



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS  
GERAIS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BOMBAS HIDRODINÂMICAS EM  
INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS

PEDRO CHAVES CARDOSO NETO

ARAXÁ 2015

Pedro Chaves Cardoso Neto

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BOMBAS HIDRODINÂMICAS EM  
INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica como requisito  
parcial para a obtenção do título de  
Engenheiro de Automação Industrial

Orientador: Professor Me Alexandre Dias Linhares

Araxá, MG

2015

## RESUMO

O desempenho de bombas hidrodinâmicas pode alterar o custo operacional, além de deixar, por muitas vezes, o equipamento parado por defeitos produzidos por má condição de funcionamento, ocasionando perda de produção. Nesse sentido é necessário existir um estudo da curva característica da instalação para que este rendimento possa ser avaliado. Uma pergunta que surge a partir deste problema é: como se pode verificar a curva característica de pressão versus vazão, de modo instantâneo, para diversas rotações da bomba hidrodinâmica e esta curva gerada possa ser comparada com a curva ideal apresentada pelo fabricante? A busca da resposta é feita com a instalação de transmissores de pressão e vazão em uma instalação elevatória didática, para a geração dos gráficos, optando-se por utilizar controladores e softwares de supervisão normalmente utilizados em ambientes industriais. O que comprova esta hipótese é que os pontos de operação destas bombas precisam ser mais bem avaliados e que quanto maior o desempenho da bomba, menor será o custo operacional para a empresa. Após isso, espera-se que estas bombas possam funcionar com rendimento maior do que o atual, ajustando parâmetros locais.

Palavras-Chaves: Transmissores, bombas hidrodinâmicas, curvas características, vazão e pressão.

## **ABSTRACT**

The low performance of hydrodynamic pumps can change the operating cost of their selves besides to let the equipment stopped owing to defects produced by wrong operating conditions causing the decline of production. As result of this, it is necessary to analyse the pump's system curve in order to this efficiency reaches the best point. So following this reasoning, a question that comes is how the system curve (pression versus flow) can be checked in, instantaneous way, for several rotations of the pump, so that this curve can be compared with the pattern curve. The search for the answer is to set transmissors of flow and pression in the suppression's pipe which will read the signs from the fluid in experiment, and after that these signs will be sent to a computer which will use the right programs to build the system curve, opting to use the industrial controller and supervisory. Which make this a true idea is that the operation points needed to be better evaluated and the higher performance, the lower the cost of operating. Thereafter is expected to prove that these pumps can work in a higher productivity than before only changing local parameters.

Key words: transmitter, hydrodynamic pumps, characteristic curves, flow and pressure

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SEÇÃO CILÍNDRICA DE UMA TUBULAÇÃO DE FLUIDO LÍQUIDO .....	7
FIGURA 2: TRECHO DE UMA TUBULAÇÃO DE FLUIDO LÍQUIDO INDICANDO A MASSA QUE ENTRA E MASSA QUE SAI .....	8
FIGURA 3: EXEMPLO DE UMA BOMBA HIDRODINÂMICA .....	10
FIGURA 4: EXEMPLO DE UMA BOMBA VOLUMÉTRICA .....	11
FIGURA 5: ROTORES, DA ESQUERDA PARA DIREITA, FECHADO, SEMIABERTO E ABERTO .....	11
FIGURA 6: DIFUSOR DE UMA TURBOBOMBA.....	12
FIGURA 7: ESTRUTURA BÁSICA DE UMA INSTALAÇÃO ELEVATÓRIA.....	14
FIGURA 8: INSTALAÇÃO ELEVATÓRIA PARA BASE DE CÁLCULO NO EXEMPLO .....	15
FIGURA 9: EXEMPLO DE CURVA CARACTERÍSTICA PRESSÃO (H(M)) <i>VERSUS</i> VAZÃO (Q) DE UMA BOMBA HIDRODINÂMICA.....	17
FIGURA 10: CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA HIDRODINÂMICA KSB MEGANORM (80 – 250) – IV PÓLOS ROTAÇÃO DE 1750RPM.....	18
FIGURA 11: MODELO DE PLC FABRICADO PELA ALLEY BRADLEY .....	21
FIGURA 12: ESTRUTURA FÍSICA BÁSICA DE UM PLC .....	24
FIGURA 13: ESTRUTURA DE UMA LINGUAGEM EM DIAGRAMA <i>LADDER</i> .....	25
FIGURA 14: EXEMPLO DE INTERFACE DO SISTEMA SUPERVISÓRIO INTouch® HMI....	26
FIGURA 15: COMPONENTES INTERNOS DO TRANSMISSOR.....	28
FIGURA 16: ESQUEMA DE LIGAÇÃO NO PLC .....	28
FIGURA 17: TRANSMISSOR DE VAZÃO .....	29
FIGURA 18: PERFIL GEOMÉTRICO DO TRANSMISSOR DE VAZÃO .....	29
FIGURA 19: MODELO DO PLC SLC 500 COM SEUS CARTÕES DE ENTRADA E SAÍDA... 30	
FIGURA 20: MODELO DE INTERFACE DE DIAGRAMA DE PROGRAMAÇÃO DO RSLOGIX 500.....	31
FIGURA 21: MODELO DE SUPERVISÓRIO CRIADO NO AMBIENTE DO INTouch® .....	32
FIGURA 22: INTEFACE DO INDUSOFT WEB STUDIO®.....	33
FIGURA 23: INTERFACE DE UMA PLANILHA DO EXCEL .....	34
FIGURA 24: ESQUEMA REPRESENTATIVO DE MONTAGEM DA INSTALAÇÃO COM OS TRANSMISSORES E SOFTWARES .....	35
FIGURA 25: PROTÓTIPO DE UMA INSTALAÇÃO ELEVATÓRIA .....	35
FIGURA 26: TUBULAÇÃO DE SUÇÃO .....	36
FIGURA 27: DETALHE DE UMA VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO .....	36
FIGURA 28: BOMBA HIDRODINÂMICA .....	37
FIGURA 29: MOTOR ELÉTRICO DE ACIONAMENTO DA BOMBA.....	37
FIGURA 30: TUBULAÇÃO DE RECALQUE DO PROJETO .....	38
FIGURA 31: RESERVATÓRIO DO FLUIDO .....	38
FIGURA 32: VÁLVULA DE ESFERA DE CONTROLE DE FLUXO NO RECALQUE .....	38
FIGURA 33: REGISTRO DE GAVETA PARA CONTROLE DE FLUXO NA SUÇÃO.....	39

