

UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE BOMBAS HIDRÁULICAS

Alexandre Caldas de Oliveira¹; Luiz Eduardo Sales e Silva²; Kenny Vinente dos Santos³; Iury Valente de Bessa²

¹ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Engenharia da Computação –
alexcoliveira1@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Eletricidade -
eduardosales@ufam.edu.br / iury.bessa@gmail.com

³ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás -
kennyvinente@ufam.edu.br

RESUMO

As bombas hidráulicas são os componentes mais custosos dos sistemas hidráulicos considerando aquisição e manutenção, e em alguns casos, apresentam problemas frequentes causando paradas, atrasos, e prejudicando a produção das indústrias. Dentre os problemas, citamos: má instalação, mau dimensionamento de componentes, regime de trabalho impróprio e falta de treinamento aos operadores para identificação das falhas. O objetivo deste trabalho é propor uma solução para preservar e aumentar o tempo de vida útil de bombas hidráulicas evitando operação em regime impróprio. Inicialmente, exploramos trabalhos com atuação em temas semelhantes, porém não encontramos uma solução semelhante à apresentada. Deste modo, propomos a criação de um sistema de monitoramento das variáveis de processo de uma bomba hidráulica em um sistema hidráulico simples como prova de conceito, utilizando um sistema SCADA comercial para apresentar o status da bomba, além de criar uma lógica de acionamento para a preservação da bomba quando necessário.

Palavras-chave: SCADA, bomba hidráulica, sistema de monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas hidráulicos são definidos como um conjunto de componentes interligados com a finalidade de transportar fluidos [LINSINGEN, 2001]. Atualmente podemos encontrar este tipo de sistema em diversas aplicações industriais, tais como transportar fluidos entre etapas fabris, ferramentas pneumáticas, saneamento e caldeiras.

Com a demanda de produções melhores, mais rápidas e com novos materiais, a

complexidade dos circuitos hidráulicos tem aumentado e com isso as margens para erros aumentam e se tornam frequentes, assim como as suas manutenções, tornando-se mais custosos.

A bomba hidráulica, em geral, é o componente mais caro dos sistemas hidráulicos, considerando os custos de aquisição e de manutenção [MACHINERY LUBRIFICATION, 2016], e em alguns casos, apresentam problemas frequentes causando paradas e atrasos, prejudiciais à produção das

indústrias. Cerca de 90% destes problemas poderiam ser detectados com o monitoramento. Dentre os causadores destes problemas, citamos, por exemplo, a bomba operando a vazio, obstruções na tubulação, o tanque vazio, mau dimensionamento da bomba para o sistema e cavitações.

As indústrias com o uso de bombas hidráulicas sem supervisão ou monitoramento adequado não possuem garantia ou comprovação do trabalho em condições especificadas pelo fabricante, acarretando na redução da sua vida útil, perda de garantia dos fabricantes e danos aos demais componentes do sistema [MACHINERY LUBRIFICATION, 2016].

Procurando aplicações para solucionar estes problemas, Ribeiro [2010] desenvolveu um Micro-CLP (Controlador Lógico Programável) com programação em FBD (*Functional Block Diagram*), comunicando-se com um sistema supervisorio desenvolvido por ele através de uma comunicação serial RS-485. O programa para desenvolvimento em FBD tornou o sistema intuitivo e com usabilidade adequada, porém, o fato de ter usado um PIC (Peripheral Interface Controller) da família 16F e componentes comuns no mercado tornou o projeto de baixo custo. Entretanto o sistema supervisorio trabalha com interface não amigável e com baixa flexibilidade. Além disso, apesar do

microcontrolador ser de baixo custo, o mesmo possui limitações de memória e frequência de operação.

