

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

Ataias Pereira Reis

Emanuel Pereira Barroso Neto

14 de dezembro de 2015

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 banca laboratorial.

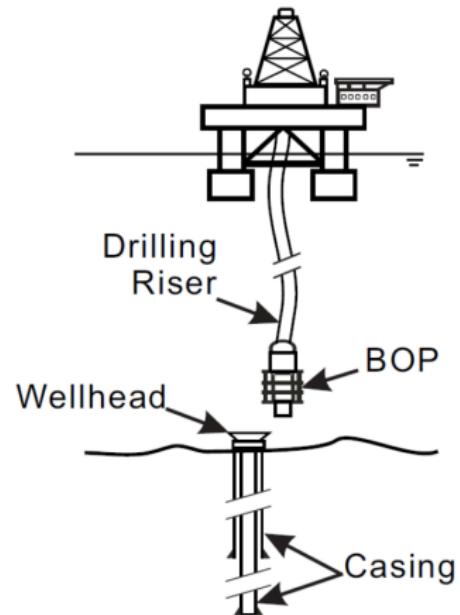


Figura 1: Operação de Reentrada [4]

Risers

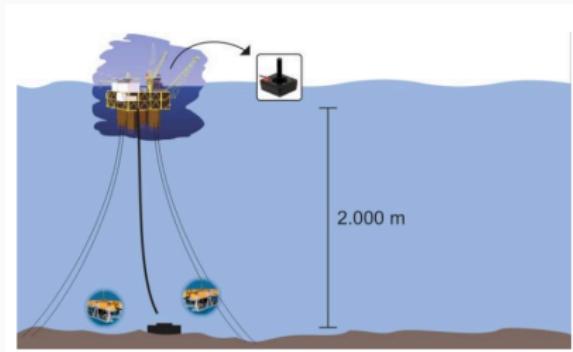


Figura 2: Método atual para reconexão no poço [4]

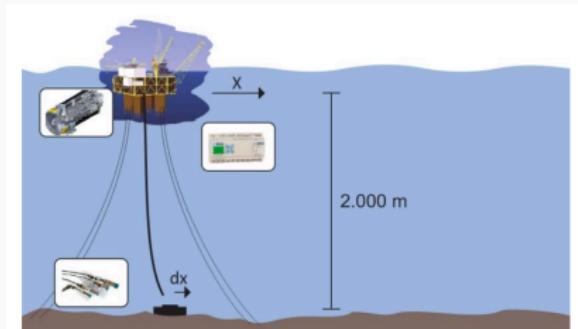


Figura 3: Método proposto para reconexão no poço [4]

Fundamentos

Equações Governantes

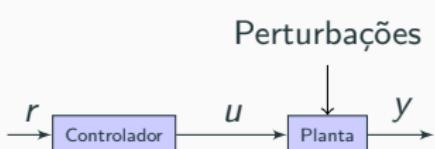
Utiliza-se a simplificação de Euler-Bernoulli para vigas, uma vez que *risers* são esbeltos e possuem alto módulo de cisalhamento.

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].

