

Projeto e Implementação em Controlador Industrial para Posicionamento de Risers com Validação Experimental

Ataias Pereira Reis

Emanuel Pereira Barroso Neto

6 de julho de 2016

Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília

Índice

1. Introdução
2. Fundamentos
3. Resultados
4. Conclusão

Introdução

Risers

- Há diversas operações realizadas em plataformas de petróleo em alto mar. Entre elas, a operação de reentrada dos risers. Este procedimento é muitas vezes realizado manualmente.
- A proposta deste trabalho é mostrar que é possível fazer isso de forma automática, por meio de testes em bancada laboratorial, utilizando técnicas de controle para sistemas de ordem infinita.

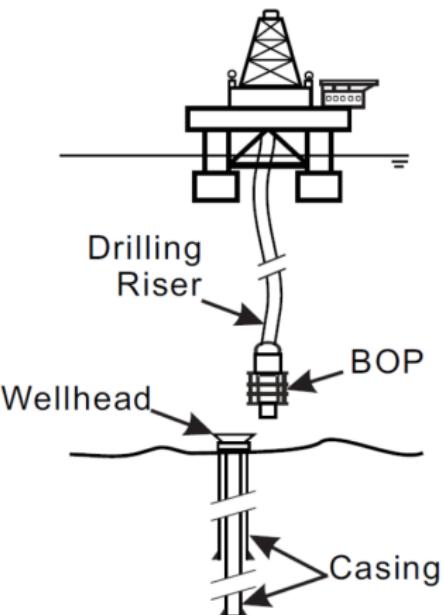


Figura 1: Operação de Reentrada [4]

Risers

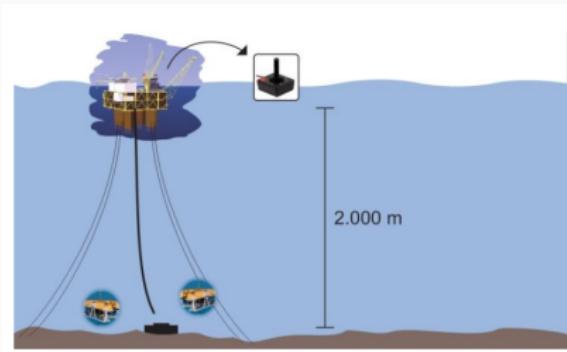


Figura 2: Método atual para reconexão no poço [4]

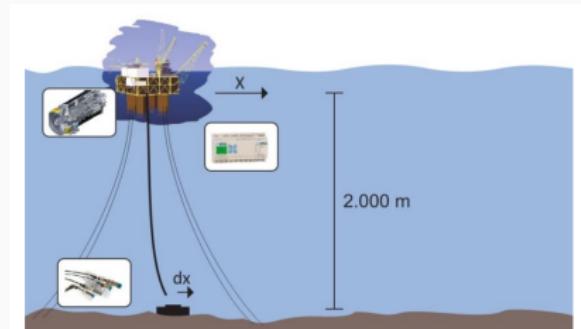


Figura 3: Método proposto para reconexão no poço [4]

Fundamentos

Equações Governantes

Utiliza-se a simplificação de Euler-Bernoulli para vigas, uma vez que *risers* são esbeltos e possuem alto módulo de cisalhamento.

A equação diferencial parcial para a variável deslocamento, Υ , é dada por

$$m_s \frac{\partial^2 \Upsilon}{\partial t^2} = -EJ \frac{\partial^4 \Upsilon}{\partial z^4} + \frac{\partial}{\partial z} \left(T(z) \frac{\partial \Upsilon}{\partial z} \right) + F_n(z, t), \quad (1)$$

na qual m_s é a densidade linear do tubo, E é o módulo de Young e J é o segundo momento de inércia do *riser*. $T(z)$ descreve as forças de tração ao longo do comprimento do *riser*. $F_n(z, t)$ é a força resultante externa [3].