Teixeira [2007] desenvolveu um sistema de monitoramento e controle de bombas de recalque de água para edifícios residenciais. O trabalho utilizou um dos softwares supervisorios mais conhecidos e robustos de mercado, e um CLP, com programação em *Ladder*, linguagem amplamente difundida para profissionais sem conhecimento de linguagens de programação de baixo nível como C e *Assembly*. Entretanto, a única supervisão utilizada no trabalho era quanto ao estado de ligado e desligado da bomba hidráulica, sem verificação se a bomba estava funcionando adequadamente.

Nos trabalhos relacionados verificamos a abordagem limitada das condições de funcionamento da bomba hidráulica além do simples fato dela estar ligada ou desligada, a utilização de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) com preços acessíveis, usabilidade flexível e fácil de entendimento, e CLPs com tecnologias recentes e com processamentos rápidos.

1.1. Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é criar um sistema capaz de garantir a operação de bombas hidráulicas na faixa de segurança definida pelo operador, com intuito de



preservar sua integridade física e otimizar o tempo de vida útil do equipamento.

1.2. Objetivos específicos

O projeto possui os objetivos específicos citados a seguir:

- a) Identificar as situações com regime de trabalho prejudicial à bomba hidráulica;
- b) Monitorar as variáveis de processo do sistema;
- c) Identificar em tempo real as condições irregulares de funcionamento da bomba hidráulica;
- d) Controlar o acionamento da bomba hidráulica;
- e) Exibir o estado da bomba hidráulica e das variáveis de processo em tempo real.

2. METODOLOGIA

Para atender à lista de objetivos visados, constituindo assim o sistema de monitoramento e controle de bombas hidráulicas, foi definida uma metodologia, conforme exemplificado na Figura 1, dividindo o trabalho em:

- a) Listar as grandezas físicas necessárias de monitoramento para o controle (tomada de decisão) de acionamento da bomba hidráulica;
- b) Identificar sensores para efetuar leituras dessas grandezas físicas;
- c) Desenvolver o projeto dos circuitos necessários para a aplicação;
- d) Validar o funcionamento dos sensores separadamente;
- e) Desenvolver um sistema embarcado capaz de monitorar os sensores das variáveis de processo, controlar o acionamento da bomba e transmitir dados para um servidor;
- f) Montar um sistema hidráulico para prova de conceito;
- g) Testar o funcionamento do sistema hidráulico;
- h) Instrumentar o sistema hidráulico com os sensores das variáveis de processo;
- i) Utilizar um sistema SCADA capaz de se comunicar com o CLP responsável pelo monitoramento da bomba, e controlar o acionamento da bomba remotamente.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

