

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDUARDO BENTO

**RETROFITTING DO PROCESSO DE TESTE HIDROSTÁTICO EM VASOS DE
PRESSÃO**

Joinville

2020

EDUARDO BENTO

**RETROFITTING DO PROCESSO DE TESTE HIDROSTÁTICO EM VASOS DE
PRESSÃO**

Monografia apresentada ao
CST Mecatrônica Industrial
do Campus Joinville do
Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do
diploma de Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial.

Orientador: Eduardo Makoto
Suzuki.

Joinville
2020

Bento, Eduardo.

Retrofitting do processo de teste hidrostático em vasos de pressão / Eduardo Bento . – Joinville, SC, 2021.
83p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de tecnologia em Mecatrônica Industrial, Joinville, 2021.
Orientador: Eduardo Makoto Suzuki.

1. Vasos de pressão. 2. Teste hidrostático. 3. CLP. I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. IV. Título.

EDUARDO BENTO

RETROFITTING DO PROCESSO DE TESTE HIDROSTÁTICO EM VASOS DE
PRESSÃO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Joinville, 26 de Fevereiro de 2021.

Prof. Eduardo Makoto Suzuki, Me.
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Michael Klug, Dr.
Avaliador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Rubens Hesse, Dr.
Avaliador
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e determinação para poder ultrapassar todos os obstáculos encontrados no decorrer deste curso.

Aos meus familiares por me apoiarem em toda a minha formação e aos meus colegas de turma por compartilharem comigo tantos aprendizados.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos, e em especial ao professor Eduardo Suzuki, por ter sido meu orientador e ter dedicado o seu tempo corrigindo e orientando da melhor forma possível a construção desse trabalho.

E ao IFSC Joinville por ter me proporcionado a estrutura necessária para o meu processo de formação.

RESUMO

O presente trabalho tem como objeto de estudo a elaboração de um projeto de retrofitting para um dispositivo de teste hidrostático em vasos de pressão, seguindo as indicações da Norma Regulamentadora NR13, que obriga a submeter o vaso de pressão à um teste hidrostático. Através dessa pesquisa na área de mecatrônica foi desenvolvido um dispositivo capaz de transformar um processo de teste de vasos de pressão totalmente manual em um processo semiautomático, utilizando um controlador do tipo CLP, mecanismos elétricos, hidráulicos e pneumáticos. Todos os controles dos movimentos serão realizados em malha fechada sendo a pressão interna do vaso controlada por um transdutor de pressão calibrado previamente, onde um sinal analógico será enviado para o CLP, que é o dispositivo responsável por todos os acionamentos e leituras dos testes. Foram utilizados nesse projeto componentes tais como sensores tipo boia, atuador pneumático, válvulas hidráulicas com acionamento pneumáticos, válvulas direcionais com acionamento elétrico, CLP, IHM e transdutor de pressão.

Palavras-Chave: Vasos de Pressão; Teste hidrostático, CLP.

ABSTRACT

The present work aims for the elaboration of a retrofitting project for a hydrostatic test device in pressure vessels, according to the *Norma Regulamentadora NR13*, which requires the pressure vessel to undergo a hydrostatic test. Through this research in the mechatronics fields, a device was built to transform a fully manual process into a semi-automatic one, using a PLC type controller, electrical, hydraulic and pneumatic components. All movement controls will be carried out in closed loop, with the internal pressure of the vessel controlled by a previously calibrated pressure transducer, where an analog signal will be sent to the PLC, which is the device responsible for all the drives and readings of the tests. In this project, components such as float sensors, pneumatic actuators, hydraulic valves with pneumatically operated, directional valves with electric drive, PLC, HMI and pressure transducer were used in this project.

Key words: Pressure vessels; Hydrostatic test, PLC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rotina manual do teste hidrostático.....	16
Figura 2 - Bomba hidráulica	26
Figura 3 - Bomba hidráulica com reservatório	30
Figura 4 - Vaso de Pressão	31
Figura 5 - Esboço do Processo.....	32
Figura 6 - Modelos Vaso de Pressão.....	33
Figura 7 - Válvula assento inclinado	34
Figura 8 - Válvulas direcionais.....	35
Figura 9 - Sensor de nível.....	36
Figura 10 - Montagem Sensor Reservatório Bomba Hidráulica.....	36
Figura 11 - Montagem Sensor Vaso de Pressão	37
Figura 12 - Bomba Hidráulica	38
Figura 13 - Atuador pneumático	40
Figura 14 - Sensor fim de curso.....	40
Figura 15 - Regulador de pressão	41
Figura 16 - CLP	42
Figura 17 - IHM.....	42
Figura 18 - Transdutor de pressão	43
Figura 19 - Módulo de entrada analógica	44
Figura 20 - Fonte de alimentação	45
Figura 21 - Suporte de entrada de água.....	48
Figura 22 - Vista Isométrica reservatório com suporte entrada de água.....	48
Figura 23 - Vista lateral reservatório	49
Figura 24 - Suporte atuador pneumático	50
Figura 25 - Vista superior atuador pneumático.....	50
Figura 26 - Suporte atuador pneumático montado	51
Figura 27 - Acoplamento atuador x bomba.....	52
Figura 28 – Terminal rotular oscilante	52
Figura 29 - Montagem acoplamento	53
Figura 30 - Aplicação força cisalhamento rebites	54
Figura 31 - Bancada de testes.....	56

Figura 32 - Manovácuometro digital	58
Figura 33 - Calibração ponto alto.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cálculo de potência	45
Quadro 2 - Lista de componentes.....	46
Quadro 3 - Força mínima de cisalhamento rebites	54
Quadro 4 - Funções acesso IHM	57
Quadro 5 - Função cadastro usuários	57
Quadro 6 -Função ciclo aberto e calibração	57
Quadro 7 - Registro de calibração	59
Quadro 8 - Rotina de Ciclo	60
Quadro 9 - Custos componentes comerciais	61
Quadro 10 - Custo peças mecânicas.....	61
Quadro 11 - Custo total do projeto.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

CLP - CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

CPU – UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO

IHM - INTERFACE HOMEM/MÁQUINA

NR - NORMA REGULAMENTADORA

RBC – REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 APRESENTAÇÃO.....	16
1.1.1 Cenário atual.....	16
1.1.2 Projeto proposto.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVO GERAL.....	19
1.3.1 Objetivos específicos.....	19
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1 RETROFITTING.....	20
2.2 NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÃO.....	20
2.2.1 Vaso de pressão.....	21
2.2.2 Caldeiras a vapor.....	21
2.2.3 Teste hidrostático.....	22
2.2.4 Fluido do teste.....	22
2.3 CIRCUITO ELÉTRICO.....	22
2.3.1 CLP.....	22
2.3.2 IHM.....	24
2.3.3 Sensores de nível.....	24
2.4 CIRCUITO HIDRÁULICO.....	25
2.4.1 Bomba hidráulica manual.....	25
2.5 CIRCUITO PNEUMÁTICO.....	26
2.5.1 Atuadores lineares.....	26
2.5.2 Válvulas direcionais.....	27
2.5.3 Válvulas pneumáticas.....	27
2.6 AUTOMAÇÃO.....	27

2.7 MEDIÇÃO DA PRESSÃO	28
2.8 CALIBRAÇÃO	28
2.8.1 Erros de leitura	29
3 METODOLOGIA	30
3.1 DISPOSIÇÃO DO PROCESSO SEM RETROFITTING	30
3.1.1 Características do Processo	32
3.2 DEFINIÇÕES DE COMPONENTES	33
3.2.1 Válvulas hidráulicas com acionamento pneumático	33
3.2.2 Válvulas direcionais	34
3.2.3 Sensores de nível tipo boia	35
3.2.4 Atuador pneumático.....	37
3.2.5 Sensores fim de curso	40
3.2.6 Regulador de pressão	41
3.2.7 CLP e IHM	41
3.2.8 Transdutor de Pressão	43
3.2.9 Módulo de entrada analógica.....	43
3.2.9 Fonte de Alimentação.....	44
3.2.10 Lista de componentes.....	46
3.3 DIAGRAMAS.....	46
3.4 SOFTWARES DE CONTROLE.....	47
3.5 PEÇAS MECÂNICAS.....	47
3.5.1 Suporte entrada de água	48
3.5.2 Suporte atuador pneumático.....	49
3.5.3 Acoplamento do atuador linear	51
3.5.4 Rebite de sustentação	53
3.6 MONTAGEM PARA TESTES DOS COMPONENTES.....	55
3.7 NAVEGAÇÃO IHM.....	56

3.8 CALIBRAÇÃO	57
3.9 TESTE FUNCIONAL	60
3.10 CUSTOS DO PROJETO	60
4 ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS.....	63
4.3 TRABALHOS FUTUROS	64
5 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A – Diagrama elétrico	68
APÊNDICE B – Diagrama pneumático	69
APÊNDICE C – Diagrama hidráulico	70
APÊNDICE D – Software de Controle	71
APÊNDICE E – Suporte Entrada de Água Reservatório	80
APÊNDICE F – Suporte Atuador Pneumático	81
APÊNDICE G – Acoplador Atuador x Bomba	82
ANEXO A – Registro de calibração	83

1 INTRODUÇÃO

As mudanças nos métodos de fabricação nas indústrias iniciaram no século XIX com a Revolução Industrial, onde a produção artesanal passou a dar espaço para a produção por máquinas. E essa revolução trouxe para a sociedade da época muitos impactos, sendo eles negativos e positivos. Um dos impactos positivos foi o avanço tecnológico, visto que se as indústrias não fossem se atualizando acabariam perdendo espaço no mercado cada vez mais competitivo.

No entanto, nos dias atuais ainda podemos observar dentro das indústrias aplicações que apresentam baixo desempenho produtivo, e que podem ser automatizadas, padronizando o processo ou o produto. Assim podemos ter um produto de maior qualidade e uma maior segurança na sua produção. Entretanto existem algumas barreiras de implementação quando o assunto é automatização, como por exemplo, custo do projeto, confiabilidade do sistema e segurança contra falhas.

O seguinte projeto visa melhorar o processo de teste hidrostático em vasos de pressão, em uma indústria onde até o presente momento a execução do teste é totalmente manual onde um operador é responsável por toda a execução e registro dos testes. Basicamente o teste consiste em aplicar um fluido incompressível dentro de um vaso de pressão, elevar a pressão desse fluido até um valor pré-determinado, monitorar a variação de pressão dentro do vaso e documentar todo o teste. Dessa forma é possível garantir que o vaso projetado não possui vazamentos e suporta a pressão de projeto. Além da indústria onde esse projeto foi implantado o projeto foi construído de forma genérica, sendo possível o mesmo ser implantado em outros ambientes e indústrias que precisam atender a NR13 na construção dos seus vasos de pressão.

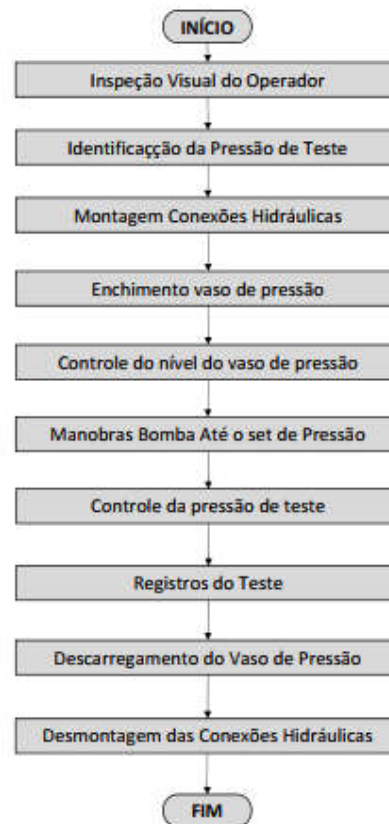
1.1 APRESENTAÇÃO

Uma das etapas para construção de vasos de pressão é a execução do teste hidrostático, o tema desse trabalho foi desenvolvido a fim de melhorar esse processo de teste hidrostático dentro de uma indústria onde esse processo ocorre totalmente de forma manual.

1.1.1 Cenário atual

Após a entrada do vaso de pressão a área de testes, o operador cumpre uma rotina pré-estabelecida na sua instrução de trabalho seguindo as etapas conforme observado na Figura 1.

Figura 1 – Rotina manual do teste hidrostático



Essa rotina é mais bem detalhada nos tópicos abaixo:

- Operador realiza a inspeção visual do vaso de pressão, identificando seu modelo e número de série;
- Após a identificação do vaso de pressão, o operador verifica em um documento denominado como “Instrução de Operação” qual a pressão que deverá ser aplicada no teste;
- É realizada a montagem das conexões hidráulicas necessárias para execução do teste;
- É aberta uma válvula manual, conectada ao vaso de pressão e rede de água, fazendo assim o enchimento do vaso de pressão, sendo o controle de nível de água realizado de forma visual pelo operador;
- Operador inicia as manobras manuais da bomba hidráulica, fazendo com que a pressão interna do vaso aumente;
- Operador controla através de um manômetro a pressão interna do vaso de pressão;
- Operador faz os registros de tempo e pressão do teste;
- Ao fim do teste, o operador faz a abertura de uma conexão posicionada abaixo do vaso de pressão, fazendo que ocorra o descarregamento de água do vaso de pressão;
- Operador realiza a desmontagem das conexões hidráulicas e libera o vaso de pressão para o próximo setor produtivo.

1.1.2 Projeto proposto

A proposta desse projeto é realizar um *retrofitting* no processo de teste hidrostático em vasos de pressão, proporcionando controles automáticos em suas etapas, visando e melhorado o processo como um todo, sendo elas descritas nos tópicos abaixo:

- Pressão de teste pré-definidas para cada modelo de vaso de pressão, eliminando a necessidade de conferência em documentos e ou uso indevido de pressão devido a falhas de interpretação de documentos;
- Enchimento do vaso de pressão e reservatório da bomba hidráulica de forma automática, sem a necessidade de controle do operador;
- Controle do nível de água no vaso de pressão e reservatório da bomba hidráulica realizado através de sensores, eliminando a necessidade de visualização do operador, evitando o transbordamento do vaso de pressão;
- Pressurização do vaso de pressão de forma automática, eliminando o esforço físico de movimentação da bomba hidráulica para o aumento da pressão;
- Controle do valor de pressão realizado por transdutor calibrado, eliminando os riscos de leituras incorretas.

Esse projeto não visa excluir a necessidade do operador para a realização do teste, mas sim dar uma maior efetividade na sua execução, diminuindo o tempo empregado pelo operador para a atividade.

1.2JUSTIFICATIVA

Para a fabricação de um produto o tempo empregado na mão de obra muitas vezes assume uma grande parcela do seu valor final, dessa forma é cada vez mais necessário às indústrias atualizarem seus processos de produção com foco na redução de custos. Este fato é extremamente importante, pois define se uma empresa é ou não competitiva no mercado.