FIGURA 34: TIRISTOR CONTROLADOR DE TENSÃO .....	39
FIGURA 35: TRANSMISSOR DE PRESSÃO UTILIZADO NO PROJETO.....	39
FIGURA 36: TRANSMISSOR DE VAZÃO UTILIZADO NO PROJETO .....	40
FIGURA 37: PLC SLC 500 UTILIZADO NO PROJETO .....	41
FIGURA 38: CARTÃO DE ENTRADA ANALÓGICA DO PLC SLC 500 .....	41
FIGURA 39: FONTE CHAVEADA DE 12V.....	42
FIGURA 40: PLACA DO CIRCUITO ELETRÔNICO CONVERSOR.....	43
FIGURA 41: JANELA DE CONFIGURAÇÃO DO DRIVER AB_DF1-1 .....	44
FIGURA 42: JANELA DE CONFIRMAÇÃO DE CONEXÃO BEM-SUCEDIDA COM O PLC .....	45
FIGURA 43: INDICAÇÃO DOS DIAGRAMAS EM LADDER E A FAIXA DE VALORES DOS DADOS .....	46
FIGURA 44: OPÇÃO “GO ONLINE” SENDO ATIVADA .....	46
FIGURA 45: FAIXA VERDE INDICANDO CONEXÃO ONLINE ESTABELECIDADA E DADOS SENDO RECEBIDOS .....	47
FIGURA 46: ACCESS NAMES CONFIGURADO COM O NOME PLC.....	47
FIGURA 47: MODIFY ACCESS NAME ACESSADA E CONFIGURADA.....	48
FIGURA 48: CONFIGURAÇÃO DA TAG “VAZÃO” NO “TAGNAME DICTIONARY”.....	49
FIGURA 49: TELA INICIAL DO INDUSOFT WEB STUDIO® NA ABA “INSERIR” MOSTRANDO A OPÇÃO “CLIENTE OPC” .....	49
FIGURA 50: JANELA DE CONFIGURAÇÃO DOS SERVIDORES OPC E REMOTO.....	50
FIGURA 51: CAMPO “ITEM” SENDO DIRECIONADO PARA O LOCAL DAS VARIÁVEIS NO RSLINX.....	51
FIGURA 52: TAGS DE PRESSÃO E VAZÃO DIRECIONADAS PARA DENTRO DO INDUSOFT WEB STUDIO® .....	51
FIGURA 53: CÉLULAS C8 E D8 RECEBENDO VALORES DE F8:0 E F8:1 E O CAMPO “FX” MOSTRANDO O ENDEREÇO DE ORIGEM DE DADOS DA PRESSÃO .....	52
FIGURA 54: GRÁFICOS DE PRESSÃO E VAZÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO EM MODO DE EDIÇÃO.....	53
FIGURA 55: JANELA DE CONFIGURAÇÃO DE FAIXA DE VALORES, CORES DE PREENCHIMENTO E TAG’S NO CAMPO “PEN1” .....	54
FIGURA 56: GRÁFICO DO PROCEDIMENTO DE SELEÇÃO DA FERRAMENTA “TENDÊNCIA” .....	55
FIGURA 57: GRÁFICO CRIADO NA ÁREA DE EDIÇÃO DO INDUSOFT WEB STUDIO® .....	55
FIGURA 58: JANELA “PROPRIEDADES DO OBJETO” PARA SER CONFIGURADA.....	56
FIGURA 59: JANELA DE CONFIGURAÇÃO DE NOMES DE VARIÁVEIS, CORES DE PREENCHIMENTO E SELEÇÃO DE TAG’S.....	56
FIGURA 60: MODO DE SELEÇÃO DO GRÁFICO DE DISPERSÃO DE LINHAS DE TENDÊNCIAS .....	57
FIGURA 61: CONFIGURAÇÃO DO GRÁFICO DE PRESSÃO <i>VERSUS</i> VAZÃO E DAS COLUNAS C E D PARA RECEBIMENTO DE VALORES .....	57
FIGURA 62: AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DE UMA MACRO E O CÓDIGO DE ARMAZENAMENTO DE DADOS .....	58

FIGURA 63: TACÔMETRO DIGITAL.....	59
FIGURA 64: MEDIDA DE 3.048RPM REALIZADA COM O TACÔMETRO DIGITAL .....	60
FIGURA 65: MEDIÇÃO REALIZADA COM O TACÔMETRO DIGITAL DE 1.651RPM .....	60
FIGURA 66: INDICAÇÃO DA VÁLVULA DE ESFERA NA COR LARANJA.....	61
FIGURA 67: GRÁFICO DA VAZÃO E DA PRESSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO .....	62
FIGURA 68: GRÁFICO DE VAZÃO E PRESSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO .....	63
FIGURA 69: GRÁFICO DE PRESSÃO E VAZÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	64
FIGURA 70: CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA (PRESSÃO X VAZÃO) COM ENSAIO EM ROTAÇÃO A 3048RPM .....	65
FIGURA 71: CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA COM ENSAIO EM ROTAÇÃO REDUZIDA DE 1651RPM.....	66

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma$  - Peso específico

$\rho$  - Massa específica

M - Motor

B - Bomba

$\eta$  - Rendimento

$^{\circ}\text{C}$  - Graus Celsius

® - marca registrada

T – letra em grego tau que indica tensão de cisalhamento

$\mu$  - coeficiente de proporcionalidade

$\frac{dv}{dy}$  – gradiente de velocidade

## LISTA DE VARIÁVEIS

Q: Vazão

V: Volume

m: massa

A: área da secção transversal

v: Velocidade de escoamento do fluido

y: valor no eixo vertical no plano cartesiano

x: valor no eixo horizontal no plano cartesiano

w: a velocidade angular do vaso

g: a aceleração da gravidade

P: pressão

p<sub>0</sub>: pressão inicial

h<sub>0</sub>: Distância do ponto mínimo do parabolóide até o eixo "x"

H<sub>man</sub> (ou H): altura manométrica, em m.

H<sub>o</sub>: desnível geométrico, em m.

h<sub>s</sub>: desnível geométrico sucção, em m.

h<sub>r</sub>: desnível geométrico recalque, em m.

p<sub>r</sub>: pressão no reservatório de recalque, em kgf/cm<sup>2</sup>.

p<sub>s</sub>: pressão no reservatório de sucção, em kgf/cm<sup>2</sup>.

ΔH: perda de carga nas tubulações e acessórios, em m.

NPSH: Net Positive Suction Head", ou "altura livre positiva de sucção"

Req: Requerida

h: diferença de altura entre dois pontos

P<sub>abs</sub>: Pressão absoluta

P<sub>man</sub>: Pressão manométrica

P<sub>atm</sub>: Pressão atmosférica

D: diâmetro interno da tubulação

Re: Número de Reynolds

z: cota em relação a um plano de referência

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objetivos Gerais .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Definições Básicas .....</b>	<b>4</b>
3.1.1. <u>Fluido</u> .....	4
3.1.2. <u>Peso específico</u> .....	4
3.1.3. <u>Massa específica</u> .....	4
3.1.4. <u>Densidade Relativa</u> .....	4
3.1.5. <u>Viscosidade</u> .....	4
3.1.6. <u>Pressão</u> .....	5
3.1.7. <u>Lei de Pascal</u> .....	5
3.1.8. <u>Teorema de Stevin</u> .....	5
3.1.9. <u>Escalas de pressão</u> .....	5
3.1.10. <u>Pressão de vapor</u> .....	6
3.1.11. <u>Escoamento</u> .....	6
3.1.12. <u>Número de Reynolds</u> .....	6
3.1.13. <u>Vazão (Q)</u> .....	6
3.1.14. <u>Equação da Continuidade</u> .....	7
3.1.15. <u>Energia</u> .....	8
3.1.16. <u>Teorema de Bernoulli</u> .....	9
3.1.17. <u>Perdas de carga</u> .....	9
<b>3.2. Máquinas Hidráulicas .....</b>	<b>9</b>
3.2.1. <u>Bombas</u> .....	10
3.2.2. <u>Turbobombas</u> .....	11
3.2.3. <u>Bombas Volumétricas</u> .....	13
<b>3.3. Instalação Elevatória .....</b>	<b>13</b>
<b>3.4. Altura Manométrica .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. Curvas Características .....</b>	<b>16</b>
<b>3.6. Sistema Automatizado .....</b>	<b>18</b>
3.6.1. <u>Dispositivos Detectores</u> .....	19
3.6.2. <u>Elaboração e Transmissão de dados</u> .....	20

