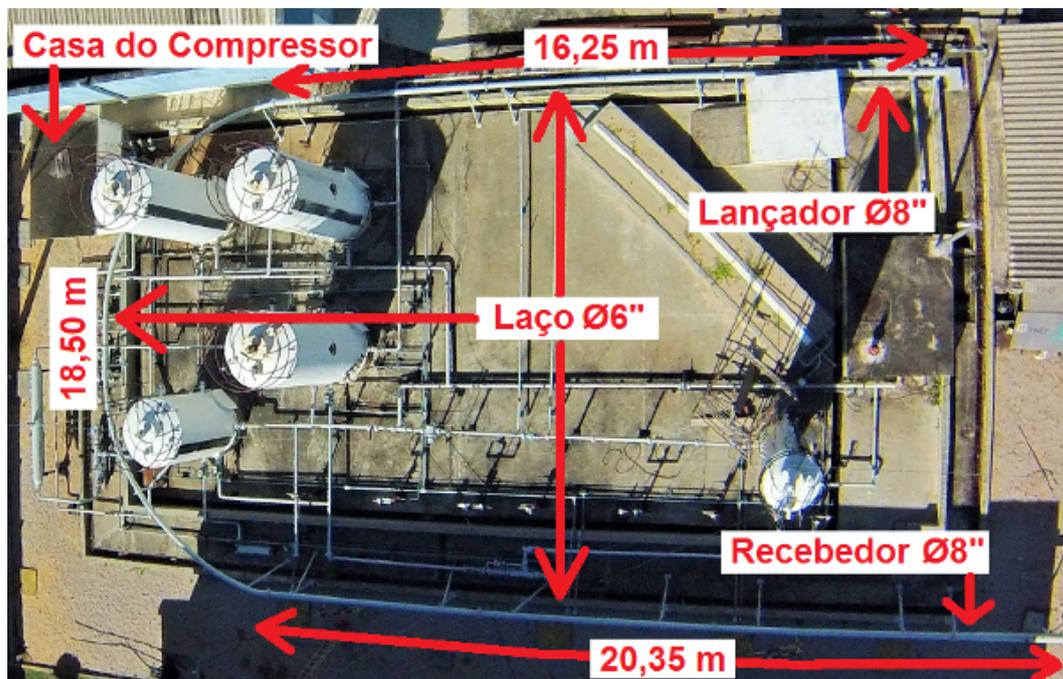


Figura 3: Vista Aérea da Tubulação de Testes.

## 2.2 PIG Protótipo

O PIG Protótipo, apresentado na Fig. 4, é constituído de dois suportes de poliuretano de 6" de diâmetro do tipo copo pistão, localizados nas extremidades do PIG; uma cápsula metálica de 12,6 cm de diâmetro por 26,38 cm de comprimento, na parte central, e um tacômetro magnético instalado no suporte traseiro do PIG.



Figura 4: PIG Protótipo do LAMP.

A cápsula metálica do PIG Protótipo foi projetada para comportar em seu interior os seguintes componentes: o cabeçote da válvula *bypass*, a placa eletrônica com microcontrolador e módulo de cartão SD, o pacote de baterias e uma eletroválvula pneumática 3/2 vias normalmente fechada. Para o estágio atual do projeto foi embarcado na cápsula do PIG Protótipo somente a placa eletrônica e as baterias. Os demais componentes serão utilizados nos estágios futuros do projeto.

### 2.3 Placa Eletrônica

A placa eletrônica é o cérebro do PIG Protótipo, sendo responsável por receber o sinal do tacômetro magnético, calcular a velocidade atual e espaço percorrido pelo PIG protótipo e salvar esses valores em um cartão de memória, para posterior análise. Ela apresenta as seguintes dimensões: 5,5 x 7cm. Foram instalados um microcontrolador Atmega328P-PU, um regulador de tensão LM7805, um conector para entrada de tensão 12 Vdc (11,1 Vdc), um conector para entrada do sinal do tacômetro ou odômetro, um soquete de comunicação serial, um soquete para cartão de memória, entre outros componentes.

A Figura 5 mostra a placa eletrônica com todos os componentes citados anteriormente.