Com base nessas informações almeja-se realizar um *retrofitting* no processo de teste hidrostático, transformando o dispositivo que atualmente é utilizado, em uma ferramenta de trabalho que seja capaz de auxiliar na execução do processo de teste hidrostático em vasos de pressão, eliminando os erros de identificação e leitura pressão, diminuindo o tempo gasto pelo operador para execução do teste e reduzindo o seu esforço físico empregado para sua realização.

Abaixo alguns tópicos que corroboram essas informações:

- Identificação da pressão de teste de forma manual, sendo que existem aproximadamente 50 modelos de vasos;
- Tempo médio de espera para enchimento de um vaso de pressão 18min, variando entre 1 a 40min;
- Operador tem que realizar em média 90 movimentações na alavanca da bomba hidráulica para levar a pressão de 0 a 5 bar;
- Leitura de pressão de forma visual, podendo acontecer testes em pressões erradas.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse TCC é desenvolver um projeto de *retrofitting* em um dispositivo que opera de forma 100% manual, adicionando e testando em bancada componentes elétricos e hidráulicos que trabalhando em conjunto podem proporcionar a diminuição dos erros de identificação e leitura de pressão e redução da fadiga do operador.

1.3.1 Objetivos específicos

- Desenvolver a programação de controle em um CLP e IHM, para operar a rotina de teste hidrostático em vasos de pressão, controlando um atuador pneumático e realizando a leitura de pressão do vaso testado;
- Projetar peças mecânicas capazes de acoplar um atuador pneumático a uma bomba hidráulica, de modo que sua movimentação ocorra de forma automática e controlada;
- Elaborar diagramas de montagem elétrico, hidráulico e pneumático para execução do projeto;
- Analisar o custo de implementação do projeto de *retrofitting*, identificando possíveis pontos de redução de custos, a fim de tornar o projeto mais viável.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo definir os principais temas que englobam a construção do projeto desde a fase inicial até os testes finais.

2.1 RETROFITTING

Retrofitting é um termo utilizado na indústria que define intervenções em equipamentos que possuem algum tipo de operação ultrapassada e após modificações se tornam mais modernos e mais produtivos. (TECMACHINE. *Retrofitting* (reforma) em equipamentos. 2020. Disponível em: <http://www.tecmachine.ind.br/retrofitting.php>>

Seus principais benefícios são:

- Aumento da produtividade;
- Redução de riscos;
- Redução de tempo de inatividade.

2.2 NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÃO

A NR-13, estabelece todos os requisitos que influenciam a gestão da integridade de vasos de pressão, caldeiras e tubulações de interligação nos aspectos relacionados com à fabricação, instalação, inspeção, operação e manutenção, tendo como objetivo a segurança e à saúde dos usuários diretos e indiretos dos equipamentos por ela regulamentados (NR-13, 2017).

Sua abrangência se aplica aos seguintes equipamentos:

- Caldeiras a vapor que produzem e ou acumulam vapor sob pressão maior que a atmosférica;

- Vasos de pressão em que o resultado da multiplicação da pressão máxima de trabalho em módulo e em kPa e o volume interno em m³ tenham resultado maior que 8;
- Vasos de pressão que são destinados a operação com fluidos inflamáveis, combustíveis, tóxicos, hidrogênio, acetileno ou ainda com temperatura igual ou superior a 200 °C;
- Recipientes móveis em que o resultado da multiplicação da pressão máxima de trabalho em módulo e em kPa e o volume interno em m³ tenham resultado maior que 8;
- Tubulações que fazem a interligação entre caldeiras ou vasos de pressão.

2.2.1 Vaso de pressão

Todos os recipientes que são destinados para armazenamento de algum tipo de fluido são considerados vasos de pressão como cita NR-13 “são reservatórios projetados para resistir com segurança a pressões internas diferentes da pressão atmosférica”, (Portaria MTb n.o 1.084, de 28 de setembro de 2017). Todos os vasos de pressão devem obrigatoriamente ser submetidos a Teste Hidrostático em sua fase de fabricação, com comprovação por meio de laudo assinado pelo engenheiro responsável pelo projeto (NR-13, 2017).

2.2.2 Caldeiras a vapor

Segundo a (NR-13, 2017), todos os equipamentos que produzem e acumulam vapor sob pressão independente da fonte de energia utilizada para tal produção são considerados caldeiras sendo que elas são ainda classificadas em duas categorias:

- Categoria A sua pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa, com volume superior a 50 litros;

- Categoria B, sua pressão de operação é superior a 60 kPa e inferior a 1960 kPa, com volume superior a 50 litros e a multiplicação da pressão máxima de trabalho em módulo e em kPa e o volume interno em m³ tenham resultado maior que 6.

2.2.3 Teste hidrostático

Como cita a norma regulamentadora NR-13, teste hidrostático é um “tipo de teste de pressão com fluido incompressível” (Portaria MTb n.o 1.084, de 28 de setembro de 2017). Sua execução se deve a necessidade de avaliar a integridade estrutural dos equipamentos e o possível rearranjo de tensões residuais. Sendo que a pressão do teste deve ser definida pelo projetista do vaso de pressão considerando a pressão máxima de trabalho do mesmo.

2.2.4 Fluido do teste

Para a segurança dos operadores é essencial que o fluido do teste seja incompressível, ou seja, seu volume deve sofrer uma alteração muito baixa mesmo exposto a altas pressões dessa forma se convencionou como fluidos incompressíveis. (PORDEUS, 2020) assim caso haja uma ruptura do vaso de pressão em teste não haverá a explosão do mesmo, mas sim fugas localizadas.

2.3 CIRCUITO ELÉTRICO

2.3.1 CLP

CLP significa controlador lógico programável, basicamente é um equipamento que se assemelha a um computador, onde um *hardware* com o auxílio de um *software* totalmente personalizável executa o controle de tarefas, monitorando sensores (entradas) e controlando o acionamento de atuadores (saídas). (MATTEDE, Henrique. Controlador Lógico Programável CLP. Mundo da Elétrica, 2014. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/controlador-logico-programavel-clp/>

Esses dispositivos são capazes de manipular funções lógicas binárias como exemplo tipo E e OU, e também complexas malhas fechadas analógicas (FRANCHI; CAMARGO, 2012). Segundo (PRUDENTE, 2011) uma das vantagens do uso do CLP em uma automação é que ele pode executar uma tarefa que é impensável para um sistema eletromecânico, como por exemplo: sistemas analógicos, operações matemáticas, armazenamento e visualização das variáveis de processo e conexão em rede com computadores.

Sua operação acontece através do recebimento de sinais digitais ou analógicos que chegam através de sensores ou transdutores. Após tratar os sinais em um programa ele emite novos sinais de saída que podem ser digitais ou analógicos que por sua vez alimentam os atuadores. Sendo que o CLP tem um padrão consolidado no mercado, esse padrão garante a confiabilidade e o baixo custo esses são os motivos pelos quais os CLPs representam uma ótima solução para diversos problemas em automação em todos os níveis de todos os setores industriais (PRUDENTE, 2011).

De maneira resumida CLP é “Um complexo sistema eletrônico para uso industrial capaz de gerir qualquer operação de controle industrial de maneira flexível” (PRUDENTE, 2011, 10).

2.3.1.1 Entrada discreta (digital)

Segundo (FRANCHI; CAMARGO, 2012) esse tipo de sinal pode assumir apenas dois valores ou níveis bem definidos. Dessa forma uma entrada digital pode ter os seguintes valores: 0 ou 1, ligado ou desligado, ativado ou desativado. Os dispositivos que operam com esse sinal têm como essência de funcionamento uma chave, que envia nível lógico 0 quando aberto e nível lógico 1 quando fechada.

2.3.1.2 Entrada contínua (analógica)

Segundo (FRANCHI; CAMARGO, 2012) esse tipo de sinal pode assumir diversas grandezas, que normalmente são emitidas por dispositivos eletrônicos. É comum que essas grandezas operem com valores de tensão e corrente, para os valores de tensão são utilizados 0 a 10 Vcc e -10 a 10 Vcc e para corrente 0 a 20 mA e 4 a 20 mA. Um sinal analógico pode assumir qualquer valor entre 0 a 100% em um determinado instante.

2.3.2 IHM

Normalmente a comunicação entre os operadores e a máquina pode ser dividido em dois blocos principais: órgão de comando e terminal de gestão (PRUDENTE, 2011).

Nos órgãos de comando fazem parte dispositivos como: chaves seletoras, chaves digitais, botões, lâmpadas e displays. Já os terminais de gestão são dotados de programas específicos que podem controlar um grande número de variáveis do processo (PRUDENTE, 2011).

2.3.3 Sensores de nível

Basicamente um sensor de nível possui duas partes, sendo elas um detector de nível e um circuito de saída. O detector informa para o circuito de saída quando existe a presença ou ausência de nível, assim o circuito de saída do sensor executa algum controle. (ROURE, de Marcel. Sensor de Nível Qual o Melhor Para o Seu Processo, 2019. Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/sensor-de-nivel-qual-e-o-melhor-para-o-seu-processo>

2.3.3.1 Sensores de nível tipo boia

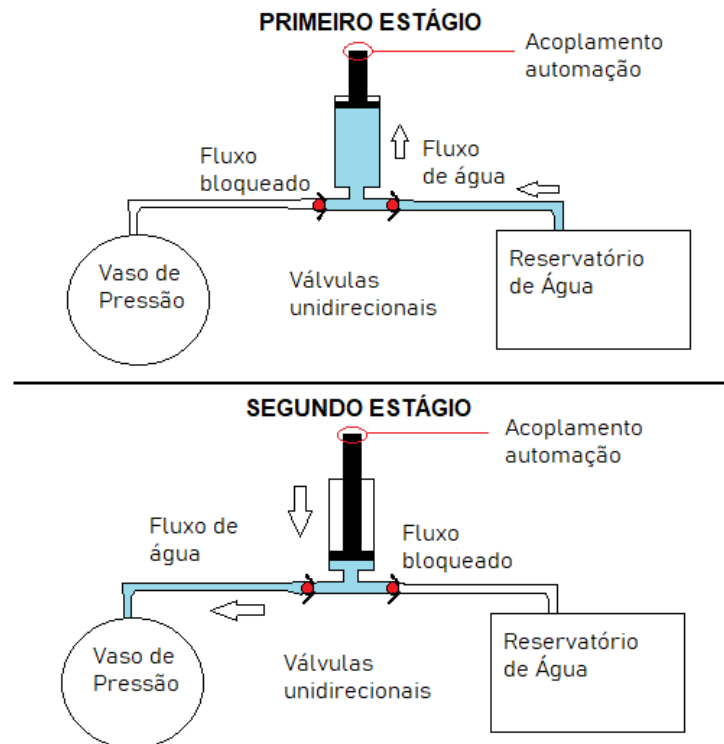
O princípio de funcionamento desse componente é através do magnetismo, onde uma boia normalmente construída em um corpo oco de baixa densidade que tende a flutuar quando exposto ao fluido, quando essa flutuação acontece a posição em que a boia fica acaba acionando contatos metálicos que estão originalmente isolados, isso acontece devido a característica magnética do sensor. (ICOS, Sensor de Nível, 2020. Disponível em: <http://eicos.blog.br/sensor-de-nivel-o-que-e/>)

2.4 CIRCUITO HIDRÁULICO

2.4.1 Bomba hidráulica manual

O princípio de funcionamento desse tipo de bomba é semelhante à de uma seringa onde o fluido ou é sugado ou empurrado, em sua construção são adicionadas duas válvulas de retenção que permitem a o fluxo do fluido em apenas um sentido, dessa forma em ambos os movimentos o fluido sempre é direcionado para o ponto onde se busca aumentar a pressão conforme Figura 2. (URBANO, Edison. Bomba de água manual. Sempresustentavel, 2013. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/bombasdeagua/bomba-de-agua-model1.htm#ANEXO%201>>)

Figura 2 - Bomba hidráulica



Fonte: O autor, 2020

2.5 CIRCUITO PNEUMÁTICO

Um circuito pneumático utiliza ar comprimido como fonte de energia para os acionamentos, sendo que é necessário dispor ao sistema ar com pressão adequada e com a isenção de impurezas e umidade (FIALHO 2011). O circuito eletropneumático desse projeto vai utilizar principalmente válvulas direcionais e atuador linear.

2.5.1 Atuadores lineares

Atuadores lineares pneumáticos são dispositivos que transformam a energia mecânica gerada pelo ar comprimido em expansão em movimentos lineares e

consequentemente produzindo trabalho. Basicamente os atuadores são divididos nas classes de simples efeito e duplo efeito (FIALHO 2011).

2.5.2 Válvulas direcionais

Sua função é orientar a direção em que o fluxo de ar deve seguir, com o objetivo de executar alguma ação esperada, possuindo as seguintes características construtivas, posição inicial, número de vias, tipo de acionamento, tipo de retorno e vazão (PARKER, Tecnologia pneumática industrial, 2020. Disponível em: <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnextoid=94a68380a865e210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnnextf mt=PT>

Esses dispositivos são capazes de após receber um impulso pneumático, mecânico, ou elétrico, permitirem a passagem do fluxo de ar pressurizado para alimentar um atuador (FIALHO 2011).

2.5.3 Válvulas pneumáticas

Essas válvulas possuem um pistão mola que exerce o controle de abertura e fechamento, sendo que essa operação é realizada pneumaticamente com a pressão de ar comprimido atuando o pistão e liberando a passagem do fluido, podendo ser normalmente aberta ou normalmente fechada. (BONGAS, Válvula de assento inclinado. 2020. Disponível em: <https://bongas.com.br/valvula-de-assento-inclinado-tipos-funcionamento-e-aplicacoes/>

2.6 AUTOMAÇÃO

Segundo (PRUDENTE, 2011) um sistema pode ser definido como automatizado quando ele é capaz cumprir uma ou mais tarefas, tomando decisões a partir dos diversos sinais que está recebendo do mesmo sistema que está sendo controlado. “Em poucas palavras, o sistema age sem intervenção humana” (PRUDENTE, 2011, 1).

2.7 MEDIÇÃO DA PRESSÃO

Para Moran et al. (2013, p. 276) a pressão é umas das características mais importantes de um fluído, e por isso existem diversos equipamentos e técnicas para realizar a sua medição. A pressão em um fluído pode ser designada por pressão absoluta ou pressão manométrica, sendo que a pressão absoluta é medida com relação à pressão zero absoluta e a pressão manométrica é medida com relação a pressão atmosférica local.

Ainda, segundo Moran et al. (2013, p. 281), em aplicações em que as medições de pressão devem ser realizadas continuamente durante o tempo deve ser utilizado um dispositivo que converta a pressão em um sinal elétrico de saída. Esse tipo de dispositivo é chamado de transdutor de pressão.

Um dos tipos de sensores de pressão utilizados são os transdutores capacitivos, esses estão entre os sensores de pressão mais confiáveis e já são utilizados em diversas aplicações diferentes. Seu princípio de funcionamento é baseado em diafragmas que quando expostos a pressões diferentes criam uma variação da capacitância entre os mesmos. Dessa forma é possível controlar essa variação de sinal através do uso de um CLP, sendo que o sinal é totalmente elétrico, ou seja, existe a conversão de uma grandeza mecânica em elétrica (CASSIOLATO, 2010).