3.6.3.	<u>Controlador Lógico Programável (PLC)</u> .....	20
3.6.3.1.	<i>Definição</i> .....	20
3.6.3.2.	<i>Evolução do PLC:</i> .....	21
3.6.3.3.	<i>Vantagens do PLC</i> .....	22
3.6.3.4.	<i>Estrutura Básica de um PLC</i> .....	22
3.6.3.5.	<i>Norma IEC 61131-3.</i> .....	24
3.6.4.	<u>Supervisório</u> .....	25
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1.</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>27</b>
4.1.1.	<u>Transmissor de Pressão</u> .....	27
4.1.2.	<u>Transmissor de Vazão</u> .....	29
4.1.3.	<u>Controlador Lógico Programável SLC 500</u> .....	30
4.1.4.	<u>Software IHM InTouch®</u> .....	31
4.1.5.	<u>Software IHM/ Scada Indusoft Web Studio®</u> .....	32
4.1.6.	<u>MsExcel®</u> .....	33
<b>4.2.</b>	<b>Montagens e Configurações</b> .....	<b>34</b>
4.2.1.	<u>Conexão dos transmissores ao Controlador</u> .....	41
4.2.2.	<u>Aquisição dos dados de pressão e vazão</u> .....	43
4.2.2.1.	<i>Configurações no RSLinx e no RSLogix</i> .....	43
4.2.2.2.	<i>Configuração de comunicação entre InTouch® HMI e RSLinx</i> .	47
4.2.2.3.	<i>Configuração de comunicação entre Indusoft Web Studio® e RSLinx</i>	49
4.2.2.4.	<i>Configuração de comunicação entre MsExcel® e RSLinx</i> .....	52
<b>4.3.</b>	<b>Metodologia dos ensaios</b> .....	<b>53</b>
4.3.1.	<u>Criação de gráficos no InTouch®IHM</u> .....	53
4.3.2.	<u>Criação de gráficos no Indusoft Web Studio®</u> .....	54
4.3.3.	<u>Criação de gráficos no MsExcel®</u> .....	56
4.3.4.	<u>Definição do número de Rotações da bomba</u> .....	59
4.3.5.	<u>Realização dos ensaios</u> .....	61
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>62</b>
<b>5.1.</b>	<b>Resultados obtidos nos ensaios</b> .....	<b>62</b>
5.1.1.	<u>Gráfico gerado no InTouch® HMI:</u> .....	62
5.1.2.	<u>Gráfico gerado no InduSoft Web Studio®</u> .....	63
5.1.3.	<u>Geração do gráfico no MsExcel®:</u> .....	64
5.1.3.1.	<i>Ensaio à máxima rotação</i> .....	64
5.1.3.2.	<i>Ensaio com a rotação reduzida</i> .....	65
<b>5.2.</b>	<b>Análise de Resultados</b> .....	<b>66</b>

<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Com o intenso desenvolvimento do modo de produção capitalista no século XX, o número de empresas privadas de todos os setores cresceu demasiadamente e em paralelo a este processo a concorrência entre elas também se intensificou de maneira exorbitante.

Seguindo este raciocínio, para que as empresas possam se manter competitivas, para vender de modo satisfatório e gerar lucros que atendam aos objetivos dos proprietários, estas precisam, constantemente, cortar o máximo possível de custos e despesas em seus processos produtivos.

Tendo essa consideração inicial em vista, este projeto teve como objetivo criar um método de analisar o desempenho de uma bomba hidrodinâmica por meio da formação da curva característica em tempo real, sendo esta curva um item que indica se esta bomba está operando conforme ótimas condições operacionais definidas pelo fabricante.

Para se desenvolver este projeto foi utilizada uma instalação elevatória didática, para que de modo análogo este método fosse utilizado em bombas hidrodinâmicas que passam por constantes variações de rotação e pontos operacionais, propiciados principalmente pela automação dos processos industriais.

O modo de desenvolvimento desse método foi instalar na tubulação de recalque dois transmissores, um de vazão e um de pressão, pois a curva característica é formada por esses dois dados, Pressão (P) *versus* Vazão. E após eles serem instalados, foram conectados em um PLC, para que ele enviasse os sinais capturados à um computador conectado nele. Porém houve a necessidade de se converter os dados oriundos do transmissor de vazão, pois o PLC não recebia o tipo de sinal gerado por ele. Após os dados serem transmitidos para o computador, os mesmos foram processados por um programa específico do PLC para que eles pudessem ser lidos de modo compreensível. Depois deste processo de leitura, os dados foram enviados para um programa supervisorio para que os mesmos pudessem ser usados para formar a curva.

O resultado proveniente do ensaio realizado se mostrou eficiente pois a curva característica foi plotada de modo coerente à teoria de bombas. No entanto, a meta de se plotar a curva com supervisórios de perfis industriais não foi alcançada, pois os mesmos apresentaram limitações quanto à manipulação dos eixos dos gráficos disponíveis. Com isso, foi necessário se optar por um software que não tem como característica principal a função de supervisório, mas que pode oferecer as ferramentas adequadas à plotagem da curva de pressão *versus* vazão.

Também pode se constatar que a formação *online* da curva característica pode ser traçada de modo bem sucedido, alcançando o objetivo do projeto. É importante salientar que houve um excesso de sensibilidade de captura de dados pelos transmissores, o qual não houve possibilidade de ter alterada.

Diante de tudo isso, é percebido que este método pode ser aplicado em um sistema de bombeamento qualquer, no qual possa ser instalado os transmissores de pressão e vazão, resultando finalmente em uma análise de desempenho de curvas características.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Gerais**

Apresentar a curva característica da instalação elevatória, gerada a partir de transmissores de pressão e vazão de forma instantânea numa instalação elevatória didática

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Fazer a aquisição dos valores medidos pelos transmissores de vazão e pressão utilizando um controlador lógico programável;
- Transferir esses dados do controlador para um programa supervisorio;
- Montar neste programa supervisorio a curva de pressão versus vazão;
- Fazer variar a curva característica no mesmo instante em que se manipula o fluxo de líquido nas tubulações da instalação elevatória

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Definições Básicas

##### 3.1.1. Fluido

É qualquer substância que deforma-se quando submetida a um esforço tangencial. Fluido pode ser dividido em líquido e gás. De uma forma prática, pode-se distinguir os líquidos dos gases da seguinte maneira: os líquidos quando colocados em um recipiente, tomam o formato deste, apresentando porém, uma superfície livre, enquanto que os gases, preenchem totalmente o recipiente, sem apresentar qualquer superfície livre. (DA SILVA, 2003, p.10)

##### 3.1.2. Peso específico ( $\gamma$ )

É o peso desta substância pela unidade de volume que ela ocupa. As unidades mais usuais são:  $\text{kgf/cm}^3$ ;  $\text{kgf/dm}^3$ ;  $\text{N/m}^3$  (Sistema Internacional);  $\text{lbf/ft}^3$ . É expresso pela equação  $\gamma = \rho \cdot g$ , sendo  $\gamma$  (peso específico),  $\rho$  (massa específica) e  $g$  (gravidade na Terra)

##### 3.1.3. Massa específica ( $\rho$ )

É a massa dessa substância pela unidade de volume que ela ocupa. As unidades mais usuais são:  $\text{kg/m}^3$   $\text{kg/dm}^3$ ,  $\text{lb/ft}^3$  e  $\text{g/cm}^3$  (Sistema Internacional). É representada pela expressão  $\rho = \frac{m}{V}$ , sendo  $m$  (massa da substância) e  $V$  (Volume ocupado pela substância)

##### 3.1.4. Densidade Relativa

É a razão entre massa específica dessa substância e massa específica de uma substância de referência em condições padrão. Para substâncias em estado líquido ou sólido, a substância de referência é a água. Para substâncias em estado gasoso a substância de referência é o ar. (DA SILVA, 2003, p.12)