Figura 5: Placa Eletrônica para Testes do PIG Protótipo.

Para a energização da placa eletrônica foi montado um pacote de baterias com 3 células de lítio íon de 3,7 Vdc conectadas em série, totalizando uma tensão de 11,1 Vdc.

### 2.4 Tacômetro Magnético

O tacômetro utilizado é responsável pela medição de espaço percorrido pelo PIG protótipo e velocidade alcançada pelo mesmo. Ele é constituído de uma roda metálica de 4,9 cm de diâmetro e um braço articulável de 10 cm de comprimento. Duas molas estão instaladas no braço com a função de empurrar a roda contra a parede da tubulação, garantindo que ela gire enquanto o PIG protótipo estiver em movimento.

A Figura 6 mostra o tacômetro utilizado, com destaque para a base do sensor de efeito Hall feita em bronze, para evitar a distorção das linhas de campo magnético produzidas pelo ímã localizado no eixo da roda do tacômetro.

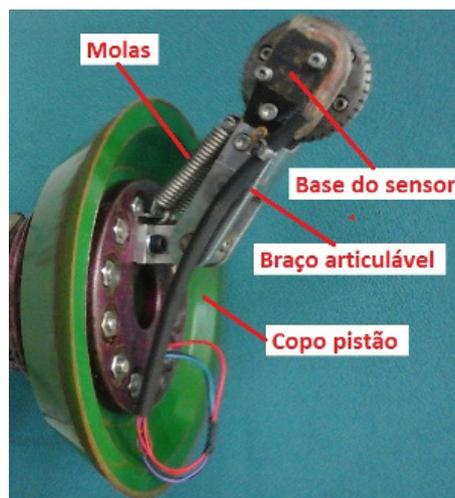


Figura 6: Tacômetro e suas Principais Partes.

Dentro da base de bronze há um sensor A3144 do tipo digital. Ele funciona com um sinal de saída em nível Alto e quando o ímã passa na frente dele, o sinal de saída vai para nível Baixo, formando um pulso quadrado.

Este pulso quadrado possui uma tensão de pico de 5 Vdc, e por isso, é possível utilizar uma interrupção externa do microcontrolador para disparar o cálculo da velocidade do PIG protótipo. O microcontrolador Atmega328P-PU disponibiliza duas interrupções externas, no qual foi utilizada a interrupção número 01 localizada no pino 03.

O cálculo da velocidade do PIG protótipo pode acontecer de duas formas distintas: a cada giro completo da roda do tacômetro, correspondendo a 0,153938 m percorridos pelo PIG, aproximadamente; ou pode acontecer em tempos definidos utilizando a interrupção por *overflow*.

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Nesta seção são apresentados os métodos aplicados para montagem do PIG protótipo e os procedimentos para utilização da Tubulação de Testes.

#### 3.1 Montagem do PIG Protótipo

A montagem do PIG protótipo começa com a cápsula vazia e a frente voltada para cima. Nesta posição é possível colocar, nesta sequência: uma tampa metálica com 12 roscas de 10 mm de diâmetro, um espaçador de plástico, o suporte de poliuretano dianteiro, um disco metálico onde são colocados 12 porcas de 10 mm de diâmetro, conforme a Fig. 7(a). O que conclui a montagem da parte frontal do PIG protótipo.

Para continuar a montagem é preciso virar o PIG protótipo para poder colocar os componentes na parte de trás. Para o ensaio de monitoramento de velocidade e espaço percorrido pelo PIG protótipo é necessário colocar a placa eletrônica e o pacote de baterias, conforme a Fig. 7(b).

Para finalizar a montagem são realizados os seguintes passos: colocação da tampa traseira fixada com parafusos *allen*, instalação do suporte de poliuretano traseiro e do disco metálico onde são colocadas as porcas de 10 mm de diâmetro. Por último é instalado o tacômetro, que fica fixo no disco metálico traseiro, conforme a Fig. 7(c).