2.8 CALIBRAÇÃO

Todo tipo de medição pode apresentar erros. Sendo que esses erros podem ter origem interna ao sistema ou serem decorrentes de ações e influências externas. Além disso, com o uso existe uma tendência dos sistemas de medição em degradar seu desempenho ao longo do tempo. Assim, para que se possa manter a confiabilidade de um sistema seu desempenho deve ser verificado periodicamente (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

“A forma usual de caracterizar o desempenho metrológico de um sistema de medição é pelo procedimento denominado calibração” (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008, 127).

2.8.1 Erros de leitura

Segundo (MORAES; CASTRUCCI, 2010) os erros de leitura podem ser classificados de 4 formas, sendo elas:

- “**Erros absolutos:** são definidos como a diferença entre o valor atual medido e um valor suposto livre de erro, obtido em instrumento padrão ou de melhor qualidade.” (MORAES; CASTRUCCI, 2010, 71).
- “**Erros relativos:** são definidos como erros absolutos normalizados, ou seja, o erro absoluto dividido pelo valor da medida.” (MORAES; CASTRUCCI, 2010, 71).
- “**Erros sistemáticos:** são aqueles que não variam de uma leitura para outra.” (MORAES; CASTRUCCI, 2010, 71).
- “**Erros randômicos:** são aqueles que variam de forma aleatória entre medidas sucessivas da mesma quantidade.” (MORAES; CASTRUCCI, 2010, 71).

3 METODOLOGIA

Através da metodologia quantitativa e qualitativa, foram determinados os aspectos essenciais para a comprovação da eficácia do trabalho proposto. Neste capítulo será detalhado o desenvolvimento do projeto como um todo, passando pelas etapas de definição de componentes, projetos das peças mecânicas, programação dos dispositivos de controle CLP e IHM, e execução dos diagramas hidráulico, elétrico e pneumático, montagem, navegação IHM, calibração, testes funcionais e custos.

3.1 DISPOSIÇÃO DO PROCESSO SEM RETROFITTING

Foi realizada uma vistoria no aparelho utilizado para a execução do teste hidrostático, Figura 3, com o intuito de identificar as necessidades e quais componentes se adequariam melhor ao sistema.

Figura 3 - Bomba hidráulica com reservatório

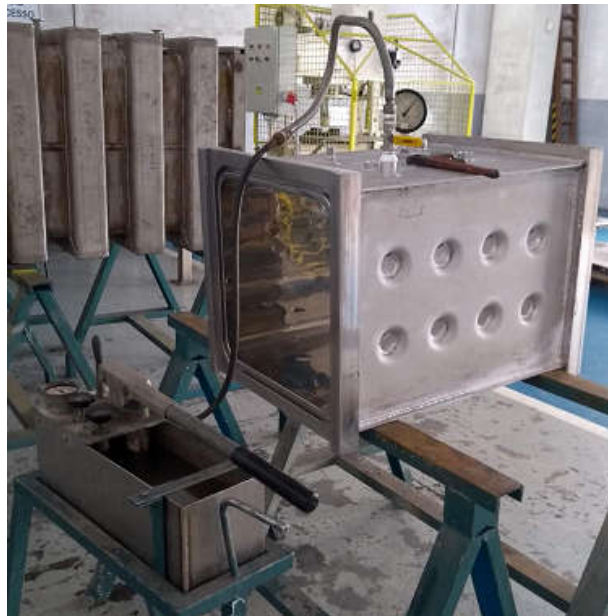


Fonte: O autor, 2020.

Foram identificadas como necessidade a instalação de uma válvula pneumática para enchimento do reservatório, um sensor de nível para controlar o volume de água no reservatório e um atuador pneumático para realizar a movimentação da bomba hidráulica.

Para a interligação entre o dispositivo automatizado e o vaso de pressão que passará pelo teste Figura 4, foram identificados como necessidade a instalação dos seguintes componentes: válvula pneumática para controle de entrada de água no vaso de pressão, sensor de nível para o controle de volume de água dentro do vaso de pressão, válvula pneumática para interligação entre bomba hidráulica e vaso de pressão, válvula pneumática para desague do caso de pressão.

Figura 4 - Vaso de Pressão

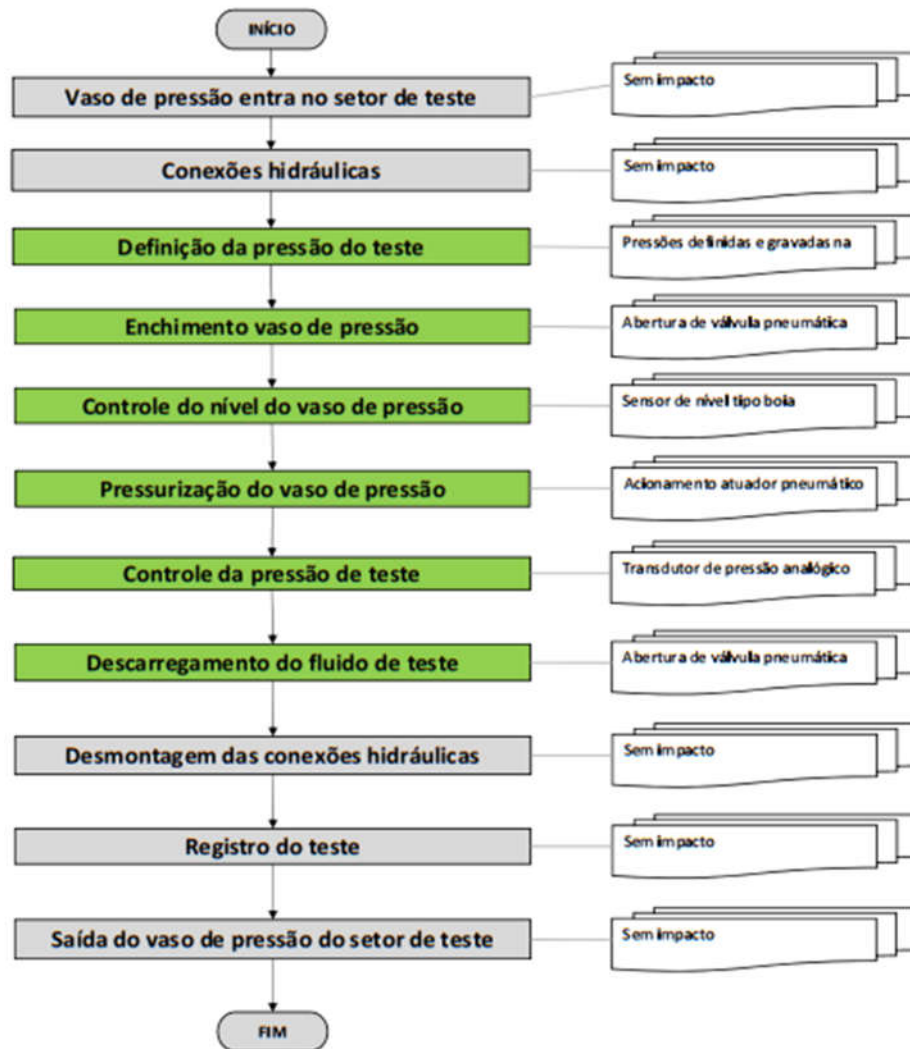


Fonte: O autor, 2019

Depois de identificados os componentes hidráulicos, foram identificados quais os componentes elétricos e eletrônicos que necessitariam ser instalados no projeto, foram definidos a utilização de um CLP para programação das rotinas de testes, IHM para interface entre operador e equipamento, transdutor de pressão para leitura da pressão interna do vaso e válvula direcionais para controle das válvulas pneumáticas.

A visualização do funcionamento básico do projeto como um todo pode ser observada na Figura 5, onde os quadros cinza não possuem alterações e os verdes serão impactados pelo *retrofitting*.

Figura 5 - Esboço do Processo



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1 Características do Processo

O processo atual conta com 50 modelos de vaso de pressão que possuem volumes variados entre 5 até 1500L, a Figura 6 mostra dois desses modelos, sendo eles um gerador de vapor de 41L e uma câmara de esterilização de 444L. Quanto ao

tempo de teste todo o processo leva aproximadamente duas horas, sendo uma hora o tempo em que a pressão de teste deve ser mantida sobre o vaso de pressão testado.

Figura 6 - Modelos Vaso de Pressão



Fonte: O autor, 2021

3.2 DEFINIÇÕES DE COMPONENTES

3.2.1 Válvulas hidráulicas com acionamento pneumático

Os controles de entrada de água do projeto foram realizados por válvulas hidráulicas com acionamentos pneumáticos de assento inclinado normalmente fechado, conforme Figura 7. Foi observado na infraestrutura no setor do teste que a tubulação de água disponível é de $\frac{1}{2}$ ", e dessa forma foi definido o uso das válvulas de entrada de água de mesma bitola, suportando assim a vazão volumétrica disponível no local da instalação.

Figura 7 - Válvula assento inclinado



Fonte: O autor, 2020.

3.2.2 Válvulas direcionais

O controle pneumático das válvulas foi realizado utilizando dois conjuntos de válvulas direcionais de 3/2 vias normalmente fechada. Foram analisados a quantidade de acionamentos pneumáticos necessários para o projeto e identificados as necessidade de uso no avanço do atuador pneumático, recuo do atuador pneumático, abertura da válvula de entrada de água no reservatório da bomba hidráulica, abertura da válvula de entrada de água no vaso de pressão, abertura da válvula de interligação entre vaso de pressão e bomba hidráulica e abertura da válvula de descarregamento de água do vaso de pressão, chegando a necessidade de 6 válvulas direcionais.

Outros fatores para a definição foram a tensão e corrente de trabalho, que são compatíveis com a disponível pelo CLP que opera em 24VCC com corrente máxima de 0,5A, dessa forma se faz necessário que as válvulas direcionais operem na mesma faixa de trabalho, eliminando assim a necessidade de uso de conversores de tensão e corrente.

Devido a disponibilidade dos componentes optou-se pelo uso de dois conjuntos de válvulas direcionais, que operam em 24VCC com corrente nominal de 0,2A cada

válvula, foram utilizados um conjunto com duas válvulas e outro com quatro. Conforme Figura 8.

Figura 8 - Válvulas direcionais



Fonte: O autor, 2020.

3.2.3 Sensores de nível tipo boia

Tanto o reservatório da bomba hidráulica, quanto o vaso de pressão necessitam ter um controle com relação a quantidade de água necessária para o processo, em ambos os controles foram utilizados sensores do tipo boia, a utilização desse sensor foi pensada considerando o seu baixo custo e sua fácil operação, sendo que o mesmo pode ser conectado diretamente ao CLP, sem a necessidade de outros componentes para a integração. A Figura 9 demonstra o sensor de nível nas duas posições, ativado e desativado respectivamente.

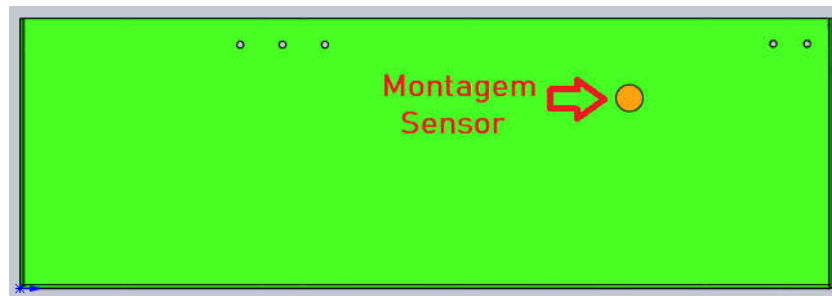
Figura 9 - Sensor de nível



Fonte: O autor, 2020

A montagem do sensor no reservatório da bomba hidráulica será diretamente realizada no orifício lateral, conforme Figura 10.

Figura 10 - Montagem Sensor Reservatório Bomba Hidráulica



Fonte: O autor, 2021

A montagem do sensor no vaso de pressão será realizada através de uma conexão tee conforme Figura 11.

Figura 11 - Montagem Sensor Vaso de Pressão



Fonte: O autor, 2021

3.2.4 Atuador pneumático

Para realizar a função de movimentação da bomba hidráulica, foi definido o uso de um atuador pneumático. O início do seu dimensionamento foi calculando a área do cilindro da bomba hidráulica, para isso foi realizada as medidas do cilindro da bomba que possui 30mm de diâmetro e 70mm de curso, Figura 12. Com essas medidas e conhecendo a pressão máxima de teste, foi possível calcular a força que deveria ser aplicada pelo atuador pneumático.

Figura 12 - Bomba Hidráulica



Fonte: O autor, 2020.

Posteriormente foi realizado o cálculo da força de aplicação necessária para o acionamento da bomba hidráulica, sendo esses cálculos realizados utilizando o princípio de Pascal:

$$F_1 = P_1 \cdot A_1 = F_2 = P_2 \cdot A_2$$

Com a pressão 1 sendo a pressão máxima do teste, área 1 sendo a área do pistão da bomba hidráulica, foi possível conhecer a força que o atuador pneumático deveria exercer sobre o cilindro hidráulico, conforme cálculos abaixo:

- Cálculo da área cilindro da bomba:

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot 30^2}{4}$$

$$A_1 = 707 \text{mm}^2$$

- Cálculo da força de aplicada sobre o cilindro, considerando a pressão máxima de teste 10,1Bar:

$$F_1 = P . A$$

$$F_1 = 1,01MPa . 707mm^2$$

$$F_1 = 714N$$

Conhecendo a pressão 2 que é a pressão da rede de ar comprimido da fábrica que possui uma pressão média de 6 bar, e assim que encontrada a força 1, foi possível determinar a área do pistão pneumático que será acoplado na bomba hidráulica, denominada como área 2, conforme os cálculos abaixo:

- Cálculo da área do atuador pneumático:

$$A_2 = \frac{F_2}{P_2}$$

$$A_2 = \frac{714N}{0,6MPa}$$

$$A_2 = 1190mm^2$$

Com base na área em que o atuador pneumático deveria possuir foi possível calcular o diâmetro do mesmo, denominado como diâmetro 2, conforme cálculos abaixo:

$$D_2 = \sqrt{\frac{A_2 \cdot 4}{\pi}}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{1190 \cdot 4}{\pi}}$$

$$D_2 = 38,92mm$$

Considerando o fator de segurança de 1,25 adotado para movimentação de atuadores pneumáticos a baixa velocidade encontramos o diâmetro abaixo:

$$D_f = 1,25 \cdot 38,92$$

$$D_f = 48,65mm$$

Com base nos cálculos acima foi definido o atuador ideal para a aplicação, considerando que as medidas comerciais para atuadores pneumáticos próximas ao valor calculado são com camisas de 40 e 50mm, optou-se pela utilização de um atuador com 50mm de diâmetro, conforme Figura 13.

Figura 13 - Atuador pneumático



Fonte: O autor, 2020.