##### 3.1.5. Viscosidade ( $\mu$ )

É a propriedade física de um fluido que exprime sua resistência ao cisalhamento interno, isto é, a qualquer força que tenda a produzir o escoamento entre suas camadas. A viscosidade tem uma importante influência no fenômeno do escoamento, notadamente nas perdas de pressão dos fluidos. A magnitude do efeito depende principalmente da temperatura e da natureza do fluido. Os fluidos newtonianos obedecem a relação  $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$ , sendo  $\tau$  (tensão de cisalhamento),  $\mu$  (viscosidade) e  $\frac{dv}{dy}$  (gradiente de velocidade). (DA SILVA, 2003, p.13)

### 3.1.6. Pressão

É a força exercida por unidade de área sobre um fluido confinado e em fluidodinâmica pode ser definida como a resistência ao escoamento. É expressa pela equação  $P = \frac{F}{A}$ . As unidades mais usuais são: kgf/cm<sup>2</sup>; kgf/m<sup>2</sup>; bar (1bar = 1,02 kgf/cm<sup>2</sup>); psi (1psi= 0,0689 kgf/cm<sup>2</sup>); Pascal (1Pa (SI) = 1 N/m<sup>2</sup>); atmosfera (1atm= 1,033kgf/cm<sup>2</sup>); mmHg (1mmHg = 0,00136kgf/cm<sup>2</sup>). (DA SILVA, 2003, p.17)

### 3.1.7. Lei de Pascal

Afirma que "A pressão aplicada sobre um fluido contido em um recipiente fechado age igualmente em todas as direções do fluido e perpendicularmente às paredes do recipiente". (DA SILVA, 2003, p.17)

### 3.1.8. Teorema de Stevin

Afirma que "A diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em equilíbrio é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cota entre os dois pontos". É expresso pela equação  $P = \rho \cdot g \cdot h$  (DA SILVA, 2003, p.17)

### 3.1.9. Escalas de pressão

Pressão absoluta ( $P_{abs}$ ): medida em relação ao vácuo total ou zero absoluto;  $P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$

Pressão Atmosférica ( $P_{atm}$ ): é a pressão exercida pelo peso da atmosfera

Pressão Manométrica ( $P_{man}$ ): é a pressão medida, tendo como referência a pressão atmosférica.

#### 3.1.10. Pressão de vapor

Pressão de vapor de um fluido a uma determinada temperatura é aquela na qual coexistem as fases líquido e vapor. Nessa mesma temperatura, quando tivermos uma pressão maior que a pressão de vapor, haverá somente a fase líquida e quando tivermos uma pressão menor que a pressão de vapor, haverá somente a fase vapor.

#### 3.1.11. Escoamento

Regime Permanente: quando as condições do fluido, tais como temperatura, peso específico, velocidade, pressão, etc., são constantes em relação ao tempo.

Regime Laminar: É aquele no qual os filetes líquidos são paralelos entre si e as velocidades em cada ponto são constantes em módulo e direção

Regime Turbulento: É aquele no qual as partículas apresentam movimentos variáveis, com diferentes velocidades em módulo e direção de um ponto para outro.

#### 3.1.12. Número de Reynolds

É um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície. O seu significado físico é o quociente entre forças de inércia e forças de viscosidade.

É expresso pela equação  $Re = \rho \cdot v \cdot \frac{d}{\mu}$ , sendo  $Re$  (número de Reynolds),  $\rho$  (massa específica),  $v$  (velocidade de escoamento do fluido),  $d$  (densidade) e  $\mu$  (coeficiente de proporcionalidade).

#### 3.1.13. Vazão

Volumétrica: É definida como sendo o volume de fluido que passa por uma determinada seção transversal por unidade de tempo. Expressa pela equação  $Q = v \cdot A$  ( $m^3/s$ ), sendo  $Q$ (vazão),  $v$ (velocidade do fluido) e  $A$ (área da seção transversal)

Mássica: é a massa de fluido que passa por determinada seção, por unidade de tempo.  $Q_m = m/t$  (kg/hora), sendo  $m$ (massa) e  $t$ (tempo)

Em peso: é o peso do fluido que passa por determinada seção, por unidade de tempo. Expresso por  $Q_p = G/t$  (Kgf/hora) sendo  $G$ (peso) e  $t$ (tempo)

#### 3.1.14. Equação da Continuidade

Velocidade: Existe uma importante relação entre vazão, velocidade e área da seção transversal de uma tubulação. A figura 1 ilustra a seção transversal para a equação da continuidade.

Figura 1: Seção cilíndrica de uma tubulação de fluido líquido

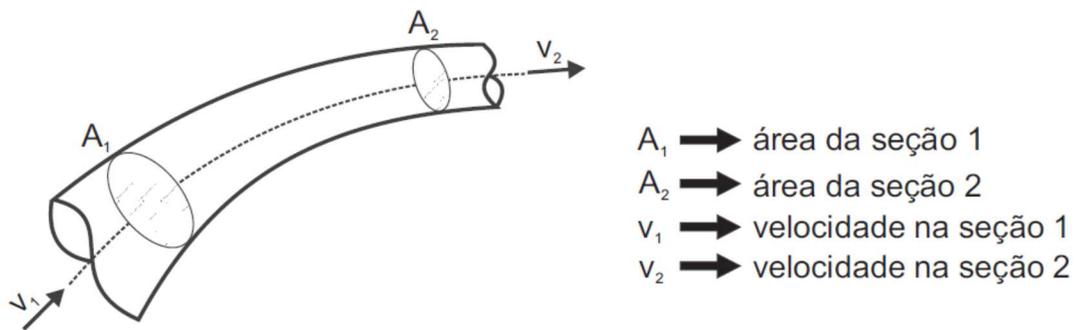


FONTE: (DA SILVA, 2003, p.25)

$$Q = v \cdot A \quad v = Q / A$$

A massa fluida que entra na seção 1 é igual à massa que sai na seção 2 de acordo com a figura 2:

Figura 2: Trecho de uma tubulação de fluido líquido indicando a massa que entra e massa que sai



FONTE: (DA SILVA, 2003, p.26)

Quando existe um escoamento em regime permanente por meio da tubulação na figura 2, a massa fluida que entra na seção 1 é igual a massa que sai na seção 2, portanto:

$$Q_{m1} = Q_{m2}$$

$$Q_1 = Q_2 \text{ o que representa } A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Esta equação é válida para qualquer seção do escoamento resultando na equação da continuidade, na qual  $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{Constante} = Q = v \cdot A$

Pela equação acima, nota-se que para uma determinada vazão escoando através de uma tubulação, uma redução de área acarretará um aumento de velocidade e vice-versa.

### 3.1.15. Energia

Energia pode apresentar-se em diversas formas, das quais se destacam:

Potencial: A energia potencial ( $E_p$ ) de um ponto em um fluido por unidade de peso é definida como a cota deste ponto em relação a um determinado plano de referência. Pode ser expressa por  $E_p = mgh$

Pressão: A energia de pressão em um ponto de um determinado fluido, por unidade de peso é definida como pressão atuante no ponto e dividida pelo peso específico do fluido.