Equações Governantes

Equação de Morison

$$F_n(z, t) = -m_{fbar} \frac{\partial^2 \Upsilon}{\partial t^2} - \mu \left| \frac{\partial \Upsilon}{\partial t} \right| \frac{\partial \Upsilon}{\partial t} \quad (2)$$

Equação completa para o deslocamento

$$\frac{\partial^2 \Upsilon}{\partial t^2} = -\frac{EJ}{m} \frac{\partial^4 \Upsilon}{\partial z^4} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{T(z)}{m} \frac{\partial \Upsilon}{\partial z} \right) - \frac{\mu}{m} \left| \frac{\partial \Upsilon}{\partial t} \right| \frac{\partial \Upsilon}{\partial t} \quad (3)$$

- μ é o coeficiente de arrasto (unidade 1/s)
- m_{fbar} é a massa do fluido adicionado
- $m = m_s + m_{fbar}$

Constantes

Tabela 1: Constantes do barbante

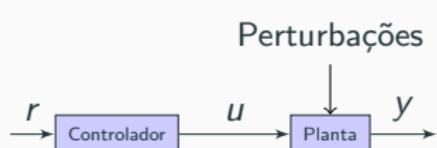
| Significado | Símbolo | Valor | Unidade |
|--------------|--------------|-------|-------------------|
| Massa | m_{bar} | 0.492 | g |
| Comprimento | L | 0.82 | m |
| Massa linear | m_s | 0.6 | g/m |
| Raio | r_{bar} | 1 | mm |
| Densidade | ρ_{bar} | 191 | kg/m ³ |

Constantes

Tabela 2: Constantes da bolinha de isopor

| Significado | Símbolo | Valor | Unidade |
|---------------------------|---------|------------------------|--------------|
| Massa | m_b | 0.492 | g |
| Raio | r_b | 15.3 | mm |
| Coeficiente de inércia | C_m | 1.2 | - |
| Coeficiente de arrasto | C_d | 0.6 | - |
| Volume | V_b | $\frac{4}{3}\pi r_b^3$ | m^3 |
| Área da seção transversal | A_b | πr_b^2 | m^2 |

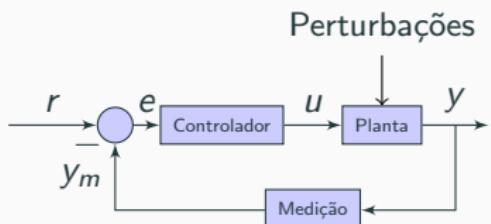
Controle - Malha Aberta x Malha Fechada



Controle em Malha Aberta

Saída não é realimentada - não necessita do uso de sensores.

Figura 4: Malha aberta de controle



Controle em Malha Fechada

Possui realimentação - obtém o sinal de referência para a planta pela evolução do erro.

Figura 5: Malha fechada de controle

Bancada - Esquemático

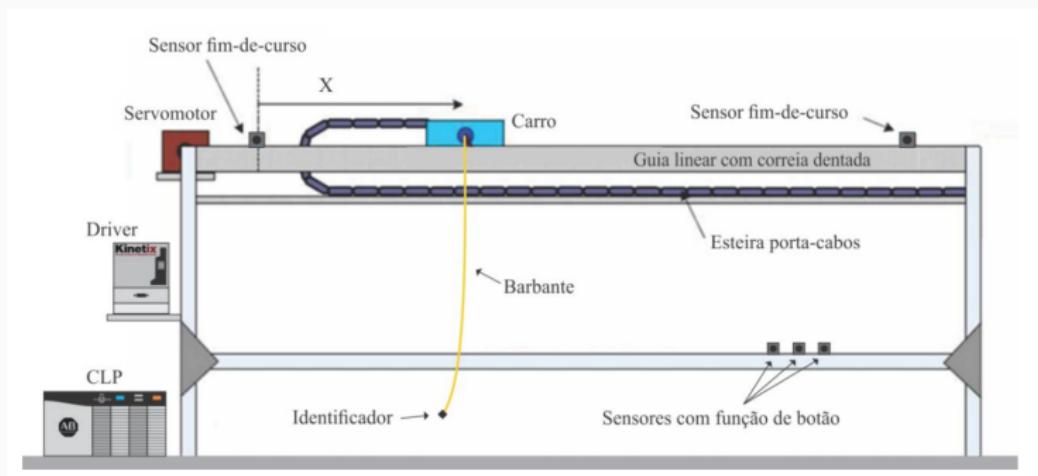


Figura 6: Esquemático da ponte rolante [4]

Bancada - Controlador

Responsável por receber dados da câmera e dos sensores, processá-los e enviar sinais de controle para o motor. Suporta várias linguagens de programação; para este projeto, foram utilizados *ladder* e texto estruturado.