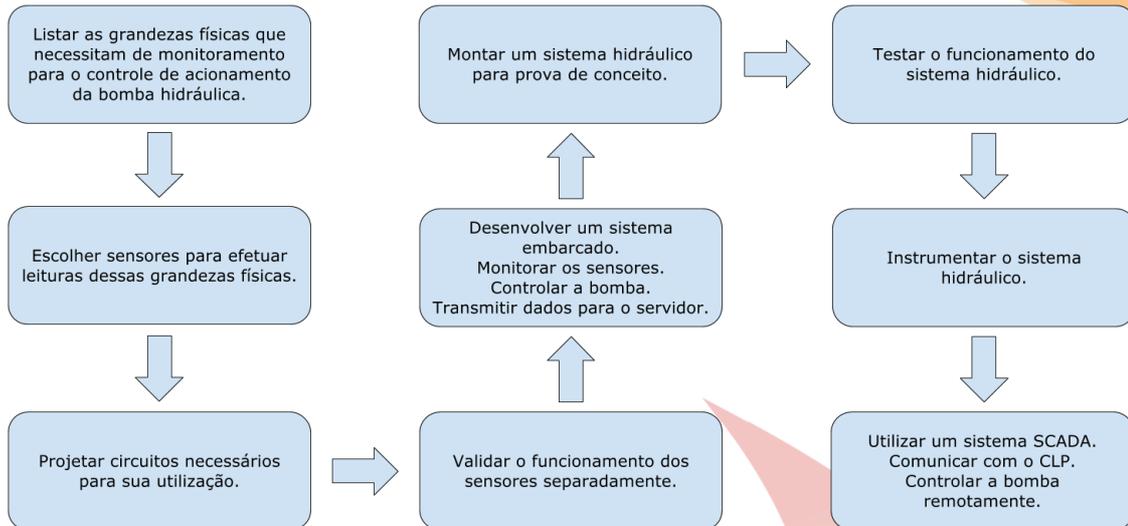


Figura 1: Fluxograma da metodologia

2.1. Projeto geral do sistema

O projeto proposto é dividido em três partes: o sistema SCADA, o sistema elétrico composto pelo CLP e os circuitos dos sensores e o sistema hidráulico com a bomba hidráulica e os sensores, conforme apresentado na Figura 2.

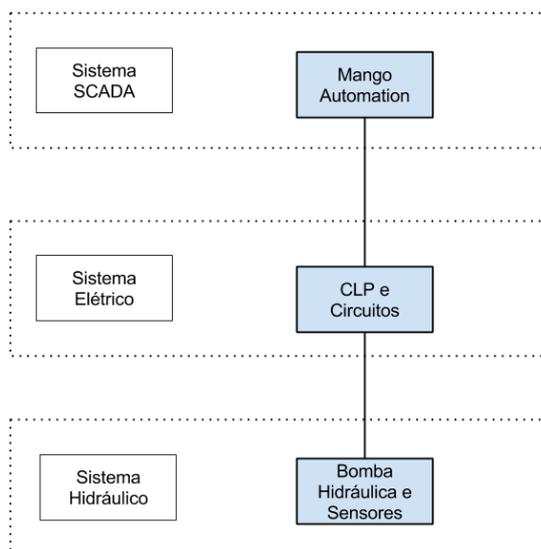


Figura 2: Diagrama Geral do Projeto

2.2. Projeto do sistema elétrico

O projeto do sistema elétrico foi desenvolvido de acordo com o diagrama em blocos da Figura 3 e possui as etapas: sensores, circuitos condicionadores de sinal, circuito acionador do relé, a bomba hidráulica a ser acionada, e o CLP.

Os componentes utilizados para este sistema são:

- Sensor de pressão MPX5050DP, para a pressão de entrada;
- Sensor de pressão MPX5700DP, para a pressão de saída;
- Sensor de vazão YF-S401, para a vazão na saída da bomba;
- Sensor de temperatura DS18B20, para a temperatura da bomba;
- Relé de 5V para cargas de até 120VAC, para chavear a bomba;



- Microcontrolador NXP LPC1768.

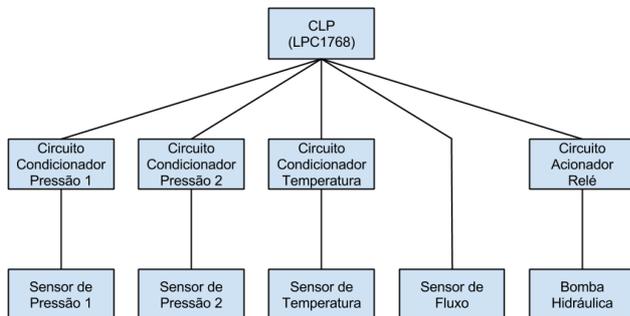


Figura 3: Diagrama do Sistema Elétrico.