Cinética: A energia cinética ( $E_c$ ) ou de velocidade de um ponto em um determinado fluido por unidade de peso é definida como a velocidade de escoamento do fluido elevada ao quadrado e dividida pelo dobro da aceleração da gravidade. É expressa pela equação  $E_c = \frac{1}{2} mv^2$

### 3.1.16. Teorema de Bernoulli

O teorema de Bernoulli é um dos mais importantes da hidráulica e representa um caso particular do Princípio da Conservação de Energia. Considerando-se como hipótese um escoamento em regime permanente de um líquido perfeito, sem receber ou fornecer energia e sem troca de calor, a energia total, ou carga dinâmica, que é a soma da energia de pressão, energia potencial e energia cinética, em qualquer ponto do fluido tem um valor constante ( $k$ ). A equação a seguir representa o teorema de Bernoulli

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} + z = k$$

### 3.1.17. Perdas de carga

A perda de carga ( $\Delta H$ ) no escoamento em uma tubulação ocorre devido ao atrito entre as partículas fluidas com as paredes do tubo e mesmo devido ao atrito entre estas partículas, ou seja, é uma perda de energia ou de pressão entre dois pontos de uma tubulação. (DA SILVA, 2003, p.30)

## 3.2. Máquinas Hidráulicas

Uma máquina hidráulica é uma variedade de máquina de fluido que emprega para seu funcionamento as propriedades de um fluido incompressível ou que se comporta como tal, devido à sua densidade no interior do sistema

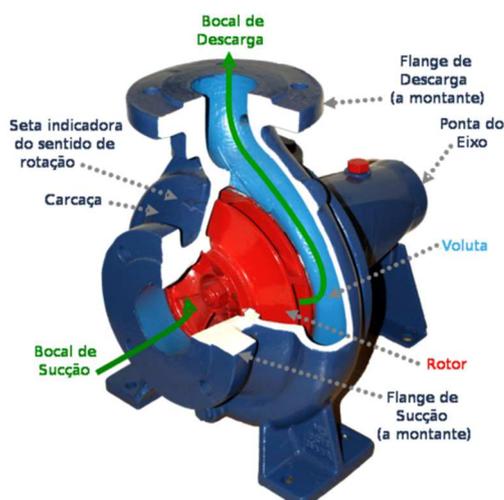
não sofrer variações importantes. Elas são instrumentos capazes de multiplicar forças que são explicadas a partir do princípio de Pascal.

As máquinas hidráulicas são classificadas em motrizes, geratrizes e mistas sendo as Máquinas Motrizes aquelas que transformam a energia hidráulica em trabalho mecânico, geralmente para acionar outras máquinas, as Máquinas geratrizes aquelas que recebem trabalho mecânico de uma máquina motriz e o transforma em energia hidráulica e as Máquinas Mistas as que transformam a energia hidráulica sob uma forma na outra. (MACINTYRE, 1997, p.38)

### 3.2.1. Bombas

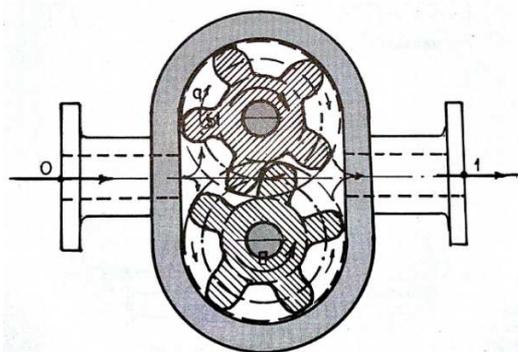
A Bomba é um órgão mecânico, classificada como um tipo de máquina operatriz, com a função de succionar fluido líquido, retirando-o do reservatório de sucção e energizando-o através de seu rotor, o que o impulsiona para o reservatório de recalque. De acordo com o *Hydraulic Institute*, que é um instituto que se localiza nos Estados Unidos que estuda bombas desde 1917, existem dois tipos de bombas: as Bombas hidrodinâmicas ou Turbobombas e as Bombas Volumétricas. A figura 3 indica um modelo de Bomba Hidrodinâmica e a figura 4 indica um modelo de Bomba Volumétrica.

Figura 3: Exemplo de uma Bomba Hidrodinâmica



FONTE: Disponível em  
<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_centricifuga](https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_centricifuga)> Acesso em 05. Abril 2015

Figura 4: Exemplo de uma Bomba Volumétrica

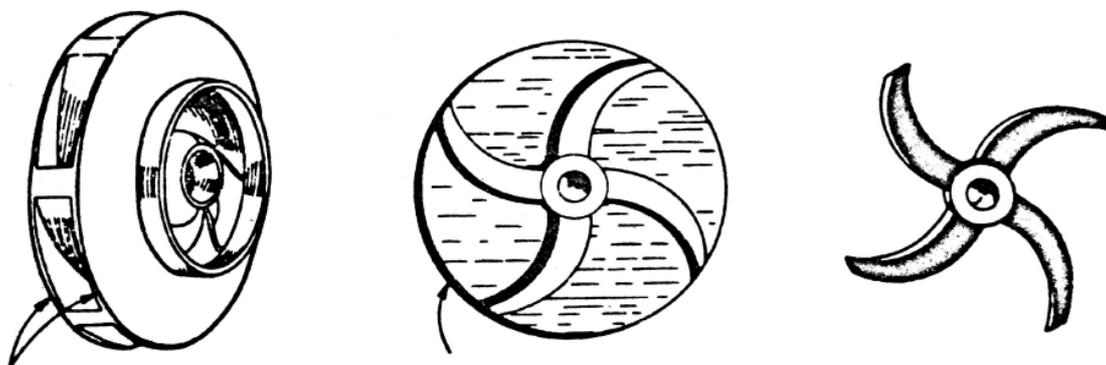


FONTE: (MACINTYRE, 1997, p.39)

### 3.2.2. Turbobombas

As Turbobombas são caracterizadas pela existência de um rotor dotado de palhetas e em contato com o fluido, de maneira tal que, acionado por uma fonte externa de energia, a ação da força centrífuga e/ou a força de sustentação produzida pelo escoamento do fluido líquido em torno da palheta (perfil aerodinâmico) provocam uma depressão à entrada do rotor que aspira o fluido e uma sobrepressão à saída do mesmo, responsável pelo recalque do fluido. Elas são constituídas de 2 (dois) órgãos fundamentais, que são o rotor e o difusor. Na figura 5 são ilustrados três tipos de rotores, sendo da esquerda para direita, o rotor fechado, rotor semiaberto e o rotor aberto. E na figura 6, está ilustrado o difusor.

Figura 5: Rotores, da esquerda para direita, fechado, semiaberto e aberto



FONTE: (CARVALHO, 1979, p.95)



### 3.2.3. Bombas Volumétricas

São aquelas em que a energia é fornecida ao líquido já sob a forma de pressão, não havendo a necessidade de transformação de Energia Cinética. O órgão fornece energia ao fluido em forma de pressão. São, principalmente, as bombas de êmbolo ou pistão e as bombas diafragma. O intercâmbio de energia é estático e o movimento é alternativo.

Assim sendo, a movimentação do líquido é diretamente causada pela movimentação de um órgão mecânico da bomba, que obriga o líquido a executar o mesmo movimento de que está animado. O líquido, sucessivamente, enche e depois é expulso de espaços com volume determinado no interior da bomba. Nestas bombas, as forças transmitidas ao líquido têm a mesma direção do movimento geral do líquido. São utilizadas para pressões elevadas e descargas relativamente pequenas.