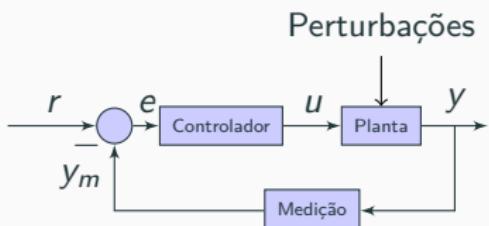
Controle - Malha Aberta x Malha Fechada



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

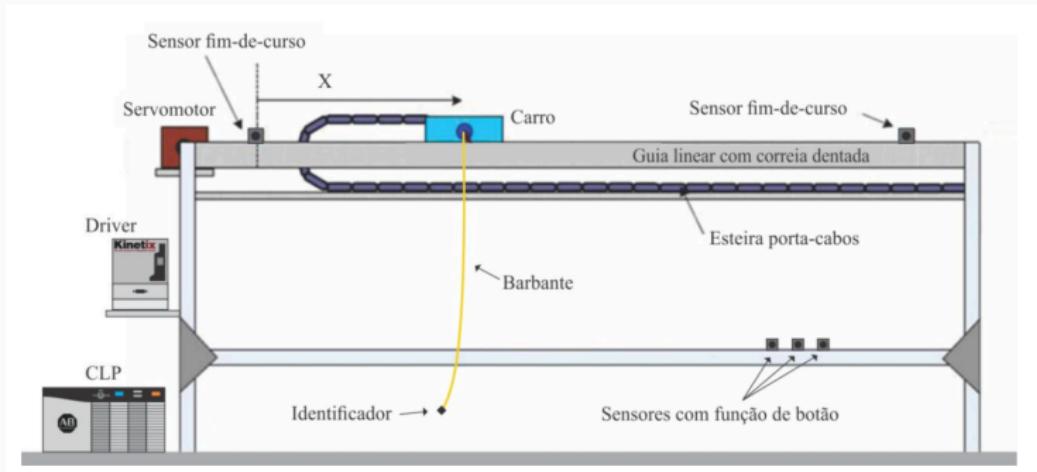


Figura 6: Esquemático da ponte rolante [4]

Bancada - Controlador

Responsável por receber dados da câmera e dos sensores, processá-los e enviar sinais de controle para o motor.

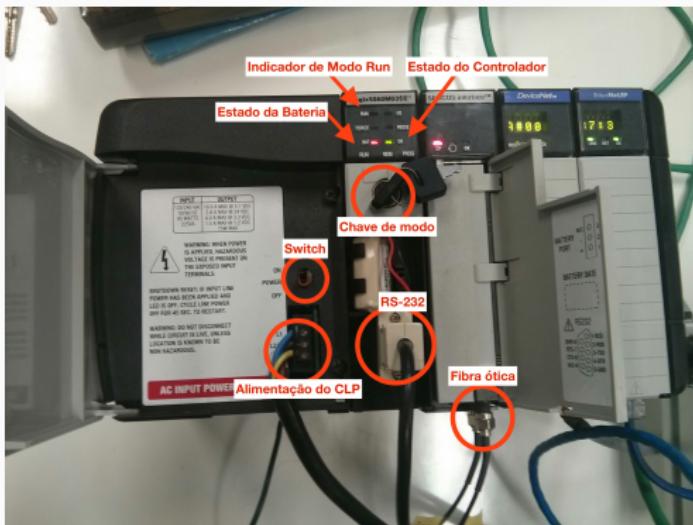


Figura 7: Controlador Lógico Programável da Allen-Bradley

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.

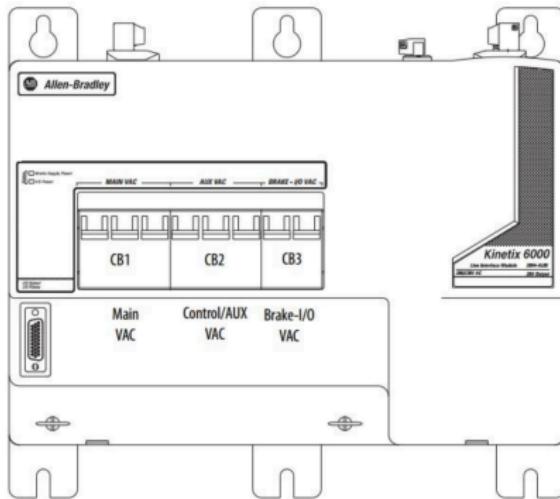


Figura 10: *Line Interface Module* [4]

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*.

Programação CLP - Passos

Passos para programação em CLP

1. Descrição do problema;
2. Detalhamentos e melhoria do processo;
3. Especificação dos atuadores e sensores da planta;
4. Elaboração do algoritmo;
5. Representação gráfica do algoritmo, quando aplicável;
6. Esquema funcional, quando aplicável;
7. Seleção dos módulos do controlador;
8. Programação, utilizando linguagens suportadas.

Linguagem Ladder

Linguagem gráfica para CLPs. Lembra conexões elétricas de sistemas com relés.