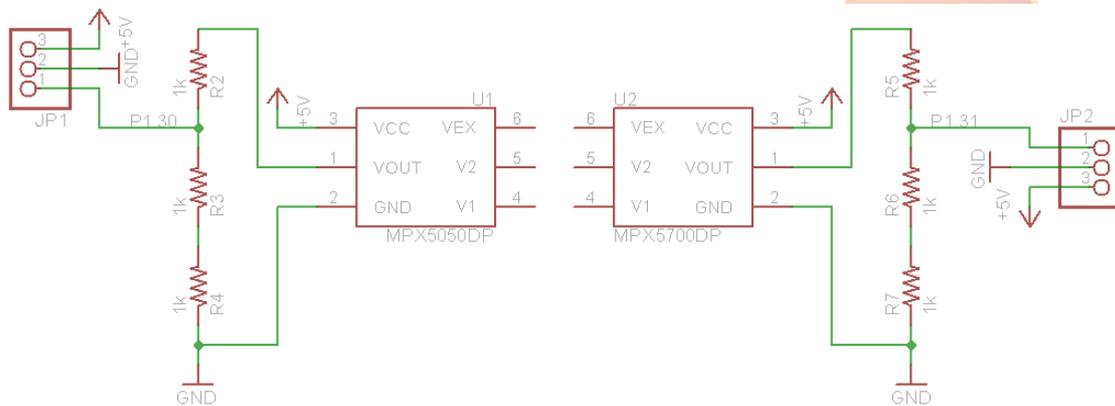


Figura 4: Esquemático dos sensores de pressão.

O sensor de temperatura DS18B20 é inserido na placa conforme o seu *datasheet* com um resistor de *pullup* na via de comunicação.

O sensor de fluxo YF-S401 não necessita de circuito auxiliar ou condicionador. A sua saída disponibiliza pulsos digitais, a frequência do sinal é diretamente proporcional ao fluxo e pode ser medida através de um pino digital no microcontrolador.

Para os sensores de pressão MPX5050DP e MPX5700DP, um circuito condicionador foi projetado, pois o sinal de saída pode chegar a até 4,7V, e a porta analógica do microcontrolador possui limitação de 3,3 V, logo, o sinal deve ser atenuado para a interpretação correta. Um divisor de tensão com três resistências iguais foi utilizado como pode-se observar na Figura 4.

Para controlar o acionamento da bomba hidráulica utilizamos um relé acionado por 5V e com capacidade de chavear cargas de até 120VAC e 15A. Para atingir os 5V necessários e um nível de corrente mínimo para acionar o relé, optou-se por utilizar um transistor NPN BC337 [BC337 *Datasheet*, 2016], uma vez que as saídas digitais do microcontrolador são de 3,3V. Além disso, adiciona-se também um diodo em paralelo e inverso a carga para proteger o circuito da

força contra eletromotriz gerada pela bobina do relé [Instituto Newton C. Braga, 2016], consoante a Figura 5.

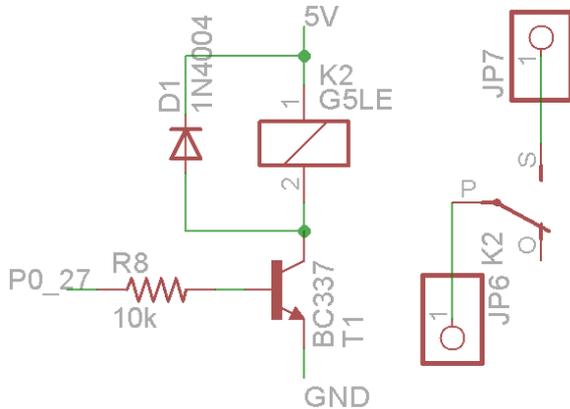


Figura 5: Esquemático do circuito de acionamento do relé

Para o CLP, trabalhamos com uma placa de desenvolvimento da MCU123 [MCU123, 2016], com o microcontrolador NXP LPC1768, apresentado na Figura 6. A placa é alimentada por uma fonte externa de 5V e disponibiliza 4 barramentos de 28 pinos para expansão e utilização.

