Universidade Federal da Paraíba

Centro de Energias Alternativas e Renováveis

Departamento de Engenharia Elétrica

THOMMAS KEVIN SALES FLORES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO (LENHS)

João Pessoa, Paraíba
Outubro de 2018

THOMMAS KEVIN SALES FLORES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como exigência para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Controle e Automação

Orientador:

Professor Juan Moisés Mauricio Villanueva, Dr. Sc.

João Pessoa, Paraíba
Novembro de 2018

THOMMAS KEVIN SALES FLORES

ESTÁGIO SUPERVISIONADO REALIZADO NA TV CABO BRANCO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade da Paraíba como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Controle e Automação

Aprovado em / /

Professor Dr. Juan Moisés Mauricio Villanueva
Universidade Federal da Paraíba
Orientador, UFPB

Professor Dr. Heber Pimentel Gomes
Universidade Federal da Paraíba
Avaliador, UFPB

Professor Dr. Simplício Arnaud da Silva
Universidade Federal da Paraíba
Avaliador, UFPB

IDENTIFICAÇÃO DO ESTÁGIO

EMPRESA:

Nome: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento

Endereço: Campus Universitário BR 101, s/n, Bloco do Centro de Tecnologia

Bairro: Castelo Branco

Cidade/Estado: João Pessoa/Paraíba

Tel: +55(83)3216-7200

CEP: 58051-900

ESTÁGIO:

Área da Empresa: Centro de Controle Operacional

Data de início: 08/08/2018

Data de término: 15/10/2018

Carga horária semanal: 20h

Supervisor do estágio: Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento..... 8
Figura 2 – Organograma das atividades do Lenhs 9
Figura 3 – Esquema hidráulico de um sistema de bombeamento 12
Figura 4 – Componentes dos inversores de frequência 16
Figura 5 – Diagrama das etapas do inversor de frequência 16
Figura 6 – Curva V/f..... 18
Figura 7 – Detalhe de um sensor de pressão. 19
Figura 8 – Funcionamento de um sensor de vazãoeletromagnético 20
Figura 9 – Componentes de um controlador lógico programável. 21
Figura 10 – Conjunto motor elétrico mais bomba. 24
Figura 11 – Local de instalação de frequência CFW 08 (WEG)..... 25
Figura 12 – Supervisório e IHM do inversor de frequência 27
Figura 13 – Curva comparativa do rendimento do conjunto motobomba 28
Figura 14 – Curva Comparativa do sistema 29
Figura 15 – Bancada série/paralelo. 30
Figura 16 – Selo mecÂnico defeituoso..... 31
Figura 17 – Conjunto motobomba 2 desmontado. 32
Figura 18 – Curva do sistema antes da manutenção (Motobomba 1). 32
Figura 19 – Foto 1 da motobomba 1 obstruida..... 33
Figura 20 – Curva do sistema após a manutenção (Motobomba 1). 34
Figura 21 – Balança de peso morto. 36
Figura 22 – Balança de peso morto usado para calibração..... 37
Figura 23 – Esquema de detecção da corente do transdutor..... 37
Figura 24 – Curvas de calibração dos transdutores (PT 03, PT 04 e Pt 05). 38
Figura 25 – Curvas de calibração dos transdutores (PT 01 e PT 02). 39
Figura 26 – Painel da bancada série/paralelo 40
Figura 27 – Condicionamento do sinal dos transdutores..... 41
Figura 28 – Conexões dos diversos elementos na Borneira 42
Figura 29 – Supervisório bancada séria/paralelo. 43
Figura 30 – Menu de controle do supervisório..... 44
Figura 31 – Malha de controle fuzzy no labview 44
Figura 32 – Malha de controle PID no labview..... 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do motor. 23
Tabela 2 – Característica elétrica e hidráulica para a Configuração 1 27
Tabela 3 – Característica elétrica e hidráulica para a Configuração 2 28
Tabela 4 – Tabela comparativa dos rendimentos 29
Tabela 5 – Motobomba dancor W-10. 30
Tabela 6 – Rendimento do conjunto motobomba 1 antes da manutenção 33
Tabela 7 – Rendimento do conjunto motobomba 1 após a manutenção 34
Tabela 8 – Tabela comparativao do Rendimento do conjunto motobomba 1. 35
Tabela 9 – Tabela comparativa dos parametros do sistema (motobomba 1)..... 35
Tabela 10 – Característica do transdutor de pressão druck ptx 7217. 38
Tabela 11 – Característica dos transdutores de vazão 39
Tabela 12 – Especificações técnicas da interface de aquisição de dados. 41
Tabela 13 – Parametros do inversor Cfw 08. 47

SUMÁRIO

Identificação do Estágio iv
Lista de Figuras v
Lista de Tabelas vi
Sumário vii
1 Introdução 8
1.1 Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento 8
1.2 Objetivos 10
1.2.1 Objetivos gerais 10
1.2.2 Objetivos específicos 10
1.3 Organização do documento 10
2 Fundamentação Teórica 11
2.1 Sistema de abastecimento de água 11
2.1.1 Curva Característica do sistema elevatório 13
2.1.2 Potência e rendimento 13
2.2 Inversores de frequência 14
2.2.1 Blocos componentes do inversor de frequência 15
2.2.2 Controle escalar 17
2.3 Transdutores 19
2.3.1 Transdutor de pressão 19
2.3.2 Transdutor de vazão 20
2.3.3 Sistemas supervisórios 21
3 Atividades Desenvolvidas 23
3.1 Parametrização do inversor de frequência 23
3.1.1 Rendimento do conjunto motobomba 26
3.2 Manutenção dos conjuntos motobomba 30
3.3 Calibração e ajuste dos transdutores 35
3.3.1 Calibração do Transdutor de pressão 36
3.3.2 Ajuste dos transdutores de vazão 39
3.4 Revitalização da bancada série/paralelo 40
3.5 Supervisório bancada série/paralelo 42
4 Conclusões 45
Referências Bibliográficas 46
APÊNDICE A 47

1 INTRODUÇÃO

Este relatório descreve as atividades realizadas no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS Nordeste) no período compreendido entre 08/08/2018 até 15/10/2018 com o objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação de Engenharia Elétrica, particularmente os conhecimentos da área de controle e automação.

1.1 LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO

O LENHS está localizado no Centro de Tecnologia (CT) na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde inicialmente era o Laboratório de Hidráulica, criado em junho de 1975, em uma área de cerca de 600 m². Apenas em 2001 o Laboratório de Hidráulica passou a dividir espalho com o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. O LENHS está destinado assistir os alunos dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil, Mecânica e Elétrica, além de desenvolver atividades de apoio à Pesquisa e extensão (GOMES, 2007). Na Figura 1 está uma foto da estrutura do laboratório em questão.

FIGURA 1 – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO.

Fonte: Gomes (2007)

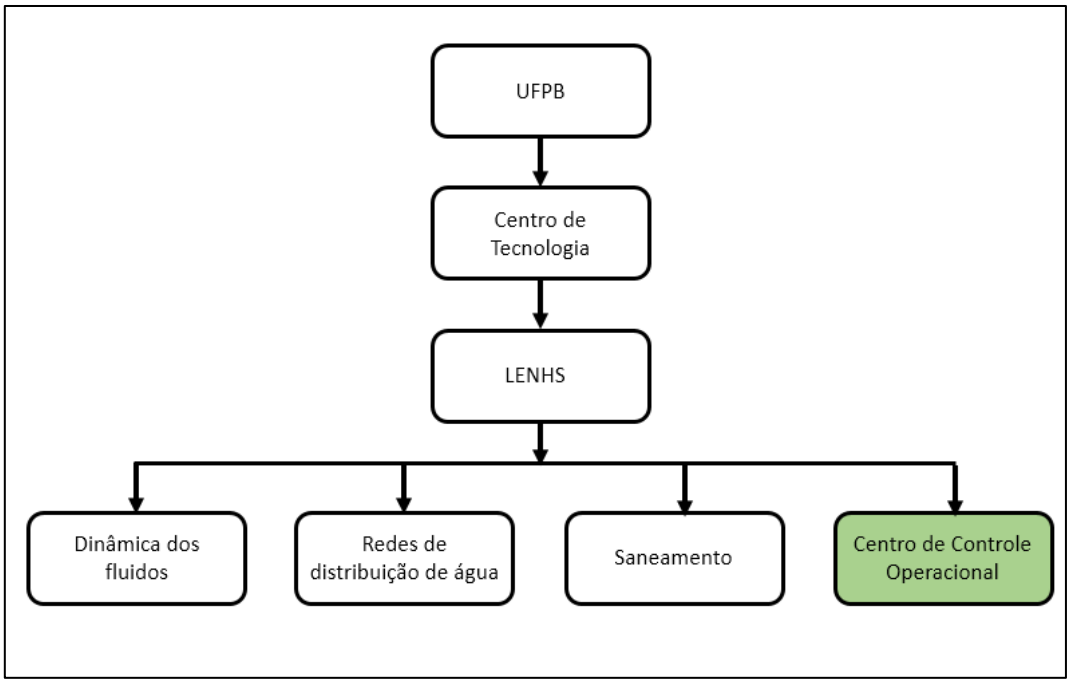
Atualmente o LENHS está sob a coordenação do Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes, o LENHS é resultado do desenvolvimento de ações integrantes do programa Nacional de Eficiência Energética no Saneamento Ambiental – PROCEL SANEAR – das Centrais Elétricas Brasileiras S. A. – ELETROBÁS.

Segundo Gomes (2007), são desenvolvidas as seguintes atividades na área de controle e automação:

- Estudo de um sistema completo de automação em sistemas de abastecimento e distribuição de água;
- Controle de pressão e vazão através de válvulas de controle eletrônicas e inversores de frequência;
- Monitoramento das grandezas elétricas e hidráulicas;

O organograma da Figura 2 ilustra as atividades realizadas no LENHS, destaque-se a área de atuação durante o estágio. Realizado no Centro de Controle Operacional (COO), supervisionado pelo Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes, coordenador do laboratório e professor do departamento de Engenharia Civil, e feito sob orientação do Prof. Dr. Juan Moises Maurício Villanueva, professor do departamento de Engenharia Elétrica.

FIGURA 2 – ORGANOGRAMA DAS ATIVIDADES DO LENHS



Fonte: Autor

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste relatório de estágio estão divididos em objetivo geral e especifico conforme se descreve a seguir.

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Estudo e manutenção dos diversos dispositivos presentes no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos podem-se destacar os seguintes pontos:

- Analisar o impacto da parametrização de um inversor de frequência no rendimento do conjunto motobomba na Rede de Distribuição de água do LENHS;
- Manutenção preventiva e corretiva do conjunto motobomba;
- Calibração e ajuste dos transdutores presentes na planta do LENHS;
- Revitalização da bancada experimental série/paralelo;
- Elaboração de um software supervisório para a bancada série/paralelo

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O documento está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 1 é apresentado a introdução com os principais objetivos

No Capítulo 2 é apresentado a fundamentação teórica que foi necessária para realização das atividades do estágio.

No Capítulo 3 é apresentada as atividades desenvolvidas no estágio e os resultados obtidos.

No Capítulo 4 é apresentado as conclusões referentes ao capítulo anterior.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados o embasamento teórico necessário para a realização das atividades do estágio. Primeiramente, serão apresentados os conceitos de uma rede de distribuição de água e como calcular o rendimento de conjunto motobombas. Em seguida, técnicas de manutenção preventiva e corretiva de conjuntos motobomba.