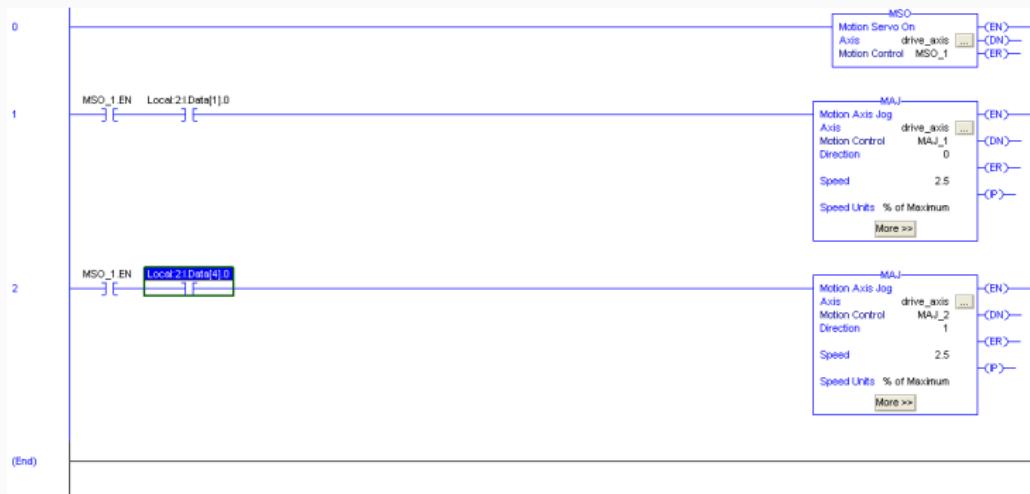


Figura 13: Exemplo de programa em *ladder*

Texto Estruturado

Texto Estruturado

Linguagem sequencial, semelhante a linguagens como C ou Pascal. Os comandos são executados em sequência, de cima para baixo.

```
/* Structured Text
 * Example
 */
k := 0;
MSO(drive_axis,MSO_1);
if k < 170 then
    speed[k] := 0.0;
    k := k + 1;
end_if;
```

Parâmetros Para Geração de Trajetórias

Tabela 1: 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 2: 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

