

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - CCET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO - PPGCEP

**PROPOSTA DE CONTROLE DE VELOCIDADE DE FERRAMENTA DE INSPEÇÃO DE DUTOS
UTILIZANDO VÁLVULA DE DESVIO E MICROELETRÔNICA**

Defesa de Tese de Doutorado

GUSTAVO FERNANDES DE LIMA
PROF. DR. ANDRÉS ORTIZ SALAZAR

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

Introdução

- A inspeção de dutos consiste na utilização de técnicas que tem por objetivo avaliar a atual situação dos dutos industriais;
- *Pigging* é um conceito de manutenção de dutos, executável sem interferir no fluxo do produto, que utiliza os *Pipeline Inspection Gauges* (PIGs) ;
- Aqueles que limpam os dutos são “PIGs de limpeza” e aqueles que verificam as condições dos dutos são “PIGs instrumentados”.
- Tem a capacidade de percorrer toda a extensão do duto sendo propelidos pelo diferencial de pressão (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Introdução (cont.)



PIGs de Limpeza

Fontes: www.hitechoffice.com e www.trecoil.it. Acesso em: Fev. 2019.

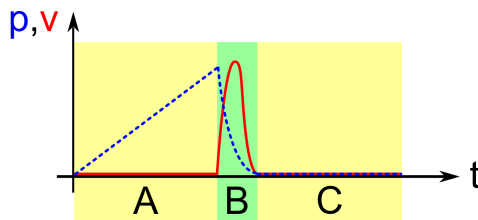


PIG Instrumentado

Pico de Velocidade

- É comum o PIG ter seu movimento interrompido e para se deslocar novamente, ele sofre a ação de um fenômeno chamado de “tiro”.
- O “tiro” é um pico de velocidade que o PIG atinge, podendo causar danos tanto à sua estrutura quanto às paredes do duto (PEREIRA, 2012).
- Também, é prejudicial à coleta de dados, então para a realização uma inspeção segura e confiável, o PIG precisa manter sua velocidade baixa.
- Segundo Nguyen *et al.* (2001), essa velocidade é geralmente na faixa de 1 a 5 m/s em dutos de líquido e de 2 a 7 m/s em dutos de gás.

Pico de Velocidade



- Na região A, a pressão está crescendo e velocidade é igual a zero, representando o PIG parado por causa de algum obstáculo.
- Na região B, a pressão vence a força de atrito do obstáculo e o PIG volta ao movimento de forma abrupta, atingindo um pico de velocidade.
- Na região C, a pressão e velocidade são iguais a zero.

Pesquisa em Controle de Velocidade de PIGs

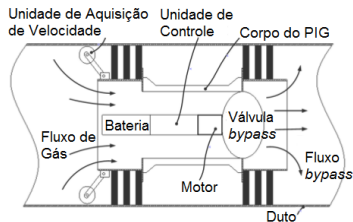
- Em desenvolvimento no Laboratório de Avaliação de Medição de Petróleo (LAMP) o projeto de P&D chamado Controle de Velocidade de PIGs.
- Ações do projeto: (a) construir um PIG Protótipo; (b) construir um Duto de Testes; (c) validar o Duto de Testes; e (d) desenvolver um controlador de velocidade.
- Propôr uma solução alternativa para um problema atual da indústria do petróleo, em que os PIGs percorrem toda a extensão do duto sem controle algum de velocidade.

Revisão Bibliográfica

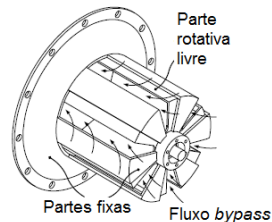
- Tiratsoo (1992) descreve o evento do “tiro” (*speed excursion*);
- Nguyen *et al.* (2001) sintonizam um controlador *back-stepping* e apresentam resultados de simulação;
- Yardi (2004) afirma que o PIG deveria percorrer o duto com uma velocidade de até 70% da velocidade do fluido;
- Tolmasquim (2004) apresenta o controle de velocidade do PIG sem *bypass*. O controle é realizado pela válvula localizada na saída do duto;
- Esmaeilzadeh, Asemani e Mowla (2006) modelam a velocidade de um PIG para dutos de gás e líquido e apresentam resultados de simulação;

Revisão Bibliográfica (cont.)

- Guibin *et al.* (2011) apresentam um sistema de controle ativo de velocidade inovador para PIGs, uma válvula *bypass* rotativa.



Componentes do PIG.



Bypass Rotativo.

Revisão Bibliográfica (cont.)

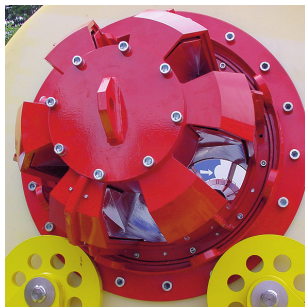
- Money, Cockfield e Smith (2012) projetam um sistema de controle de velocidade de PIGs de limpeza $\phi 42''$ de diâmetro;



- Mirshamsi e Rafeeyan (2012) propõem um controle de velocidade de PIGs em dutos de líquido utilizando a técnica *Quantitative Feedback Theory* (QFT);

Revisão Bibliográfica (cont.)

- Rosen (2013) mostra uma animação gráfica do funcionamento de seu sistema rotativo de controle de velocidade para PIGs;



Fonte: <https://www.rosen-group.com/>. Acesso em: Abr. 2019.

Revisão Bibliográfica (cont.)

- Liang, He e Cai (2017) simulam uma unidade de freio ativo para controle de velocidade de PIGs;
- Limeira (2017) desenvolve um simulador de deslocamento de PIGs. Diversos artigos de controle de velocidade são testados e analisados;
- Mirshamsi e Rafeeyan (2019) apresentam o controle de velocidade para gasodutos utilizando modos deslizantes;
- Pelo exposto é possível entender as pesquisas desenvolvidas para modelagem e/ou controle da velocidade dos PIGs, tendo ciência que a tecnologia pode aprimorar ainda mais essas ferramentas.

Objetivos

- Propôr o controle de velocidade de PIGs utilizando uma válvula de desvio acionada eletronicamente, para uma inspeção de dutos segura e confiável.
- Construir a eletrônica embarcada do PIG Protótipo;
- Mensurar a velocidade e distância do PIG Protótipo;
- Validar o Laboratório de Testes;
- Identificar e substituir *outliers* em dados de velocidade;
- Determinar os tempos de recarrega e descarrega das baterias de Lítio Íon;

Contribuições

- Realizar teste pioneiro em uma válvula de desvio patenteada recentemente para determinar o quanto de velocidade é capaz de diminuir;
- Empregar de forma inovadora o Laboratório de Testes para realização dos ensaios experimentais de controle de velocidade de PIGs;
- Desenvolver toda a eletrônica embarcada do PIG Protótipo;
- Estabelecer um erro de 2,27 % entre a velocidade média registrada pela eletrônica embarcada e a velocidade média estimada pelo sistema de aquisição do dados.

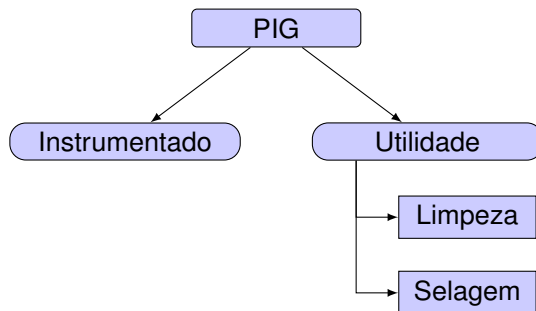
Dificuldades Encontradas

- A natureza fortemente não-linear e sem modelo matemático bem definido do movimento do PIG Protótipo;
- O trabalho com fluido compressível, o ar comprimido;
- A ausência de estudos prévios do quanto a válvula de desvio é capaz de reduzir a velocidade;
- A falta de um reservatório (pulmão) projetado para manter o PIG Protótipo em movimento por mais tempo dentro do duto;
- A força de atrito entre os suportes e a parede do duto que se modifica a cada ensaio experimental.