2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um sistema de abastecimento de água é constituído por: captação da água bruta do meio ambiente, em seguida há um tratamento adequado para torna-la potável e, por fim, distribui-se até os consumidores em quantidade satisfatória para atender a demanda de consumo (HELLER, 2006).

Para o entendimento da dinâmica dos sistemas de bombeamentos, faz-se necessário o entendimento dos diversos parâmetros, (TSUTIYA (2004) os define como sendo:

- **Vazão de bombeamento:** trata-se do volume de líquido bombeado por unidade de tempo, comumente adota-se as unidades em m^3/h, m^3/s ou L/s.
- **Altura geométrica de sucção (Hg_rs):** é a diferença de nível geométrico entre o nível da água no poço de sucção e a linha de centro da bomba. Esta pode ser positiva (se o nível do líquido estiver abaixo da linha de centro da bomba) ou negativa (se o nível do líquido estiver abaixo da linha de centro da bomba).
- **Altura geométrica de recalque (Hg_rr):** é a diferença de nível geométrico entre a linha que passa pelo centro da bomba e o nível do líquido onde a tubulação de recalque.
- **Carga cinética:** trata-se da energia cinética contida no líquido bombeado. Esta energia é dada por $V^2/2g$, onde V é a velocidade do líquido (m/s); g é a aceleração gravitacional (m^2/s).
- **Altura manométrica total:** é o carregamento que deve ser superado pela bomba, quando o líquido está sendo bombeado. Para determinar este valor deve-

se considerar as alturas geométricas de sucção e recalque, as perdas de cargas e as cargas cinéticas. Onde a sua expressão é dada por:

$$H = Hg + \Sigma\Delta Hs + \Sigma\Delta Hr + \frac{V^2 r}{2g} \quad (2.1)$$

Em que:

H: altura manométrica total (m);

Hg: Altura geométrica (m);

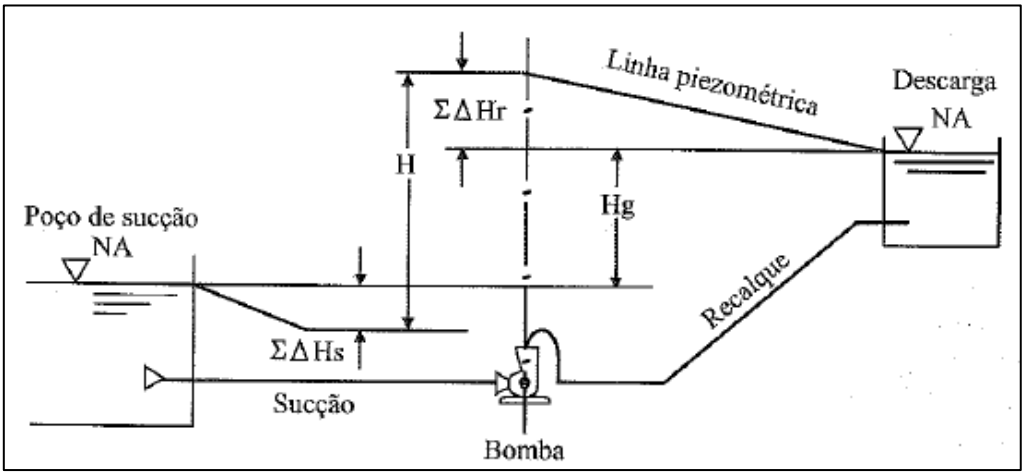
ΣΔHs: Somatório das perdas de cargas distribuídas e localizadas, na tubulação de sucção (m);

ΣΔHr: Somatório das perdas de cargas distribuídas e localizadas, na tubulação de recalque (m);

$\frac{V^2 r}{2g}$: Carga cinética no recalque (m).

Na Figura 3 está ilustrado um esquema hidráulico de um sistema de bombeamento, onde a bomba está afogada, nela contém todos os parâmetros citados anteriormente, além de apresentar a linha piezométrica, que é definida como a parcela estática da carga.

FIGURA 3 – ESQUEMA HIDRÁULICO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO



Autor: (TSUTIYA, 2004)

2.1.1 CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA ELEVATÓRIO

Esta curva relaciona a altura manométrica total do sistema de elevação com a vazão de bombeamento. Onde no eixo das abscissas está à altura manométrica (*H*) e no da ordenada está a vazão (*Q*).

Outro ponto importante, é saber que a curva do sistema é variante com o tempo, pois mudanças no sistema, seja por envelhecimento da tubulação, troca de trecho ou até mesmo o acumulo de sujeira, alteram a rugosidade e consequentemente a característica do sistema a ser bombeado.

2.1.2 POTÊNCIA E RENDIMENTO

Motores elétricos são máquinas destinadas a transformar a energia elétrica em energia mecânica. Define-se a potência de um motor elétrico como sendo a potência motriz no eixo do motor, a qual depende do torque e consequentemente da sua velocidade de rotação.

Dessa forma, pode-se definir a potência de um motor trifásico como sendo (GOMES, 2009):

$$P_e = \sqrt{3}VICos(\varphi) \tag{2.2}$$

Em que:

Pe: Potência elétrica (ativa), em Watts (W);

V: tensão medida entre as fases;

I: Corrente em cada fase;

Cos(φ): fator de potência, que representa a defasagem entre a tensão e a corrente.

De posse da equação 2.2, pode-se distinguir a potência do motor, de sua potência elétrica absorvida da rede de alimentação. A constante que relaciona estas duas grandezas é chamada de rendimento, ou seja, é o quanto da energia elétrica da rede é convertida em energia motriz no eixo do motor, isto está expresso na equação 2.3.

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_e} \tag{2.3}$$

Por outro lado, como mostrado no capítulo anterior, a energia entregue ao fluido pela bomba é a altura manométrica (*H*), esta energia possui unidade de energia por unidade de peso. Dessa forma, para chegar a expressão que corresponde a potência utilizada para o escoamento do fluido hidráulica, basta multiplicar a equação 2.1 pela vazão gravimétrica (γQ), então chega-se a equação 2.4.

$$P_{hid} = \gamma Q H \tag{2.4}$$

Em que:

P_{hid}: Potência hidráulica útil (energia/tempo);

γ: Peso específico do líquido (peso/volume);

Q: Vazão (volume/tempo)

H: Altura manométrica (comprimento).

Portanto, pode-se expressão o rendimento de qualquer máquina pelo quociente da energia por ela produzida, pela a energia a ela fornecida. No caso das bombas centrifugas, o rendimento (η_b) é dado por: P_{hid} / P_m. Em vista disto, o rendimento global do conjunto motobomba (η) e P_e é a potência elétrica ativa (kW), pode ser dado pela:

$$\eta = \frac{\gamma Q H}{P_e} \tag{2.5}$$

2.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

O advento das tecnologias dos semicondutores de potência, tais como GTO (*Gate Turn-Off Thyrustir*), IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), entre outros. Além disso, houve a acessibilidade cada vez maior aos microcontroladores e microprocessadores, tornando assim o uso de inversores de frequência uma excelente alternativa de controle de rotação aplicado aos motores elétricos (RODRIGUES, 2007)

Dessa forma, o inversor de frequência propõe o controle do fluxo magnético criado nos motores elétricos através da variação da amplitude e frequência da tensão que o alimenta. Observa-se, quando se deseja manter o torque constante é necessário

que o fluxo magnético também seja constante, para isso é necessário que a variação da tensão seja compensada pela variação da frequência e vice-versa.

Nota-se, que está variação do conjugado em função da frequência é constante até atingir a frequência nominal do motor. Após a frequência nominal chega-se a uma região denominada de “enfraquecimento de campo”, onde o fluxo começa a decrescer e consequentemente o torque.

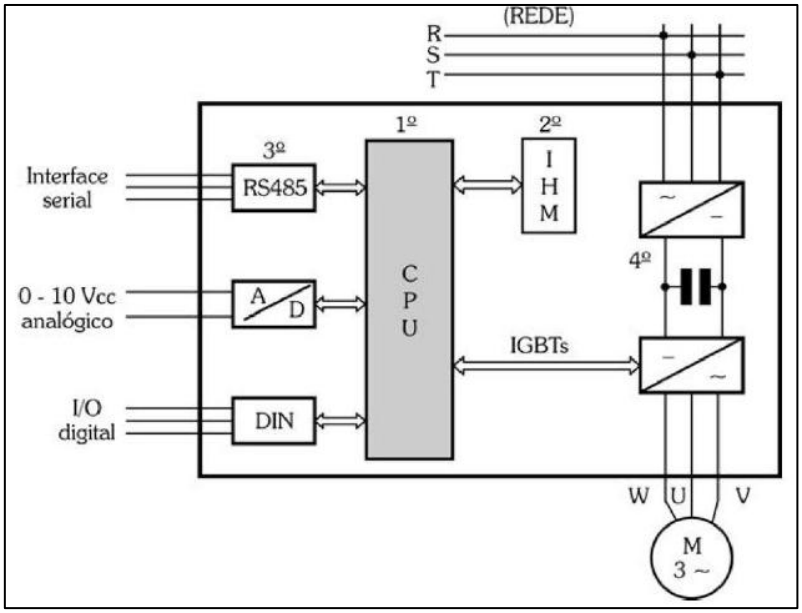
A aplicação dos inversores em sistemas de abastecimento de água, reduz o consumo de energia elétrica e eliminação do excesso de pressão no sistema, pois permite o controle de giro do motor e consequentemente operar o conjunto motobomba em um ponto de maior rendimento (BEZERRA,2010).

2.2.1 BLOCOS COMPONENTES DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Os elementos que compõe o inversor de frequência podem ser representados através do diagrama em bloco Figura 4. Franchi (2009) define os principais componentes como:

- **Unidade Central de Processamento (CPU):** é formado por um microcontolador, neste bloco é armazenado todas as informações do sistema (parâmetros e dados do sistema), devido a memória está agregada a esse conjunto. Além disso, é responsável pela geração dos pulsos de disparo que comanda os IGBTs;
- **Interface Homem/Máquina (IHM):** Este dispositivo permite a parametrização e o acompanhamento das variáveis captadas pelo inversor, pois contém display e botões;
- **Etapa de potência:** é formada por um circuito retificador, que por meio de um circuito intermediário (“barramento CC”) alimenta o circuito de saída do inversor.

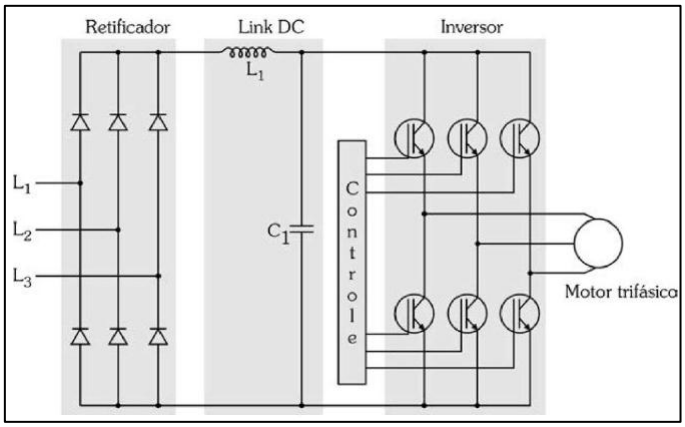
FIGURA 4 – COMPONENTES DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA



Fonte: (FRANCHI,2009)

Na Figura 5 está de modo mais detalhado o bloco retificador, circuito intermediário (*Link DC*), inversor e circuito de controle.

FIGURA 5 – DIAGRAMA DAS ETAPAS DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA



Fonte: (FRANCHI,2009)

O circuito retificador é responsável pela retificação do sinal alternado advindos da rede elétrica, a qual possui tensão e frequência constante, sendo transformada por este dispositivo em tensão contínua. Por outro lado, o circuito intermediário (*Link DC*) regula a tensão retificada por meio de um banco de capacitores, filtrando assim o sinal.