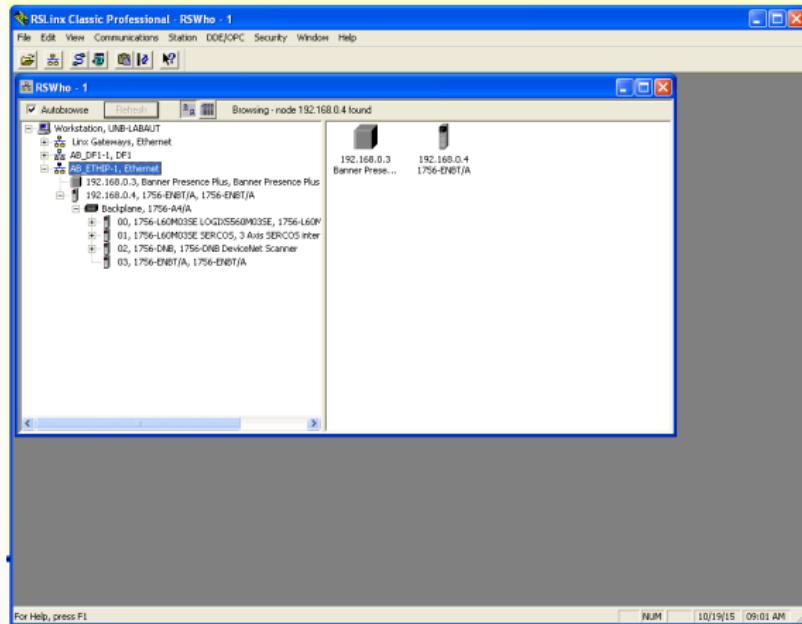


Figura 14: *RSLinx* com câmera reconhecida

Calibração da Câmera - Configuração do Módulo Ethernet/IP

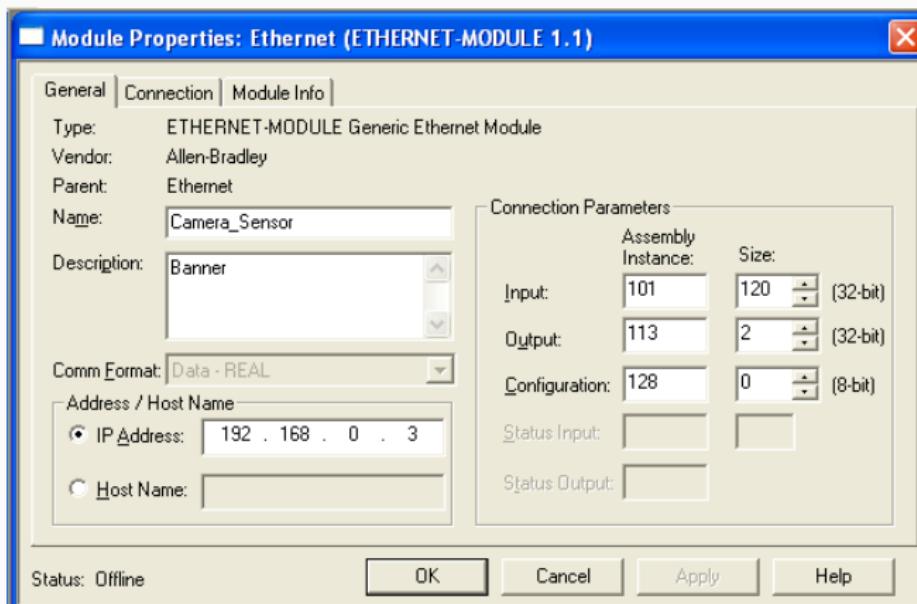


Figura 15: Configuração do módulo 1756-ENBT para uso dos dados da câmera

Calibração da Câmera - *Software PresencePlus*

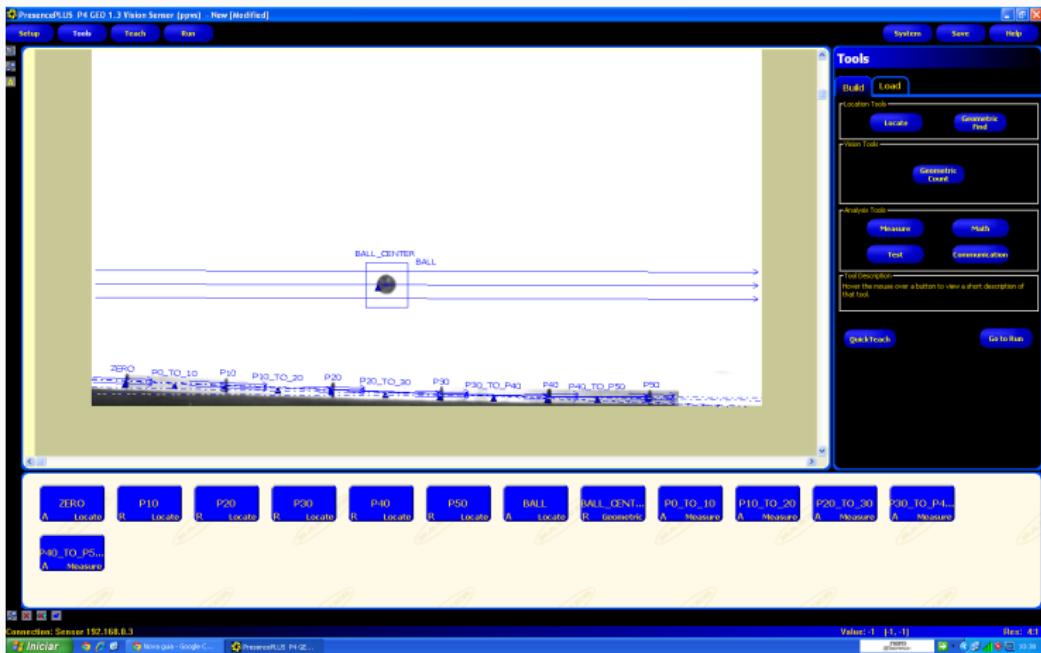


Figura 16: Calibração da câmera pelo *software PresencePlus*

Calibração da Câmera - Resultados

Tabela 3: 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 4: 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