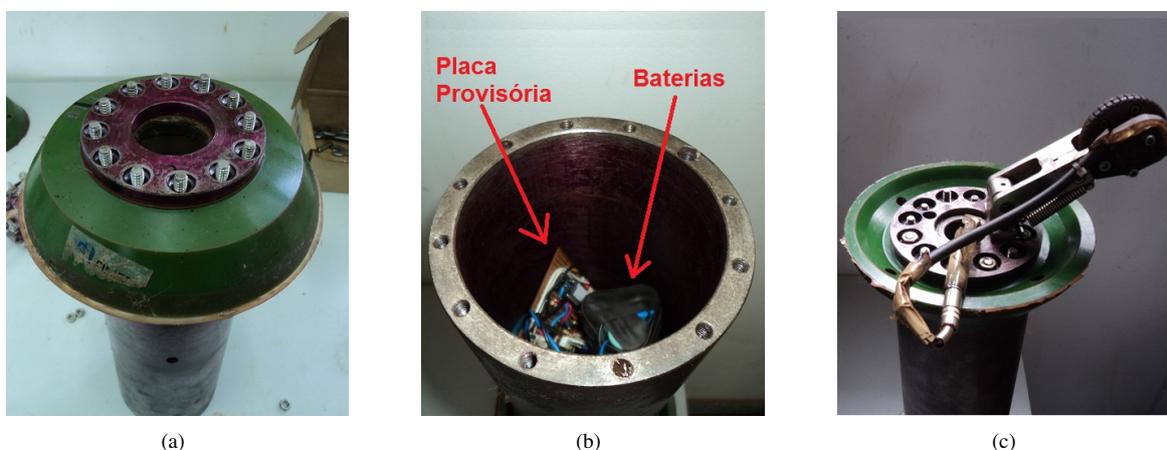


Figura 7: Montagem do PIG Protótipo. (a) Parte Dianteira; (b) Eletrônica dentro do PIG; (c) Tacômetro Instalado.

Dessa forma, a montagem do PIG Protótipo é concluída e o mesmo pode ser levado para o lançador da Tubulação de Testes para a realização do ensaio experimental.

#### 3.2 Utilização da Tubulação de Testes

Para realizar uma corrida do PIG protótipo na Tubulação de Testes, ele é colocado dentro de um Lançador de 8" de diâmetro, como mostrado na Fig. 8(a). O PIG protótipo é empurrado para dentro do lançador com o auxílio de um cavalete, conforme Fig. 8(b), até chegar na redução de 8" para 6" de diâmetro. Este cavalete é o acessório que impede o movimento do PIG protótipo para trás (contra a tampa do lançador), quando a tubulação a jusante é pressurizada.



Figura 8: Preparação do Ensaio Experimental. (a) PIG protótipo Colocado; (b) PIG Protótipo Empurrado.

Para dar prosseguimento ao ensaio é necessário pressurizar a tubulação a jusante do PIG protótipo, localizado na redução de 8" para 6" e calçado pelo cavalete. A pressurização continua até o valor de 5,5 bar for atingida. Em seguida, é preciso pressurizar a tubulação a montante do PIG protótipo até o mesmo valor de 5,5 bar.

Quando as duas pressões montante e jusante marcam o mesmo valor é realizada a manobra de uma válvula de dreno, localizada no Recebedor de 8" de diâmetro. Neste momento começa o esvaziamento da tubulação na frente do PIG

protótipo, significando uma diminuição de pressão na jusante. Com isso, surge um diferencial de pressão que empurra o PIG protótipo pela tubulação de testes.

Durante o movimento do PIG protótipo a roda do tacômetro gira, enviando sinais para o microcontrolador calcular a velocidade e salvar esses valores no cartão de memória. No momento em que uma certa quantidade de pó de ferro é expulsa pela válvula de dreno no receptor indica a chegada do PIG protótipo.

Assim, o PIG Protótipo é puxado com o auxílio de um gancho até a borda do receptor (ver Fig. 9(a)) e depois removido da Tubulação de Testes, e quando retirado, ele vem coberto com uma camada de pó de ferro, como mostrado na Fig. 9(b).



Figura 9: Conclusão do Ensaio Experimental. (a) PIG Protótipo Puxado; (b) PIG Protótipo Retirado.