O sistema de controle é responsável por fazer a leitura dos diversos parâmetros do motor, como: velocidade, corrente, tensão, potência, entre outros. Além disso,

através da IHM pode-se ajustar os parâmetros, envio de informações ao operador, aviso de faltas e controle através de entradas e saídas digitais.

Por fim, o bloco inversor é formado por transistores IGBT, responsável por transformar o sinal contínuo proveniente do circuito intermediário em alternado, com amplitude e frequência desejada.

2.2.2 CONTROLE ESCALAR

Este tipo de controle também é conhecido como controle Volts/Hertz. Onde, seu princípio de funcionamento consiste em impor ao motor elétrico certa tensão/frequência, visando manter esta relação constante, que, por conseguinte mantendo o fluxo magnético constante.

Os motores de indução podem ser comparados aos transformadores, em que o estator é o primário e o rotor o secundário (FRANCHI, 2009). Usando o conjugado do motor assíncrono pode-se estabelecer a equação (2.6) que define o torque que o motor desenvolve.

$$C = KI_2 \emptyset_m Cos(\emptyset_m) \tag{2.6}$$

Em que:

C: torque do motor;

K: constante construtiva do motor;

I_2: corrente do motor;

Øm: fluxo magnetizante;

Cos(Øm): fator de potência do motor.

Já o cálculo do fluxo magnetizante, sem levar em consideração as quedas de tensão nas resistências e reatâncias dos enrolamentos estatóricos, é diretamente proporcional a razão do valor eficaz (RMS) da tensão aplicada no estator e sua frequência, como ilustrado na equação (2.7).

$$\emptyset_m = K\frac{V}{f} \tag{2.7}$$

Em que:

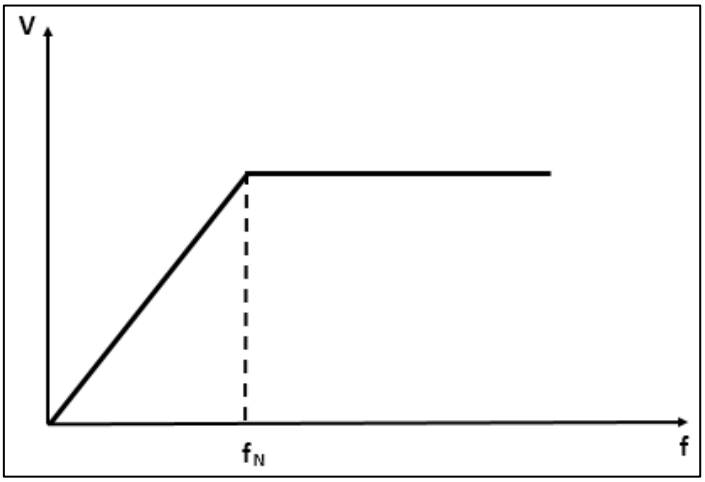
V: valor eficaz da tensão estatórica;

f: frequência da tensão estatórica.

A partir das equações (2.6) e (2.7) foi definida a relação V versus f, cujo comportamento foi ilustrado na Figura 6. Observa-se que existe uma relação proporcional, até o limite da frequência de inflexão (f_N), normalmente a frequência de inflexão é a frequência da rede elétrica, no caso do Brasil, igual a 60 Hz. Além disso, deve-se respeitar a tensão nominal de alimentação do motor.

Dessa forma, desde a frequência mínima até a frequência de inflexão, o torque do motor é mantido constante devido à relação V/f ser constante, uma vez o motor tendo alcançado o valor nominal, a tensão não pode ser mais elevada e o torque passa a ser reduzido.

FIGURA 6 – CURVA V/F



Fonte: Autor

Em suma, o modo escalar do inversor de frequência permite operar com sobre-velocidades, porém esta escolha acarreta prejuízo do torque. Este prejuízo no torque é consequência das características construtivas dos motores trifásicos assíncronos, isto é, não se deve exceder a sua tensão nominal.

2.3 TRANSDUTORES

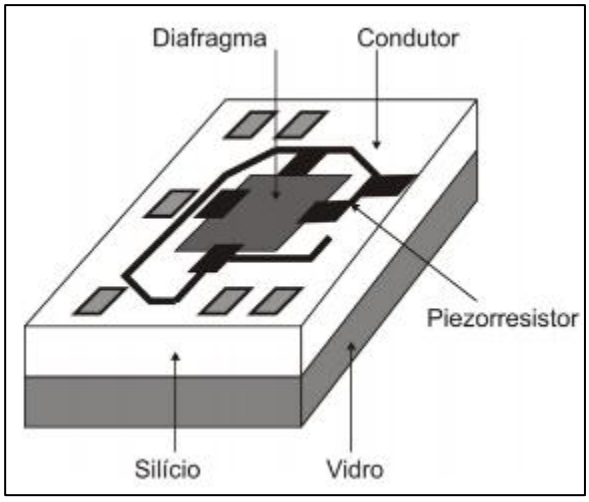
2.3.1 TRANSDUTOR DE PRESSÃO

A pressão é uma grandeza física escalar definida como a razão entre a força e a área sobre de aplicação perpendicular desta força. Sendo *F* a força distribuída uniformemente sobre a área *A*, tem-se que a pressão *P* é expressa como:

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.8}$$

Os transdutores de pressão do tipo piezo-resistivo são dispositivos eletromecânicos que convertem a deformação sofrida em mudança em sua resistência elétrica. Para a fabricação dos sensores piezo-resistivos são empregados extensômetros em um diafragma no próprio silício, como ilustrado na Figura 7.

FIGURA 7 – DETALHE DE UM SENSOR DE PRESSÃO.



Fonte: Brusamarello e Balbinot (2010).

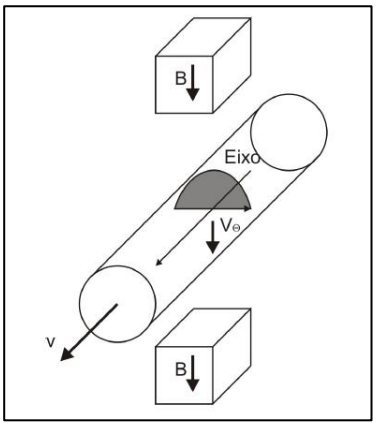
A interface para a coleta de dados deste tipo de sensor exige um grande cuidado, pois entre as grandes desvantagens é que o nível de sinal é baixo e possui alta sensibilidade em relação a variação de temperatura (BRUSAMARELLO; BALBINOT,2010).

2.3.2 TRANSDUTOR DE VAZÃO

Os transdutores de vazão eletromagnéticos, são do tipo não invasivos, isto é, o sistema de medição não está em contato com o fluido medido. Este dispositivo mede a velocidade de líquidos condutivos.

O princípio de funcionamento é baseado na interação do fluido condutor com o campo magnético, formando um ângulo de 90 graus, isto induz uma tensão elétrica sobre o condutor que é proporcional a velocidade do líquido (BRUSAMARELLO; BALBINOT,2010). Na Figura 8 está ilustrado o princípio de funcionamento deste dispositivo.

FIGURA 8 – FUNCIONAMENTO DE UM SENSOR DE VAZÃOELETROMAGNÉTICO



Fonte: Brusamarello e Balbinot (2010).

A força eletromotriz (f.e.m.) induzida é gerada perpendicularmente nas direções do fluxo do campo magnético e é descrita pela Lei de Faraday:

$$V_e = \int_a^b \vec{v} x \vec{B}\, dL \tag{2.9}$$

em que V_e é a forma eletromotriz induzida no ponto a ao ponto *b*, *B* é a massa especifica do fluxo magnético, *a* e *b* são as localizações dos eletrodos e *v* é a velocidade do líquido. Considerando que *v* e *B* são uniformes e ortogonais entre si, tem-se:

$$V_e = \vec{v} L \vec{B} \tag{2.10}$$

Sendo assim, a formula para o cálculo da vazão é expressa na equação (2.11) para uma tubulação de seção transversal de área *A* e diâmetro *D*, que resulta na equação (2.12). Substituindo a equação (2.12) e (2.10) na equação (2.11), obtém-se a equação (2.13).

$$Q = A\,\vec{v} \tag{2.11}$$

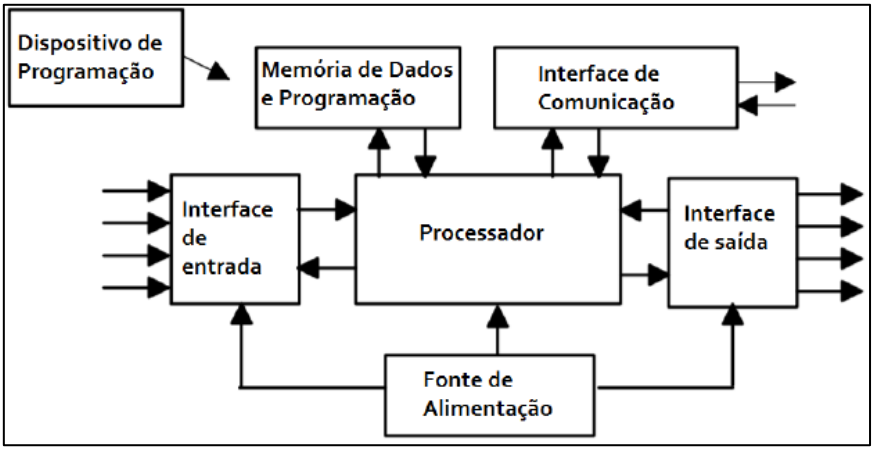
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \tag{2.12}$$

$$V_e = \frac{4QB}{\pi D} \tag{2.13}$$

2.3.3 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações do processo produtivo ou instalação física. Dessa forma, estas informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados, que, por conseguinte são manipulados, analisados, armazenados e, por fim são apresentados ao usuário (SILVA, 2005). Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*). O esquema de um controlador lógico programável está ilustrado na Figura 9.

FIGURA 9 – COMPONENTES DE UM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.



Fonte: Adaptado de Bolton (2015)

Silva (2005) define os componentes físicos de um sistema de supervisão como: sensores e atuadores, rede de comunicação, estações remotas (aquisição/controle) e de monitoração central.

Já Moura (2016), ressalta a importância do uso de supervisório para o monitoramento e supervisão em tempo real dos transdutores de pressão, medidores de vazão, frequência do inversor, sinais elétricos de corrente e tensão e níveis dos reservatórios compreende a um sistema SCADA.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Nos tópicos a seguir serão expostas as atividades desenvolvidas no Laboratório de Eficiência Energética em Hidráulica e Saneamento durante o período do estágio.

3.1 PARAMETRIZAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A parametrização adotada nos inversores de frequência está diretamente ligada a aplicação a qual este dispositivo está associado. Afim de verificar se a parametrização adotada no inversor de frequência presente no Centro de Controle e Operação (CCO) está correta, seguiu-se os seguintes procedimentos:

- Identificação das características do conjunto motobomba acionada pelo inversor;
- Estudo do modelo do inversor de frequência usado;
- Identificação dos parâmetros que já estavam sendo usados no inversor de frequência;

O motor trifásico de indução usado para movimentar a bomba da rede de distribuição de água controlada pelo CCO está descrito na Tabela 1.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DO MOTOR.