### **3.3. Instalação Elevatória**

É um sistema de bombeamento que tem por objetivo transportar fluido entre níveis de pressões diferentes e este sistema possui os seguintes elementos básicos: (CARVALHO, 1979, p.20)

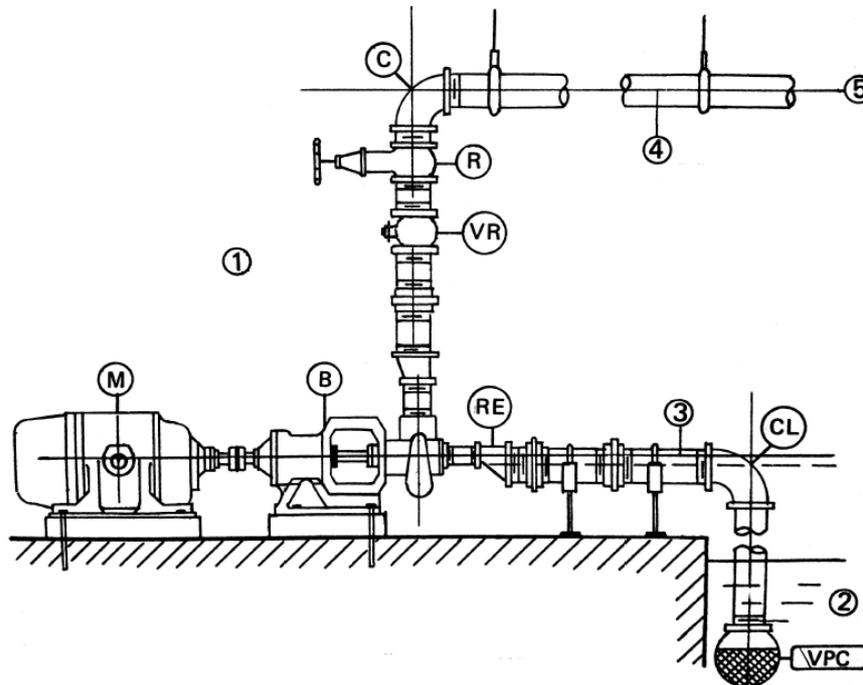
- Motor elétrico: dispositivo gerador de energia elétrica responsável por acionar o eixo do rotor da bomba centrífuga
- Bomba: Dispositivo que succionará o fluido líquido
- Reservatório de sucção: Local onde é armazenado o fluido líquido
- Linha de Sucção: Tubulação que transporta o fluido líquido do reservatório até a bomba
- Válvula de pé com crivo: dispositivo mecânico que permite passagem do fluido líquido somente no sentido ascendente, sendo que ele trava para que o mesmo não retorne, além de impedir pelo crivo objetos sólidos não dissolvidos.
- Linha de recalque: Tubulação que transporta o fluido líquido da bomba até o destino final onde o mesmo será utilizado
- Válvula de retenção: dispositivo mecânico unidirecional instalada à saída da bomba e antes do registro de recalque. Ela possui a função

de impedir que o peso da coluna de recalque seja sustentado pelo corpo da bomba

- Registro de recalque: acessório destinado a controlar a vazão recalçada, por meio do seu fechamento e abertura.

A figura 7 ilustra a estrutura de uma instalação elevatória

Figura 7: Estrutura básica de uma Instalação Elevatória



FONTE: (CARVALHO, 1979, p.19)

### 3.4. Altura Manométrica

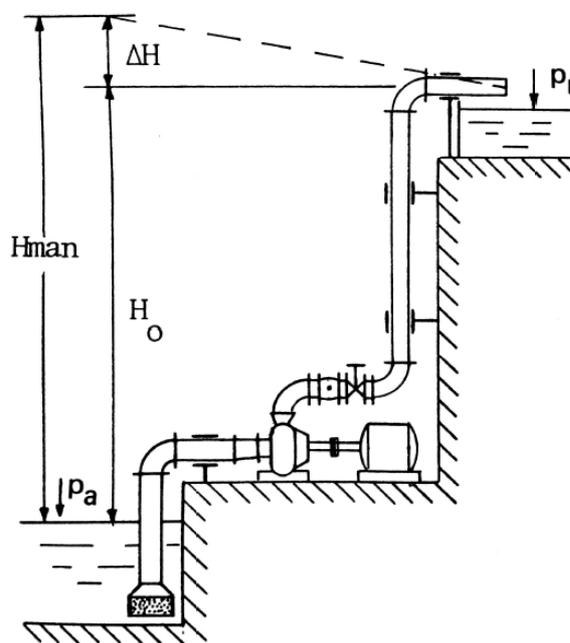
A Altura Manométrica de um sistema elevatório é definida como sendo a quantidade de energia que deve ser absorvida por 1(um) quilograma de fluido que atravessa a bomba, sendo esta energia necessária para que o mesmo vença o desnível da instalação, a diferença de pressão entre os 2 (dois) reservatórios e a resistência natural que as tubulações e acessórios oferecem ao escoamento dos fluidos. (CARVALHO, 1979, p.31)

Para se determinar o tipo de bomba usada em uma instalação de bombeamento são necessárias a determinação do desnível a ser vencido pela

bomba, do material das tubulações da instalação, da vazão a ser recalçada e da altura manométrica da instalação ( $H_{man}$  ou  $H$ ).

Um modo de se medir altura manométrica de um sistema de bombeamento é apresentado a seguir, que é utilizando uma bomba de sucção positiva. A seguir é apresentado um exemplo de cálculo de altura manométrica. A figura 8 mostra uma instalação elevatória com algumas variáveis de referências para fórmula do cálculo de altura manométrica. (CARVALHO, 1979, p.33)

Figura 8: Instalação Elevatória para base de cálculo no exemplo



FONTE: OLIVEIRA; LINHARES; COSTA JUNIOR, 2011, p. 22

$H_{man}$  (ou  $H$ ): altura manométrica, em m.

$H_o$ : desnível geométrico, em m.

$h_s$ : desnível geométrico sucção, em m.

$h_r$ : desnível geométrico recalque, em m.

$p_a$ : pressão atmosférica

$p_r$ : pressão no reservatório de recalque, em  $\text{kgf/cm}^2$ .

ps: pressão no reservatório de sucção, em kgf/cm<sup>2</sup>.

γ: peso específico do fluido, em kgf/m<sup>3</sup>.

ΔH: perda de carga nas tubulações e acessórios, em m.

$$H_{man} = H_o + \frac{(p_r - p_s)}{\gamma} + \Delta H$$

### 3.5. Curvas Características

Ao se projetar uma bomba, visa-se, especificamente, o recalque de determinada vazão em certa altura manométrica. Evidentemente, para estas condições, o projeto se desenvolve de modo a obter-se o máximo rendimento possível para a bomba. Entretanto, esta bomba poderá, dentro da faixa determinada pela economia, ser posta a recalcar vazões maiores ou menores que aquela para a qual foi projetada, mudando, porém, com a variação da vazão: a pressão desenvolvida (altura manométrica); a potência necessária ao acionamento e o rendimento da bomba. (CARVALHO, 1979)