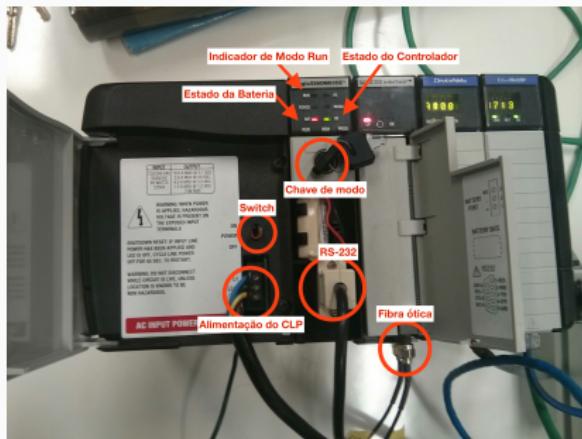


Figura 7: Controlador Lógico Programável da Allen-Bradley

Bancada - Câmera e Drive Kinetix

Câmera

Responsável por enviar a posição da bolinha para o CLP. Atua como sensor visual.



Figura 8: Câmera *Presence Plus* [4]

Drive Kinetix

Responsável por fornecer potência para o motor e controlá-lo por meio de pulsos PWM.



Figura 9: *Drive Kinetix 6000* [4]

Bancada - Line Interface Module

Responsável pela interface elétrica entre o *Drive Kinetix* e a rede de alimentação trifásica.

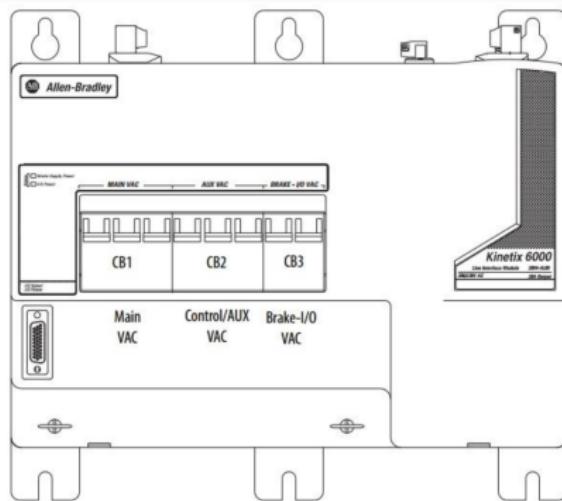


Figura 10: *Line Interface Module [4]*

Bancada - Sensores Indutivos e Servomotor

Sensores Indutivos

Detectam objetos metálicos; podem operar em modo analógico ou digital. Utilizados como chaves de fim de curso para a rotina de emergência.



Figura 11: Sensor Indutivo [4]

Servomotor

Atuador rotatório composto de motor elétrico com sensor acoplado; permite controle preciso da posição angular.



Figura 12: Servomotor [4]

Redes Industriais

DeviceNet

Rede responsável por conectar os sensores indutivos ao CLP por meio do módulo 1756-DNB. Suporta conexões de dispositivos de baixo nível com CLPs e outros dispositivos de alto nível, como o computador [1]. O módulo responsável pelo *scan* desta rede é o *1756-DNB*.

Ethernet/IP

Transmite dados da câmera para o CLP, e também transfere os programas em *ladder* ou texto estruturado do computador para o controlador. É uma rede indicada para aplicações em que o tempo é crítico [2]. O módulo responsável pelo *scan* desta rede é o *1756-ENBT/A*.

OPC - OLE for Process Control

Responsável pelo compartilhamento de dados entre o CLP e outros *softwares* no computador. Utilizado para se efetuar atualização de dados dentro do CLP, mas fora do *software* RSLogix5000. Desta forma, partes do controle da bancada podem ser escritos, por exemplo, em Python.

Parâmetros Para Geração de Trajetórias

Tabela 3: Dados para simulação em escala real [4]

| Dados do Riser | |
|-------------------------------|------------------------|
| Diâmetro externo | 0.55m |
| Diâmetro interno | 0.5m |
| Comprimento | 2000m |
| Módulo de Elasticidade | 200GPa |
| Densidade | 7860kg/m ³ |
| Dados do fluido (Água) | |
| Densidade do fluido | 1000kg/m ³ |
| Viscosidade dinâmica | 10 ³ Pa · s |