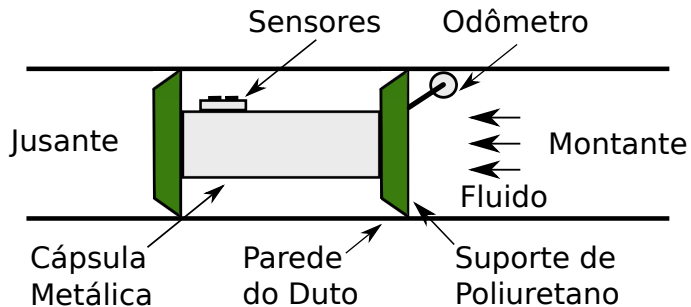
Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica**
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

Ferramenta de Inspeção de Dutos (PIG)



Configuração Básica

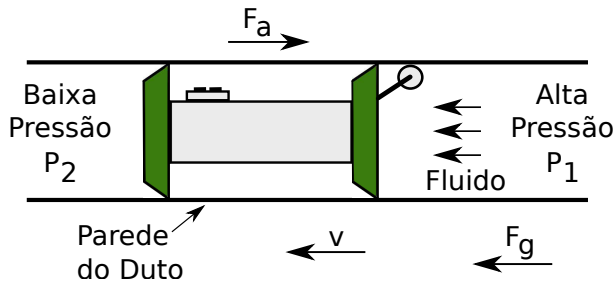


Configuração Básica (cont.)

- A resolução dos sensores do PIG é dependente da velocidade.
- Segundo Sabino (2009), a resolução de um PIG no sentido longitudinal do duto é definida pela taxa de amostragem e pela velocidade da ferramenta.
- Uma velocidade alta do PIG resulta uma quantidade baixa de pontos coletados pela eletrônica embarcada.

Movimento do PIG

- A dinâmica do movimento do PIG é baseada na Segunda Lei de Newton.
- Cíclico: alterna momentos parado para o aumento de pressão e momentos em deslocamento, que podem atingir velocidades bem mais de 60 *mph* (26,82 *m/s*) (TIRATSOO, 1992).



Movimento do PIG (cont.)

$$M \cdot a = F_g - F_a \quad (1)$$

$$F_g = A \cdot (P_1 - P_2) = A \cdot \Delta p \quad (2)$$

$$F_a = \begin{cases} F_{est}, & v = 0 \\ B \cdot v + F_{din}, & v > 0 \end{cases} \quad (3)$$

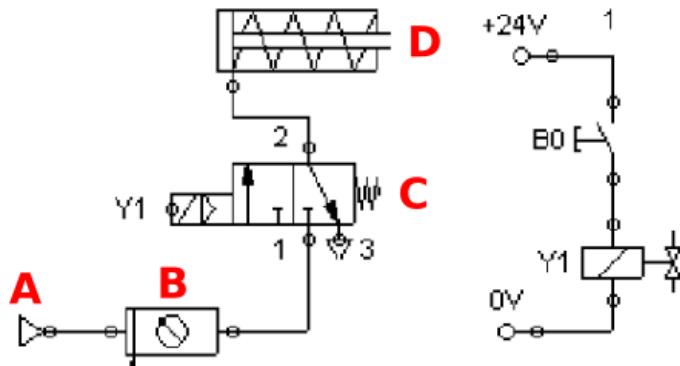
$$M \cdot \dot{v}(t) = A \cdot \Delta p(t) - B \cdot v(t) - F_{din}(t) \quad (4)$$

$$\dot{v}(t) = -\frac{B}{M} v(t) + 100.000 \frac{A}{M} \Delta p(t) - \frac{1}{M} F_{din}(t) \quad (5)$$

Sistemas Eletropneumáticos

- O termo “pneuma” vem dos antigos gregos e significa vento, fôlego ou sopro;
- A energia pneumática provém da compressão do ar atmosférico em um reservatório, transformando-o em ar comprimido a uma dada pressão de trabalho;
- A eletropneumática utiliza a eletricidade CC ou CA como fonte de energia para o acionamento de válvulas direcionais;

Sistemas Eletropneumáticos (cont.)



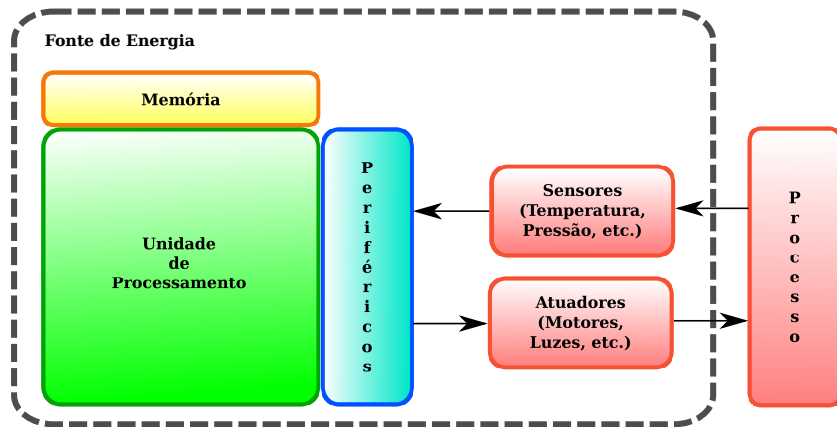
Controle Liga e Desliga

- Forma mais simples de controlar processos que permitam certa variação da variável controlada;
- Assume dois estados: ligado ou desligado, *on* ou *off*, etc.
- A implementação deste controlador é realizada com um relé;
- Na prática a implementação adota o controlador liga e desliga com histerese.

Sistemas Embarcados

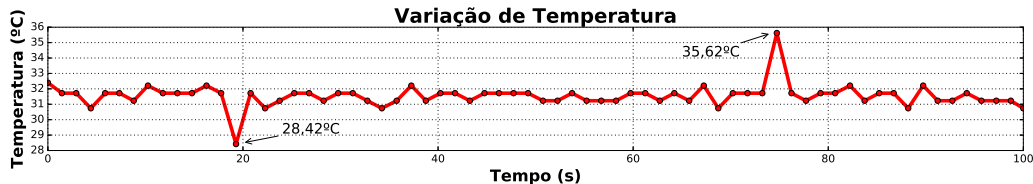
- São sistemas computacionais projetados para uma aplicação específica;
- Um dos propósitos de um sistema embarcado (SE) é controlar processos ou atuar sobre um problema.
- Essa tarefa é realizada por meio de sensores e atuadores, que são escolhidos e configurados conforme o problema alvo.
 - **sensores** são responsáveis em adquirir informação do processo;
 - **atuadores** são dispositivos que realizam ações que interferem no processo;
 - **fontes de energia** fornecem energia elétrica para os circuitos do sistema.

Sistemas Embarcados (cont.)



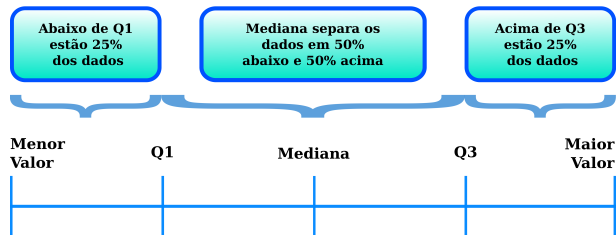
Estatística Robusta na Detecção de *Outliers*

- Pontos fora da curva ou *outliers* são valores que se distanciam muito da maioria das observações;
- As observações atípicas alteram as médias e podem até mesmo distorcer as conclusões obtidas através de uma análise estatística padrão.
- Portanto, é importante detectar e dar um tratamento adequado a elas.



Estatística Robusta na Detecção de *Outliers* (cont.)