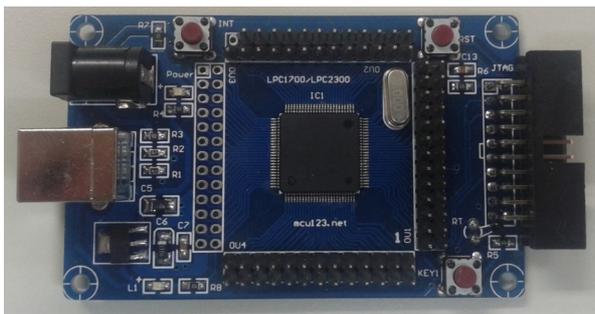


Figura 6: Microcontrolador LPC1768

Para realizar a programação do microcontrolador um J-LINK [SEGGER J-LINK, 2016] é conectado ao barramento JTAG (*Joint Test Action Group*) disponível pela placa de desenvolvimento. Os códigos foram desenvolvidos na IDE (*Integrated*

Development Environment) online da MBED e quando prontos, eram compilados, gerando um arquivo binário. Este arquivo binário é gravado no microcontrolador através do *software* J-Flash [SEGGER JFLASH, 2016].

No desenvolvimento do *firmware* foram utilizadas bibliotecas *open source* fornecidas pela comunidade e pela própria MBED. Para se comunicar com o sensor de temperatura DS18B20 utilizou-se a biblioteca DS1820 [ERIK, 2016] e para se comunicar com o servidor pelo protocolo *modbus* foi importada a biblioteca FreeModbus portada para o MBED NXP LPC1768 [CAM MARSHAL, 2016]. Com o *firmware* gravado e os circuitos montados, então conectamos ao microcontrolador.

Para realizar a comunicação com o servidor SCADA utilizou-se um módulo conversor USB (*Universal Serial Bus*) para serial. Ao conectá-lo no computador o mesmo reconhece o dispositivo e automaticamente prepara um driver compatível.

2.3. Projeto do sistema hidráulico

O projeto hidráulico deste trabalho é um sistema plano construído com o objetivo de validar o conceito do problema proposto utilizando uma bomba hidráulica. Este sistema é composto por um reservatório alimentador, duas válvulas, uma no início e uma no fim do sistema, uma bomba



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

hidráulica, dois sensores de pressão, um antes e outro depois da bomba, um sensor de vazão e um sensor de temperatura acoplado na bomba. A água será bombeada do reservatório e será retroalimentada para simular um sistema sendo alimentado por uma fonte externa continuamente ao mesmo tempo em que é consumida. Podemos interpretar este sistema através do Diagrama P&ID apresentado na Figura 7.

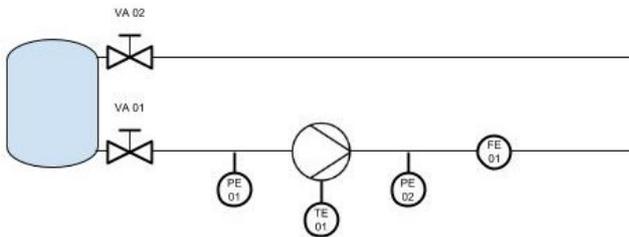


Figura 7: Diagrama P&ID do Sistema Hidráulico.

Os componentes utilizados para este sistema são os seguintes:

- Bomba hidráulica.
- Tanque de 11l.
- 2 conectores do tipo T.
- 2 válvulas

As duas válvulas auxiliam a reprodução de casos de teste. As válvulas e o tanque podem ser visualizados na Figura 8.



Figura 8: Tanque de 11 litros

Os conectores do tipo T são utilizados como suporte para os sensores de pressão no sistema, como na Figura 9. A bomba deve ser instalada com o sensor de temperatura acoplado, como indicado na Figura 10.



Figura 9: Sensor de pressão



Figura 10: Bomba hidráulica e sensor de temperatura acoplado

O sensor de vazão deve ser instalado logo após o sensor de pressão posicionado após a bomba hidráulica. O mesmo foi fixado na plataforma para não sofrer interferências pela trepidação da bomba, como pode ser observado na Figura 11.