Em seguida, o PIG protótipo é levado para uma bancada onde é desmontado e limpo. Durante a desmontagem, o cartão de memória é recuperado e os dados acessados para análise. Desta forma, a metodologia experimental para utilização da tubulação de testes é concluída.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados da implementação de dois códigos para o cálculo da velocidade e espaço percorrido pelo PIG protótipo e a comparação dessas leituras com os valores de pressão obtidos da tubulação de testes.

##### 4.1 Leituras de Velocidade e Espaço *versus* Tempo

Para comprovação do funcionamento do tacômetro magnético, placa eletrônica e do primeiro código para determinar a velocidade e o espaço percorrido pelo PIG Protótipo foi realizado um ensaio experimental na Tubulação de Testes em Março de 2017, cujo resultado pode ser visualizado na Fig. 10.

Neste gráfico, a cada volta completa da roda do tacômetro foram calculados a velocidade e o espaço percorrido pelo PIG protótipo. Quando um pulso quadrado enviado pelo sensor é detectado pelo microcontrolador, uma rotina especial é ativada e um contador é disparado. Ao ocorrer o pulso seguinte, a variação de tempo entre os pulsos é armazenada e, de posse da circunferência da roda (0,153938 m), a velocidade é calculada. A quantidade de pulsos total ocorridos é utilizada para o cálculo da distância total do espaço percorrido pelo PIG protótipo.

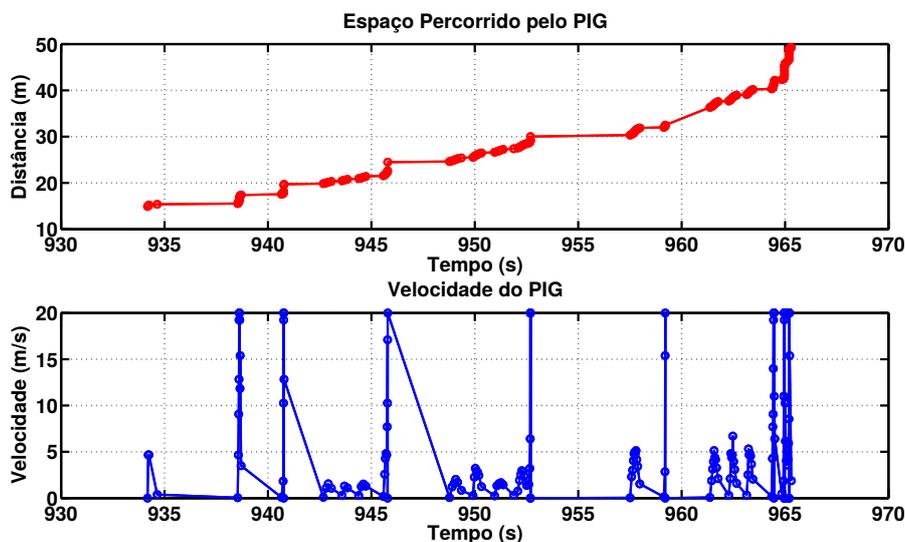


Figura 10: Leituras de Espaço e Velocidade Utilizando o Primeiro Código.

Nesta primeira implementação do código foi observado uma grande concentração de pontos quando o PIG protótipo alcançou velocidades altas, motivadas por um giro acelerado da roda do tacômetro, por exemplo, logo depois de

945 s é possível ver sete circunferências na vertical. Por causa dessa concentração de pontos foi pensada uma segunda implementação para calcular a velocidade e o espaço percorrido pelo PIG protótipo.

Um segundo ensaio foi realizado em Junho de 2017 para testar esse código novo, que agora salva os pontos em tempos definidos, por exemplo, a cada 100 ms, aproximadamente. Nesta implementação os pontos não dependem mais do giro completo da roda do tacômetro. Por isso, os gráficos apresentam uma continuidade melhor que os gráficos anteriores, conforme ilustra a Fig. 11.