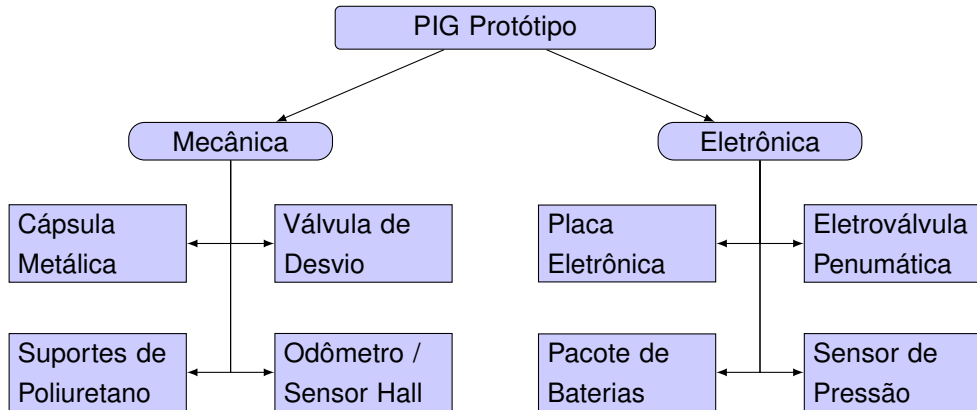
- Regra do **1,5 · IQR** ou **1,5 · Inter Quartil Range**;
 - os *outliers* altos estão acima de **$Q3 + 1,5 \cdot IQR$** ou **$Q3 + 1,5 \cdot (Q3 - Q1)$** ;
 - os *outliers* baixos estão abaixo de **$Q1 - 1,5 \cdot IQR$** ou **$Q1 - 1,5 \cdot (Q3 - Q1)$** .



Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo**
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

PIG Protótipo



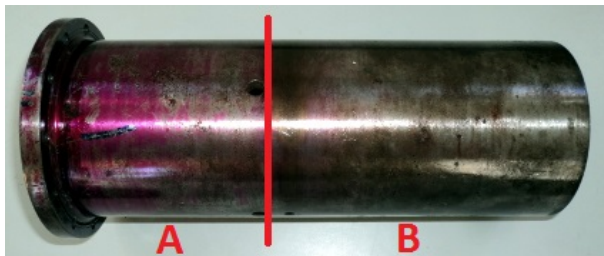
PIG Protótipo (cont.)

- Dois suportes de poliuretano com $\phi 6''$ de diâmetro;
- Uma cápsula metálica com $\phi 4,6''$ de diâmetro, na parte central; e
- Um odômetro, instalado na tampa traseira.



Cápsula Metálica

- Projetada para instalação da válvula de desvio e da eletrônica embarcada.



Suportes de Poliuretanos

- São utilizados para a sustentação e centralização do PIG Protótipo.



Copo Pistão.



Detalhe da Fixação Dianteira.

Válvula de Desvio (*By-pass*)

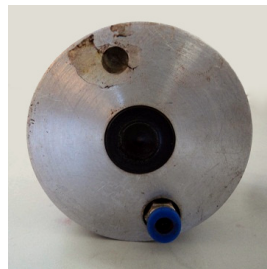
- Cria um atalho de parte do fluido por dentro do PIG Protótipo.



Vista Frontal.



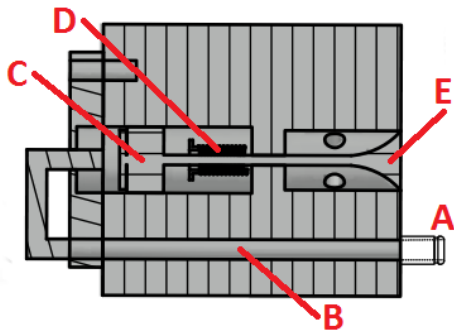
Vista Lateral.



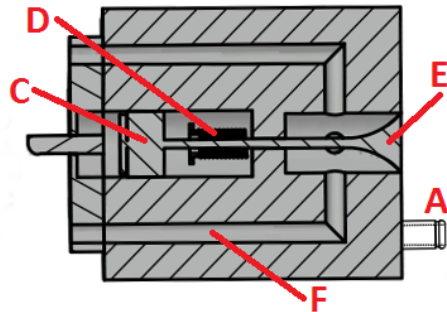
Vista Traseira.

Válvula de Desvio (*By-pass*) (cont.)

- Aproveita a pressão do duto para abrir o obturador tipo disco.

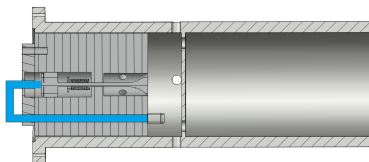


Vista da Via Secundária.

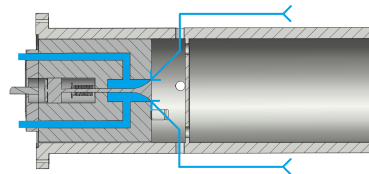


Vista das Vias Principais.

Válvula de Desvio (*By-pass*) (cont.)



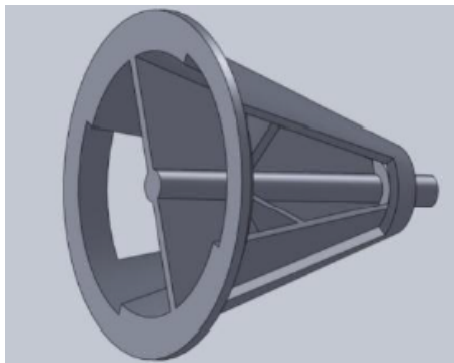
Válvula Prestes a Abrir.



Válvula Aberta.

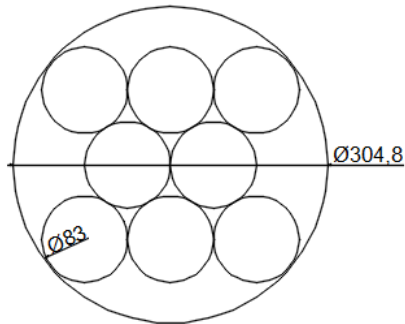
Válvula de Desvio (*By-pass*) (cont.)

- Primeiro projeto: válvula cisalhante de $\phi 12''$ de diâmetro (consumo 3 kW).



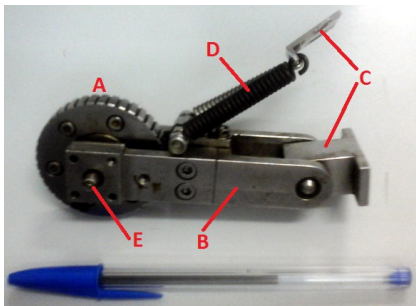
Válvula de Desvio (*By-pass*) (cont.)

- Comparativo: 8 válvulas de desvio cabem em $\phi 12''$ de diâmetro (38,4 W).

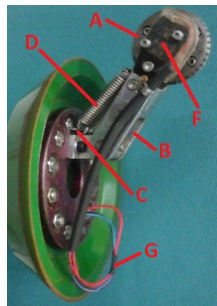


Odômetro e Sensor Hall

- Fornece um trem de pulsos proporcional ao movimento do PIG Protótipo.



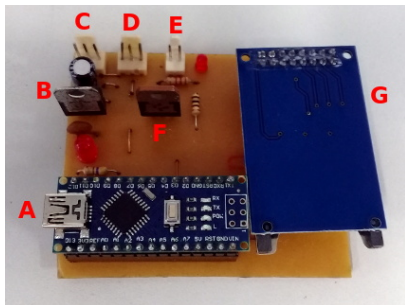
Odômetro Sem a Base do Sensor.



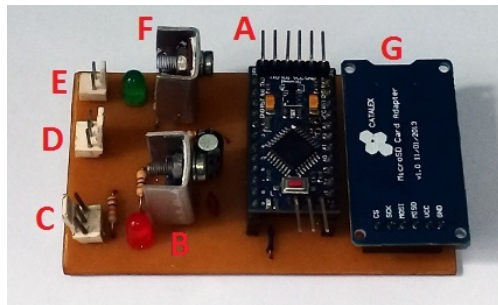
Instalado.

Placa Eletrônica

- É o cérebro do PIG Protótipo.