3.2.5 Sensores fim de curso

Para a realização do controle de avanço e recuo do atuador pneumático, foram previstos o uso de sensores fim de curso. E esse tipo de sensor pode ser magnético ou pneumático, porém optou-se por o uso de dois sensores magnéticos, Figura 14, devido a possibilidade de comunicação com o CLP, dessa forma a posição do atuador pneumático se torna conhecida, o que torna o projeto mais seguro, montados em ambas extremidades do atuador pneumático, identificando assim as posições avançada e recuada do atuador.

Figura 14 - Sensor fim de curso



Fonte: O autor, 2020.

3.2.6 Regulador de pressão

Para o dispositivo funcionar corretamente será necessário a utilização da utilidade de ar comprimido, a fim de garantir a qualidade e especificação adequada para funcionamento, foi definido o uso de um regulador de pressão com purga manual, Figura 15, na entrada do sistema, sendo que todo o ar comprimido utilizado pelo sistema obrigatoriamente passa por esse conjunto.

Figura 15 - Regulador de pressão



Fonte: O autor, 2020.

3.2.7 CLP e IHM

Para o controle do projeto foi definido o uso do CLP, Figura 16. Sua utilização foi pensada devido a segurança que ele transmite ao processo, e as diversas funções que podem ser aplicadas. Basicamente o CLP vai controlar os sinais de entrada que

são os sensores do dispositivo, esses sinais são tratados através de um sistema de lógica programado, que conforme a variação desse sinal atua enviando sinais para os atuadores do dispositivo. Uma característica muito importante do CLP é a comunicação com uma interface *touch screen* denominada como IHM, Figura 17, esse outro dispositivo por sua vez faz a interface com o usuário, que por meio de telas permite ao usuário a escolha dos ciclos que serão executados e também condição de equipamento durante os ciclos.

Figura 16 - CLP



Fonte: O autor, 2020.

Figura 17 - IHM



Fonte: O autor, 2020.

3.2.8 Transdutor de Pressão

O sistema de leitura de pressão é peça fundamental para o projeto, para essa função existem componentes com controles digitais, que indicam através de um sinal se o dispositivo atingiu ou não a pressão configurada. O problema da aplicação desse dispositivo é a incerteza de medição do mesmo, visto que seu controle é digital a única informação emitida por ele é 0 para desligado ou 1 para ligado, dessa forma não seria possível realizar controles em pressões diferentes. O que direcionou o controle a ser realizado por um sensor de leitura analógica, ou seja, conforme ocorre a variação da pressão, também ocorre a variação do sinal enviado ao CLP, para o projeto em específico foi utilizado um transdutor de pressão de 4 a 20mA, conforme Figura 18.

Figura 18 - Transdutor de pressão



Fonte: O autor, 2020.

3.2.9 Módulo de entrada analógica

Para a conexão do transdutor de pressão ao CLP foi necessário utilizar um cartão de entrada analógica, Figura 19, visto que o CLP utilizado não possui esse tipo de entrada disponível em seu CPU. Foi utilizado um cartão de leitura analógica de 0 a 20mA, diferente do transdutor de pressão que trabalha entre 4 a 20mA, dessa forma foi necessário incluir uma rotina de conversão de corrente no software programado no CLP.

Figura 19 - Módulo de entrada analógica



Fonte: O autor, 2020.

3.2.9 Fonte de Alimentação

É importante para o desenvolvimento do projeto que todos os dispositivos operem na mesma tensão, o no caso desse projeto todos componentes elétricos são de alimentação 24Vcc, sendo assim se fez necessário o emprego de uma fonte de tensão que vai converter a alimentação da rede de 220Vca para 24Vcc, um dado determinante no dimensionamento da fonte além da tensão de trabalho é a sua corrente, para determinar a corrente é necessário conhecer a potência nominal de todos os dispositivos do projeto, sendo o cálculo de corrente realizado conforme a Lei de Ohm.

$$I = P/V$$

As potências dos dispositivos foram estruturadas e calculadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Cálculo de potência

COMPONENTES	POTÊNCIA (W)
CLP	12
IHM	20,4
ELETROVÁLVULAS	30
TRANSDUTOR DE PRESSÃO	1
SENSORES	3
POTÊNCIA TOTAL	66,4
CORRENTE TOTAL	2,8A

Fonte: O autor, 2020.

Com base nos cálculos do quadro acima, encontrou-se a corrente de 2,8A, devido a disponibilidade, optou-se pela utilização da fonte de 220Vca para 24Vcc, 5A, contando com sua capacidade de corrente acima do valor calculado, conforme Figura 20.

Figura 20 - Fonte de alimentação



Fonte: O autor, 2020.

3.2.10 Lista de componentes

Para a definição de todos os componentes foram considerados os fatores de operacionalidade, identificando que o componente selecionado pode atender aos requisitos mínimos para um bom funcionamento no sistema e o fator de acessibilidade, que considerou o acesso ao componente visto que os mesmos já faziam parte do estoque da indústria onde esse trabalho foi projetado. A lista com os componentes definidos e sua identificação nos projetos pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2 - Lista de componentes

LISTA DE COMPONENTES			
IDENTIFICAÇÃO PROJETO	DESCRIÇÃO	ACESSIBILIDADE	OPERACIONALIDADE
CLP	CLP S7-1200 MÓDULO CPU1215C 24VCC DC/DC/DC	Disponível	Atende
CLP	CLP S7-1200 MÓDULO ENTRADA SB1231 24VCC 1AI	Disponível	Atende
IHM	TOUCH SCREEN COLORIDO 7" CINZA 24VCC TP700	Disponível	Atende
SN1 / SN2	INTERRUPTOR DE NIVEL BÓIA	Disponível	Atende
YV1 - YV6	VÁLVULAS DIRECIONAIS	Disponível	Atende
FP	FORNE DE ALIMENTAÇÃO 24VCC 5A	Disponível	Atende
SQ1SQ2	SENSOR REED PNP 1NA 24VCC 2 FIOS	Disponível	Atende
X1	BORNE PT 2,5-QUATTRO CINZA 2,5MM2 1 ANDAR	Disponível	Atende
N.A.	TAMPA PARA BORNE D-PT 2,5-3L	Disponível	Atende
X1	BORNE PT 2,5-3L CINZA 2,5MM2 3 ANDARES	Disponível	Atende
N.A.	TAMPA PARA BORNE D-PT 2,5-3L	Disponível	Atende
BP1	TRANSDUTOR PRESSÃO 0-6 BAR 1/4" MACHO	Disponível	Atende
RPL	VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO 1/4"	Disponível	Atende
PN	CILINDRO PNEUMÁTICO DUPLA AÇÃO M10X125MM	Disponível	Atende
PV1 - PV3	VÁLVULA PNEUMÁTICA PISTAO NF RETORNO MOLA 1/2"	Disponível	Atende
PV4	VÁLVULA PNEUMÁTICA ESFÉRICA 1/2"	Disponível	Atende
BH	BOMBA HIDRÁULICA	Disponível	Atende
N.A.	MANGUEIRA 4MM	Disponível	Atende
N.A.	MANGUEIRA 6MM	Disponível	Atende
N.A.	CONEXÃO COTOVELO ENGATE ANILHA 1/4"FX6MM LATÃO	Disponível	Atende
N.A.	CONEXÃO COTOVELO ENGATE RÁPIDO 1/8"MX4MM LATÃO	Disponível	Atende

Fonte: O autor, 2020.

3.3 DIAGRAMAS

Após a concepção da ideia de funcionamento do projeto e definição dos componentes, foram desenvolvidos os diagramas de montagem elétrica, hidráulica e

pneumática do projeto. Esses diagramas foram desenvolvidos em software CAD e estão disponíveis para consulta dos apêndices A, B e C deste trabalho.

3.4 SOFTWARES DE CONTROLE

O desenvolvimento dos softwares de controle foi realizado na plataforma de controle da Siemens, o TIA portal. Inicialmente o desenvolvimento foi dividido entre IHM e CLP, sendo que o ponto de partida foi atender os requisitos de projeto associados ao funcionamento do software que estão descritos nos tópicos abaixo:

- O equipamento deve possuir ciclos pré-configurados com cada tipo de vaso de pressão a ser testado;
- O equipamento deve possuir menu de calibração do transdutor de pressão;
- O equipamento deve possuir menu de configuração de usuários;
- O equipamento deve possuir ciclo que permita a alteração do valor de pressão do teste na IHM;
- O equipamento deve possuir usuários com nível de operação e administração.

As principais telas de programação do software estão disponíveis para consulta no apêndice D desse trabalho.

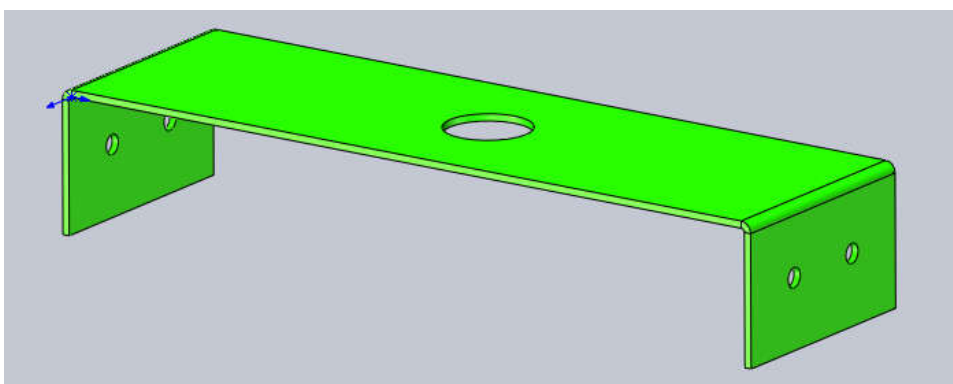
3.5 PEÇAS MECÂNICAS

Para a realização da montagem de toda a estrutura do projeto foi necessário desenvolver peças mecânicas para auxiliar na montagem da válvula de entrada de água no reservatório da bomba hidráulica, sustentação do atuador pneumático e acoplamento do atuador pneumático com a bomba hidráulica.

3.5.1 Suporte entrada de água

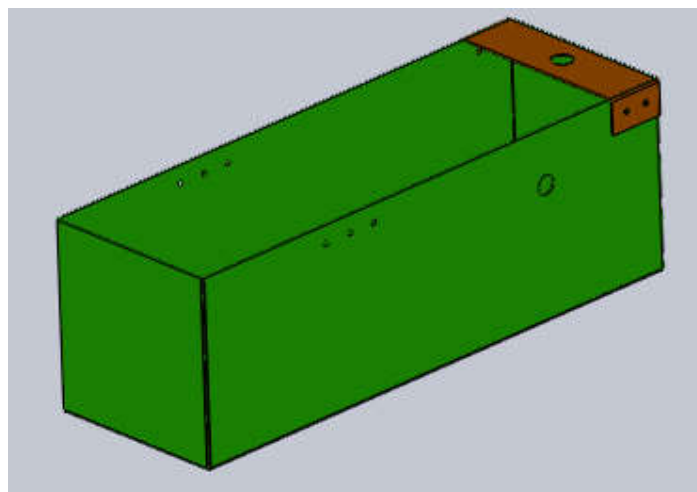
O suporte de entrada de água Figura 21, foi projetado em chapa inox 304 de 1,5mm de espessura, ele será instalado na parte superior do reservatório, conforme Figura 22, esse suporte possui uma conexão de $\frac{1}{2}$ ", onde será possível montar a válvula de controle de entrada água.

Figura 21 - Suporte de entrada de água



Fonte: O autor, 2020.

Figura 22 - Vista Isométrica reservatório com suporte entrada de água

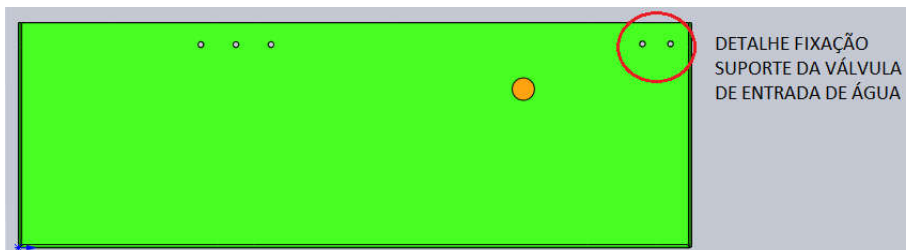


Fonte: O autor, 2020.

Sua fixação será realizada nas laterais do reservatório, onde serão posicionados parafusos que passarão entre os orifícios do suporte e reservatório. A

Figura 23 mostra a vista lateral do reservatório onde é possível observar o orifício de fixação do suporte.

Figura 23 - Vista lateral reservatório



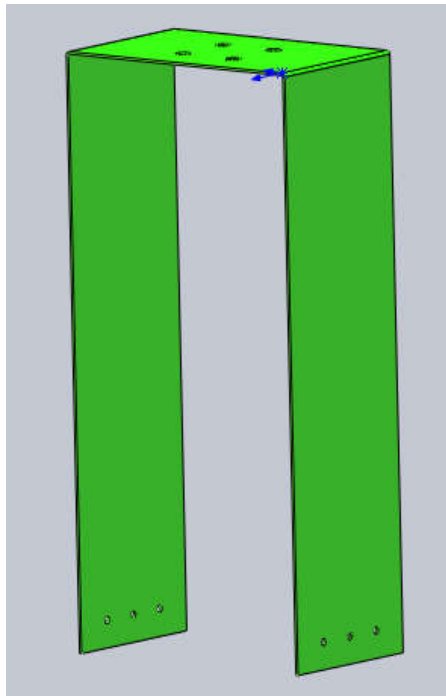
Fonte: O autor, 2020.

As cotas do suporte de entrada de águas estão disponíveis no apêndice E deste trabalho.

3.5.2 Suporte atuador pneumático

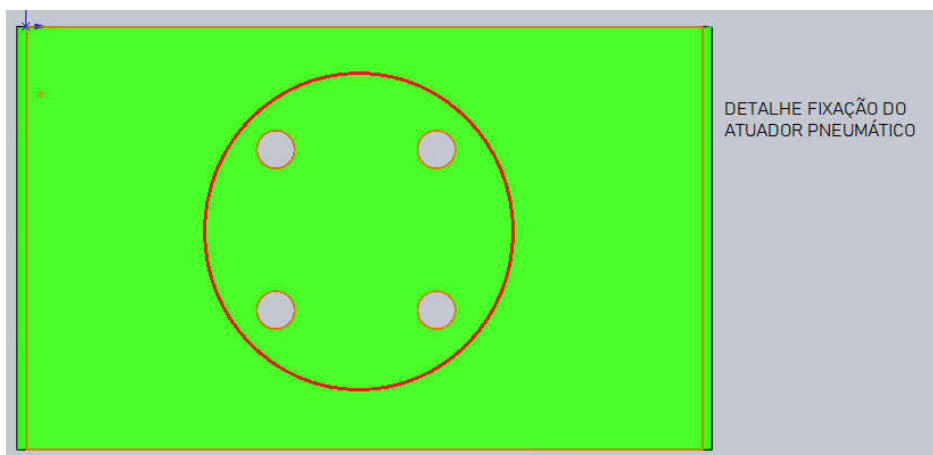
Para a fixação do atuador pneumático junto ao reservatório, foi desenvolvido um suporte em formato de 'U' Figura 24, sendo seu material de fabricação em chapa inox 304 com 1,5mm de espessura, seu topo é perfurado de maneira que seja possível fixar o atuador pneumático, Figura 25, sendo todo o conjunto fixado na lateral do reservatório, conforme Figura 26.