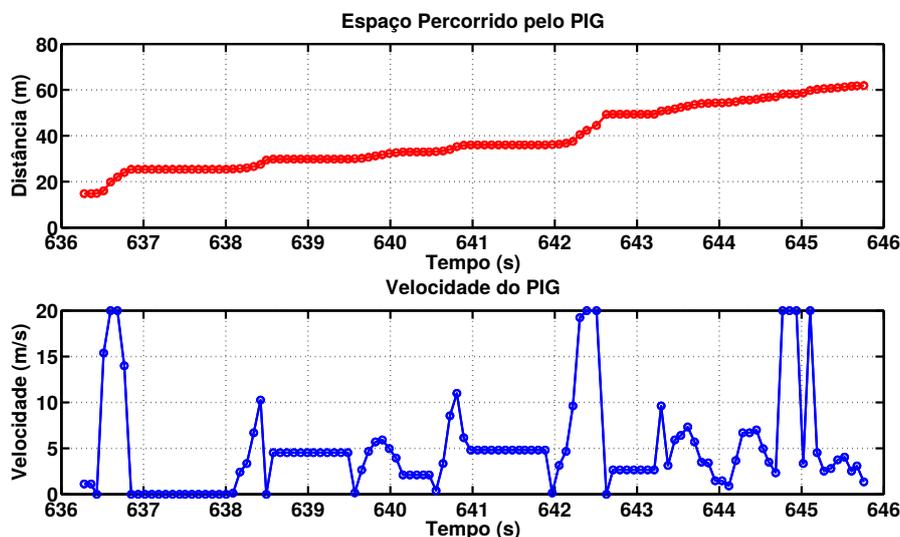


Figura 11: Leituras de Espaço e Velocidade Utilizando o Segundo Código.

Outra vantagem está na possibilidade de mudar o valor de 100 ms para 50 ms ou 200 ms, por exemplo. A possibilidade de alterar o tempo de amostragem é algo importante que não é possível ter na primeira implementação. Tal vantagem é vista como pertinente, pois permite adaptações no código para economia de processamento pelo microcontrolador.

#### 4.2 Validação das Leituras de Velocidade e Espaço Percorrido

A validação das leituras representa a confirmação de que as leituras apresentadas nos gráficos, anteriormente, são verdadeiras e confiáveis para testes futuros de controle de velocidade de PIGs. Para isso foi aplicada a metodologia proposta por Lima *et al.* (2017), em que a velocidade média registrada pelo tacômetro do PIG protótipo é comparada com a velocidade média estimada pelas pressões da tubulação de testes.

Para começar é necessário escolher um trecho de duto entre dois transdutores de pressão e aplicar a teoria da Fig. 2 na página 2. Em seguida, obter as leituras do tacômetro salvas no cartão de memória, utilizando o primeiro ou segundo código. Neste caso o primeiro código. Por fim, calcular o erro entre os valores médios obtidos.

Dessa forma, foi escolhido o trecho curvo de 17,60 m entre os transdutores de pressão 4 e 2 (ver Fig. 12) para estimação de velocidade média e validar as leituras obtidas do PIG protótipo.

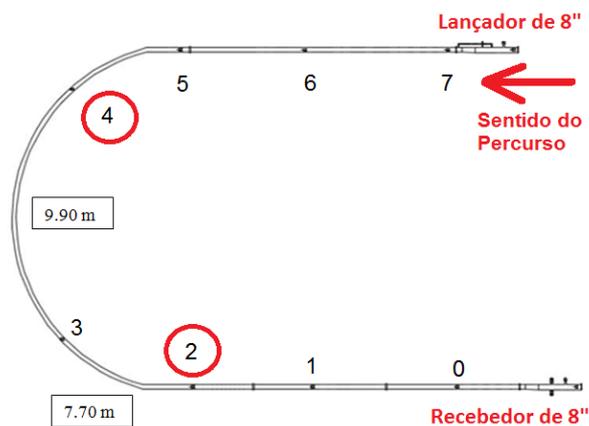


Figura 12: Trecho Curvo para Análise.

A Figura 13 mostra as pressões fornecidas pelos transdutores de pressão 4 e 2 (lembrar da Fig. 2(a) na página 2) presentes na Tubulação de Testes, onde em A o tempo foi 6,35 s e em B foi 26,90 s. Assim, o PIG protótipo percorreu o

trecho escolhido em 20,55 s, obtendo 0,86 m/s de velocidade média.