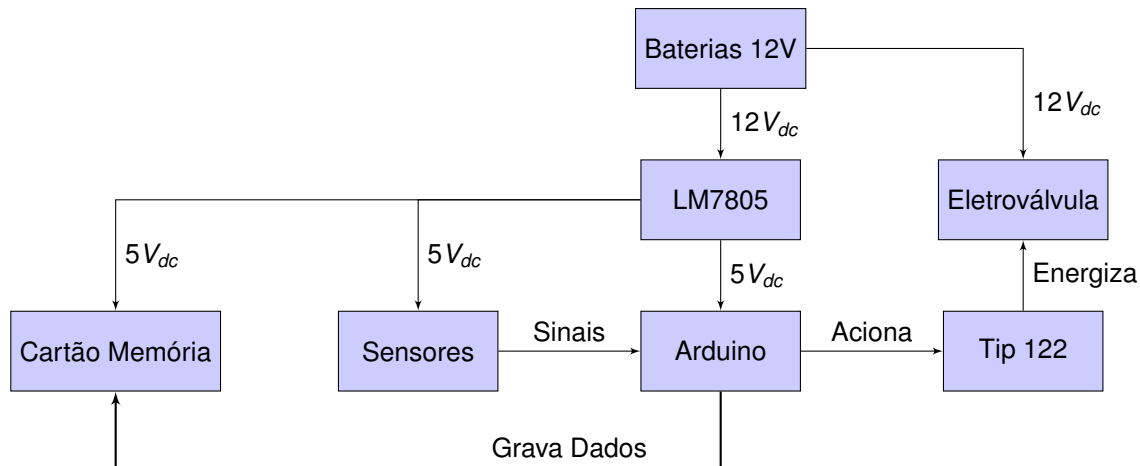


Primeira Placa Eletrônica.

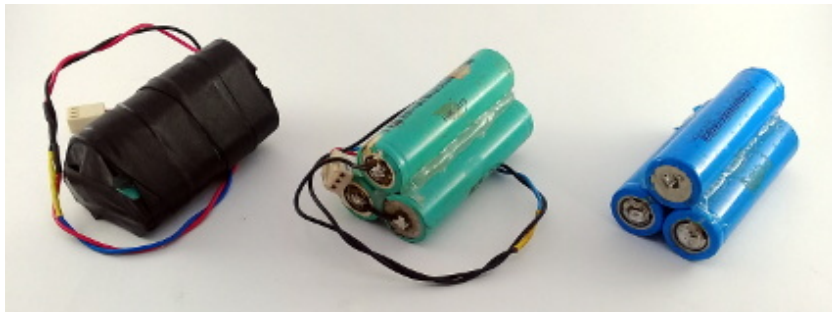


Segunda Placa Eletrônica.

Pacote de Baterias

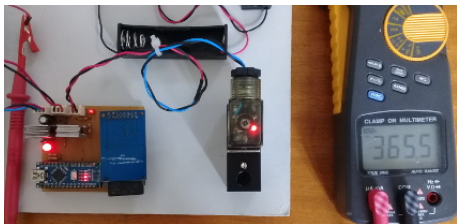


Pacote de Baterias (cont.)



Pacote de Baterias (cont.)

- Medição de corrente fornecida pelas baterias.



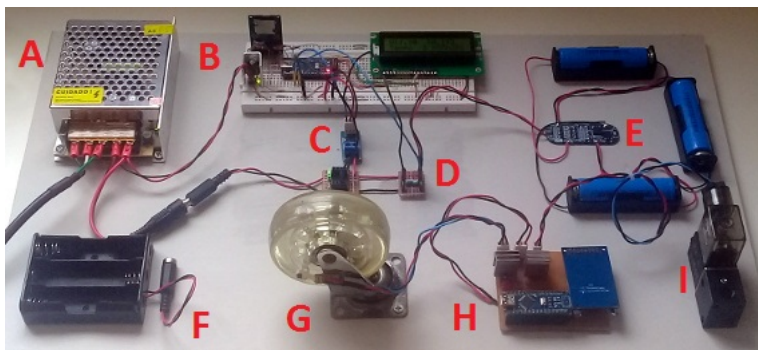
Corrente de 0,365 A.



Corrente de 0,027 A.

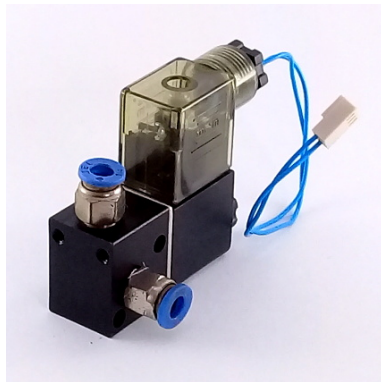
Pacote de Baterias (cont.)

- Determinação da duração das baterias através de uma bancada de testes.



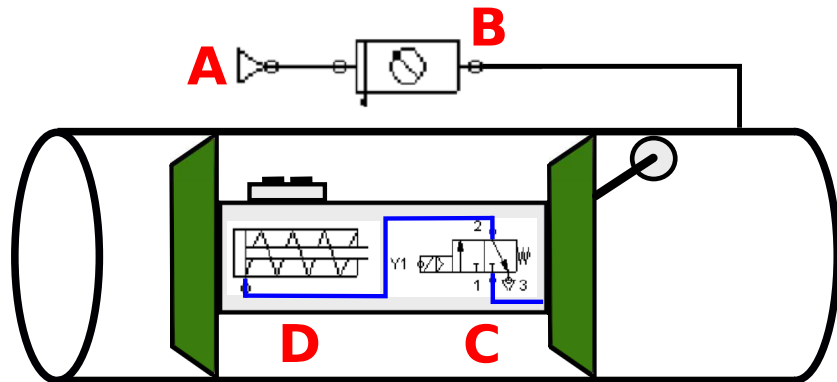
Eletroválvula Pneumática

- Responsável por comandar a abertura da válvula de desvio (4, 8 W).



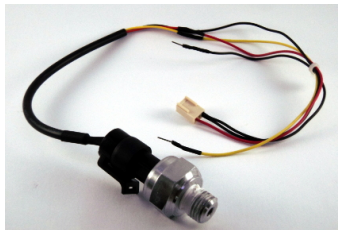
Eletroválvula Pneumática (cont.)

- Montagem dentro do PIG Protótipo.



Sensor de Pressão

□ Calibração.



Sensor com Cabo.

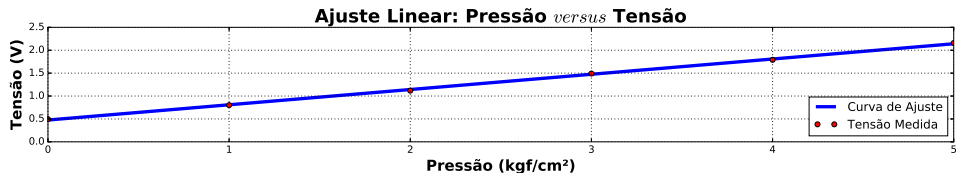


Calibração do Sensor.



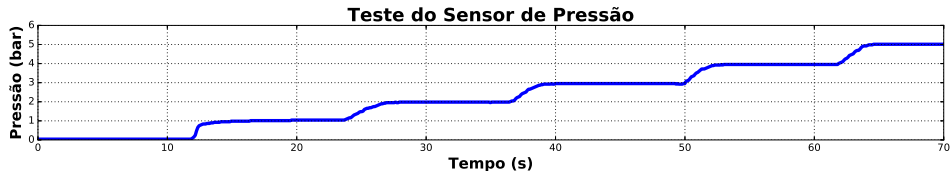
Regulador.

Sensor de Pressão (cont.)



$$P = 0,98 \cdot (3 \cdot V - 1,43)$$

(6)



Montagem da Parte Dianteira



Cápsula Vazia.



Cabeçote Colocado.



Tampa Dianteira.

Montagem da Parte Dianteira (cont.)



Espaçador Colocado.



Suporte Colocado.



Disco Colocado.

Montagem da Parte Traseira



PIG Virado.



Bateria e Placa.



Sensor e Eletroválvula.

Montagem da Parte Traseira (cont.)



Tampa Traseira.



Suporte Colocado.



Disco Colocado.