Fabricante	WEG
Tipo de motor	Motor de indução trifásico Rotor gaiola
Modelo	Alto Rendimento Plus
Potência	3,7 HP / 5 CV
Fator de serviço	1,15
Tensão nominal	220/ 380/ 440V
Corrente nominal	13,8/ 7,99/ 6,9A
Rendimento	88%
Desfasamento angular	0,8

Fonte: Catálogo da WEG

Este motor citado anteriormente está acoplado a uma bomba centrifuga de modelo MEGANORM 65-200, fabricado pela KSB, capaz de gerar uma vazão máxima de 50 m³/h, altura manométrica máxima igual a 19 mca e rotação nominal de 1750 rotações por minuto (rpm). O conjunto desses dois elementos acoplados ilustrado na Figura 10.

FIGURA 10 -CONJUNTO MOTOR ELÉTRICO MAIS BOMBA.

Fonte: Autor

Em conseguinte, o modelo do inversor de frequência utilizado no CCO para o acionamento do conjunto motobomba é o CFW 08 fabricado pela WEG. Este é capaz de fornecer até 13 A, alimentação trifásica 380 - 480 V, possui entradas e saídas digitais e analógicas. Estes opera em dois modos: local e remoto. O modo local se dá por meio de uma chave presente no painel, já o modo remoto é acionado via Controlador Lógico Programável (CLP) por meio de uma entrada analógica. O local sua instalação segue ilustrado na Figura 11.

Em seguida, buscou-se mapear todos os valores configurados nos parâmetros do inversor, como: parâmetros de regulação, parâmetros de configuração, parâmetros do motor e função especial.

Os parâmetros de regulação, consistem nas características do desenvolvimento da rampa de aceleração imposta ao conjunto motobomba pelo inversor de frequência.

Verificou-se que o tempo de aceleração e desaceleração usado estava em 10 s e 4 s, respectivamente. Porém, o manual do inversor de frequência indica o uso de 5 s para a aceleração e 10 s para desaceleração.

FIGURA 11 – LOCAL DE INSTALAÇÃO DE FREQUÊNCIA CFW 08 (WEG)

Fonte: Autor

Outro ponto importante, consiste na definição da frequência mínima e máxima da rampa de aceleração imposta ao conjunto motobomba, estes estavam definidos como 3 Hz e 63 Hz, respectivamente, alterando os parâmetros P136 e P135 do inversor de frequência para os valores de 0 e 60 Hz, pois trata-se da velocidade nominal do motor elétrico controlado.

Além disso, o uso de *Boost* de Torque Manual (compensação da IxR) estava sendo usado o valor de 0.1%, cuja configuração depende do modelo do inversor de frequência, que no caso do estudado é 16A/380-480V, logo o catálogo do fabricante recomenda o uso de 1% neste parâmetro.

Agora tratando dos parâmetros de configuração, este está relacionado ao tipo de controle, funções especiais, entradas e saídas analógicas e digitais, tipos de frenagem e comunicação serial.

Ademais, constatou-se que o tipo de controle empregado ao conjunto motobomba pelo inversor de frequência é o controle Escalar Linear, suas características já foram elucidadas no capítulo 2. Porém, o catálogo do fabricante recomenda o uso desta estratégia de controle em aplicações com cargas constantes, mas como se trata de

uma bomba centrifuga para bombeamento de água, onde a carga é não linear e variante no tempo, devido as características do fluido, recomenda-se pelo fabricante o uso da estratégia de controle Escalar Quadrática.

Por fim, com base no estudo das características do motor elétrico usado, foram configurados os parâmetros do motor, como rendimento, tensão nominal, velocidade nominal, potência nominal e fator de potência. Verificou-se, que todos estes parâmetros estavam configurados corretamente, exceto o fator de potência do motor, que estava sendo usado como 0,82, quando deveria ser 0,8.

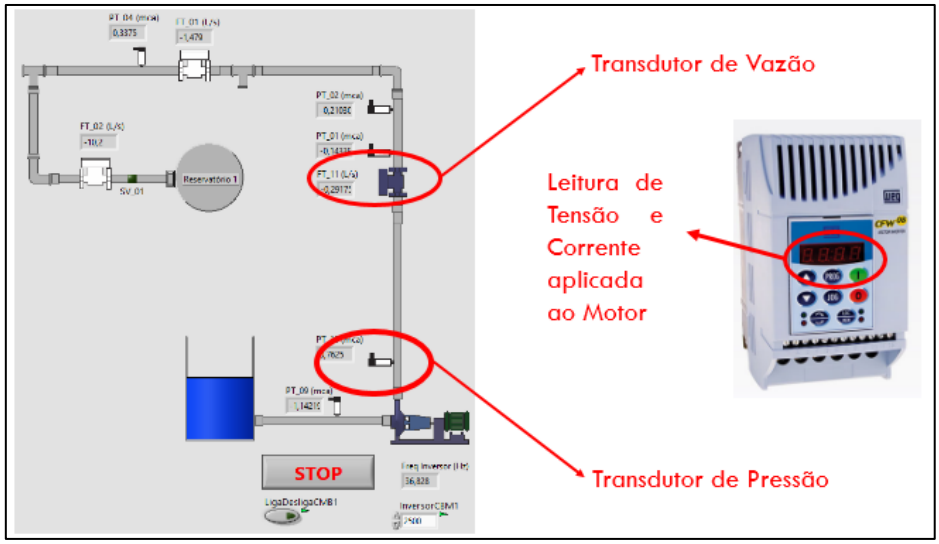
No apêndice A, está a tabela com os parâmetros usados nas duas configurações, os modificados estão indicados com o preenchimento cinza.

3.1.1 RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

A metodologia adotada para avaliar o impacto causado pela mudança dos parâmetros do inversor de frequência CFW 08, foi o cálculo do rendimento do conjunto motobomba antes (configuração 1) e depois (configuração 2) da parametrização. Para isto, usou-se o supervisório desenvolvido no LabVIEW^{TM} que se conecta ao CLP, que por sua vez realiza o controle da frequência do inversor de frequência e faz a aquisição de dados de todos os sensores presentes na planta hidráulica presente no LENHS.

Na Figura 12 é ilustrado o sinótico do trecho do sistema o qual o motobomba está inserido utilizado para o cálculo da potência hidráulica, para isto usou-se a equação (2.4). Já para o cálculo da potência elétrica, utilizou-se a expressão (2.2), em que os valores de tensão e corrente aplicada ao conjunto motobomba foram adquiridos através da interface homem/máquina do inversor de frequência.

FIGURA 12 – SUPERVISÓRIO E IHM DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA



Fonte: Autor

Sendo assim, para obter as características hidráulicas (pressão e vazão) e elétricas (tensão e corrente), variou-se a frequência aplicada ao inversor e verificou-se estas características citadas anteriormente. Nas Tabela 2 e Tabela 3 estão os valores apresentados pelo sistema para as configurações 1 e 2, respectivamente.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICA ELÉTRICA E HIDRÁULICA PARA A CONFIGURAÇÃO 1

Rotação (Hz)	Corrente (A)	Tensão (V)	Pressão (mca)	Vazão (L/s)
36,54	4,75	219	7,21	5,37
38,15	4,86	230	7,75	5,78
39,74	4,98	239	8,33	6,37
41,27	5,15	250	8,82	6,8
42,9	5,27	257	9,6	7,19
44,47	5,42	268	10,03	7,48
46,08	5,59	275	10,93	7,9
47,67	5,77	287	11,31	8,24
49,2	5,94	294	12,07	8,63
50,75	6,13	307	12,85	8,97
52,36	6,32	314	13,41	9,31
53,96	6,57	320	14,26	9,6
55,56	6,78	331	15,08	9,89
57,18	7,00	341	15,95	10,18
58,72	7,29	350	16,55	10,47
60,4	7,59	357	17,45	10,79
60,48	7,63	358	17,42	10,84
60,48	7,65	358	17,43	10,77

Fonte: Autor

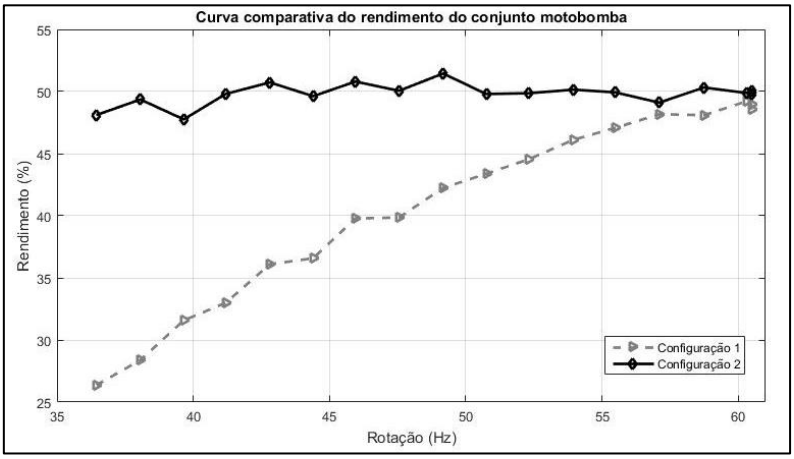
TABELA 3 – CARACTERÍSTICA ELÉTRICA E HIDRÁULICA PARA A CONFIGURAÇÃO 2

Rotação (Hz)	Corrente (A)	Tensão (V)	Pressão (mca)	Vazão (L/s)
36,54	4,05	132	6,8	5,34
38,15	4,25	144	7,47	5,71
39,74	4,44	157	7,9	5,95
41,27	4,72	167	8,45	6,56
42,9	4,98	183	9,26	7,05
44,47	5,22	197	9,75	7,39
46,08	5,42	212	10,5	7,85
47,67	5,67	225	11,01	8,19
49,2	5,88	235	11,7	8,58
50,75	6,11	256	12,47	8,82
52,36	6,35	27	13,35	9,21
53,96	6,61	290	14,11	9,62
55,56	6,81	307	14,83	9,94
57,18	7,05	327	15,58	10,26
58.72	7,28	340	16,53	10,64
60,4	7,54	356	17,36	10,89
60,48	7,52	355	17,33	10,89
60,48	7,53	358	17,32	10,94

Fonte: Autor

A partir dos parâmetros elétricos e hidráulicos adquiridos para as duas configurações (Tabela 2 e 3), foi possível comparar o impacto destas no rendimento do conjunto motobomba, como ilustrado na Figura 13, está curva relaciona o rendimento do conjunto motobomba (calculado a partir da expressão 2.5) com a frequência de giro aplicado ao conjunto motobomba.

Figura 13 – CURVA COMPARATIVA DO RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA



Fonte: Autor

Ao observar a curva da Figura 13, nota-se que a configuração 2 apresenta um aumento significativo no rendimento do conjunto motobomba, quando comparado com a configuração 1. Este fato se dar, devido ao fato da razão entre a tensão de alimentação e a frequência ser quadrática, isto é, para um mesmo valor de tensão pode-se operar em maiores frequências, reduzindo assim a razão V/f e consequentemente aumentando o rendimento.Tabela 4, está ilustrado em termos percentuais os valores dos rendimentos para as duas configurações estudadas. Nota-se, que o maior aumento percentual está nos menores valores de rotação, este fato se dar devido a característica quadrática da curva, ou seja, necessitando de uma tensão menor para criar o mesmo fluxo magnético no motor trifásico usado como força motriz da bomba.