Figura 24 - Suporte atuador pneumático



Fonte: O autor, 2020.

Figura 25 - Vista superior atuador pneumático



Fonte: O autor, 2020.

Figura 26 - Suporte atuador pneumático montado



Fonte: O autor, 2020.

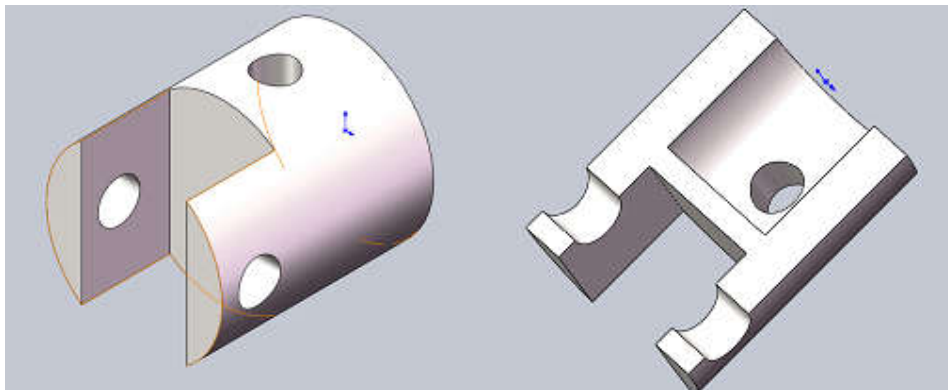
As cotas do suporte do atuador pneumático estão disponíveis no apêndice F deste trabalho.

3.5.3 Acoplamento do atuador linear

O acoplamento, Figura 27, foi projetado em inox 304, de forma que nem o cilindro da bomba hidráulica ou o atuador pneumático precise de alguma intervenção, sendo sua fixação com pino passante fixado com anel elástico. Para a fixação no atuador pneumático foi utilizado um terminal rotular oscilante, Figura 28, que permite mesmo que o atuador e bomba hidráulica não fiquem com o alinhamento perfeito o correto acionamento do sistema. E para fixação do acoplamento no cilindro da bomba

hidráulica será utilizado o orifício já existente no cilindro para a passagem do pino que é fixado com anel elástico em ambos os lados, sendo essa a mesma fixação utilizada para prender a alavanca na bomba hidráulica, conforme observado na Figura 29.

Figura 27 - Acoplamento atuador x bomba



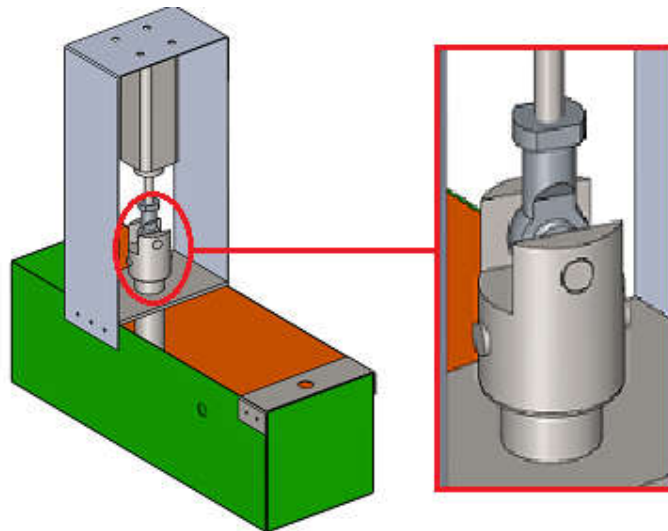
Fonte: O autor, 2021

Figura 28 – Terminal rotular oscilante



Fonte: O autor, 2021

Figura 29 - Montagem acoplamento



Fonte: O autor, 2021

As cotas do acoplador do atuador linear estão disponíveis no apêndice G deste trabalho.

3.5.4 Rebite de sustentação

Como ponto crítico das peças mecânicas está o rebite de sustentação do suporte do atuador pneumático, pensando em garantir o correto funcionamento do projeto e eliminar o risco de fadiga da estrutura foi dimensionado os rebites considerando as forças de cisalhamento empregadas no projeto considerando que os rebites vão suportar a força mínima de cisalhamento como previsto na norma DIN 7337, conforme Quadro 3.

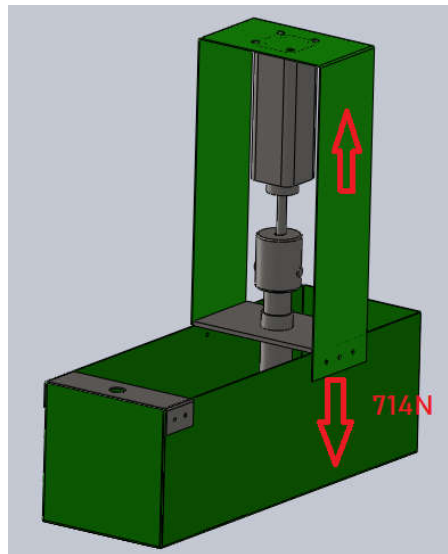
Quadro 3 - Força mínima de cisalhamento rebites

Material of rivet body	Diameter d_1							
	2,4	3	3,2	4	4,8	5	6	6,4
	Minimum shear force, in N							
Al	300	500	600	800	1400	1600	2500	2800
St	—	800	1000	1500	2400	2600	3300	3600
A2	—	1600	1800	2500	3800	4200	—	—
NiCu	—	—	1400	2000	3300	—	—	—
CuNi	—	800	1000	1500	2300	—	—	—
Cu	—	600	700	1000	—	—	—	—

Fonte: DIN 7337, 1991.

Conforme observado na Figura 30, a força do cisalhamento sobre os rebites será de 714N dessa forma, temos:

Figura 30 - Aplicação força cisalhamento rebites



Fonte: O autor, 2020

$$F_{cis} = \frac{714N}{6}$$

$$F_{cis} = 119N$$

Conforme norma DIN 7337 um rebite em corpo de alumínio com 3,2mm de diâmetro deve suportar uma força de cisalhamento de 600N. Assim temos um fator de segurança de 5,04. Conforme cálculo abaixo:

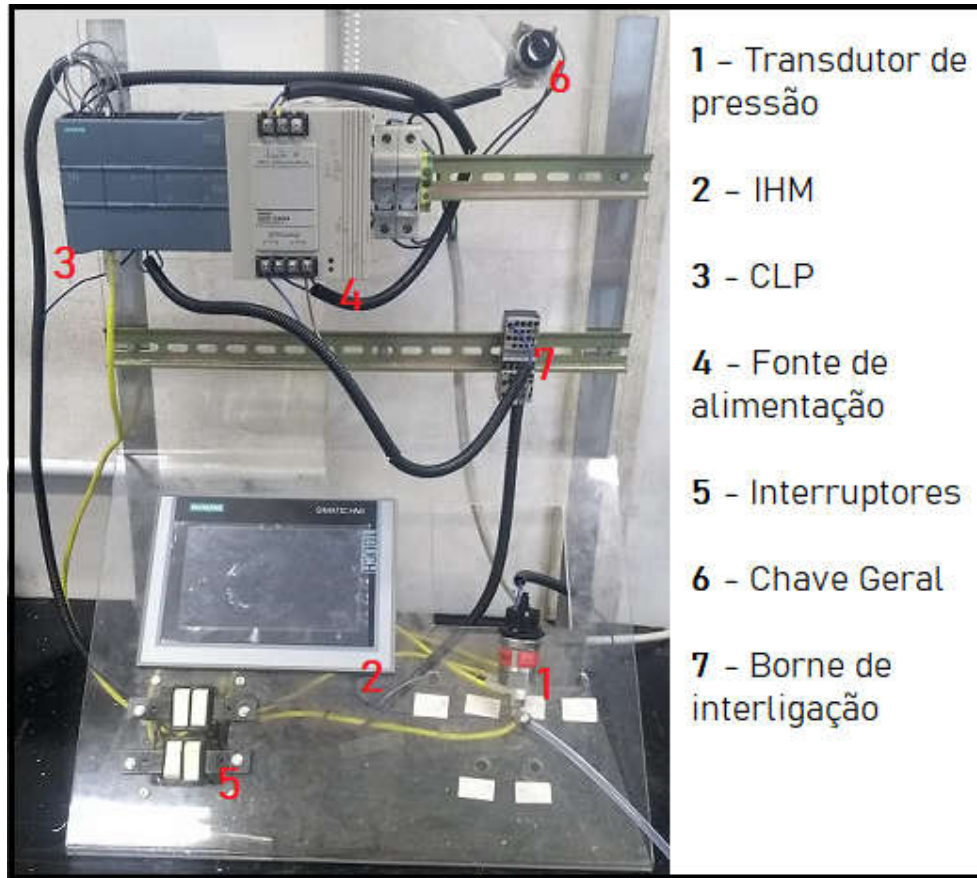
$$f_s = \frac{600}{119}$$
$$f_s = 5,04$$

3.6 MONTAGEM PARA TESTES DOS COMPONENTES

Para o teste funcional foi montada uma bancada que simulasse a aplicação prática do projeto, conforme observado na Figura 31. Foram realizadas as simulações necessárias para comprovar o funcionamento do sistema de automação identificando possíveis pontos de melhoria no projeto. Sua montagem foi realizada conforme os projetos elétrico e pneumático disponíveis nos Apêndices A e B.

Foram executados cerca de 15 ciclos de teste, com as pressões de 1500 e 3500mBar e o tempo de controle de 5 minutos, para simular os sensores de nível foram utilizados os interruptores item 5 da Figura 31, dessa forma foi possível simular condições de ausência e presença de nível de água, para simular o aumento de pressão, o transdutor de pressão foi conectado em uma saída de um regulador de pressão de ar comprimido, assim foi possível variar a pressão sobre o transdutor durante os testes.

Figura 31 - Bancada de testes



Fonte: O autor, 2020.

3.7 NAVEGAÇÃO IHM

O primeiro teste realizado foi o de navegação na IHM onde foram comprovados através de uma lista de verificação o funcionamento das funções da IHM. O primeiro teste realizado na IHM foi o de níveis de acesso, sendo executado conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Funções acesso IHM

CONDIÇÃO	FUNÇÕES	RELAÇÃO
Conforme	Operador não pode entrar no menu configurações	Níveis de Acesso
Conforme	Operador não pode iniciar ciclo aberto	
Conforme	Operador pode iniciar ciclo comum	
Conforme	Administrador pode entrar no menu configurações	
Conforme	Administrador pode iniciar ciclo aberto	
Conforme	Administrador pode iniciar ciclo comum	

Fonte: O autor, 2020.

Na sequência foi testada a possibilidade de cadastro de novos operadores através do menu configurações e operadores, sendo os testes realizados conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Função cadastro usuários

CONDIÇÃO	FUNÇÕES	RELAÇÃO
Conforme	Administrador pode cadastrar novo operador com nível de acesso administrador	Cadastro de usuários
Conforme	Administrador pode cadastrar novo operador com nível de acesso operador	

Fonte: O autor, 2020.

Também foi verificado a possibilidade de alteração do valor de pressão do ciclo aberto e alterações dos valores de calibração conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Função ciclo aberto e calibração

CONDIÇÃO	FUNÇÕES	RELAÇÃO
Conforme	Alteração do valor de pressão do ciclo aberto	Ciclos Abertos
Conforme	Alteração dos valores de calibração	Calibração

Fonte: O autor, 2020.

3.8 CALIBRAÇÃO

Um ponto fundamental para o correto funcionamento do projeto é a leitura correta de pressão pelo transdutor, para isso foi criada a possibilidade de calibração do sensor com ajustes dos valores via IHM, dessa forma mesmo utilizando transdutores diferentes será possível calibrá-los utilizando algum instrumento de referência para calibração foi utilizado um manômetro previamente calibrado com certificação rastreável à RBC, conforme Figura 32 e anexo 1.

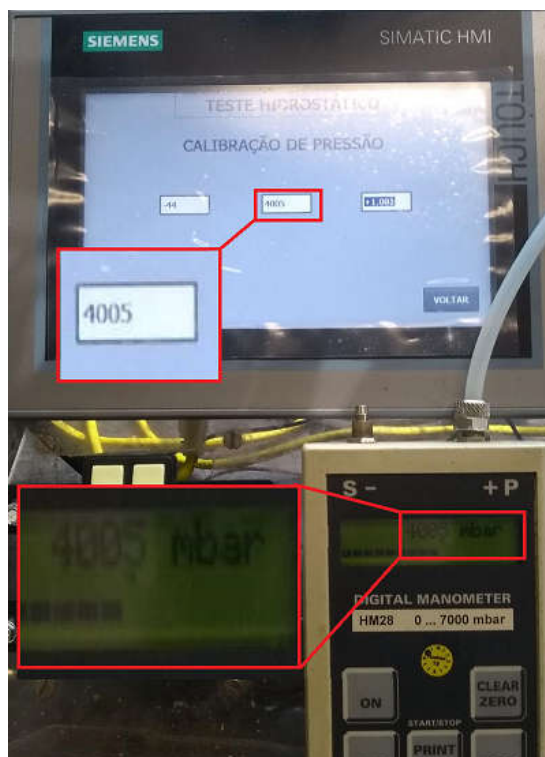
Figura 32 - Manovácuometro digital



Fonte: O autor, 2020.

Para a calibração do dispositivo foram definidos dois pontos para ajuste o primeiro em pressão ambiente utilizando o valor de pressão relativa de 0mBar, e outro em um ponto próximo ao final de escala utilizando a pressão de 4005mBar, Figura 33.

Figura 33 - Calibração ponto alto



Fonte: O autor, 2020.

Além dos pontos de pressão utilizados para ajuste da leitura de pressão, foram verificados pontos de pressões intermediários de 1000, 2000 e 3000mBar, para comprovar a eficácia da leitura de pressão conforme observado no Quadro 7. Sendo registrado o desvio máximo de 2mBar.

Quadro 7 - Registro de calibração

RESULTADOS em mBar							
Leitura Pressão Crescente				Leitura Pressão decrescente			
#	Padrão	Leitura	Desvio	#	Padrão	Leitura	Desvio
1	2	2	0	1	2	2	0
2	1005	1004	1	2	1002	1001	1
3	2000	2001	1	3	2002	2004	2
4	3006	3005	1	4	3003	3004	1
5	4005	4005	0	5	4005	4005	0

Fonte: O autor, 2020.