Montagem da Parte Traseira (cont.)



Base do Odômetro.



Odômetro Colocado.



Sensor Hall Colocado.

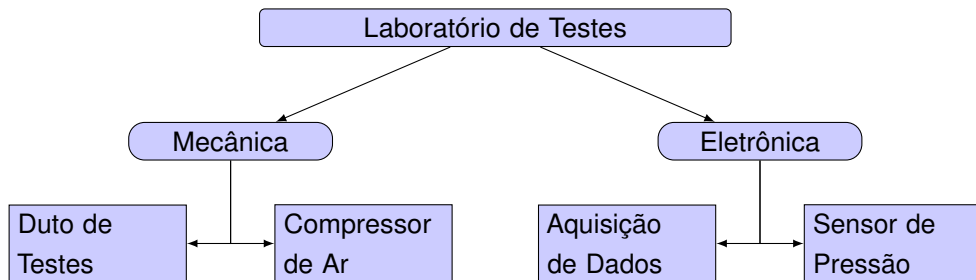
Montagem do PIG Protótipo Concluída



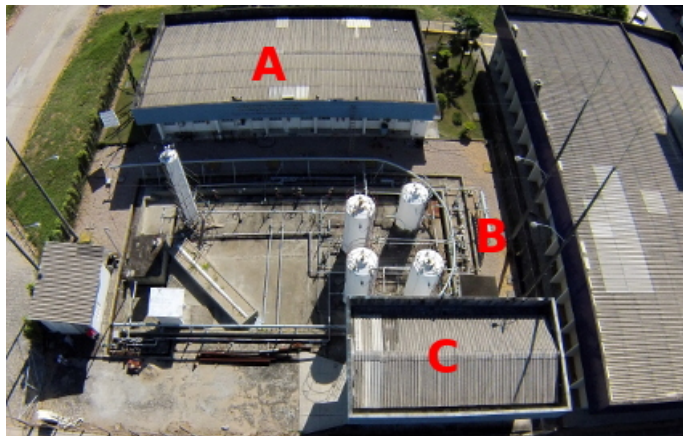
Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes**
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

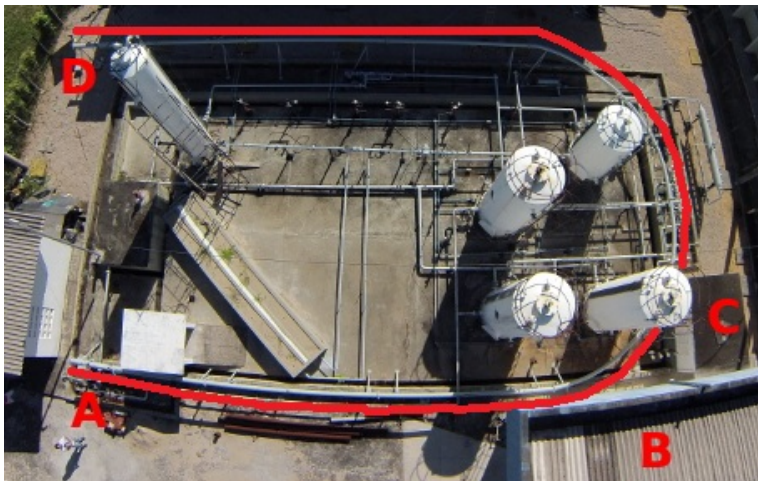
Laboratório de Testes



Laboratório de Testes (cont.)



Duto de Testes



Duto de Testes (cont.)



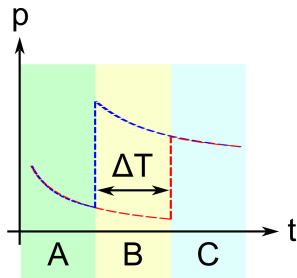
Vista do Lançador.



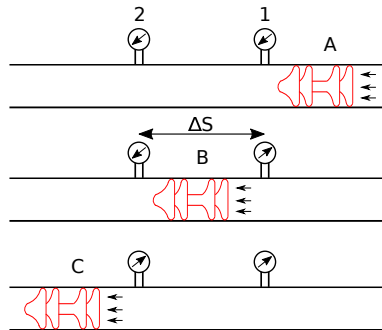
Vista do Recebedor.

Duto de Testes (cont.)

- Funciona pelo aumento de pressão após a passagem do PIG pelos sensores.



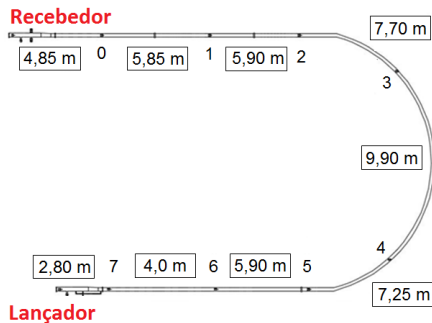
Resposta Pressão X Tempo.



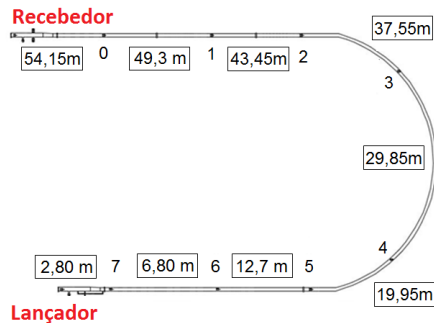
Trecho do Duto com Dois Sensores

Duto de Testes (cont.)

□ Distâncias entre Sensores



Medidas entre Sensores.



Medida Acumulativa.

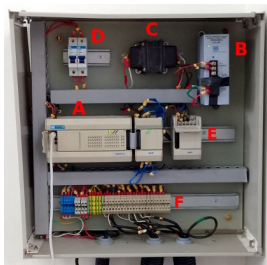
Compressor de Ar

- Fornece energia propulsora para movimentar o PIG Protótipo no duto.



Aquisição de Dados

- Responsável por obter as leituras de pressão provenientes do Duto de Testes.



Quadro do CLP.

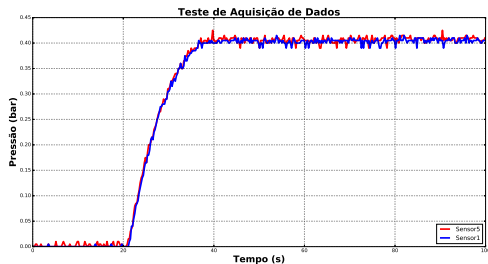


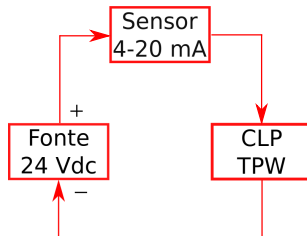
Gráfico de Dois Sensores.

Sensor de Pressão

- Converte sinais de pressão em sinais elétricos de 4-20 *mA*.



Sensor de Pressão.



Malha de Corrente.

Preparação do Lançador



Tampa de $\phi 8''$.



Tampa Retirada.



Retirar Cavelete.

Preparação do Lançador (cont.)



PIG no Lançador.

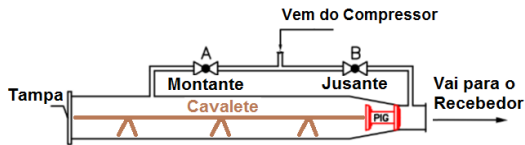


Empurrar PIG.

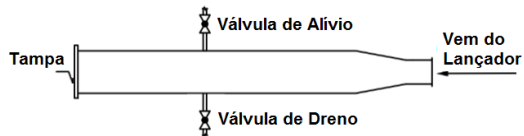


Amarrar Cavalete.

Pressurização do Duto e Abertura da Válvula de Alívio



Válvulas A e B.



Válvulas de Dreno e Alívio.

Abertura do Recebedor



Tampa Retirada.



Puxar PIG.