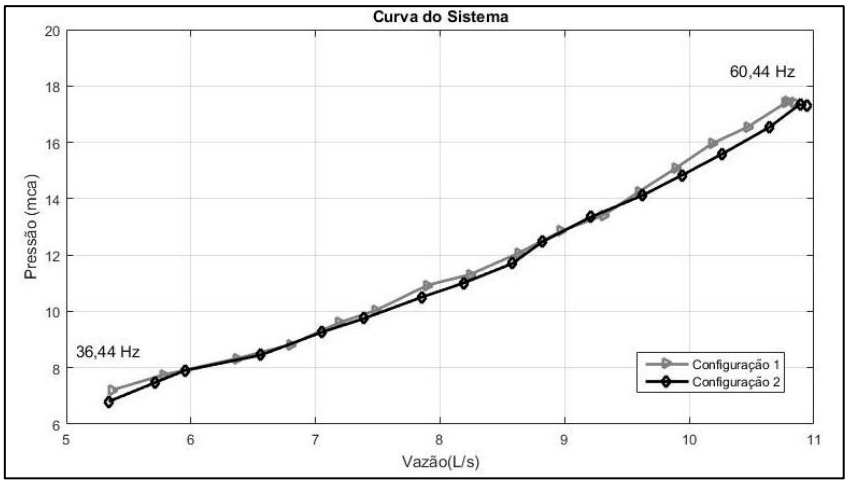
TABELA 4 – TABELA COMPARATIVA DOS RENDIMENTOS

Rotação (Hz)	Configuração 1	Configuração 2	Aumento percentual
36,44	26,36%	47,76%	81,18%
Média	41%	49%	19,51%
60,48	49,21%	51,45%	4,55%

Fonte: Autor

Além disso, avaliou-se o efeito da parametrização na característica hidráulica do sistema. Na Figura 14 está a curva que relaciona vazão e pressão para as duas configurações de parâmetros adotadas. Observou-se, que as características hidráulicas são conservadas, isto é, os valores de pressão e vazão, apesar da mudança ocorrida na configuração dos parâmetros de controle do inversor de frequência.

FIGURA 14 – CURVA COMPARATIVA DO SISTEMA

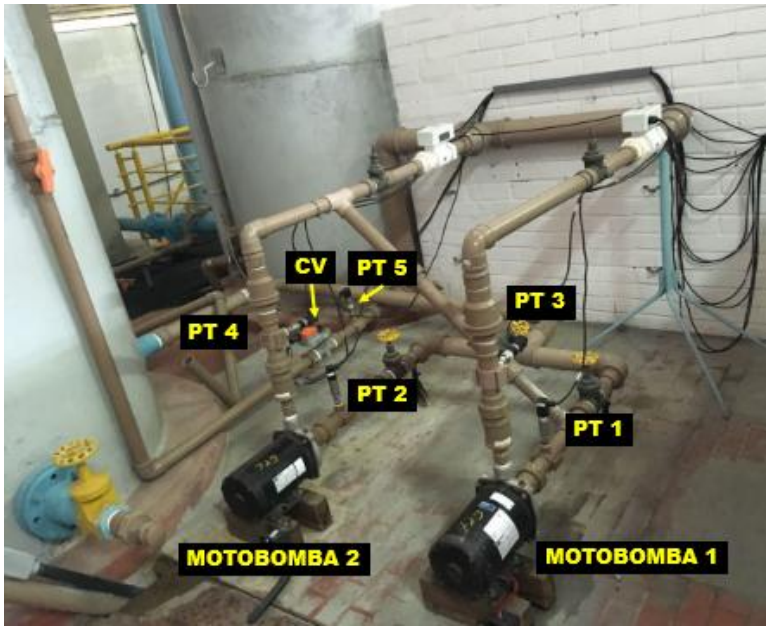


Fonte: Autor

3.2 MANUTENÇÃO DOS CONJUNTOS MOTOBOMBA

No LENHS há uma bancada experimental que consiste em emular um sistema de bombeamento operando com duas bombas conectadas em série ou em paralelo (v. Figura 15). Esta bancada experimental permite desenvolver controle e avaliação energética de bombas operando em paralelo, como apresentado no trabalho de Barros (2016).

FIGURA 15 – BANCADA SÉRIE/PARALELO.



Fonte: Autor

Nesta bancada as motobombas são do modelo DANCOR-W10, como já ilustrada e enumeradas na Figura 15, onde suas características estão especificadas na Tabela 5. Além disso, há transdutores de pressão (PT), transdutores de vazão (FT), válvula de controle (CV).

TABELA 5 -MOTOBOMBA DANCOR W-10.

Fabricante	WEG
Potência	3 CV
Tensão de alimentação	230/380 V
Frequência de alimentação	60 Hz
Velocidade de rotação nominal	3450 rpm

Fonte: Catálogo do fabricante

Devido ao longo prazo sem uso do sistema apresentado anteriormente, ao liga-lo novamente, constatou-se que o fluido bombeado pelo conjunto motobomba 2 estava saindo pelo orifício onde fica a ventoinha responsável pela refrigeração.

Dessa forma, pensou-se em 3 possíveis causas que poderia estar causando este vazamento. Primeira, o O'ring (borracha que fica entre a carcaça e o motor elétrico) que estaria deteriorada, já o segundo foi o selo mecânico e por fim, falha na estrutura mecânica.

Por conseguinte, desmontou-se a estrutura do conjunto motobomba 2, como ilustrado na Figura 17, a fim de constatar qual das duas causas prováveis estaria causando o vazamento. Para isto, seguiu-se o seguinte procedimento:

- Desconectou os cabos de alimentação;
- Desparafusou a motobomba do mancal a qual estava fixado;
- Desconectou os ductos de sucção e descarga;
- Removeu o conjunto motobomba para uma bancada adequada;
- Desafixou-se a carcaça, dando acesso ao rotor. Nesta etapa constatou o a estrutura mecânica e o O'ring estavam em perfeito estado, apresentando apenas sujeira;
- Removeu o rotor da bomba, para isto foi necessário remover a parte a tampa traseira do motor elétrico, pois o ponto onde fixa-se a chave para deixar o rotor do motor imóvel estava remoído;
- Por fim, removeu-se o selo mecânico e verificou-se que o mesmo havia se rasgado, como ilustrado na Figura 16, causando então o vazamento do fluido.

Em vista disto, foi realizada uma limpeza no interior deste dispositivo, removendo resto de cola, sujeira e ferrugem. Após este procedimento, remontou-se o conjunto motobomba e o colocou no lugar onde estava. Quando posto em funcionamento, não havia mais vazamento de fluido.

FIGURA 16 – SELO MECÂNICO DEFEITUOSO.

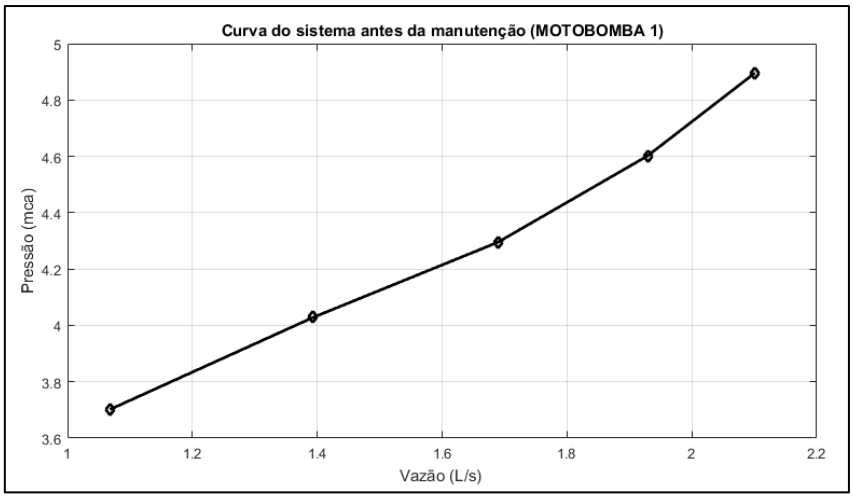
Fonte: Autor

FIGURA 17 – CONJUNTO MOTOBOMBA 2 DESMONTADO.

Fonte: Autor

Por outro lado, o conjunto motobomba 1, apesar de estar operacional e sem apresentar algum defeito aparente, a vazão que era promovida por sua rotação era inferior a vazão promovida pelo conjunto motobomba 2, ambos funcionando com a mesma frequência de rotação, como ilustrado na Figura 18. Este problema só foi constado devido a presença de transdutores de vazão na descarga das duas motobombas.

FIGURA 18 – CURVA DO SISTEMA ANTES DA MANUTENÇÃO (MOTOBOMBA 1).



Em vista disto, buscou-se analisar o que estaria causando a diminuição da vazão deste dispositivo. Primeiro foram verificadas as tensões e correntes aplicadas ao motor, afim de verificar se há falta ou desequilíbrio na alimentação, para isto usou-se um alicate amperímetro. Porém, os resultados obtidos não apresentavam falta nem desequilíbrio.

Ademais, removeu-se o conjunto motobomba do lugar onde se encontrava para verificar se haveria alguma obstrução na tubulação e/ou no próprio dispositivo. Dessa forma, foi visto que a tubulação não apresentava nenhuma obstrução, então para constatar se haveria obstrução no conjunto motobomba, seguiu-se os passos já citados anteriormente para o desmonte deste dispositivo.

Portanto, ao desmontar a motobomba, sucedeu que a causa da diminuição da vazão e pressão era o acumulo de folhas e ferrugem no rotor, pois como se trata de uma bomba centrifuga, a água estava sendo impedida de ser centrifugada de maneira correta devido ao acumulo de sujeira. Na Figura 19 está ilustrada a situação que o dispositivo se encontrava.

FIGURA 19 – FOTO 1 DA MOTOBOMBA 1 OBSTRUIDA

Fonte: Autor

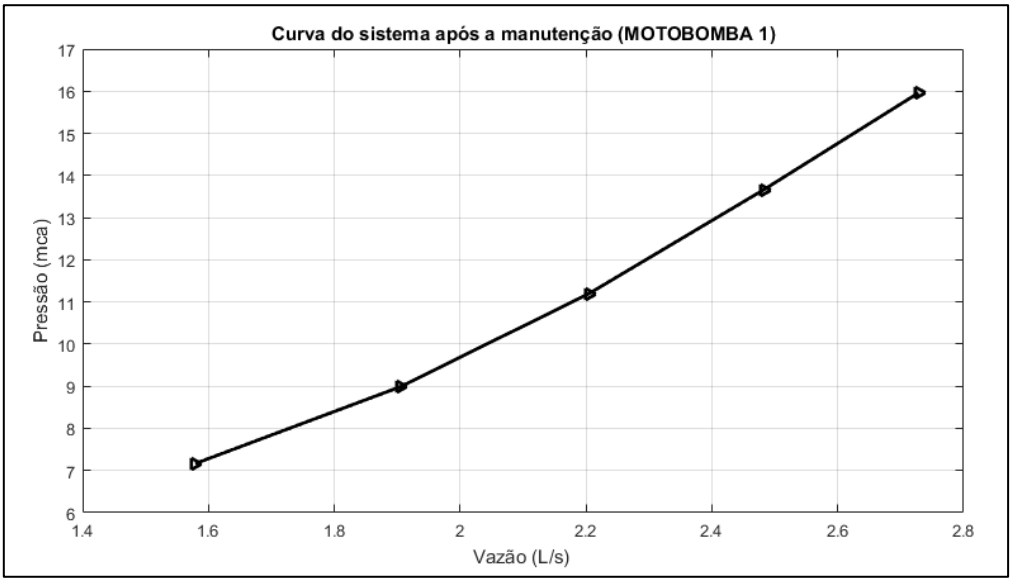
Além disso, calculou-se o rendimento do conjunto motobomba operando em diferentes frequências de rotação, para isto, foi usada a expressão os resultados estão presentes na Tabela 6.