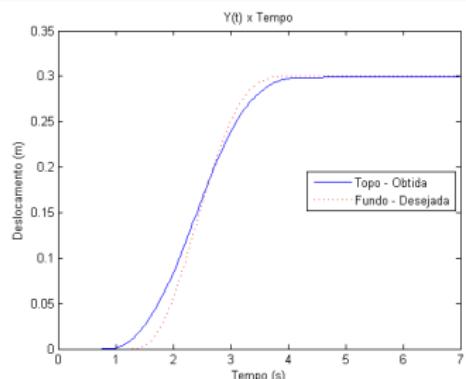


Figura 17: Referência de Posição para Excursão de 30cm

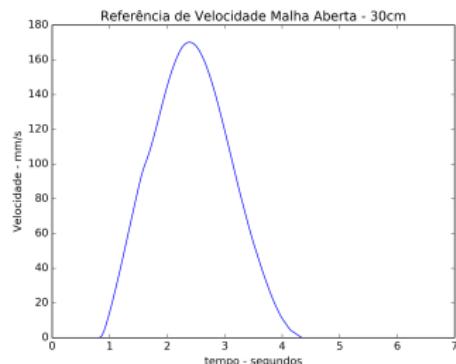


Figura 18: Referência de Velocidade para Excursão de 30cm

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 30 cm - Resultados

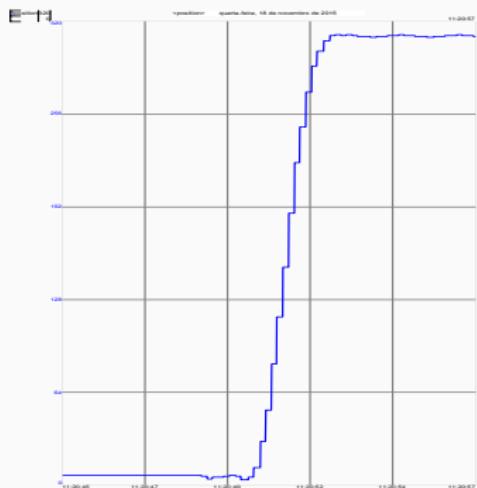


Figura 19: Resultado com Velocidade Modelada para Excursão de 30cm

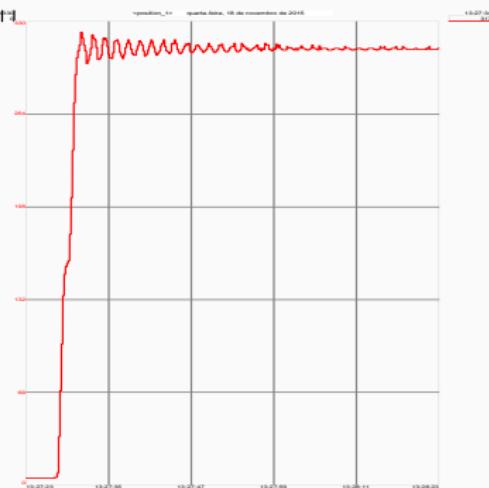


Figura 20: Resultado com Velocidade Constante para Excursão de 30cm

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

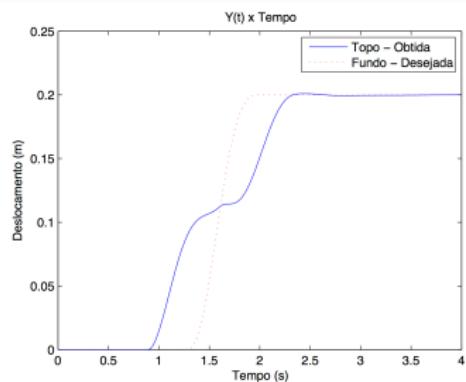


Figura 21: Referência de Posição para Excursão de 20cm

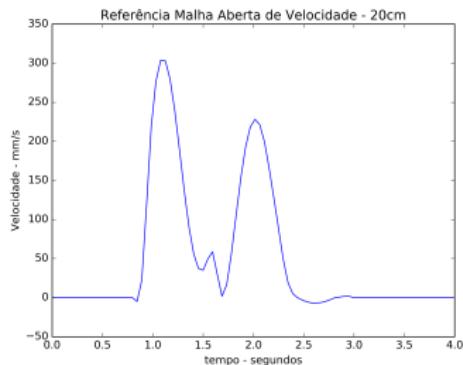


Figura 22: Referência de Velocidade para Excursão de 20cm

Malha Aberta - Resultados