Parâmetros Para Geração de Trajetórias

Tabela 4: Dados para simulação em escala laboratorial

| Dados da Massa na Ponta - Isopor | |
|---|---|
| Diâmetro Externo | 30.6mm |
| Densidade | 10kg/m ³ |
| Dados do Riser (Barbante) | |
| Diâmetro externo | 2mm |
| Diâmetro interno | 0mm |
| Comprimento | 82cm |
| Módulo de Elasticidade | 2.1MPa |
| Densidade | 191kg/m ³ |
| Dados do fluido (Ar) | |
| Densidade do fluido | 1.2754kg/m ³ |
| Viscosidade dinâmica | $17.2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ |

Resultados

Calibração da Câmera

Passos para a calibração da câmera

1. Atualização do *firmware*;
2. Reconhecimento da câmera pelo *software RsLinx*;
3. Estabelecimento de um endereço IP para a câmera no *software PresencePlus*;
4. Uso das ferramentas de tomada de dados da câmera no *software PresencePlus*;
5. Obtenção da relação entre *pixels* da câmera e milímetros.

Calibração da Câmera

Ferramentas utilizadas

- Locate: Localiza o corpo desejado pelas bordas;
- Geometric: Localiza o “centro geométrico” do corpo a ser detectado;
- Measure: Responsável por efetuar medições em *pixels* entre pontos de referência desejados;
- Math: Executa cálculos matemáticos;
- Communication: Transfere os dados de interesse da câmera para o CLP por meio da rede Ethernet/IP.