Afim de constatar a melhoria do conjunto motobomba após a manutenção, foram realizados os novos ensaios com o objetivo de descreve a curva do sistema e o rendimento associado ao conjunto motobomba 1. Estes resultados estão na Figura 20 e Tabela 7.

TABELA 6 -RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA 1 ANTES DA MANUTENÇÃO

Rotação (Hz)	**Rendimento (%)**
30	13,71
35	12,2
40	13,19
45	9,27
50	8,42

Figura 20 – Curva do sistema após a manutenção (Motobomba 1).



Fonte: Autor

TABELA 7 -RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA 1 APÓS A MANUTENÇÃO

Rotação (Hz)	**Rendimento (%)**
30	23,86
35	30,72
40	26,72
45	23,8
50	23,9

Fonte: Autor

Portanto, nota-se um aumento considerável em relação aos parâmetros hidráulicos e elétricos antes e depois da manutenção. Na Tabela 8 e Tabela 9 está uma análise comparativa dos parâmetros hidráulicos e elétricos nas duas situações.

O aumento destes valores está ligado a desobstrução do rotor, isto é, o correto funcionamento do elemento responsável por fazer a sucção da água. Dessa forma, com a mesma energia elétrica usada anteriormente para movimentar a motobomba, obtém-se maiores valores de energia hidráulica (vazão e pressão) após a manutenção.

TABELA 8 – TABELA COMPARATIVAO DO RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA 1.

Rotação (Hz)	**Rendimento**		
	Antes	Depois	Aumento percentual
30	13,71%	23,86%	74,03%
35	12,2%	30,72%	151,8%
40	13,19%	26,72%	102,57%
45	9,27%	23,8%	156,74%
50	8,42%	23,9%	183,84%

Fonte: Autor

TABELA 9 – TABELA COMPARATIVA DOS PARAMETROS DO SISTEMA (MOTOBOMBA 1).

	Vazão (L/s)		
	Antes	Depois	Aumento percentual
Mínimo	1	1,58	58%
Médio	1,63	2,18	33,74%
Máximo	2,1	2,72	22,79%
	Pressão (mca)		
Mínimo	3,7	7,17	48,39%
Médio	4,3	11,39	62,24%
Máximo	4,89	15,96	69,36%

Fonte: Autor

3.3 CALIBRAÇÃO E AJUSTE DOS TRANSDUTORES

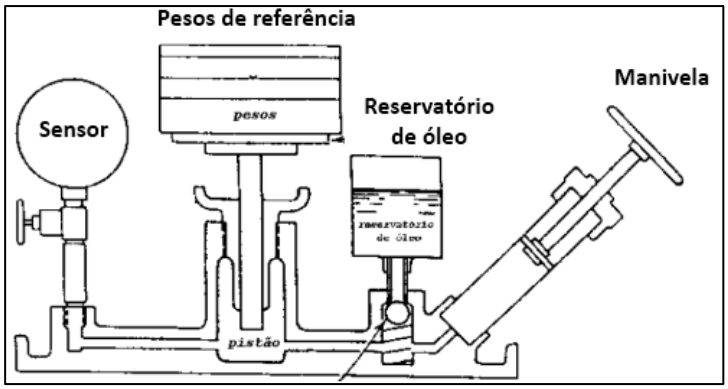
Até o ano de 1995 o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) utilizava os termos Aferição e Calibração com sentidos diferentes. aferição como sendo o até de comprar os valores gerados por um padrão de referência e o valor efetivamente medido pelo instrumento analisado. Já o termo Calibração, consistia no ato de abrir o instrumento e realizar sua manutenção, até que este voltasse a medir na faixa estipulada pelo fabricante.

Porém, a partir do ano de 1996 estes termos sofreram alterações no vocabulário técnico nacional a fim de se adequarem à terminologia internacional. Hoje, a palavra aferição está em desuso, dando lugar ao termo calibração e, o que se entendia por calibração, passou a ser denominada de ajuste (MENDES, 2016).

3.3.1 CALIBRAÇÃO DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO

Para calibração do transdutor de pressão (PT) presentes na bancada experimental da Figura 15, usou-se uma balança de peso morto. Este aparelho é usado para determinar a pressão de fluidos em equilíbrio, esquema deste dispositivo está ilustrado na Figura 21

FIGURA 21 – BALANÇA DE PESO MORTO.



Fonte: Adaptado de SCHNEIDER (2012)

DESSA FORMA, ESTE DISPOSITIVO É USADO PARA CALIBRAR SENSORES DE PRESSÃO, COMO O INDICADO PELO O NÚMERO 1 NA

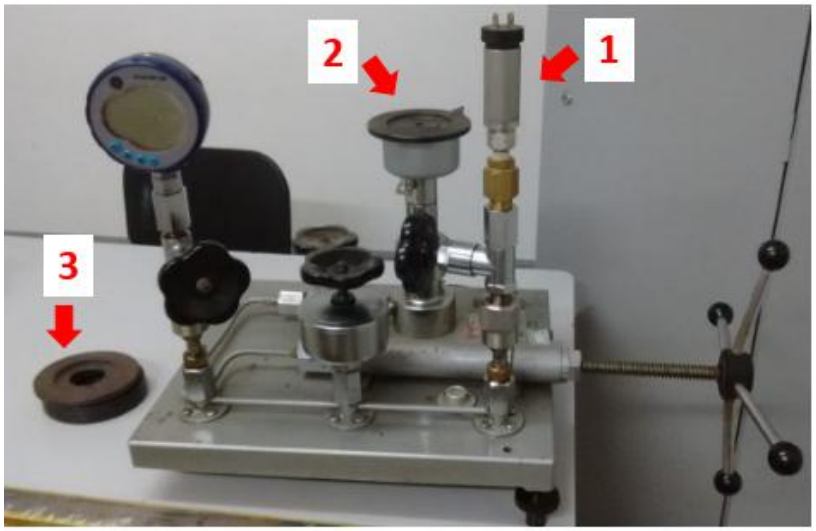
Figura 22. A balança de peso morto é preenchida com óleo, enquanto a manivela é deixada na sua posição de máximo curso. Após a instalação do transdutor de pressão, aplica-se pressão ao sistema através do deslocamento da manivela.

A partir disso, a pressão é aplicada tanto ao transdutor quanto ao peso-morto (peso de referência colocado no êmbolo do sistema), sendo que esse último tem massa e área conhecidas. Então, quando o peso de referência "flutua", isto é, se desloca até uma altura indicada balança, é neste momento que a medida do instrumento é igual ao peso de referência.

Na figura 22 está a balança de peso morto usada para a calibração dos transdutores de pressão, onde o número 1 indica o transdutor de pressão, 2 o peso de

referência sobre o pistão de deslocamento e 3 os pesos de referência, sendo estes iguais a 10 mca.

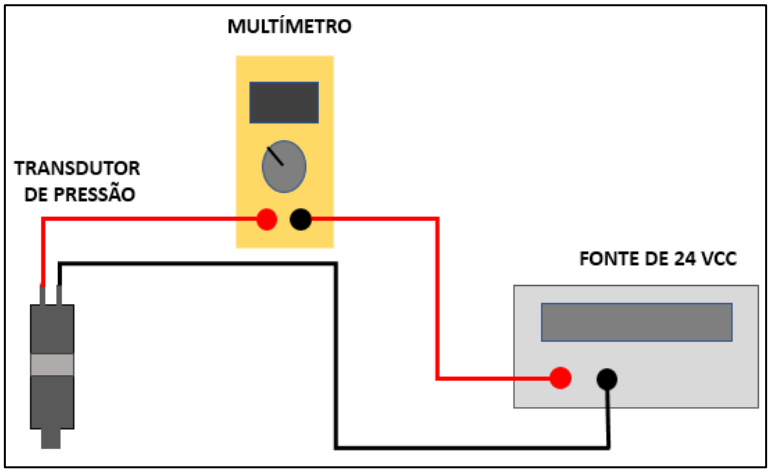
FIGURA 22 – BALANÇA DE PESO MORTO USADO PARA CALIBRAÇÃO.



Fonte: Autor

Na Figura 23 está o esquema para determinar os valores da corrente correspondente a cada medida de peso usados como referência na calibração. No procedimento citado anteriormente, o transdutor é do tipo piezo-resistivo, isto é, o valor da resistência é variável mediante a deformação causada pela pressão a qual está submetido.

FIGURA 23 – ESQUEMA DE DETECÇÃO DA CORENTE DO TRANSDUTOR



Fonte: Autor

Portanto, pode-se determinar para cada valor de pressão a faixa de corrente equivalente. O modelo e as características dos transdutores o quais foram calibrados está ilustrado na Tabela 10.

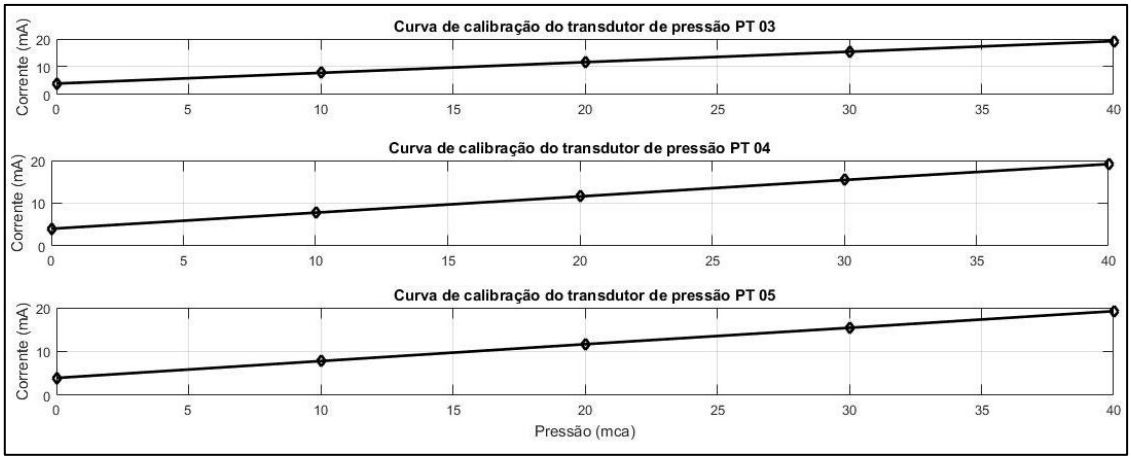
TABELA 10 – CARACTERÍSTICA DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO DRUCK PTX 7217.

Fabricante	DRUCK
Modelo	PTX 7217
Faixa de medição	0 a 42,21 mca (tipo 1) 0 a 10,54 mca (tipo 2)
Sinal de saída	2 fios (4 a 20mA)
Tempo de resposta	1 ms
Precisão	± 0,2%
Tensão de alimentação	24 V

Fonte: Catálogo do fabricante

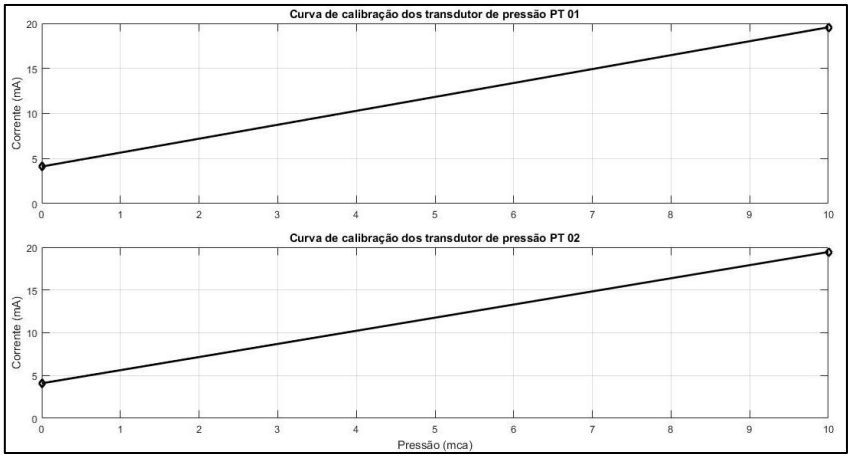
Portanto, na Figura 24 estão as curvas de calibração dos transdutores de pressão PT 03, PT 04 e PT 05, nota-se que para 0 mca tem-se uma corrente igual a 4 mA, por outro lado para 40 mca, o valor da corrente é de aproximadamente 20 mA. Portanto, estando dentro da faixa de operação indicada pelo fabricante.