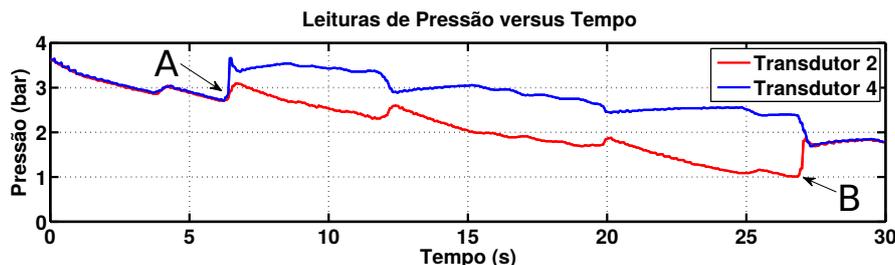


Figura 13: Leituras Obtidas da Tubulação de Testes.

A Figura 14 apresenta as leituras obtidas do cartão de memória utilizando a primeira implementação, onde em A o tempo foi 6.392,75 s (19,55 m) e em B foi 6.413,58 s (37,10 m). Assim, o PIG protótipo percorreu os 17,55 m em 20,83 s, obtendo uma velocidade média de 0,84 m/s.

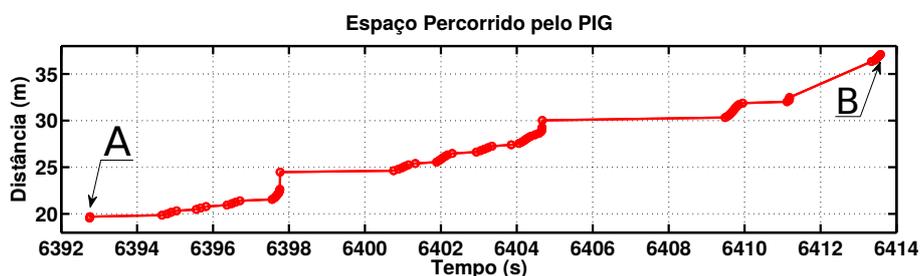


Figura 14: Leituras Obtidas do Cartão de Memória.

O erro encontrado entre as duas estimativas foi de 2,32%. Os ensaios foram repetidos e outros trechos foram analisados. Os erros encontrados foram abaixo de 5%. Dessa forma, as estimativas obtidas pelas pressões da Tubulação de Testes validou com sucesso as leituras obtidas pelo PIG protótipo, utilizando tacômetro magnético e microeletrônica.

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar um método para a determinação da velocidade e espaço percorrido por um PIG protótipo utilizando tacômetro magnético e microeletrônica. Estes parâmetros são importantes para identificar os picos de velocidade ("tiros") alcançados pelos PIGs, que podem ser prejudiciais para a coleta de dados e para sua estrutura.

Foram construídos um PIG protótipo e uma Tubulação de Testes para realização de ensaios experimentais. O PIG Protótipo possui dois suportes de poliuretano, uma cápsula metálica, um tacômetro e uma placa eletrônica, responsável por calcular as grandezas de interesse. A Tubulação de Teste possui uma extensão de 55 m e foi construída com dutos de 6" de diâmetro. Nele foram instalados 6 transdutores de pressão para monitorar a passagem do PIG protótipo, com o auxílio de um sistema supervisor. O PIG protótipo quando inserido na Tubulação de Testes é empurrado pelo diferencial de pressão e os valores de velocidade e espaço são armazenados em um cartão de memória e quando retirado desse duto tem seus dados recuperados.

Os resultados do PIG Protótipo foram comparados aos dados de velocidade e espaço percorrido estimados com base nas pressões da Tubulação de Testes e foi verificado um erro entre essas leituras de 2,32%, considerado aceitável. Com base nesses valores, é possível concluir que as implementações realizadas foram um sucesso e a principal contribuição deste trabalho é permitir o desenvolvimento futuro de um controlador de velocidade para PIGs, que atenuará os efeitos dos "tiros" sofridos por tais dispositivos.