Excursão de 20 cm - Resultados

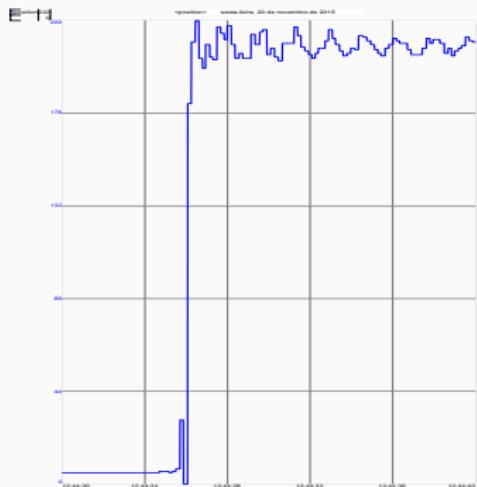


Figura 23: Resultado com Velocidade Modelada para Excursão de 20cm

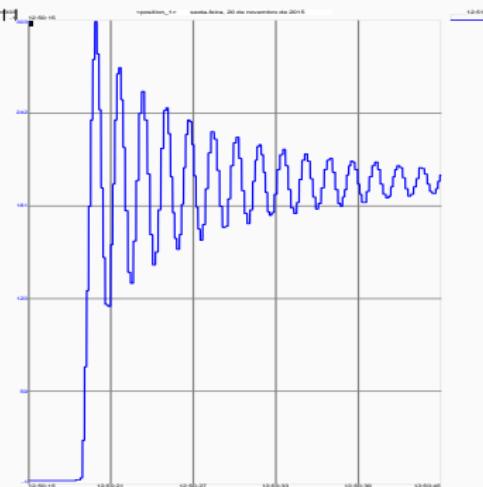


Figura 24: Resultado com Velocidade Constante para Excursão de 20cm

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

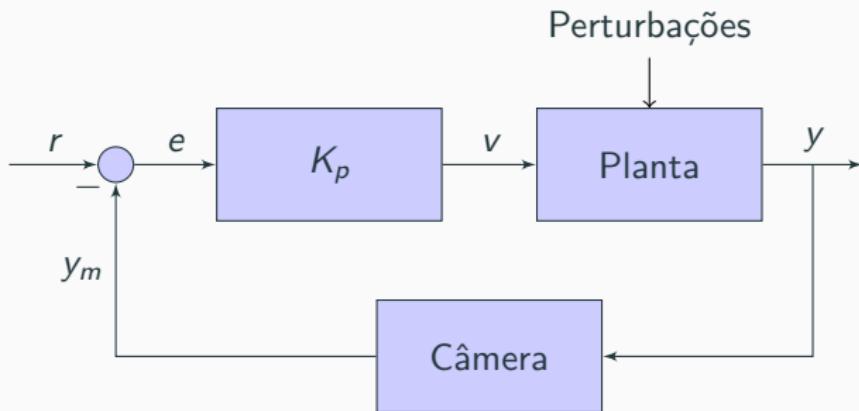


Figura 25: Malha fechada de controle

Malha Fechada - Resultados

Controlador P - Resultados

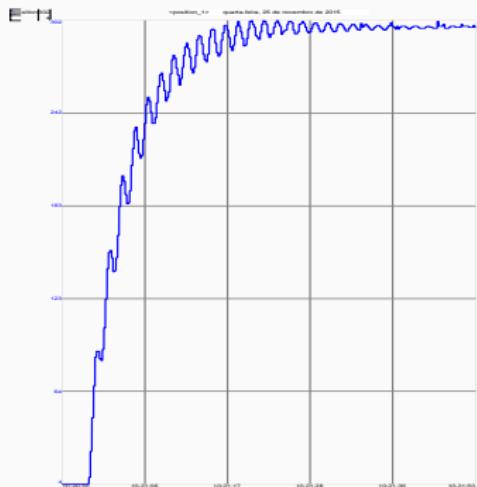


Figura 26: Resultado com Malha Fechada Proporcional e
 $K_p = 0.0025 \frac{u}{mm \cdot s}$

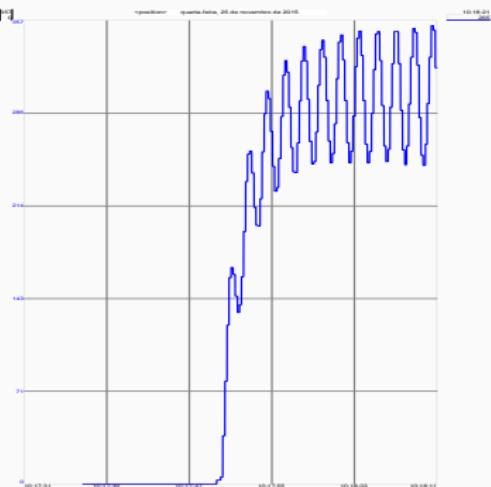


Figura 27: Resultado com Malha Fechada Proporcional e
 $K_p = 0.0050 \frac{u}{mm \cdot s}$

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!