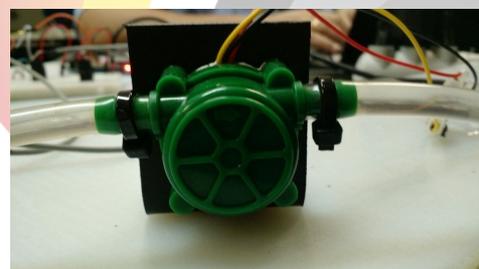


Figura 11: Sensor de vazão

2.4. Sistema SCADA

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



O software a ser executado no servidor e único módulo do projeto a interagir com o usuário é o sistema SCADA Mango Automation [MANGO, 2016]. Este sistema requer a configuração de acordo com as

necessidades do projeto, por já ser uma solução pronta e completa. Um exemplo de sua arquitetura pode ser visualizado na Figura 12.

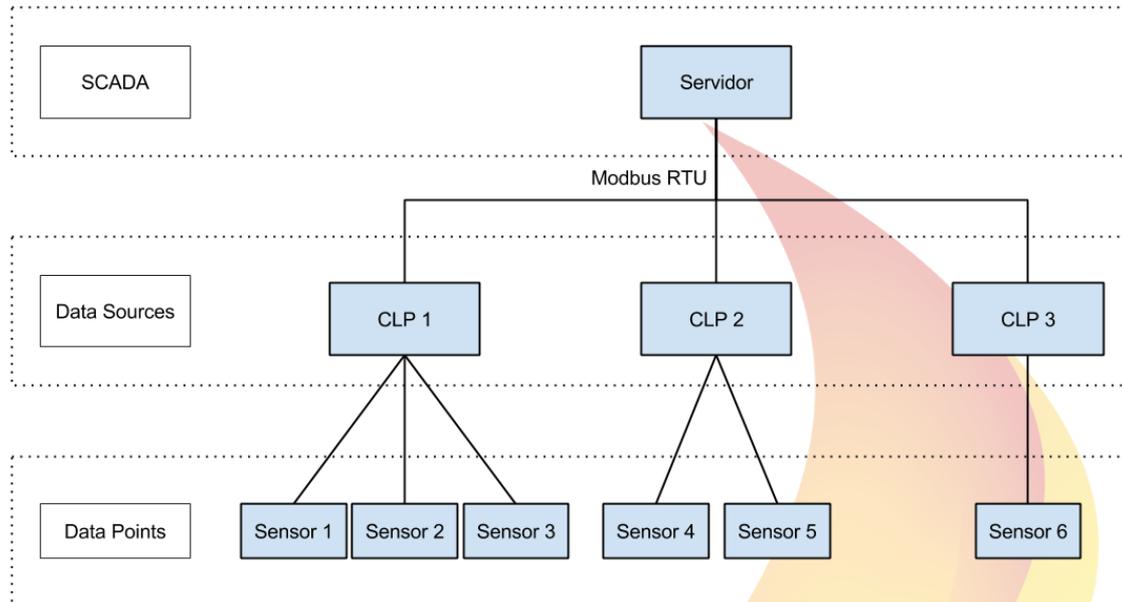


Figura 12: Exemplo de estrutura do Mango Automation

As configurações necessárias do Mango Automation são:

- A origem e forma em que os dados serão requisitados (*Data Sources*);
- Quais dados serão coletados (*Data Points*).

A origem dos dados é o CLP que está monitorando a bomba hidráulica e se comunica através do protocolo Modbus RTU, e atende por requisições realizadas no barramento serial.

Os dados a serem lidos são mapeados pelo protocolo Modbus, através de uma padronização do desenvolvedor do CLP, e

segundo este padrão configura-se o sistema SCADA.

2.5. Sistema desenvolvido

Com todas as informações do projeto e os módulos individuais, pode-se interligá-los e chegar na versão completa do sistema embarcado. A Figura 13 contém uma foto real do projeto já com o sistema embarcado.