Calibração da Câmera - Reconhecimento do Software RSLinx

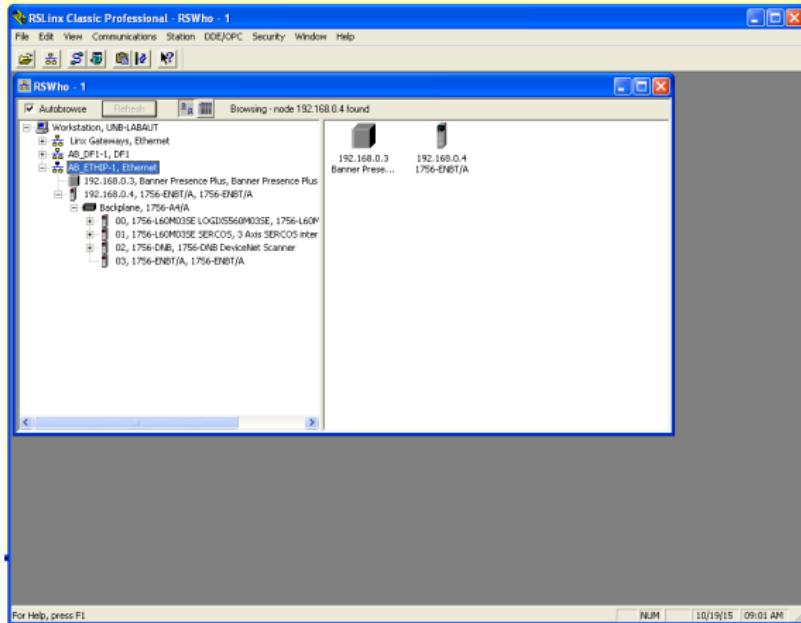


Figura 13: *RSLinx* com câmera reconhecida

Calibração da Câmera - Configuração do Módulo Ethernet/IP

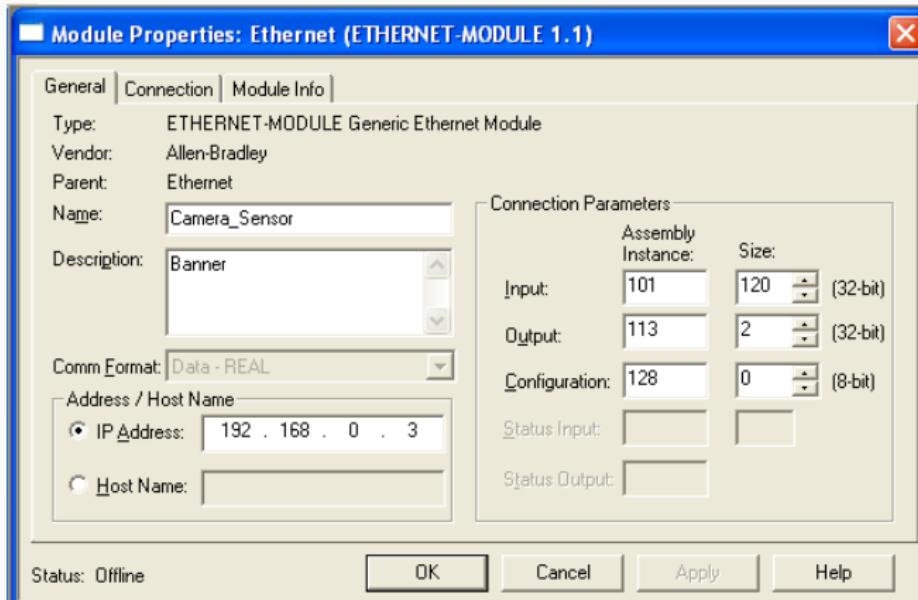


Figura 14: Configuração do módulo 1756-ENBT para uso dos dados da câmera

Calibração da Câmera - Software PresencePlus

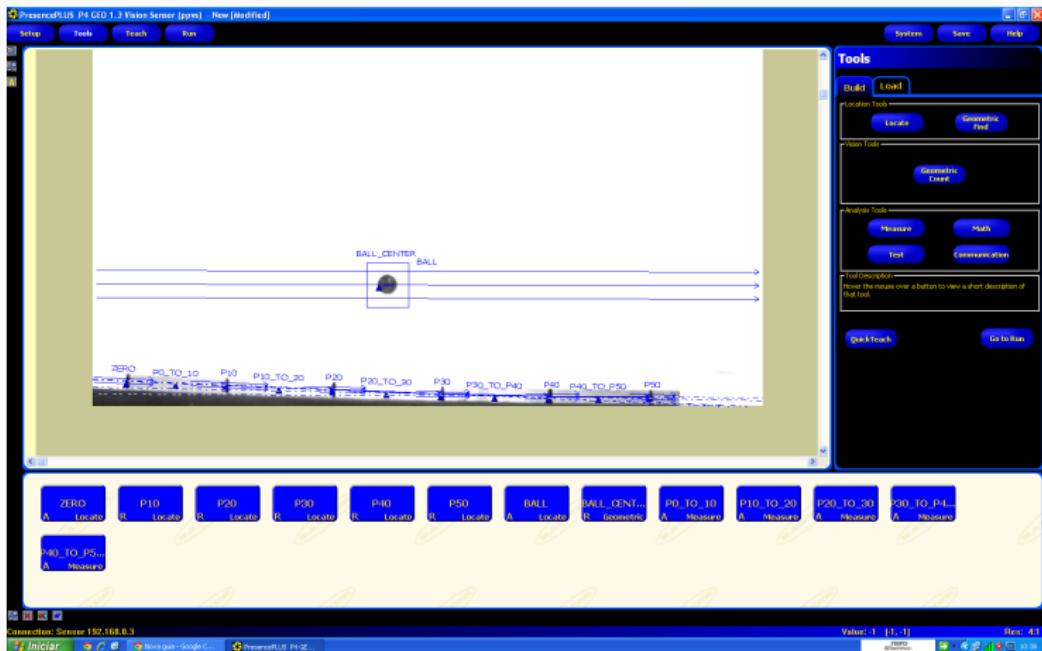


Figura 15: Calibração da câmera pelo software *PresencePlus*

Calibração da Câmera - Resultados

Tabela 5: Relações mm/px para diferentes seções da barra de alumínio

| Seção 1 | Seção 2 | Distância (px) | mm/px |
|---------|---------|----------------|-------|
| P0 | P10 | 160 | 0.625 |
| P10 | P20 | 173 | 0.578 |
| P20 | P30 | 176 | 0.568 |
| P30 | P40 | 173 | 0.578 |
| P40 | P50 | 163 | 0.613 |
| P0 | PEND | 893 | 0.596 |

Erro aproximado: 4.93 %

Calibração do Servomotor

Passos para a calibração

1. Obtenção da posição inicial x_0 e posição final x_f , em milímetros;
2. Definição de um intervalo de tempo Δt e uma velocidade de movimentação do carrinho v em [u/s];
3. Cálculo da velocidade em [mm/s] a partir dos dados obtidos.