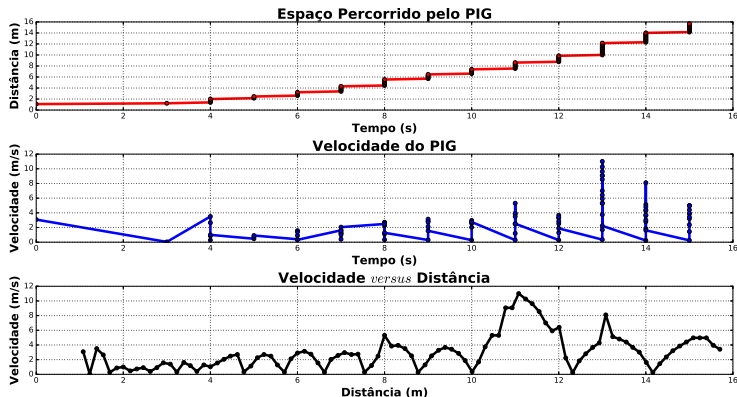
PIG Retirado.

Roteiro

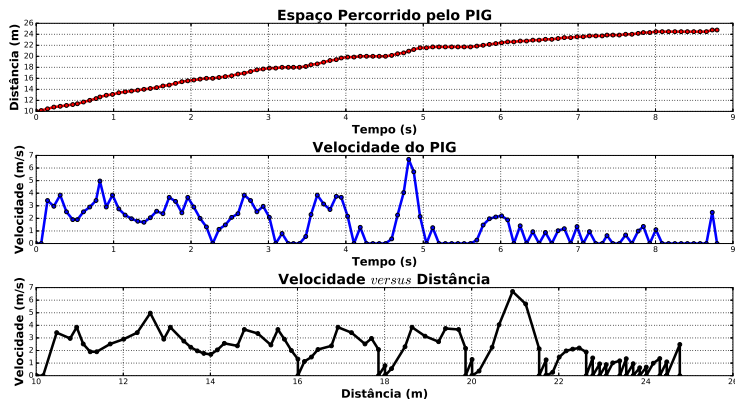
- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos**
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

Medição da Velocidade do PIG Protótipo

- Comprovação do funcionamento do odômetro e da eletrônica embarcada.



Medição da Velocidade do PIG Protótipo (cont.)



Os resultados foram apresentados no X CONEM em Maio de 2018.

Patente do Laboratório de Testes

- Submissão de patente no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://gru.inpi.gov.br/pePi/servlet/PatenteServletController>. The page header includes the INPI logo and navigation links: "Acesso à informação", "Participe", "Serviços", "Legislação", and "Canais". The main content area displays the search results for the query "GUSTAVO FERNANDES DE LIMA no NomeInventor".

RESULTADO DA PESQUISA (22/04/2019 às 09:29:04)
Pesquisa por:
 Todas as palavras: 'GUSTAVO FERNANDES DE LIMA no NomeInventor'\
 Foram encontrados 1 processos que satisfazem à pesquisa. Mostrando página 1 de 1.

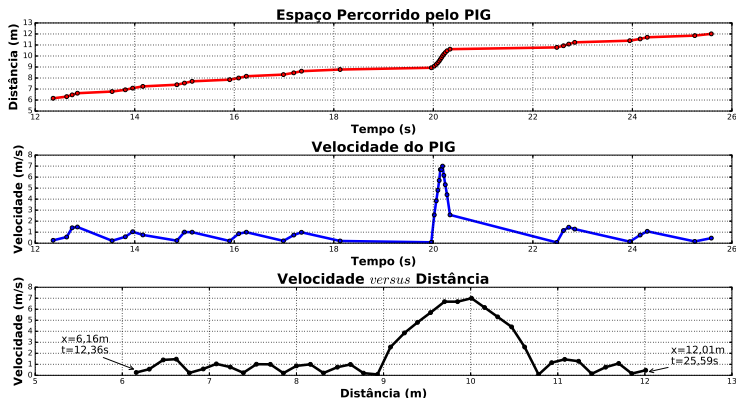
Pedido	Depósito	Título	IPC
BR 10 2017 007333 5	20/03/2017	LABORATÓRIO PARA MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DA VELOCIDADE DE FERRAMENTAS DE INSPEÇÃO DE DUTOS (PIG)	F16L 55/28

Páginas de Resultados:
1

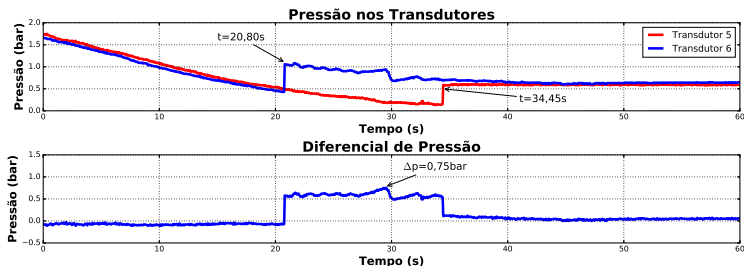
Rua Mayrink Veiga, 9 - Centro - RJ - CEP: 20090-910

Validação do Duto de Testes

- Permite uma maior confiança nas leituras de espaço e velocidade.



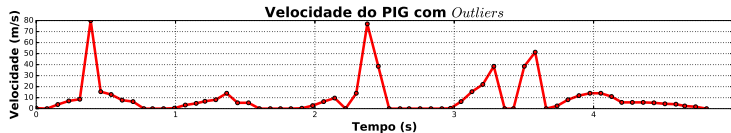
Validação do Duto de Testes (cont.)



Os resultados foram publicados na Revista *Sensors* de Qualis A1 em Setembro de 2017.

Identificação e Substituição de *Outliers*

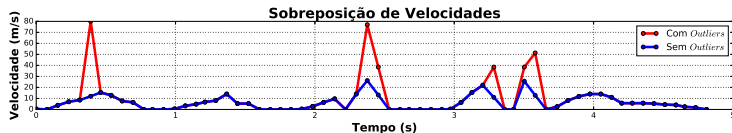
- Existência de valores de velocidade distantes da média.



```
=====
      k          T (k)      veloc (k)    nveloc (k)
      6.00000    0.39100    80.00000    11.97000
      32.00000    2.3760    76.9700    26.2350
      33.00000    2.4550    38.4800    13.1175
      44.00000    3.2840    38.4800    10.9950
      47.00000    3.5030    38.4800    25.6550
      48.00000    3.5810    51.3100    12.8275
=====
>> |
```

Identificação e Substituição de *Outliers* (cont.)

- ☐ Sobreposição de dados.



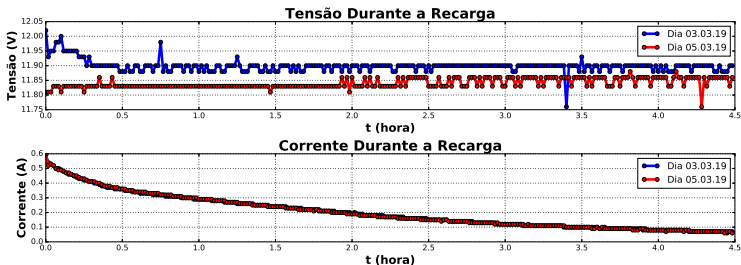
- ☐ Dados de velocidade sem os *outliers*.



Os resultados foram apresentados na IV SECITEX em Outubro de 2018.

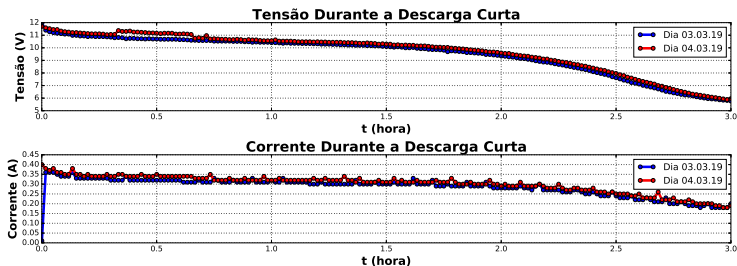
Determinação da Duração das Baterias

- Ensaio de recarga das baterias.