## 6. REFERÊNCIAS

- de Freitas, V.C.G., 2016. *Desenvolvimento de um Sistema para Supervisão de PIGs em um Duto de Testes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21910>.
- de Lima, G.F., 2014. *Proposta de Tecnologia para o Controle de Velocidade de PIGs Inteligentes Utilizando Lógica Fuzzy*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/24290>.
- Diaz, J.F., 2008. *Estudo e Projeto Conceitual de um Robô para Inspeção de Linhas de Serviço*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

- Guibin, T., Shimin, Z., Xiaoxiao, Z., Liyun, S. and Qingbao, Z., 2011. "Research on bypass-valve and its resistance characteristic of speed regulating pig in gas pipeline". In *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*. Vol. 2, pp. 1114–1117. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2011.561>.
- Lima, G.F., Freitas, V.C.G., Araújo, R.P., Maitelli, A.L. and Salazar, A.O., 2017. "Pig's speed estimated with pressure transducers and hall effect sensor: An industrial application of sensors to validate a testing laboratory". *Sensors*, Vol. 17, No. 9, p. 2119. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/9/2119>.
- Mirshamsi, M. and Rafeeyan, M., 2012. "Speed control of pipeline pig using the qft method". *Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles.*, Vol. 67, No. 4, pp. 693–701. Disponível em: <https://doi.org/10.2516/ogst/2012008>.
- Money, N., Cockfield, D. and Smith, G., 2012. "Dynamic speed control in high velocity pipelines". *Pipeline & Gas Journal.*, Vol. 8, p. 30. Disponível em: <https://ppsa-online.com/papers/12-Aberdeen/2012-03-Pipelines-2-Data-paper.pdf>.
- Nguyen, T.T., Yoo, H.R., Rho, Y.W. and Kim, S.B., 2001. "Speed control of pig using bypass flow in natural gas pipeline". In *Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on*. Vol. 2, pp. 863–868. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISIE.2001.931581>.
- Pereira, C.G., 2012. "Estudo e simulação de um sistema de controle de velocidade de pigs". Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- Sutherland, J. and Paz, H., 2000. "Advances in in-line inspection technology for pipeline integrity". In *V Annual International Pipeline Congress*. Morelia, Mexico. Disponível em: <http://docshare01.docshare.tips/files/21554/215549714.pdf>.
- Yardi, C., 2004. *Design of Regulated Velocity Flow Assurance Device for the Petroleum Industry*. Dissertação de Mestrado, Texas A&M University.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

# MAGNETIC TACHOMETER AND MICROELETRONIC APPLICATION TO DETERMINATE THE SPEED OF PIGs

Carlos Yuri Ferreira Silva, [carlosyurisilva@gmail.com](mailto:carlosyurisilva@gmail.com)<sup>1</sup>

Werbet Luiz Almeida da Silva, [werbethluizz@hotmail.com](mailto:werbethluizz@hotmail.com)<sup>1</sup>

Gustavo Fernandes de Lima, [gustavo.lima@ifrn.edu.br](mailto:gustavo.lima@ifrn.edu.br)<sup>2</sup>

André Laurindo Maitelli, [maitelli@dca.ufrn.br](mailto:maitelli@dca.ufrn.br)<sup>3</sup>

Andrés Ortiz Salazar, [andres@dca.ufrn.br](mailto:andres@dca.ufrn.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

<sup>2</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Rua Antônia de Lima Paiva, 155, Nova Esperança, CEP: 59143-455, Parnamirim, RN.

<sup>3</sup>Laboratório de Automação em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59078-970, Natal, RN.

**Abstract:** *The pipeline inspection using the Pipeline Inspection Gauge (PIG) is the most applied method for data acquisition about physics structure of pipelines. It is usual the PIG arrive speed peaks (or speed excursion) harmful to data acquisition and for its own structure. The objective this work is present two computational implementations for determination of speed and space traveled by prototipe PIG, using magnetic tachometer and microelectronics. The PIG was launched into the testing pipeline and the values of magnitudes were saved in memory card. This values were compared with the speed readings from supervisory system which monitor the testing pipeline. The error value was smaller than 3%, allowed validating the proposed methodology successful.*

**keywords:** *Pipeline inspection, speed excursion, Hall effect, pressure differential, microcontroller*