3.9 TESTE FUNCIONAL

Após selecionado o ciclo desejado, o CLP monitora o nível de água do vaso de pressão e caso ele não esteja ativado a válvula de entrada de água no vaso é aberta até a sua ativação. Após o seu acionamento a válvula entre o vaso de pressão e bomba hidráulica é aberta e o atuador pneumático ativa a bomba hidráulica, fazendo a pressão subir até o valor previamente configurado do ciclo. Após atingida a pressão inicia-se a contagem do tempo de controle do ciclo e quando finalizado o tempo é realizada a descarga do vaso de pressão.

Para comprovação de funcionamento foi elaborado o Quadro 8, que demonstra a rotina do software, sendo definidas as ações, fases e reações esperadas para cada etapa do ciclo, sendo possível assim realizar a comparação entre a rotina executada no teste e os resultados esperados do programa do CLP.

Quadro 8 - Rotina de Ciclo

AÇÃO	FASE	REAÇÃO
Ciclo Iniciado	1	Abertura da válvula de entrada de água vaso de pressão
Nível do Vaso Acionado	2	Fechamento da válvula de entrada de água vaso de pressão
	3	Abertura da válvula vaso de pressão X bomba hidráulica
	4	Avanço do atuador pneumático
Fim de Curso Atuador Avançado Acionado	5	Recuo do atuador pneumático
Fim de Curso Atuador Recuado Acionado	6	Avanço do atuador pneumático
Valor de Pressão Teste Hidrostático Atingido	7	Fechamento da válvula vaso de pressão X bomba hidráulica
	8	Início contagem de tempo teste hidrostático
Valor de Tempo Teste Hidrostático Atingido	9	Abertura da válvula descarga do vaso de pressão
Valor de Tempo de Descarga Atingido	10	Fechamento da válvula descarga do vaso de pressão

Fonte: O autor, 2021.

3.10 CUSTOS DO PROJETO

Com o objetivo de verificar a possibilidade de implementação do projeto foram levantados os custos dos componentes comerciais para implementação do mesmo, sendo custo um dos fatores que podem ser utilizados para tomada de decisão de implantação do projeto, como podemos observar no Quadro 9.

Quadro 9 - Custos componentes comerciais

CUSTO DO PROJETO			
ITEM	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CLP S7-1200 MÓDULO CPU1215C 24VCC DC/DC/DC	1	R\$1.244,48	R\$1.244,48
CLP S7-1200 MÓDULO ENTRADA SB1231 24VCC 1AI	1	R\$130,33	R\$130,33
TOUCH SCREEN COLORIDO 7" CINZA 24VCC TP700	1	R\$2.702,45	R\$2.702,45
INTERRUPTOR DE NIVEL BÓIA	2	R\$53,58	R\$107,17
GRUPO DE 6 ELETROVÁLVULAS	1	R\$325,00	R\$325,00
FONTE DE ALIMENTAÇÃO 24VCC 5A	1	R\$612,37	R\$612,37
SENSOR REED PNP 1NA 24VCC 2 FIOS	2	R\$53,33	R\$106,66
BORNE PT 2,5-QUATTRO CINZA 2,5MM2 1 ANDAR	3	R\$3,02	R\$9,07
TAMPA PARA BORNE D-PT 2,5-3L	1	R\$1,96	R\$1,96
BORNE PT 2,5-3L CINZA 2,5MM2 3 ANDARES	3	R\$9,77	R\$29,32
TAMPA PARA BORNE D-PT 2,5-3L	1	R\$1,96	R\$1,96
TRANSDUTOR PRESSÃO 0-6 BAR 1/4" MACHO	1	R\$215,10	R\$215,10
VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO 1/4	1	R\$99,70	R\$99,70
CILINDRO PNEUMÁTICO DUPLA AÇÃO M10X125MM	1	R\$70,47	R\$70,47
VÁLVULA PNEUMÁTICA PISTAO NF RETORNO MOLA 1/2" BSP INOX 316	4	R\$307,45	R\$1.229,80
BOMBA HIDRÁULICA	1	R\$908,18	R\$908,18
MANGUEIRA 4MM	15	R\$7,12	R\$106,80
MANGUEIRA 6MM	3	R\$9,25	R\$27,75
CONEXÃO COTOVELO ENGATE ANILHA 1/4"FX6MM LATÃO NIQUELADO	2	R\$6,35	R\$12,70
CONEXÃO COTOVELO ENGATE RÁPIDO 1/8"MX4MM LATÃO NIQUELADO	4	R\$7,42	R\$29,66
TOTAL	N.A.	N.A.	R\$7.970,92

Fonte: O autor, 2020.

Além dos componentes dimensionados, também haverá um custo com os suportes de entrada de água, fixação do atuador pneumático e acoplamento do atuador pneumático, tendo um custo estimado conforme Quadro 10.

Quadro 10 - Custo peças mecânicas

CUSTO DO PROJETO			
ITEM	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
SUPORTE ENTRADA DA ÁGUA	1	R\$131,89	R\$131,89
SUPORTE ATUADOR PNEUMÁTICO	1	R\$122,46	R\$122,46
ACOPLAMENTO	1	R\$159,59	R\$159,59
TOTAL	N.A.	N.A.	R\$413,94

Fonte: O autor, 2020.

Para finalizar a implementação será necessário ainda estimar o custo de mão de obra para a instalação, que para esse projeto é de 8 horas com um custo de R\$160,00 por hora chegando ao custo total de mão de obra de R\$1280,00.

Considerando todos esses valores o custo total do projeto é de R\$9.749,00, conforme observado no Quadro 11.

Quadro 11 - Custo total do projeto

CUSTO TOTAL DO PROJETO	
ITEM	CUSTO TOTAL
COMPONENTES COMERCIAIS	R\$7.970,92
COMPONENTES MECÂNICAS	R\$498,47
MÃO DE OBRA	R\$1.280,00
TOTAL	R\$9.749,39

Fonte: O autor, 2020.

4 ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS

Foram analisadas as etapas apresentadas na metodologia desse projeto, buscando através de uma visão imparcial relatar os resultados apresentados conforme abaixo:

- Definição de componentes: Foi definido a utilização de componentes comerciais, que apresentaram funcionamento conforme o esperado no teste de bancada;
- Diagramas: Os diagramas elétrico e pneumático foram essenciais para montagem da bancada de teste, e o diagrama hidráulico se apresenta como essencial para execução final do projeto;
- Softwares de controle: Os softwares de controle do CLP e IHM apresentaram funcionamento conforme esperado nos testes de bancada;
- Peças mecânicas: As peças mecânicas se mostraram capazes de atender as necessidades exigidas pelo projeto, sendo comprovada sua eficácia através do software Solidworks, o rebite que é o ponto mais crítico relacionado a fadiga mecânica foi dimensionado com um fator de segurança elevado superior a 5, as outras peças foram projetas em material nobre aço inox 304, sendo que esse material possui grande resistência mecânica e resistência a corrosão;
- Montagem: O projeto não possui complexidade com relação a sua montagem, sendo necessário que o profissional responsável pela mesma tenha conhecimentos técnicos em elétrica, hidráulica e pneumática, podendo assim realizar a leitura dos diagramas correspondentes e executar sua montagem;
- Navegação IHM: Toda as telas, botões e displays da IHM foram testados e funcionaram conforme o esperado;
- Calibração: Os valores de calibração ficaram dentro da tolerância aceitável, sendo que o maior erro registrado foi de 2mbar, considerando que o manômetro utilizado originalmente no teste é de classe A, possuindo assim um erro de 1% a 2% em sua escala de leitura, somada ainda a possíveis erros de leitura como paralaxe, o erro de leitura de pressão pode ser até 50 vezes menor que o atualmente;

- Teste funcional: Os testes executados demonstraram a capacidade do projeto de cumprir os objetivos desejados;
- Custos do projeto: 80% do custo do projeto vem de peças comerciais o que ajuda a reduzir o custo menor de aplicação.

4.3 TRABALHOS FUTUROS

De forma geral o projeto se apresentou como viável sobre sua execução, porém existem melhorias que podem torná-lo ainda mais produtivo e conseqüentemente aumentar seu custo benefício.

Pensando na aplicação em outros ambientes ou tornar esse projeto em um item comercial, que poderá ser utilizado em outras indústrias, seria necessário dimensionar componentes para trabalho em outros ranges de pressão, exemplo transdutor de pressão e atuador pneumático, assim poderia existir outros modelos desse projeto.

Com relação a manutenção poderia ser criado rotinas no software para a gestão de manutenção, exemplo contador de acionamento de válvulas, gestão de alarmes, assim seria possível fazer uma melhor gestão das manutenções preventivas e preditivas do aparelho.

Outro ponto importante para viabilizar o projeto seria a redução de custo de implementação, para sua construção foram utilizados componentes considerando a sua disponibilidade na indústria onde ele fora desenvolvido, porém alguns desses componentes podem ser substituídos por outros com um menor valor de mercado, isso pensando em uma aplicação em grande escala.

5 CONCLUSÃO

O *retrofitting* proposto através deste projeto se mostrou capaz de atender as necessidades e melhorias identificadas no processo de teste hidrostático, sendo que todos os resultados obtidos foram satisfatórios, atendendo assim todos os objetivos específicos de projeto. Apesar do projeto não ter sido totalmente implementado, os componentes comerciais utilizados foram testados em bancada junto com o seu software de controle, demonstrando um funcionamento conforme o esperado. Sendo a leitura de pressão um ponto de destaque visto que com a implementação do projeto se reduz os erros de leitura significativamente.

Suas principais contribuições relacionadas à sua aplicação são a redução do esforço físico empregado pelo operador responsável pela área de teste hidrostático, onde a movimentação manual da alavanca da bomba hidráulica é substituída por um atuador pneumático. Redução do risco de aplicação de pressão incorreta devido a falhas de interpretação de documentos, ou erros de leitura visual. Disponibilidade do operador para realização de outras atividades em paralelo a execução do teste visto que inúmeras etapas acontecem de forma automatizada. Além disso, o projeto demonstrou uma melhor eficiência na leitura de pressão, considerando a possibilidade de calibração do instrumento de leitura.

O projeto se limitou na execução dentro da indústria onde ele foi desenvolvido, sendo que pensando em torná-lo aplicável em outros ambientes ou indústrias será necessário realizar a análise geral dos parâmetros do teste. Foram levantados os custos de projeto a fim de apresentar para indústria onde ele foi elaborado avaliar o custo benefício de sua aplicação.

De forma geral, com base no conhecimento adquirido nas aulas, e experiência profissional, associados a utilização de componentes e ferramentas disponíveis na indústria onde esse projeto foi desenvolvido, foi possível projetar e analisar a eficácia de implementação relacionada ao teste hidrostático em vasos de pressão. Entendendo assim que é completamente viável sua execução.

REFERÊNCIAS

Brasil, Portaria MTb nº1.084, de 28 de setembro de 2017. **NR 13 Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação**. Brasil, p 23. 2017.

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6ªEd. São Paulo: Érica, 2011.

PRUDENTE, F. **Automação Industrial PLC: Teoria e Aplicações**. 2ªEd. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis**. 2ª Ed. São Paulo: Érica, 2012.

MORAES, C. C. D.; CASTRUCCI, P. D. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; MUNSON, B. R.; DEWITT, D. P. **Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. Barueri: Manole, 2008.

CASSIOLATO, César. **Transmissor de pressão com sensor capacitivo**. <Disponível em: <http://www.smar.com/newsletter/marketing/index53.html>> Acesso em: 20/08/2019.

URBANO, Edison. **Bomba de Água Manual**. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/bombasdeagua/bomba-de-agua-model1.htm#ANEXO%201>> Acesso em 03/08/2019.

PORDEUS, Roberto. **Considerações e Propriedades dos Fluidos**. Disponível em: http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/111/arquivos/CAP_1_DEFINICOES.pdf> Acesso em 21/09/2020.

PARKER, **Tecnologia Pneumática Industrial**, Disponível em: <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnnextoid=94a68380a865e210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnnextfnt=PT>> Acesso em 20/09/2020.

TECMACHINE, **Retrofitting (Reforma) em Equipamentos**. Disponível em: <http://www.tecmachine.ind.br/retrofitting.php>> Acesso em 21/09/2020.

EICOS SENSORES, **Sensor de Nível: o que é?**, Disponível em: <http://eicos.blog.br/sensor-de-nivel-o-que-e/>> Acesso em 05/10/2020

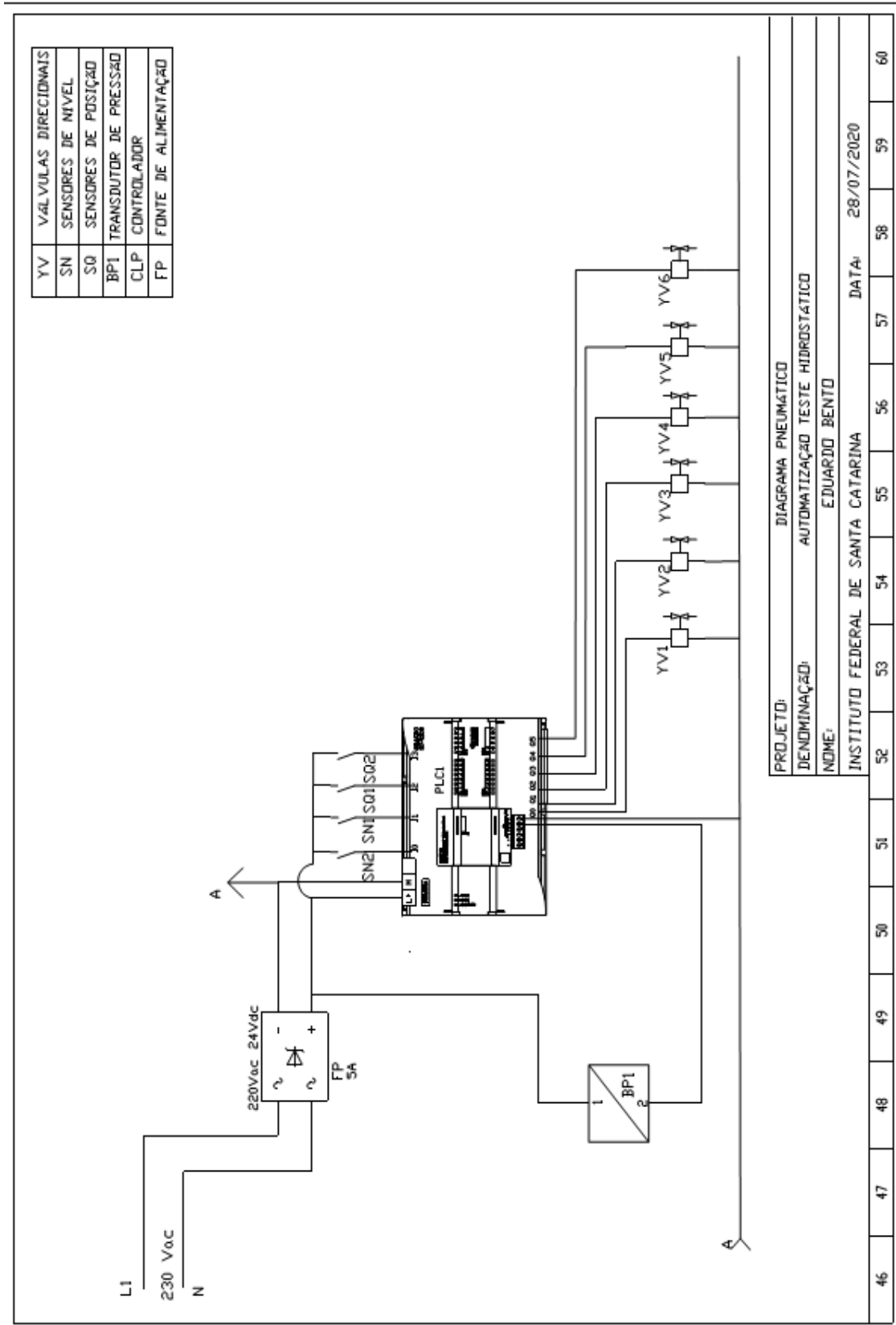
BONGAS, **Válvula de Assento Inclinado: Tipos, Funcionamento e Aplicações**. Disponível em: <https://bongas.com.br/valvula-de-assento-inclinado-tipos-funcionamento-e-aplicacoes/>> Acesso em 05/10/2020.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 7337 Break Mandrel Blind Rivets**. 1991.