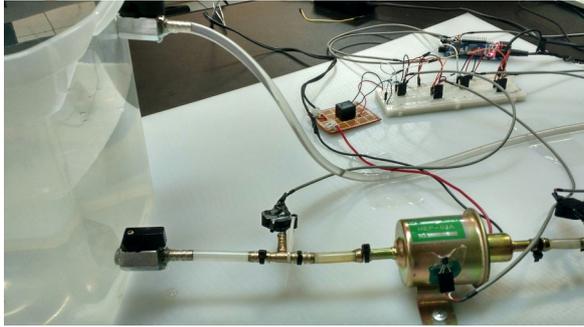


Figura 13: Sistema embarcado completo

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o projeto alguns cenários de teste foram criados a fim de coletar dados necessários para criar a lógica de detecção de casos irregulares da bomba hidráulica nesse sistema. Utilizamos combinações dos componentes e de situações que pudessem ser reproduzidas no sistema desenvolvido que não seriam ideais, como por exemplo, obstruções parciais ou completas da tubulação antes e depois da bomba, funcionar bombeando ar completo (funcionando a seco) ou parcialmente (bolhas na tubulação), resultando então nos casos de teste da Tabela 1:

Tabela 1: Casos de teste

Casos de Teste	
T1	Sistema em condições normais, ambas as válvulas abertas, tanque com nível acima da válvula 1 e abaixo da válvula 2 e nada obstruindo a tubulação.
T2	Apenas a válvula 1 fechada.
T3	Apenas a válvula 2 fechada.
T4	Válvulas 1 e 2 fechadas.
T5	Tanque com nível na metade da válvula a fim de fazer a bomba puxar ar e água.

T6	Tanque com nível abaixo da válvula, ou vazio, fazendo a bomba funcionar à seco.
T7	Obstruir parcialmente a válvula 1.
T8	Obstruir parcialmente a válvula 2.

Após a realização dos testes, coleta de dados e análise destes, obtemos os padrões de comportamento exibidos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado dos casos de teste

Caso de Teste	Efeito Observado no Sistema
T1	Anotado valor normal das variáveis.
T2	Pressão 1 < Normal Vazão = 0
T3	Pressão 2 > Normal Vazão = 0
T4	Pressão 1 < Normal Pressão 2 > Normal Vazão = 0
T5	Pressão 1 < Normal
T6	Vazão = 0
T7	Pressão 1 < Normal Vazão < Normal
T8	Pressão 2 > Normal

As variações das variáveis de pressão e vazão foram identificadas na entrada e na saída, entretanto não foi possível em nenhum dos casos de teste notar uma variação expressiva do valor de temperatura.

Com a análise dos resultados dos testes, desenvolvemos a detecção das alterações das

variáveis individualmente, para depois trabalhar nos casos específicos.

Dada uma variação definida pelo supervisor do sistema, os intervalos de verificação são criados para garantir a operação em condições normais.

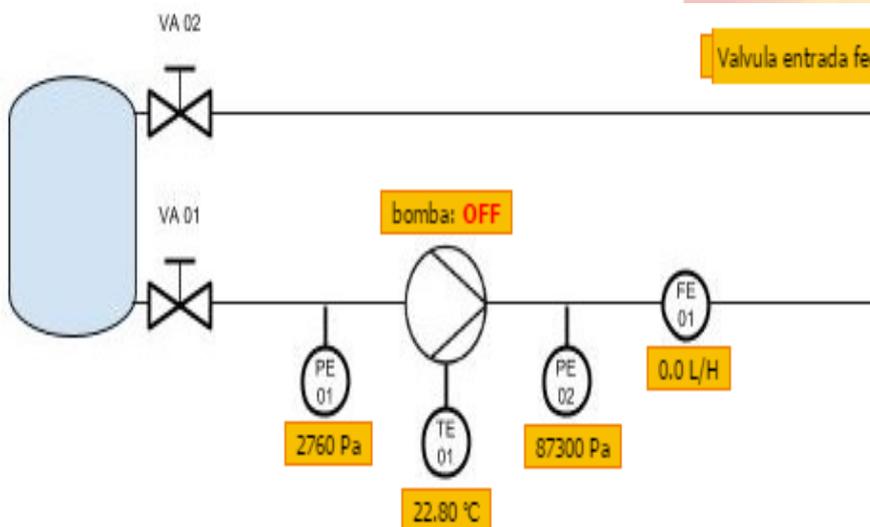
Com a identificação da variação dos valores normais dos sensores, os oito casos de teste irregulares são efetuados e na sequência adicionamos ao *Scripting* para que mediante o envio das variáveis pelo sistema embarcado possa ser tomada a decisão de desativar a bomba e informar ainda ao usuário por qual motivo a bomba foi desativada.