Calibração do Servomotor - Resultados

Tabela 6: Dados de calibração do servomotor, média obtida é de 71.32 mm/unidade

| x_0 - [mm] | x_f - [mm] | Δt - [s] | Velocidade - [u/s] | Velocidade - [mm/s] | mm/u |
|--------------|--------------|------------------|--------------------|---------------------|--------|
| 2 | 71.8 | 2 | 0.5 | 34.9 | 69.8 |
| 6 | 76.1 | 2 | 0.5 | 35.05 | 70.1 |
| 6 | 188 | 5 | 0.5 | 36.4 | 72.8 |
| 6 | 185 | 2.5 | 1 | 71.6 | 71.6 |
| 6 | 77 | 10 | 0.1 | 7.1 | 71 |
| 6 | 296.5 | 20 | 0.2 | 14.525 | 72.625 |

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 30 cm - Dados

- **Período de amostragem:** $T \approx 41\text{ms}$;
- **Deslocamento:** $\Delta x = 30\text{cm}$;
- **Intervalo de tempo:** $\Delta t \approx 3\text{s}$;
- **Velocidade média:** $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = 100\text{mm/s}$.

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 30 cm - Trajetória modelada

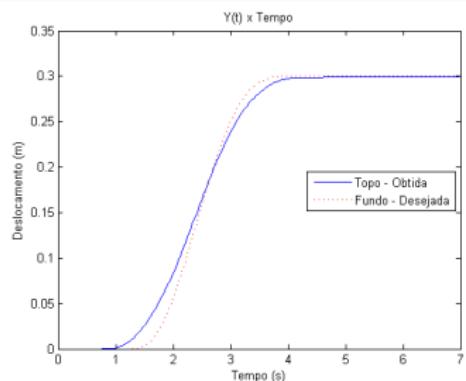


Figura 16: Referência de Posição para Excursão de 30cm

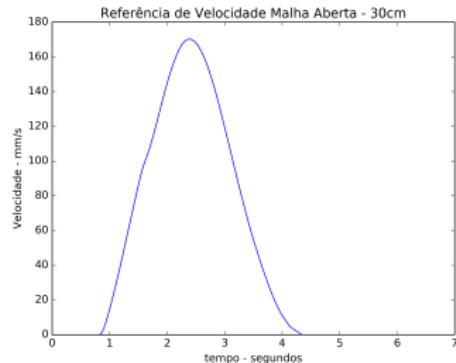


Figura 17: Referência de Velocidade para Excursão de 30cm

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 30 cm - Resultados

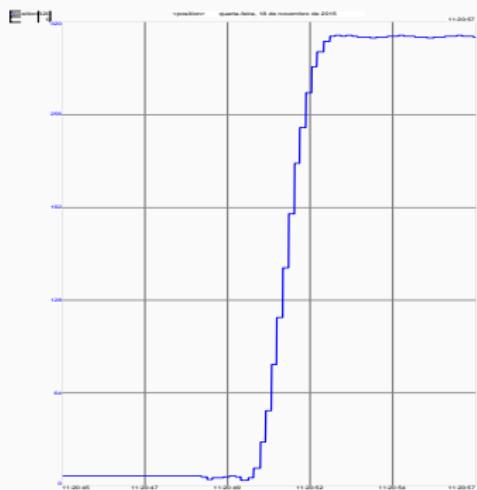


Figura 18: Resultado com Velocidade Modelada para Excursão de 30cm

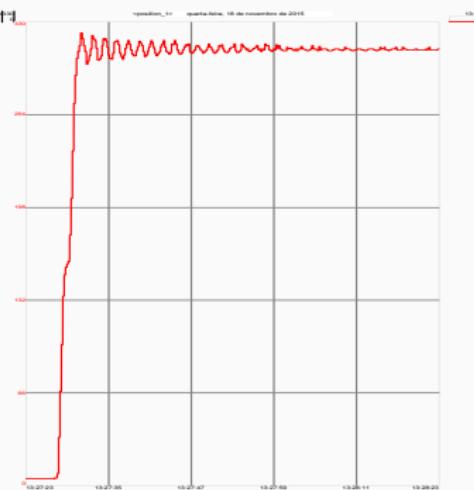


Figura 19: Resultado com Velocidade Constante para Excursão de 30cm

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 20 cm - Dados

- **Período de amostragem:** $T \approx 100\text{ms}$;
- **Deslocamento:** $\Delta x = 20\text{cm}$;
- **Intervalo de tempo:** $\Delta t \approx 1.5\text{s}$;
- **Velocidade média:** $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \approx 133.3\text{mm/s}$.