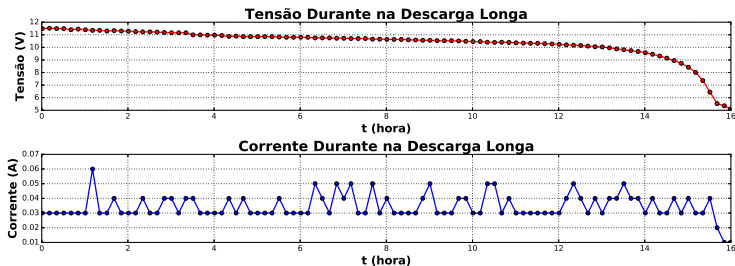
Determinação da Duração das Baterias (cont.)

- Ensaio de descarga de curta duração.



Determinação da Duração das Baterias (cont.)

- Ensaio de descarga de longa duração.



Os resultados serão editados e submetidos em algum evento ou revista.

Outras Colaborações

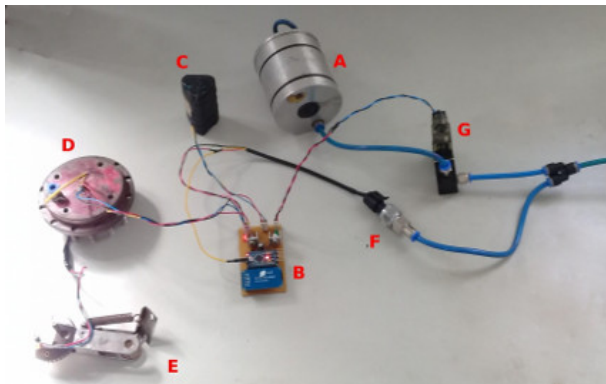
- Auxílio em outros trabalhos, descritos a seguir:
 - Sugestão de tema e orientação do trabalho de graduação de Antônio E. de M. Silva.
 - Gráficos de pressão e velocidade copiados no trabalho de mestrado de Ralyson R. G. de Oliveira.
 - Sugestão de tema e coleta de dados do trabalho de mestrado de Renan P. de Araújo.
 - Sugestão de tema e orientação do trabalho de graduação de Vinícius S. de Oliveira.
 - Sugestão de tema e orientação do relatório de graduação de Samira A. N. Moreira.
 - Sugestão de tema e orientação do trabalho voluntário da aluna Gabriela Lopes.

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão**
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

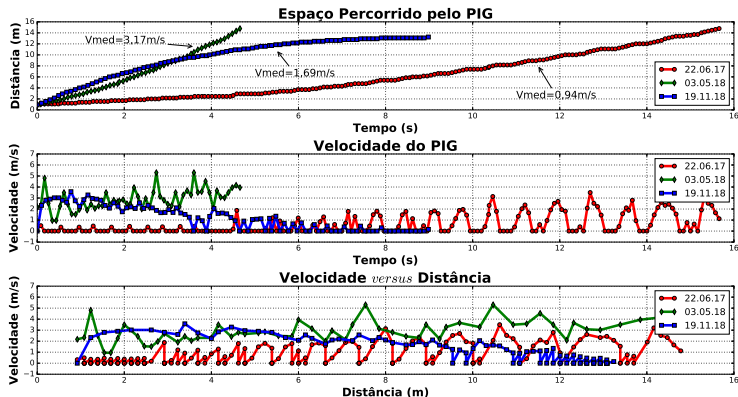
Funcionamento dos Componentes em Bancada

- Limpeza dos componentes e testes de funcionamento em bancada.

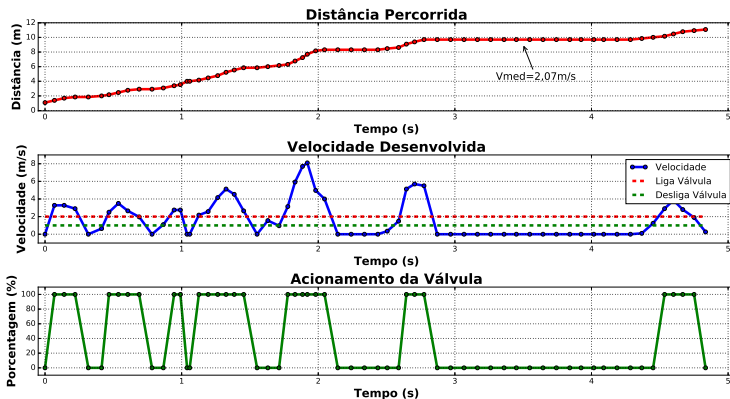


Ensaio Experimentais sem Controlador

- Diferentes perfis de velocidade.

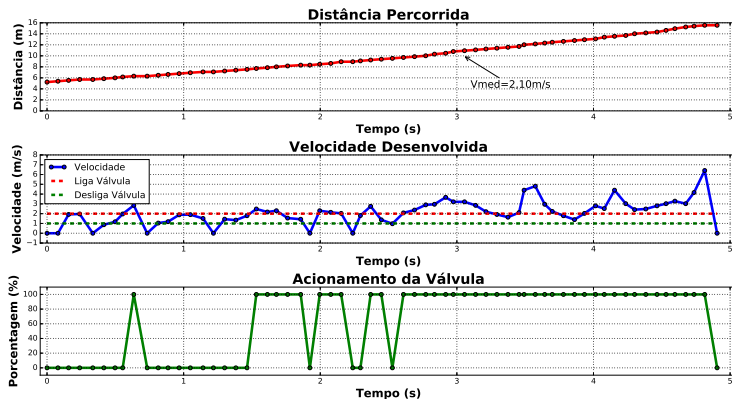


Perfil de velocidade do primeiro ensaio



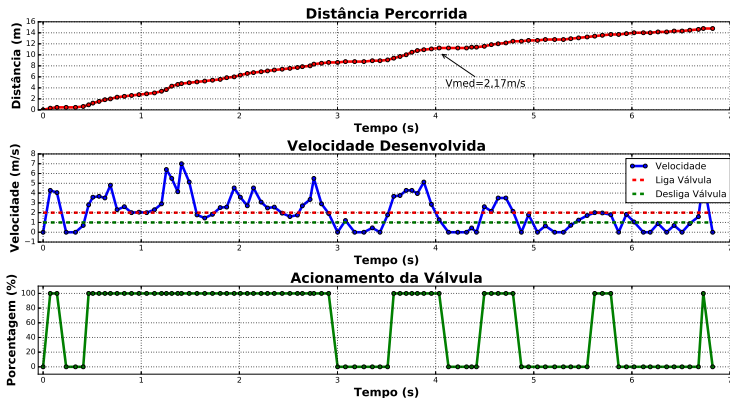
Para uma distância de 10 m em 4,84 s resulta em $V_{med} = 2,07 \text{ m/s}$.

Perfil de velocidade do segundo ensaio



Para uma distância de 10,32 m em 4,91 s resulta em $V_{med} = 2,10 \text{ m/s}$.

Perfil de velocidade do terceiro ensaio



Para uma distância de 14,78 m em 6,82 s resulta em $V_{med} = 2,17 m/s$.

Outra forma de comprovação

- Limpeza das vias principais.



Limpendo as Vias.



Vias Limpadas.

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros**
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim

Conclusões

- Neste trabalho foi proposto o controle de velocidade para PIGs instrumentados utilizando uma válvula de desvio acionada eletronicamente;
- O movimento dos PIGs é intermitente e limitações técnicas da válvula de desvio impedem a utilização de controladores tradicionais;
- Como alternativa, um controlador liga e desliga foi proposto para atuar no controle de velocidade;
- Os equipamentos disponíveis para a realização dos ensaios experimentais são o PIG Protótipo de $\phi 6''$ de diâmetro e o Laboratório de Testes.

Conclusões (cont.)

- Os resultados dos ensaios experimentais do PIG Protótipo utilizando o Laboratório de Testes são promissores e mostram um desempenho dentro do esperado para um controlador liga e desliga, mesmo na presença das limitações do sistema;
- Os ensaios mostram o registro da velocidade média de $3,17 \text{ m/s}$ na condição do controlador desligado e em seguida uma velocidade média de $2,17 \text{ m/s}$ na condição do controlador ligado;

Conclusões (cont.)