Para que a bomba não seja desativada devido a uma única alteração de uma variável para níveis fora da faixa comum, um filtro de *debouncing* foi projetado para reduzir essas rápidas variações. Uma lógica semelhante a *debounces* de contatos físicos, como botões, onde espera-se um período de tempo a mais

verificando se o estado deve mesmo ser alterado através de confirmações das condições por várias vezes.

Por fim, o sistema pode detectar os problemas em tempo real e agir sobre ela desativando-a quando necessário utilizando as 4 variáveis definidas no início do projeto. Como exemplo de resposta, podemos observar a Figura 14, que é o resultado do teste T3, após a implementação de detecção.

Os testes da Tabela 1 foram realizados novamente após a implementação da lógica de *debounce*, e o sistema identificou cada um dos testes separadamente, sugerindo o próprio problema testado, entretanto em alguns casos sugerindo outro problema referente a outro teste, semelhante ao padrão do comportamento. Os problemas identificados eram referentes ao teste T3, com a indicação do T8, e o T2, apresentava a indicação do T5.



Valvula entrada fechada/Valvula de saída fechada

Figura 14: Resultado do teste T3

exito na maioria dos testes realizados, exceto em dois casos de testes em que o sistema apresentou ambiguidade, que com o auxílio do operador pode ser facilmente concertada.

4. CONCLUSÕES

O projeto proposto neste trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real das variáveis de processo em torno de uma bomba hidráulica, devido ao fato de que as indústrias pagam um alto custo pela manutenção de bombas hidráulicas que trabalham em regime impróprio, reduzindo a vida útil dos equipamentos.

Inicialmente definiram-se as variáveis de processo necessárias para a tomada de decisão do regime de trabalho da bomba hidráulica, em seguida foi proposto um projeto capaz de captar essas grandezas físicas e transforma-las em unidades físicas interpretáveis, e com essas variáveis desenvolveu-se um método para transmiti-las para um sistema SCADA funcionando em um computador.

As variáveis coletadas no SCADA foram interpretadas em um sistema escada e assim desenvolvemos a lógica para tratar do acionamento da bomba hidráulica quando em regime impróprio.

A partir dos experimentos realizados verificou-se que o sistema conseguiu identificar cada um dos procedimentos de teste, desativando a bomba quando necessário e atendendo aos requisitos propostos, tendo

5. REFERÊNCIAS

- [1] Linsingen, I. V., **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**, Ed. ufsc, 2001.
- [2] Machinery Lubrication, Causes of Hydraulic Pump Failures, Disponível em <<http://www.machinerylubrication.com/Read/29541/hydraulic-pump-failures>>. Acessado em 19 de Janeiro de 2016.
- [3] Ribeiro, R. R., **Desenvolvimento de um Micro-CLP com Softwares de Supervisão e Programação em FBD**, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Novo Milênio, Graduação em Engenharia Elétrica. Vila Velha-ES.
- [4] Teixeira, M. de L. P. F., **Sistema de Controle e Supervisão de Bombas de Recalque de Água para Edifício Residencial**, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de Brasília, Graduação em Engenharia da Computação. Brasília-DF.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO



[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO



www.conepetro.com

.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br