FIGURA 24 – CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TRANSDUTORES (PT 03, PT 04 E PT 05).



Além disso, para os sensores na faixa de operação de 0 a 10,54 mca, a curvas de calibração destes sensores está ilustrada na Figura 25. Observa-se que para a pressão de 0 mca, o valor da corrente é de aproximadamente 4 mA, já para o valor de 10 mca, o valor da corrente é de aproximadamente 20 mA. Portanto estando dentro da faixa de operação indicada pelo fabricante.

FIGURA 25 – CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TRANSDUTORES (PT 01 E PT 02).



3.3.2 AJUSTE DOS TRANSDUTORES DE VAZÃO

O modelo e as características dos transdutores de vazão ajustados estão ilustradas na Tabela 11. O método de ajuste deste dispositivo, consiste no ajuste de dois potenciômetros presente no circuito de condicionamento do sensor. O primeiro potenciômetro realiza o ajuste da faixa de operação, isto é, de 4 a 20 mA, já o segundo trata-se do ajuste de zero.

Dessa forma, para ter acesso a estes potenciômetros, deve-se desaparafusar a tampa plástica superior. Em seguida, energiza-se o transdutor e com o auxílio de um multímetro, mede-se a correte e à ajusta através do primeiro potenciômetro para 4 mA e 20 mA, respectivamente.

Em seguida, o sensor deve estar totalmente preenchido com fluido e após 30 minutos, deve-se ajustar o segundo potenciômetro de modo a obter 0mA no segundo ponto medido.

TABELA 11 – CARACTERÍSTICA DOS TRANSDUTORES DE VAZÃO

Fabricante	Incontrol
Modelo	VMS 038
Faixa de medição	1,24 a 40,8 m^3/h
Sinal de saída	2 fios (4 a 20 mA)
Tempo de resposta	1 ms
Precisão	± 0,2 %
Tensão de alimentação	24 V

Fonte: Catálogo do fabricante

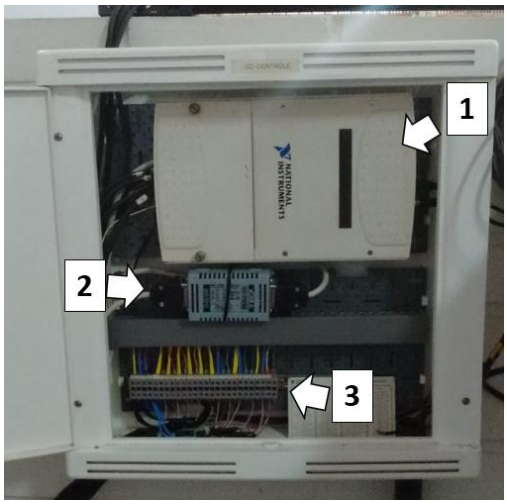
3.4 REVITALIZAÇÃO DA BANCADA SÉRIE/PARALELO

Esta atividade consistiu em realizar a revitalização das conexões presentes na bancada experimental série/paralelo presente no LENHS, para isto seguiu-se os seguintes procedimentos:

- Mapeamento dos pinos de entrada e saída da interface de aquisição de dados, isto é, identificar o transdutor ou atuador que aqueles fios pertenciam;
- Remover os resistores que serviam como circuito de condicionamento de sinal, pois a interface de aquisição de dados (NI USB 6229, fabricado pela *National Instruments*) só suporta entrada em tensão. Estes transdutores estavam conectados de maneira inadequada e/ou estavam danificados;
- Conectar a malha de terra à blindagem dos fios condutores de sinais;
- Inserir uma borneira no painel para organizar os fios;
- Elaboração de um circuito de condicionamento de sinal, para condicionar o sinal de tensão em corrente;
- Colocar terminais nos fios que foram utilizados;
- Por fim, remontar todos os elementos em um suporte com tampa.

Na Figura 26 está a foto do painel da bancada série/paralelo, em que o número 1 indica o sistema de aquisição de dados, o 2 a placa de condicionamento do sinal corrente/tensão e em 3 a borneira usada para organização dos fios de sinais dos sensores e atuadores presentes na bancada.

FIGURA 26 – PAINEL DA BANCADA SÉRIE/PARALELO



A interface de aquisição de dados, NI USB 6229, é responsável pela comunicação entre os componentes eletrônicos e o computador. Este dispositivo é responsável por enviar sinais de excitação para os inversores e a válvula proporcional, além de receber os sinais advindos dos transdutores de pressão e vazão. As suas principais características estão descritas na Tabela 12.

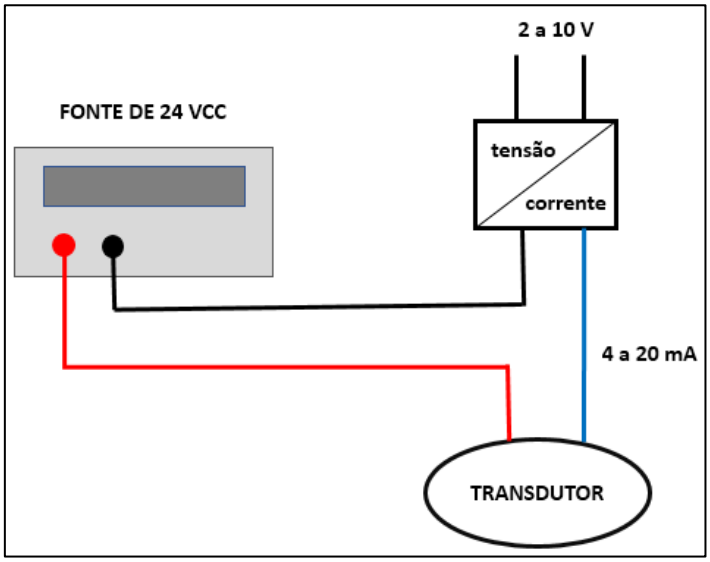
TABELA 12 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA INTERFACE DE AQUISIÇÃO DE DADOS.

Fabricante	National Instruments
Modelo	NI USB-6229
Tensão de alimentação	220 Vac
Número de saídas analógicas	4
Número de entradas analógicas	32
Número de entradas digitais	32
Taxa máxima de amostragem	250 kS/s
Resolução do inversor analógico/digital	16 bits
Faixa de tensão de entrada	± 10 V

Fonte: Catálogo do fabricante

Sendo assim, para adequar os sinais dos transdutores na faixa de operação desejada, isto é, de 0 a 10 V, implementou-se o circuito de condicionamento de sinal ilustrado na Figura 27.

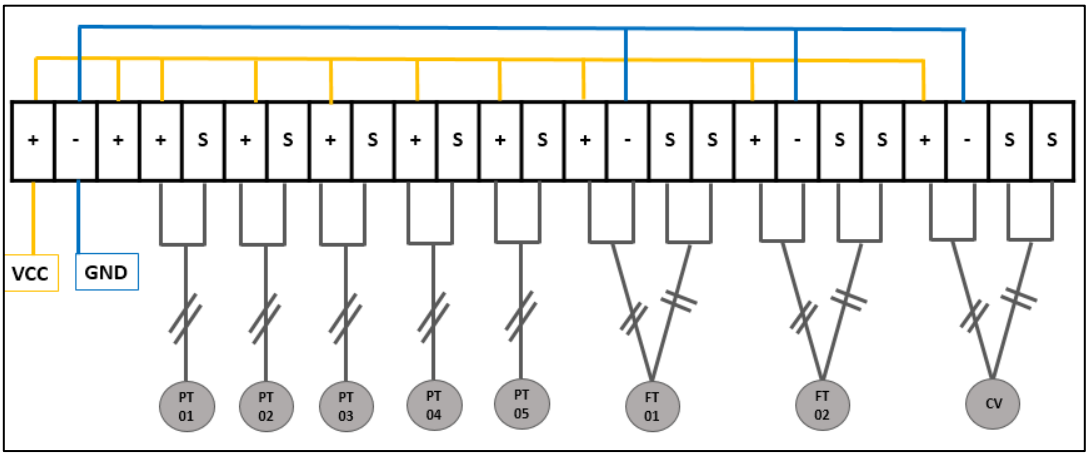
FIGURA 27 – CONDICIONAMENTO DO SINAL DOS TRANSDUTORES



O bloco da Figura 27 denominado de corrente/tensão, trata-se de dois resistores de 1k Ω em paralelo, onde a corrente advinda do sensor passa por eles e gera uma tensão, devido a Lei de Ohm.

Por fim, a borneira, indicada pelo número 3 na Figura 26 , está todos os sinais de controle, dados e de alimentação do sistema. Na Figura 28 está a representação da distribuição dos diversos elementos na borneira, onde a letra S indica o sinal dos dispositivos, "+" o VCC e "–" o terra.

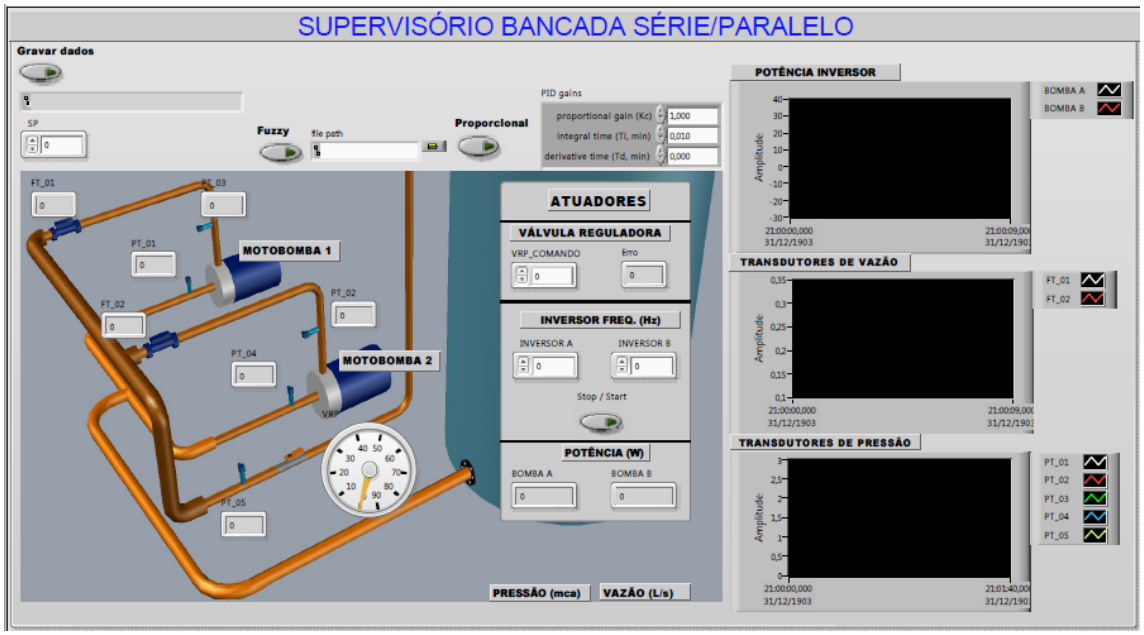
FIGURA 28 – CONEXÕES DOS DIVERSOS ELEMENTOS NA BORNEIRA



3.5 SUPERVISÓRIO BANCADA SÉRIE/PARALELO

O software supervisório desenvolvido, busca integrar os diversos sensores e atuadores presentes na bancada experimental série/paralelo. Além disso, permite a possui um controlador do tipo Proporcional, Integral e Derivativo (PID), como também um controlador baseado em lógica *fuzzy*. O sistema supervisório desenvolvido, trata-se de uma atualização da versão apresentada no trabalho de Barros (2016), a versão atual está apresentada na Figura 29.