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 20 cm - Trajetória modelada

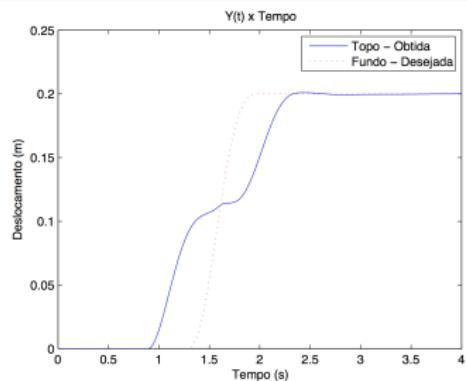


Figura 20: Referência de Posição para Excursão de 20cm

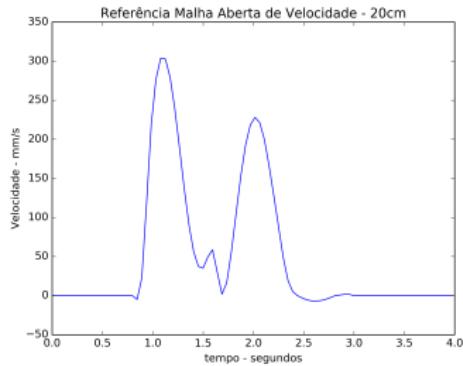


Figura 21: Referência de Velocidade para Excursão de 20cm

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 20 cm - Resultados

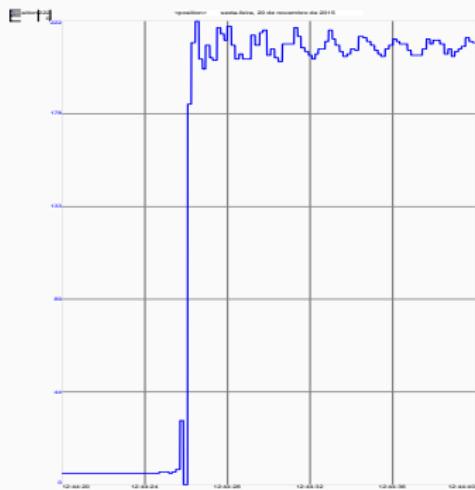


Figura 22: Resultado com Velocidade Modelada para Excursão de 20cm

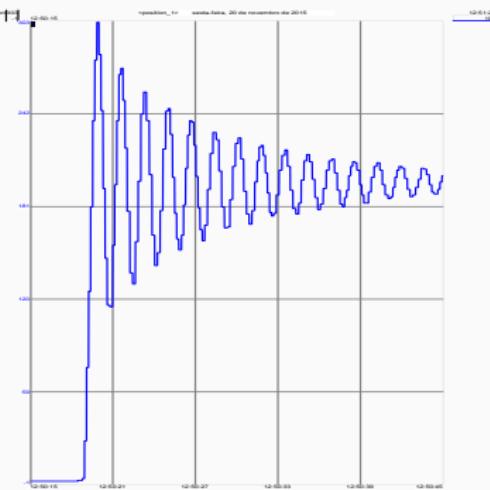


Figura 23: Resultado com Velocidade Constante para Excursão de 20cm

Malha Fechada - Resultados

Controlador P - Ensaios

Foram feitos dois ensaios:

$$1. \ K_p = 0.0050 \frac{u}{\text{mm} \cdot \text{s}};$$

$$2. \ K_p = 0.0025 \frac{u}{\text{mm} \cdot \text{s}}.$$

Malha Fechada - Resultados

Controlador P - Esquemático

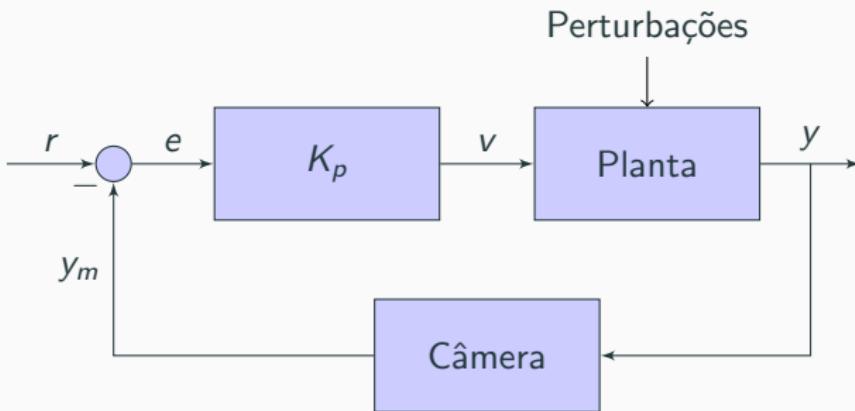


Figura 24: Malha fechada de controle

Malha Fechada - Resultados

Controlador P - Resultados

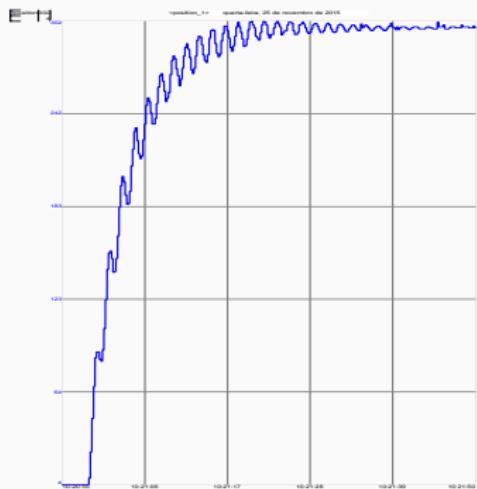


Figura 25: Resultado com Malha Fechada Proporcional e
 $K_p = 0.0025 \frac{u}{\text{mm} \cdot \text{s}}$

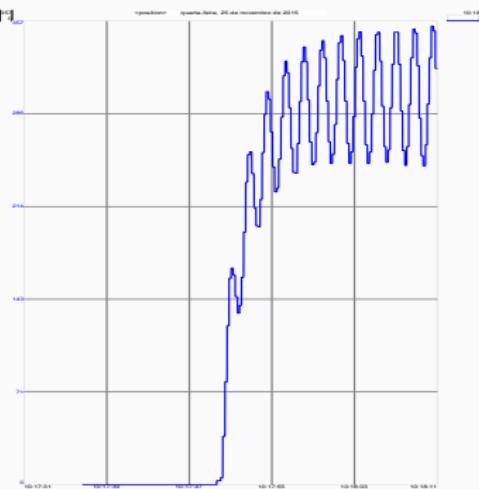


Figura 26: Resultado com Malha Fechada Proporcional e
 $K_p = 0.0050 \frac{u}{\text{mm} \cdot \text{s}}$

Links Interessantes

Links para vídeos com resultados

1. Excursão 30 cm (1) - <https://youtu.be/lKajz6LyauE>
2. Excursão 30 cm (2) - <https://youtu.be/tB0TsmBcfVg>
3. Excursão 20 cm (1) - https://youtu.be/wg1Wq_6VRSG
4. Excursão 20 cm (2) - <https://youtu.be/Ges2-eYy69k>
5. Controlador P com $K_p = 0.0050$ -
<https://youtu.be/sHh3yvBrek4>
6. Controlador P com $K_p = 0.0025$ -
<https://youtu.be/mmT1ZwFBJ4s>

Conclusão

Conclusão

Conclusões

- Adquiriu-se um conhecimento relativamente alto da bancada em que foi realizado o experimento;
- Foi possível fechar a malha de controle, ainda que fosse um controlador P, cujo resultado não é ideal.

Conclusão

Perspectivas Futuras

- Utilizar uma abordagem de controle mais rebuscada, utilizando redução modal, conforme Fabrício et al [3];
- Buscar soluções envolvendo controle preditivo, de forma a se obter melhores resultados.

Dúvidas?

Referências I

-  Devicenet network.
Disponível em: [http://ab.rockwellautomation.com/
Networks-and-Communications/DeviceNet-Network](http://ab.rockwellautomation.com/Networks-and-Communications/DeviceNet-Network).
Acesso em: 30/11/2015.
-  A single it-friendly network for enterprise and industrial applications.
Disponível em: [http://www.rockwellautomation.com/global/
products-technologies/integrated-architecture/
ethernet-ip.page](http://www.rockwellautomation.com/global/products-technologies/integrated-architecture/ethernet-ip.page).
Acesso em: 30/11/2015.

Referências II

-  F. R. Monteiro, J. O. de Aquino Limaverde Filho, and E. Fortaleza.
Modal reduction based tracking control for installation of subsea equipments*.
IFAC-PapersOnLine, 48(6):15 – 20, 2015.
2nd {IFAC} Workshop on Automatic Control in Offshore Oil and Gas Production {OOGP} 2015 Florianópolis, Brazil, 27–29 May 2015.
-  R. B. SOUSA.
Implementação de Controle de Riser, Validação Experimental e Análise Através de Processamento de Imagens.
Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.
Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Obrigado!