- Pelo exposto é possível concluir que é viável e promissor o controle de velocidade de PIGs instrumentados aplicando uma válvula de desvio acionada eletronicamente;
- O aproveitamento de energia do próprio duto é inovadora para o acionamento da válvula de desvio, sendo diferente das válvulas rotativas;
- Esta é a primeira tentativa de utilização deste tipo de válvula de desvio, inovação que permite a construção de PIGs e baterias menores, como é o caso do PIG Protótipo de $\phi 6''$ de diâmetro apresentado nesta tese.

Conclusões (cont.)

- A principal contribuição desta tese é a de propôr uma solução alternativa para um problema da indústria do petróleo, uma vez que os PIGs instrumentados percorrem toda a extensão do duto sem controle algum de velocidade;
- Como consequência, as leituras dos sensores embarcados no corpo dos PIGs serão melhores, devido a uma quantidade maior de pontos coletados em função da velocidade baixa desenvolvida durante a inspeção.









Trabalhos Futuros

- Implementar um módulo capaz detectar os momentos em que o PIG permanece parado para economizar a energia do pacote de baterias;
- Estudar e determinar experimentalmente os valores dos coeficientes B , F_{est} e F_{din} ;
- Projetar e construir uma válvula de desvio proporcional que permita a utilização de controladores tradicionais;
- Estudar a dinâmica de escoamento do PIG para modelar o perfil de velocidade natural (sem controle) e comparar com o perfil de velocidade desejado (com controle);
- Aproveitar o Duto de Testes para desenvolver uma rede de sensores de pressão sem fio; e
- Modificar o PIG Protótipo instalando a válvula de desvio na parte de trás e assim não perfurar o suporte de poliuretano traseiro e a lateral da cápsula metálica.








Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia**
- 9 Apêndices
- 10 Fim

Referências Bibliográficas

-  ESMAEILZADEH, F.; ASEMANI, M.; MOWLA, D. Modeling of pig operations in natural gas and liquid pipeline. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 2006.
-  GUIBIN, T. et al. Research on bypass-valve and its resistance characteristic of speed regulating pig in gas pipeline. p. 1114–1117, 2011.
-  LIANG, Z.; HE, H.; CAI, W. Speed simulation of bypass hole pig with a brake unit in liquid pipe. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 42, p. 40–47, Set. 2017.
-  LIMEIRA, F. M. *Modelagem e Simulação de Deslocamento de PIGs em Tubulações com Válvula de Controle "Bypass" no PIG*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Mai. 2017.
-  MIRSHAMSI, M.; RAFEEYAN, M. Speed control of pipeline pig using the qft method. *Oil & Gas Science and Technology*, v. 67, n. 4, p. 693–701, Ago. 2012.
-  MIRSHAMSI, M.; RAFEEYAN, M. Speed control of inspection pig in gas pipelines using sliding mode control. *Journal of Process Control*, v. 77, p. 134 – 140, May 2019.
-  MONEY, N.; COCKFIELD, D.; SMITH, G. Dynamic speed control in high velocity pipelines. *PPSA Seminar 2012*, p. 693–701, 2012.
-  NGUYEN, T. T. et al. Speed control of PIG using bypass flow in natural gas pipeline. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, p. 863 –868, Ago. 2001.

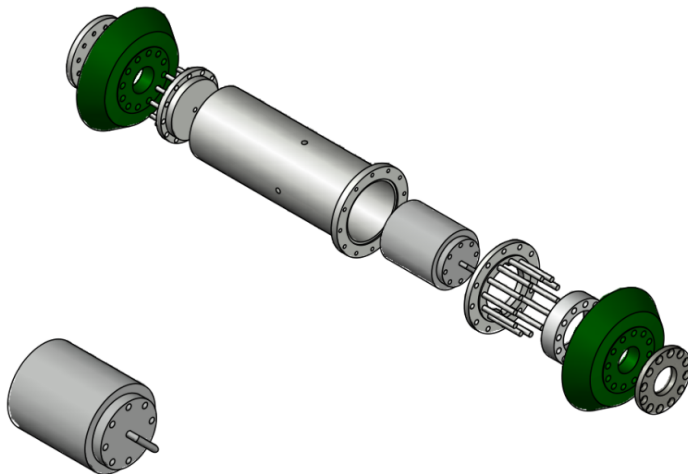
Referências Bibliográficas (cont.)

-  OLIVEIRA, V. S. de et al. Proposta de reconstrução de trajetória de PIGs utilizando componentes não convencionais. *X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM)*, Salvador, BA, Mai. 2018.
-  PEREIRA, C. G. *Estudo e Simulação de um Sistema de Controle de Velocidade de PIGs*: Projeto de graduação. Natal, RN.: Curso de Engenharia da Computação, 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
-  ROSEN. *ROSEN Group - Inline Inspection with Speed Control*. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Xst3tHOaPL8>. Acesso em: 31 Mar. 2019.
-  SABINO, J. M. *Avaliação por PIG de Perfilagem de Danos Superficiais nos Materiais das Paredes de Dutos de Petróleo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Set. 2009.
-  TIRATSOO, J. N. H. *Pipeline Pigging Technology*. 2nd. ed. Houston: Gulf Professional Publishing., 1992. ISBN 0-87291-426-6.
-  TOLMASQUIM, S. T. *Projeto e Controle da Operação de Passagem de PIGs em Dutos*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, R.J, Ago. 2004.
-  YARDI, C. *Design of Regulated Velocity Flow Assurance Device for the Petroleum Industry*. Dissertação (Mestrado) — Texas A&M Universit, College Station, TX, Dez. 2004.

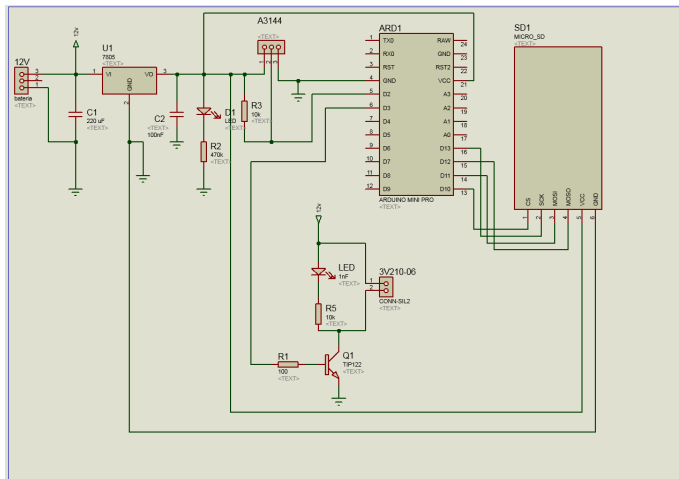
Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices**
- 10 Fim

Medidas do PIG Protótipo



Diagramas da Placa Eletrônica



Códigos Implementados

- O *firmware* utilizado para programar o microcontrolador Atmega328P-PU existente na placa Arduino Mini Pro.
- O programa, em *Python*, utilizado para a produção dos gráficos.
- O programa, em *Octave*, utilizado para detectar e substituir os *outliers* nos dados de velocidade do PIG Protótipo.
- O programa, em *Python*, utilizado para obter os dados de pressão dos sensores instalados no Duto de Testes.

Produção Técnico Científica

Tipo	Quantidade	Citações
Revista A1 (Eng. IV) / B1 (Eng. III)	2	5
Revista B5 (Eng. IV e Eng. III)	1	-
Revista C (Eng. IV e Eng. III)	1	1
Congressos Apresentados	6	-
Congressos ACEITOS e não apresentados	2	-
Patente	1	-
Total	11	6

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Construção do PIG Protótipo
- 4 Construção do Laboratório de Testes
- 5 Trabalhos Paralelos
- 6 Resultados e Discussão
- 7 Conclusões e Trabalhos Futuros
- 8 Bibliografia
- 9 Apêndices
- 10 Fim**

Agradecimentos



Contato

O B R I G A D O

gustavoflima.eng@gmail.com