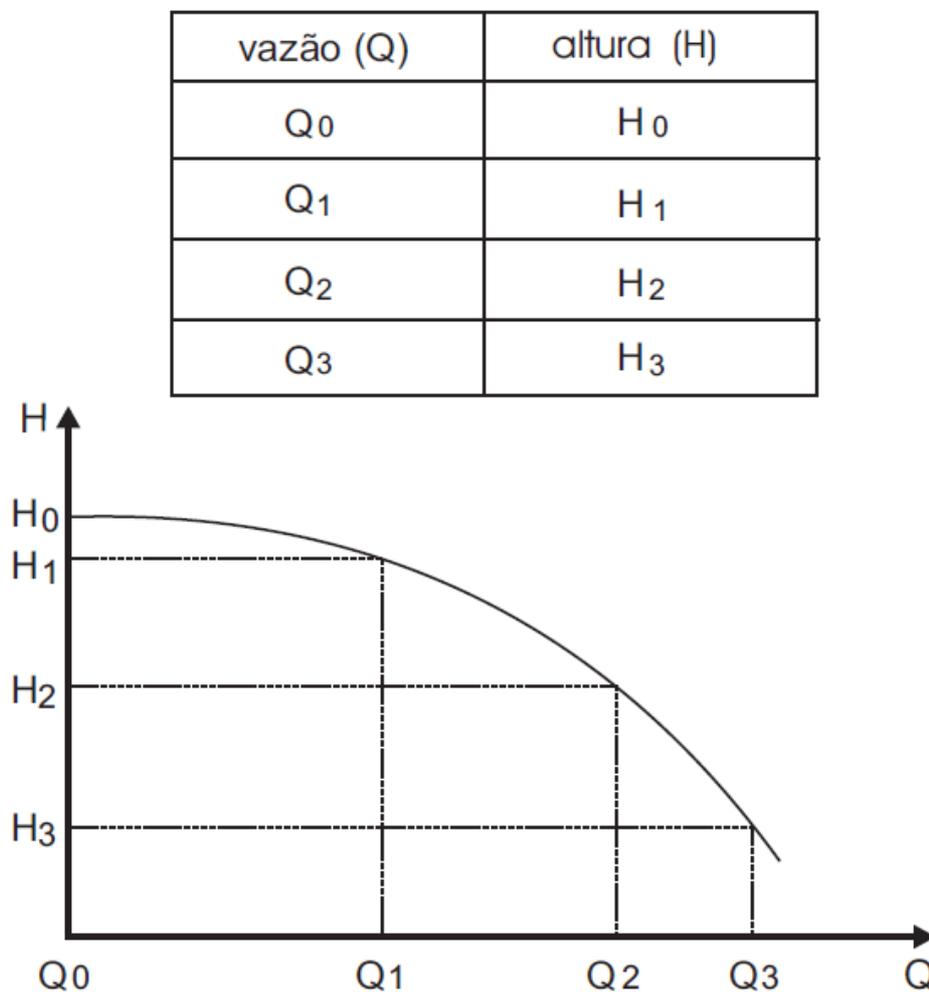
Cada bomba tem certo campo de aplicação em termos das grandezas que interferem em seu funcionamento, sendo de extrema utilidade precisar ou delimitar esse campo de uso, dentro de uma faixa de rendimentos considerada econômica. O objetivo é atingido, num primeiro estágio, por meio dos gráficos de seleção e, num estágio posterior, por meio das curvas características da bomba. Essas curvas características são diagramas que retratam o comportamento de uma bomba, mostrando o relacionamento de interdependência existente entre as grandezas que caracterizam o seu funcionamento, e elas são obtidas nas bancadas de ensaios dos fabricantes e seus principais tipos são:

- (H<sub>man</sub>, Q): retrata a variação da altura manométrica desenvolvida em função da vazão recalçada.
- (η, Q): mostra a variação do rendimento em função da vazão.
- (N, Q): espelha o relacionamento existente entre a potência necessária ao acionamento e a vazão recalçada:

- (NPSHreq, Q): variação do NPSH (“*Net Positive Suction Head*”, ou “altura livre positiva de sucção”) requerido com a vazão.

A figura 9 apresenta um exemplo de curva característica de uma bomba hidrodinâmica qualquer de Pressão (H) versus Vazão (Q) formada pela abertura gradual de uma válvula de descarga do fluido. Sendo que para cada valor de vazão tem-se um novo valor de pressão.

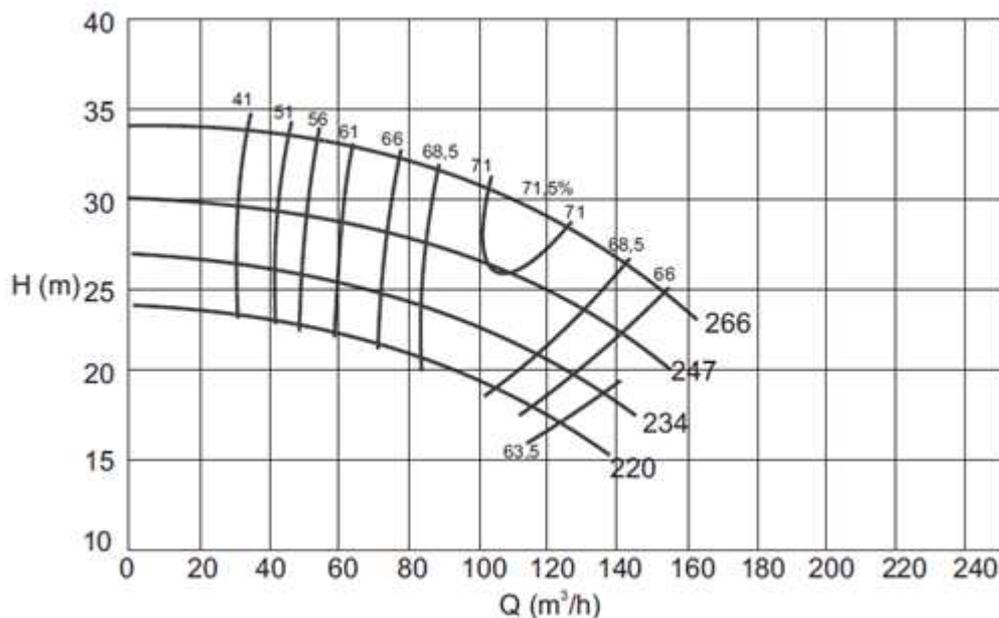
Figura 9: Exemplo de curva característica Pressão (H(m)) versus Vazão (Q) de uma bomba hidrodinâmica



FONTE: (DA SILVA, 2003, p.78)

A figura 10 mostra um exemplo de curva característica de uma bomba hidrodinâmica KSB Meganorm 80 – 250 – IV pólos em rotação fixa de 1750 rpm para quatro medidas de diâmetro de rotor.

Figura 10: Curva Característica da bomba hidrodinâmica KSB Meganorm (80 – 250) – IV pólos Rotação de 1750rpm



FONTE: (DA SILVA, 2003, p.87)

Na figura 10 pode se observar que em uma rotação fixa de 1750 rpm do motor para quatro variações do diâmetro do rotor tem-se quatro curvas de bombas diferentes, ou seja, para cada diâmetro de rotor, uma curva característica é formada. E outra maneira usual de se modificar a curva característica de uma bomba é também variar a rotação da bomba.

### 3.6. Sistema Automatizado

É definido como um sistema que é capaz de cumprir uma ou mais tarefas por meio de decisões que são tomadas em função de sinais de várias naturezas que provêm do mesmo sistema a ser controlado. E este age sem intervenção humana. Geralmente as operações de uma instalação automatizada flexível têm muitas vantagens, tais como:

- Economia energética e de material
- Rápida modificação na produção

- Redução no tempo de trabalho
- Redução do custo de produção
- Melhoria do ambiente de trabalho

Cada ciclo automático, simples ou complexo, é organizado em duas partes, as quais são representadas, em primeiro lugar, pelo bloco de comando que corresponde aos músculos da máquina, ou seja, o órgão que movimenta o sistema e tem como exemplo os motores, cilindros pneumáticos e hidráulicos, dentre outros e, em segundo lugar, pelo bloco de potência que corresponde à unidade de elaboração do automatismo que é a parte inteligente que elabora o processo. É composto de computadores industriais e de detectores, por exemplo: interruptores, chaves fim de curso, transmissores, transdutores. São equipamentos que permitem detectar os vários estágios do processo automático e comunicá-lo a um sistema de elaboração. Os componentes necessários em um sistema de automação são representados pelos seguintes elementos: atuadores, dispositivos detectores, Interface Homem/Máquina, Elaboração e transmissão de dados, Órgão de manobra de Proteção e Acionamento.

### 3.6.1. Dispositivos Detectores

São dispositivos que detectam as informações necessárias no funcionamento do processo automatizado. Eles podem ser divididos em duas categorias:

**Digital:** É uma saída do tipo ligado/desligado ou *on/off* na qual a comunicação da saída de um estado para outro se verifica quando a grandeza física em entrada supera um determinado valor definido. São representados pelos transmissores.

**Analógico:** Transforma o valor da grandeza física na entrada em um sinal elétrico ou pneumático de tipo contínuo proporcional ao valor da grandeza física. São representados pelos transdutores.