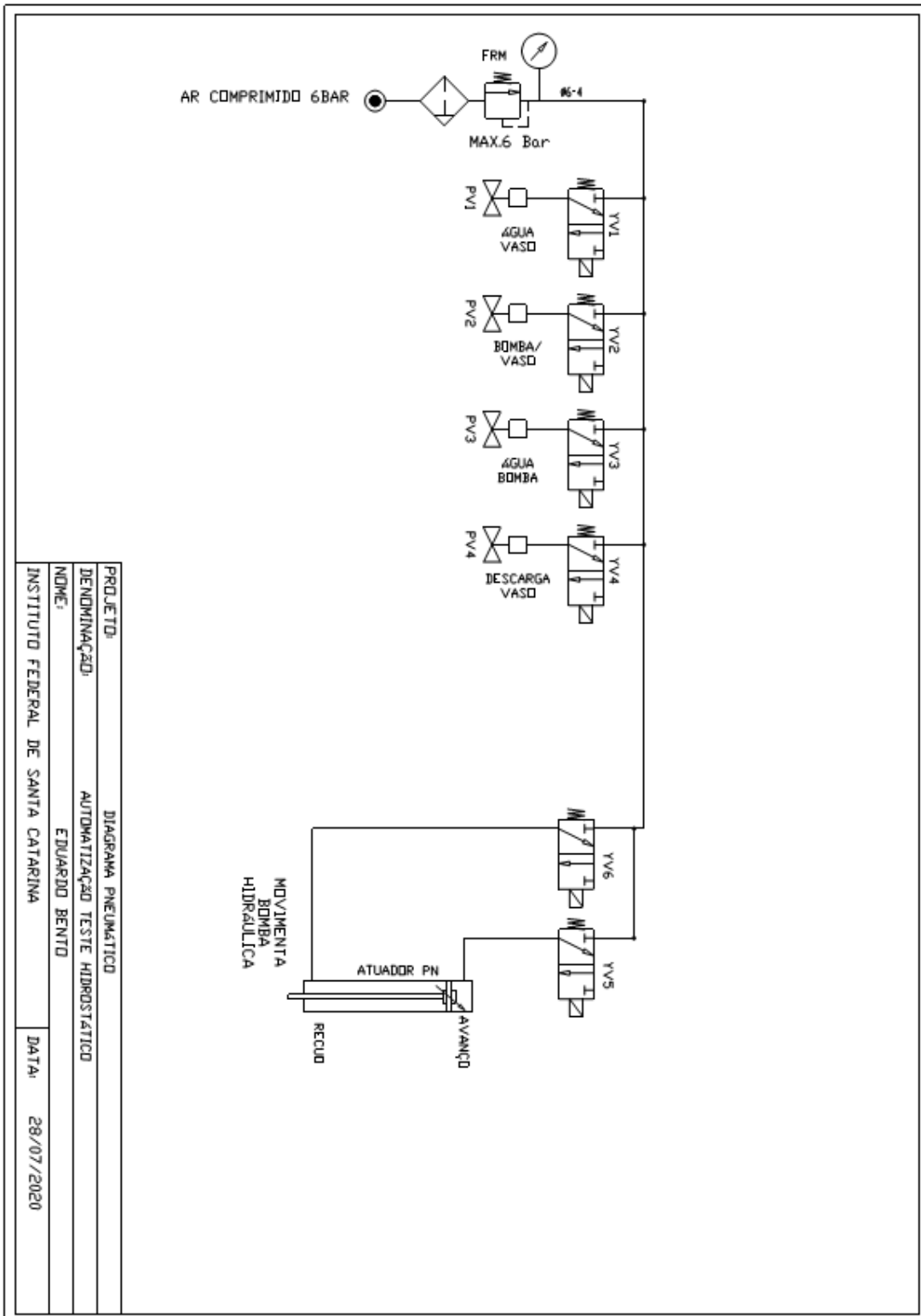
MATTEDE, Henrique. **Controlador Lógico Programável CLP**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/controlador-logico-programavel-clp/#bio> > Acesso em 01/03/2021.

ROURE, de Marcel. **Sensor de Nível – qual é o melhor para o seu processo?** Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/sensor-de-nivel-qual-e-o-melhor-para-o-seu-processo/#:~:text=O%20Sensor%20de%20N%C3%ADvel%20%C3%A9,que%20o%20instrumento%20est%C3%A1%20inserido.> > Acesso em 01/03/2021

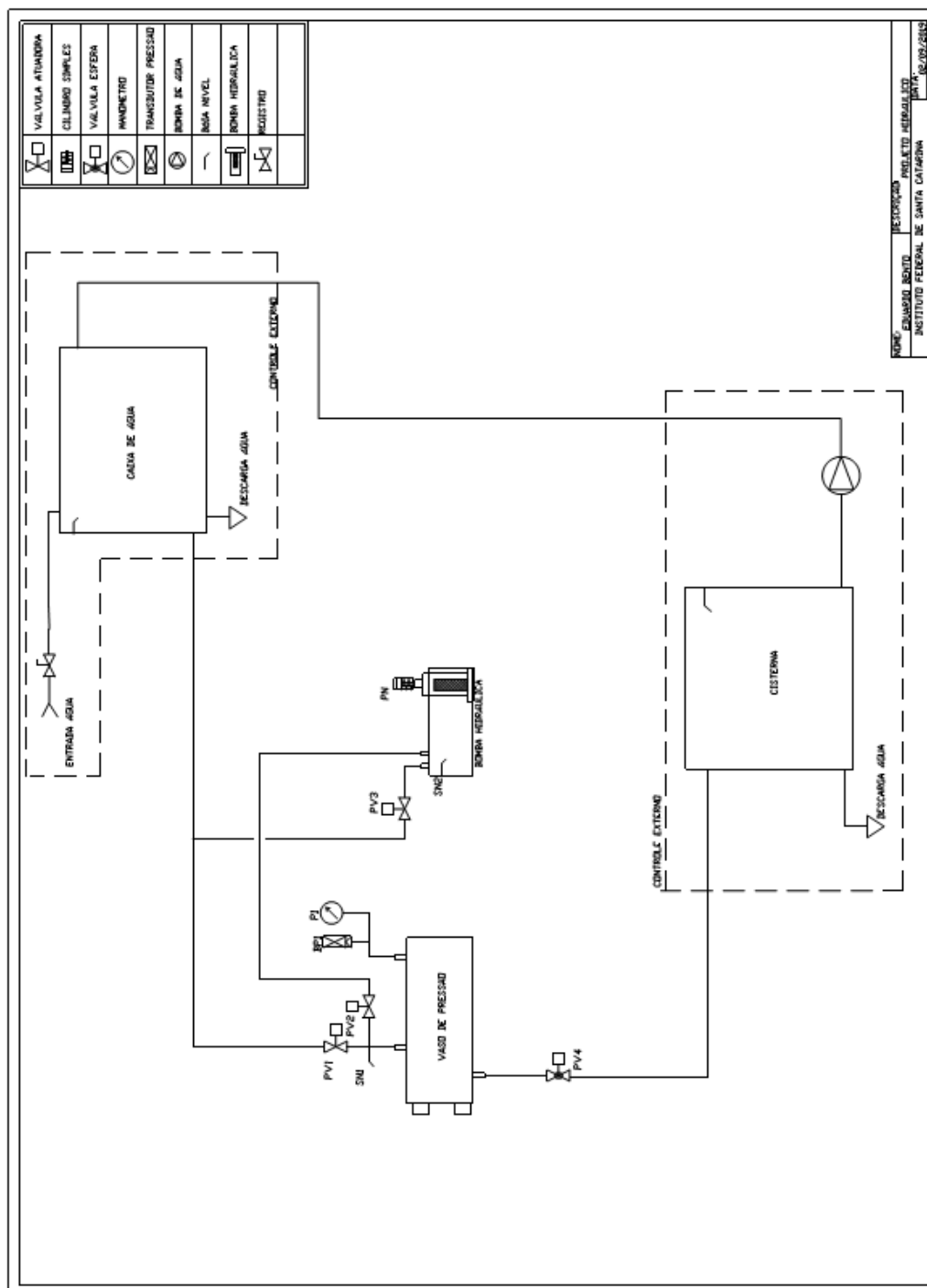
APÊNDICE A – Diagrama elétrico



APÊNDICE B – Diagrama pneumático



APÉNDICE C – Diagrama hidráulico



APÊNDICE D – Software de Controle

SOFTWARE IHM.

Rotina de Ciclo

Ligando o dispositivo o operador é direcionado a tela inicial:



INICIAR CICLO

Pressionado botão: o operador é direcionado para tela de seleção de ciclos:



Após selecionado um ciclo qualquer, exemplo pressionando o botão:



o operador é direcionado a tela de confirmação de ciclo:



Ao ser pressionado o botão:



o operador é direcionado a tela

inicial. Caso pressionado o botão:



o operador é direcionado a tela

de objetivos de ciclo:



Após os controles de rotina serem realizados o operador é direcionado a tela de fim de ciclo:



Quando pressionado o botão:  o operador é direcionado a tela inicial.

Rotina de Configurações

Ligando o dispositivo o administrador é direcionado a tela inicial:



Um botão retangular com o texto "CONFIGURAÇÕES" em letras maiúsculas brancas sobre um fundo cinza escuro.


Pressionando o botão:  o administrador é direcionado a tela menu de configuração:



Um botão retangular com o texto "CALIBRAÇÃO" em letras maiúsculas brancas sobre um fundo cinza escuro.


Pressionando o botão:  o administrador é direcionado a tela de calibração:



Nessa tela o administrador pode visualizar a pressão que o transdutor de pressão está

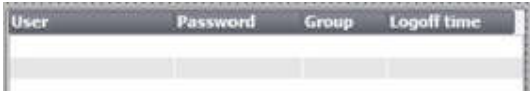
lendo, no indicador:  e adicionar parâmetros de calibração nos

indicadores:  e .

Quando pressionado o botão:  na tela menu de configurações o administrador é direcionado a tela configurações de usuários:



Nessa tela o administrador pode adicionar novos usuários do sistema utilizando as

entradas de informação: . O software possui dois níveis de acesso, sendo suas restrições controladas conforme o quadro níveis de acesso:

NÍVEIS DE ACESSO		
ITEM	NÍVEIS	
	OPERADOR	ADMIN
Iniciar Ciclo Padrão	x	x
Iniciar Ciclo Aberto		x
Menu de Configurações		x
Calibração		x
Visualizar Alarmes		x
Configurar Ciclo Aberto		x
Configurar Usuários		x

CICLO ABERTO

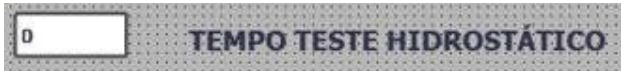
Quando pressionado o botão:  o administrador é direcionado a tela de configuração de ciclo aberto:



Através dos indicadores:



e



o administrador pode configurar um ciclo aberto com a pressão e tempo desejados.

Todas as telas que possuem o botão:



direcionam o administrador para a

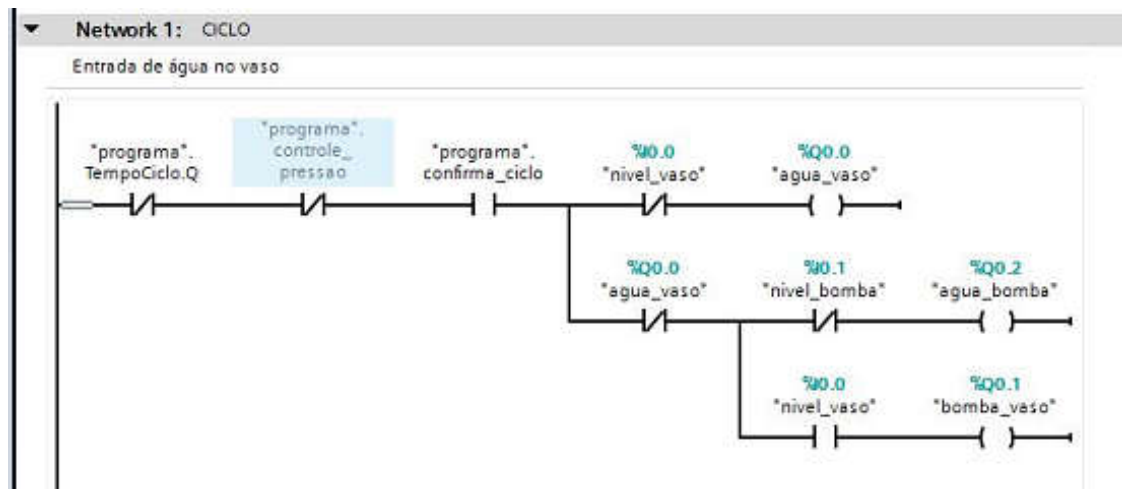
tela inicial.