FIGURA 29 – SUPERVISÓRIO BANCADA SÉRIA/PARALELO.



Fonte: Adaptado de BARROS (2016).

A imagem de fundo do supervisório, representa o sinótico do sistema, em que em cada elemento transdutor há uma caixa de texto onde indica a medição adquirida através da interface de aquisição de dados. Para configurar esta ferramenta, usou-se na no software do LabVIEW^{TM} o bloco DAQ *assistant*.

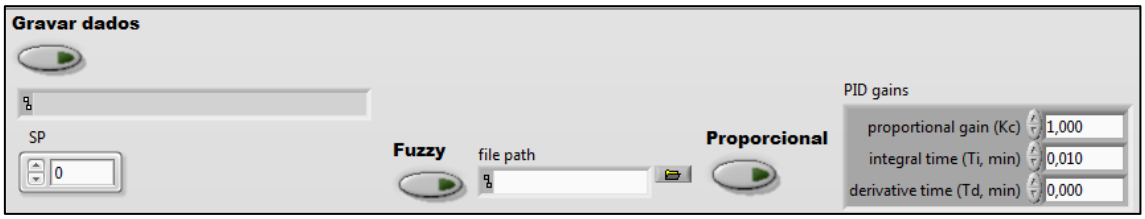
Em seguida, fez-se a conversão dos valores adquiridos em tensão para os valores correspondentes em pressão, vazão, potência ativa dos inversores de frequência e ângulo da válvula proporcional, os quais são indicados na forma numérica e através dos gráficos presentes no canto direito da tela.

Além disso, usando a mesma ferramenta para estabelecer as entradas dos sinais do sistema, fez-se uso dela para determinar os sinais de comando, como: ângulo da válvula proporciona e a frequência enviada ao inversor para ser aplicada ao motor.

Por fim, fez-se uso de dois blocos de controle, conforme ilustrado na Figura 30. O primeiro trata-se do bloco de controle PID, onde o usuário pode acioná-lo através de um botão, e determinar os valores das constantes proporcional (Kc), integral (Ti) e derivativa (Td).

Já o segundo método de controle, consiste em ao selecionar o botão *fuzzy* no menu de controle da Figura 30, introduzir um arquivo do tipo .fs em "*file path*" com os conjuntos de regras e a partir daí realizar o controle.

FIGURA 30 – MENU DE CONTROLE DO SUPERVISÓRIO



A malha de controle implementada é do tipo incremental, pois a saída do controle é um incremento ou decremento no valor anterior aplicado. Esta malha de controle visa o controle da pressão no ponto onde está localizado o transdutor PT 05 a partir da variação da rotação da motobomba presente na planta.

Na Figura 31, está representada a malha de controle *fuzzy* implementada no LabVIEW™. A linha em cor rosa indica o arquivo que contém as regras e as funções de pertinência nebulosa, as linhas em azul são as entradas (erro e derivada do erro) e por fim, a linha amarela é a frequência anterior aplicada ao conjunto motobomba.

Note, que no final da malha de controle, antes de enviar o sinal de atuação para o inversor de frequência, há um saturado, isto evita que o sistema opere fora da faixa limite imposta pelo projetista. O mesmo esquema foi usado para o controle PID, mas como um sistema SISO (*single input*, *single output)*, conforme expresso na Figura 32.

FIGURA 31 – MALHA DE CONTROLE FUZZY NO LABVIEW

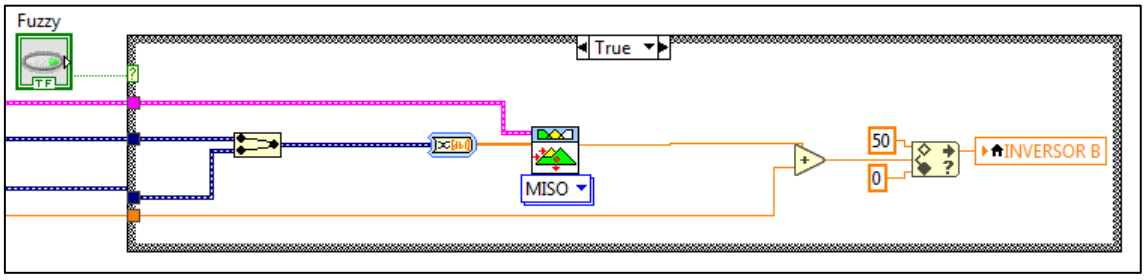
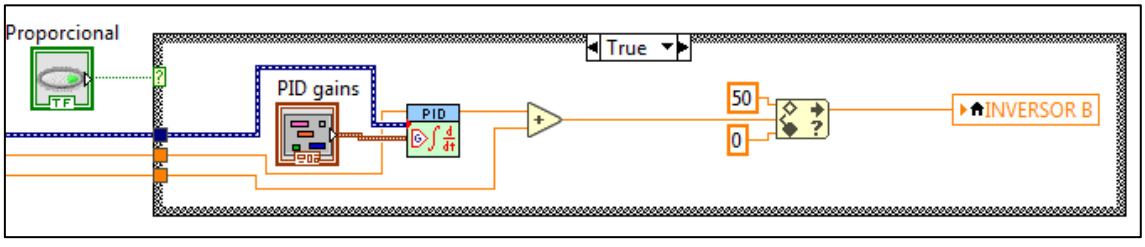


FIGURA 32 – MALHA DE CONTROLE PID NO LABVIEW



4 CONCLUSÕES

Portanto, a partir dos resultados obtidos durante as atividades desenvolvidas no estágio supervisionado obrigatório, podem ser colocadas as seguintes conclusões:

- A correta parametrização do inversor de frequência aumentou em termos percentuais o rendimento do conjunto motobomba em média 19,51%. Sendo este aumento mais expressivo em baixas rotações, chegando a 81,18% o aumento percentual para a rotação de 36,44 Hz, sem que haja prejuízo no comportamento hidráulico do sistema.
- A obstrução de bombas centrifugas impacta de maneira significante as características hidráulicas, chegando a reduzir a pressão e vazão promovida por este dispositivo pela metade. Em consequência disto, pode-se observar a redução do rendimento do conjunto motobomba pela metade. Estes a observância destes dados, podem servir como indicador de prevenção de possíveis falhas, promovendo a manutenção preventiva e corretiva, como as realizadas neste trabalho.
- A calibração e ajuste dos transdutores presentes na planta é fundamental para aquisição de dados de maneira adequada, pois se um destes transdutores estiver operando fora da faixa, pode induzir o sistema de controle a uma possível ação que não condiz com a realidade e, que, por conseguinte, causa prejuízos físicos e financeiros.
- O correto condicionamento dos sinais e organização dos cabos que os provêm, diminui as possíveis falhas e agiliza o processo de manutenção caso ocorra uma possível falha.
- Por fim, o software supervisório é uma ferramenta fundamental para o monitoramento e controle da planta, pois através dele é possível implementar sinóticos e sistemas de controle, desde o clássico, como o PID até o inteligente, como o *fuzzy*.

Ademais, o estágio no LENHS agregou bastante conhecimento no que se diz respeito a automação aplicada a sistemas de abastecimento de água e expos as principais dificuldades encontradas nesta área de atuação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS FILHO, Emânuel Guerra de et al. Sistema inteligente para o controle de pressão De redes de distribuição de água abastecidas Por bombas associadas em paralelo. 2016.

BEZERRA, Gleiciane Costa Moraes et al. Utilização de modelo matemática para simulação da operação de sistema de bombeamento de água. **Sistemas de saneamento: eficiência energética**, 2010.

BOLTON, W. **Programmable logic controllers**. [S.l.]: Newnes, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

BRUSAMARELLO, V. J.; BALBINOT, **A. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. 2**. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 18.

FRANCHI, Claiton Moro. Inversores de frequência: teoria e aplicações. **Editora Érica Ltda, 2ª edição, São Paulo**, 2009.

GOMES, H. P. Atividades Desenvolvidas. 2007. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/wpcontent/uploads/arquivos/acoes_lenhs_ne.pdf>. Acesso em: 28 out 2018. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

GOMES, Heber P. **Sistemas de bombeamento**. João Pessoa, Editora Universitária UFPB, 2009.

HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006.

MENDES, Etiene Benini. Vocabulário internacional da metrologia. 2016.

MOURA, Geraldo de Araújo et al. Sistemas de controle fuzzy neural e neural adaptativo destinados ao controle de pressão em rede de distribuição de água. 2016.

RODRIGUES, Wlamir et al. **Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de água**. 2007.

SCHNEIDER, Paulo S. Medição de Pressão em fluidos. **Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível no site http://143.54**, v. 70, 2012.

SILVA, Ana Paula Gonçalves; SALVADOR, Marcelo. **O que são sistemas supervisórios?** São Paulo, 2005.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

APÊNDICE A

Na tabela abaixo estão os parâmetros e os valores adotados para as configurações 1 e 2 do inversor de frequência abordado no tópico 3.1 deste trabalho.

TABELA 13 – PARAMETROS DO INVERSOR CFW 08.

Parâmetro	Configuração 1	Configuração 2
P000	-	-
P002	-	-
P003	-	-
P004	-	-
P005	-	-
P007	-	-
P008	-	-
P009	-	-
P014	-	-
P023	-	-
P040	0	0
P100	10	5
P101	4	10
P102	1	5
P103	3	10
P104	0	0
P120	1	1
P121	-	-
P122	5	5
P124	3	3
P125	10	10
P126	20	20
P127	30	30
P128	40	40

P129	50	50
P130	60	60
P131	66	66
P133	3	0
P134	63	60
P136	0.1	1
P137	0.1	0
P138	0	0
P142	100	100
P145	60	60
P151	780	780
P156	-	-
P169	-	-
P178	-	-
P202	0	1
P203	0	0
P204	0	0
P205	2	2
P206	0	0
P208	1.1	1
P215	-	-
P219	6	6
P220	2	2
P221	0	0
P222	1	1
P229	0	0
P230	1	1
P231	0	0
P234	0.96	0.96
P235	0	0
P236	0	0
P238	-	-
P239	-	-

P240	-	-
P248	10	10
P251	-	-
P252	-	-
P253	-	-
P263	0	0
P264	0	0
P265	10	10
P266	8	8
P267	-	-
P268	-	-
P277	5	5
P279	0	0
P288	3	3
P290	13	13
P295	310	310
P297	4	4
P300	0	0
P301	1	1
P302	0	0
P303	20	20
P304	30	30
P306	0	0
P308	1	1
P310	0	0
P311	5	5
P312	0	0
P313	2	2
P314	0	0
P399	-	-
P400	-	-
P401	10	10
P402	-	-

P403	-	-
P404	-	-
P407	0.82	0.8
P408	-	-
P409	-	-
P520	1	1
P521	1	1
P522	0	0
P525	0	0
P526	0.1	0.1
P527	0	0
P528	1	1
P536	0	0