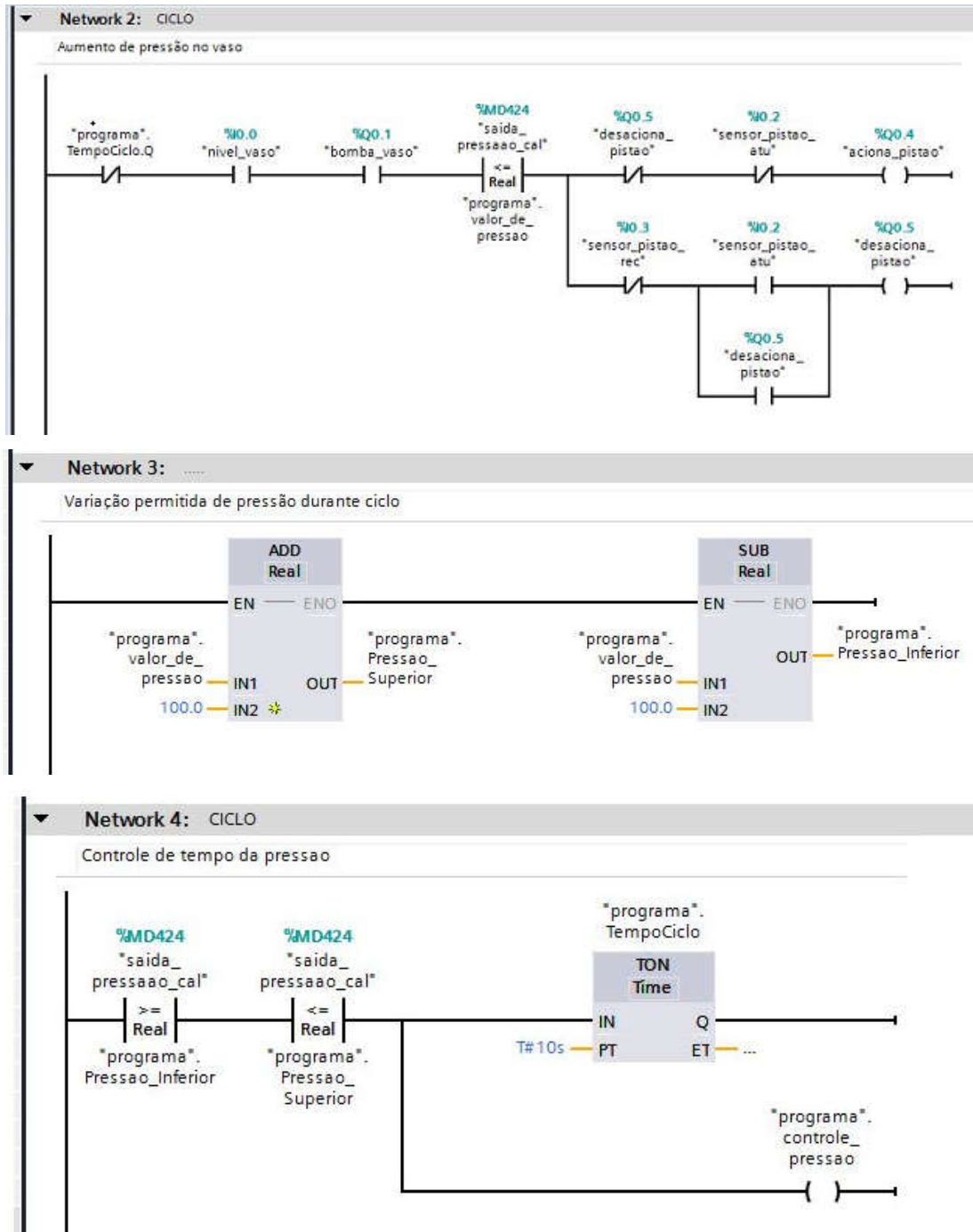
SOFTWARE CLP

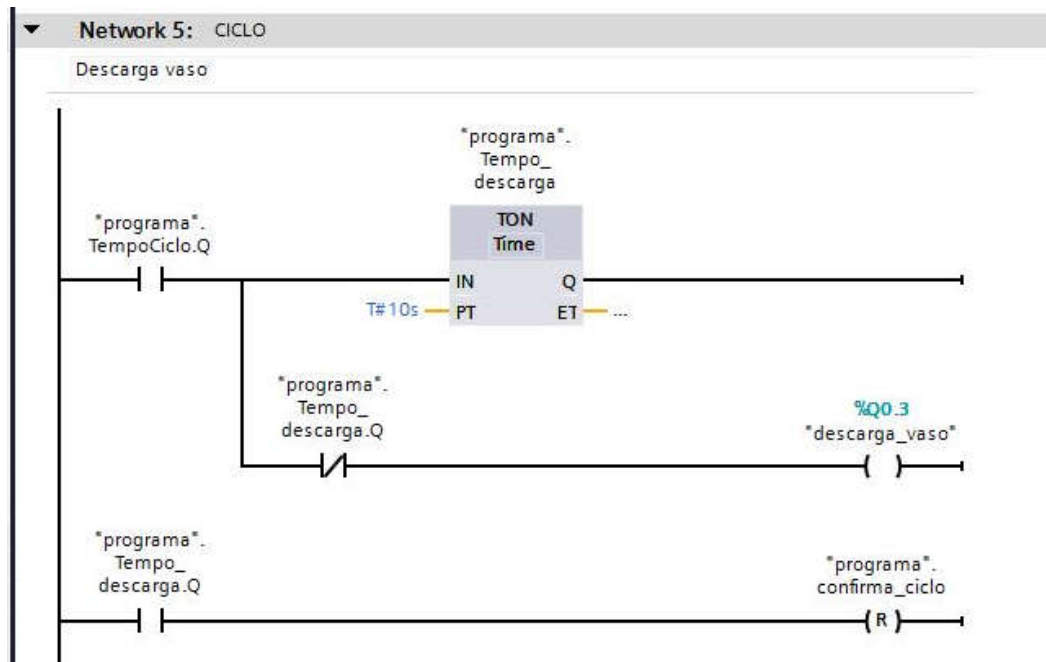
Foram declaradas as variáveis responsáveis pelas entradas e saídas digitais conforme a utilização prevista conforme figura abaixo:

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	nivel_vaso	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	nivel_bomba	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	agua_vaso	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	bomba_vaso	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	agua_bomba	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	descarga_vaso	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	aciona_pistao	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	desaciona_pistao	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	sensor_pistao_atu	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	sensor_pistao_rec	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Após a definição das variáveis foi estruturado a rotina de ciclo conforme imagens abaixo:

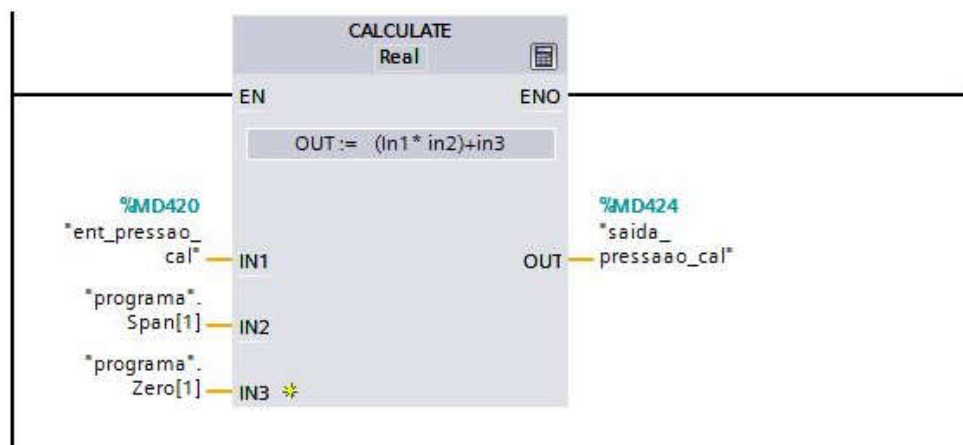






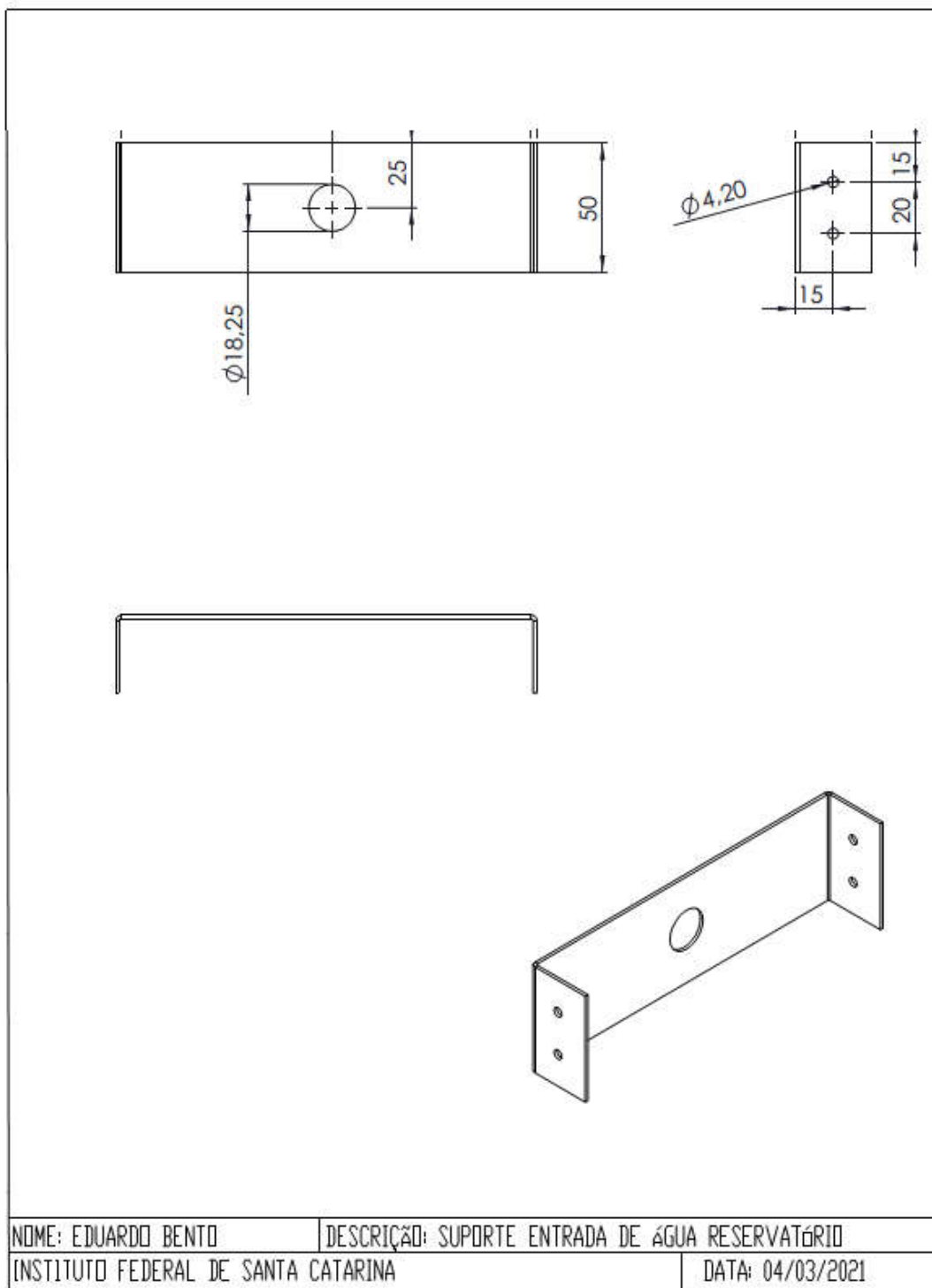
Calibração

Foi adicionada uma função com o objetivo de realizar os ajustes de calibração do transdutor de pressão, conforme figura abaixo:

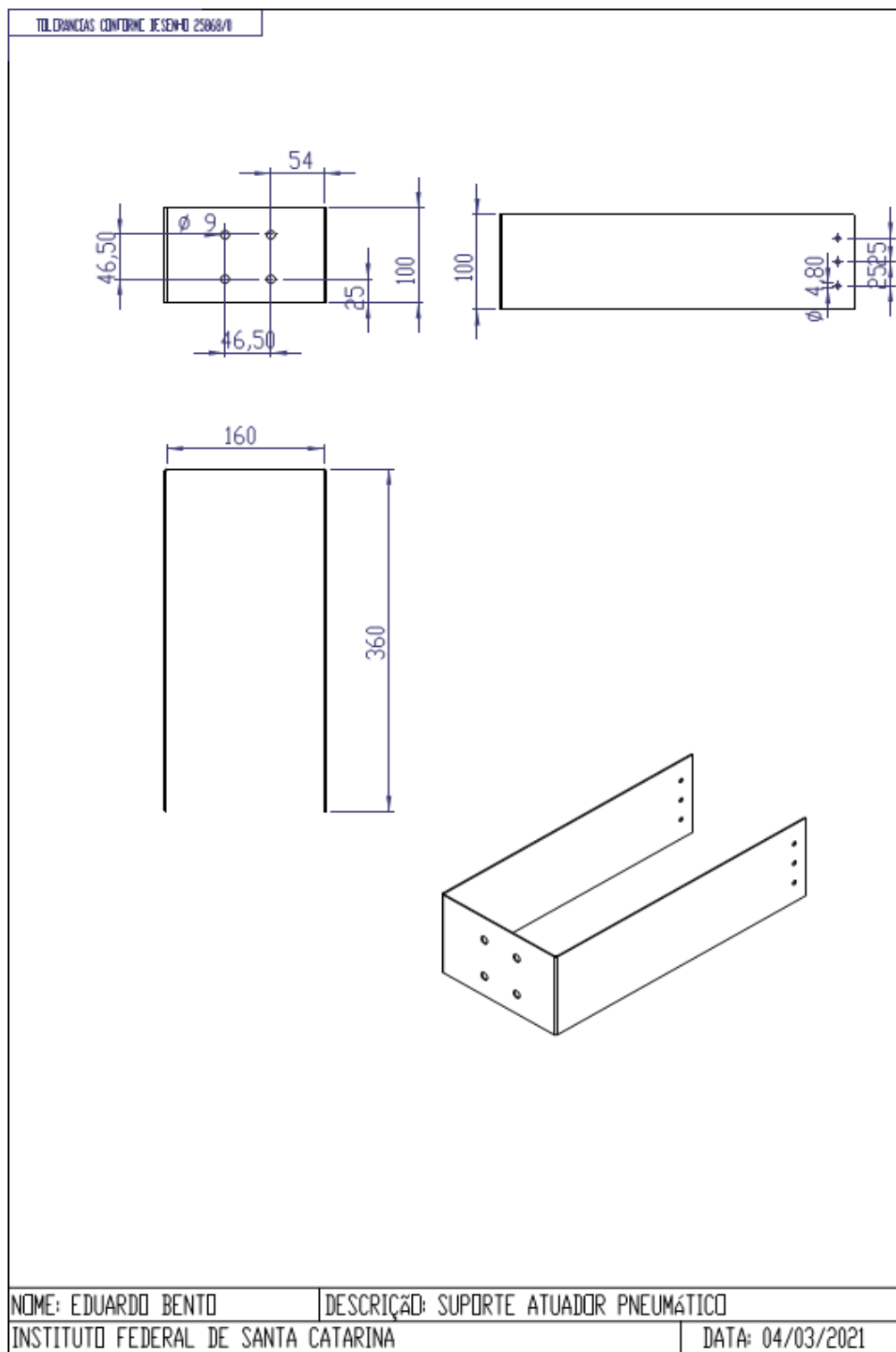


Onde, Valor Calibrado = (Valor de Leitura * Fator Span) +/- Fator Zero.

APÊNDICE E – Suporte Entrada de Água Reservatório



APÊNDICE F – Suporte Atuador Pneumático



APÊNDICE G – Acoplador Atuador x Bomba