Alguns tipos de transmissores e transdutores são a chave de posição mecânica (fim de curso); transdutores de força, pressão e temperatura; e potenciômetro e indicador de nível de líquido

### 3.6.2. Elaboração e Transmissão de dados

É o elemento que faz parte do bloco de comando e é constituído geralmente de computadores, Controlador Lógico Programável (CLP) ou *Programmable Logic Controller (PLC)* e microprocessadores com placas dedicadas.

Este elemento de dados tem a função de administrar o sistema por meio das informações que chegam aos transmissores com base em um programa previamente elaborado. Existem vários pontos positivos neste elemento de automação que são:

- Conhecimento em tempo real do estado da instalação automatizada
- Envio dos dados a distância
- Individualização das intervenções de manutenção no equipamento
- Detecção do tempo de paradas de equipamentos

### 3.6.3. Controlador Lógico Programável (PLC)

#### 3.6.3.1. *Definição*

É um computador projetado para trabalhar no ambiente industrial. E de acordo com o IEC (*International Electrotechnical Commission*), um PLC é definido como um sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas. A figura 11 mostra um modelo de PLC do fabricado pela *Alley Bradley*.

Figura 11: Modelo de PLC fabricado pela Alley Bradley



FONTE: Próprio Autor

### 3.6.3.2. *Evolução do PLC:*

O PLC foi criado em 1968 a partir de uma especificação da divisão de hidráulicos da General Motors (GM) e sua invenção é atribuída a Richard Dick Morley. O objetivo principal do PLC era substituir os grandes gabinetes de lógica a relé por algo mais confiável, menor, e principalmente mais flexível, pois os programas feitos por interligação dos contatos de relés eram de difícil manutenção e modificação. O PLC tanto precisaria resistir aos ambientes agressivos como deveria apresentar uma boa confiabilidade operacional. (BEGA, 2006, p.515)

Sua primeira aplicação foi realizada na linha de fabricação de automóveis, em uma máquina de testes de cabos elétricos. Toda vez que a aplicação industrial se alterava, o programa deveria mudar também. Realizar a modificação da estrutura das fiações era muito trabalhosa, dispendiosa e demorada, levando em conta que os relés duravam pouco.

### 3.6.3.3. *Vantagens do PLC*

- Flexibilidade na mudança de componentes, que podem ser alterados somente no programa, sem necessidade de mudança física.
- Fácil gestão das falhas, pois ele diagnostica de modo muito rápido e fácil as falhas na automação industrial
- Número de contatos teoricamente infinito
- Baixo custo de aquisição
- Observação do funcionamento durante a execução
- Velocidade de operação é bem maior que um quadro de comando eletromecânico
- Facilidade de programação

### 3.6.3.4. *Estrutura Básica de um PLC*

O hardware de um Controlador Lógico Programável é constituído de três Unidades fundamentais e outros componentes periféricos.

As Unidades são representadas pela:

- Unidade Central: Organiza todas as funções de controle, comandando todas as funções do PLC.
- Unidade de entrada e saída: Refere-se à interface entre Unidade Central e a máquina automática que deve ser controlada
- Unidade de Programação: Interface entre o homem e a máquina, e onde se pode escrever o programa.

Os Periféricos são representados pelo:

- Simulador de entradas: É um dispositivo que simula funcionamento de transmissores e transdutores
- Impressora: Imprime o programa
- Dispositivo de grande memorização de dados: Conservam o programa desenvolvido.

Na Unidade Central ou CPU (*Central Processing Unit*) são encontradas três estruturas fundamentais para o PLC que são:

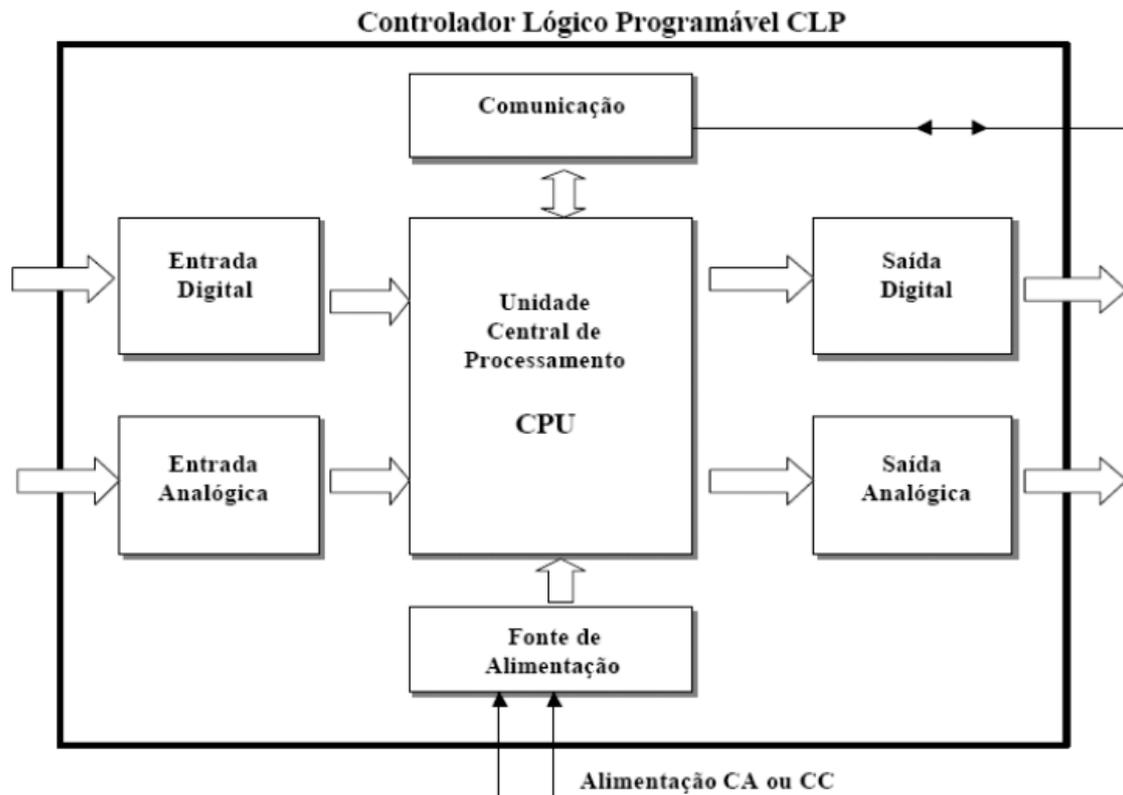
- Microprocessador: Realiza operações lógicas e matemáticas de modo extremamente rápido de acordo com uma sequência pré-definida.
- Memória: dispositivos que armazenam todas as informações dos programas escritos e permite a leitura e a escrita das mesmas

Existem vários tipos de memórias representadas pelas:

- ROM: (*Read Only Memory*) que é uma memória só de leitura
- RAM: (*Read Access Memory*) que é uma memória de acesso livre e a qualquer tempo
- EAROM: (*Electrically Alterable Read Only Memory*) que é uma memória não volátil (memória perdida quando o computador é desligado) e reprogramável
- EPROM: (*Erasable Programmable Read Only Memory*) é uma memória só de leitura, podendo ser cancelável e reprogramável, e não são voláteis
- EEPROM: (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*): *tem a mesma característica da EPROM, com a característica de poder ser cancelada eletricamente*
- NOVRAM: (*Non Volatile Read Access Memory*) que é uma memória RAM não volátil
- Flash: é uma memória que não precisa de energia para manter as informações armazenadas
- Fonte de Alimentação: este componente é utilizado para fornecer energia para o PLC e para converter uma tensão alternada de rede para uma tensão contínua utilizada pela CPU

A figura 12 mostra a estrutura física básica de um PLC qualquer

Figura 12: Estrutura física básica de um PLC



FONTE: FRANCH; CAMARGO, 2013, p. 31

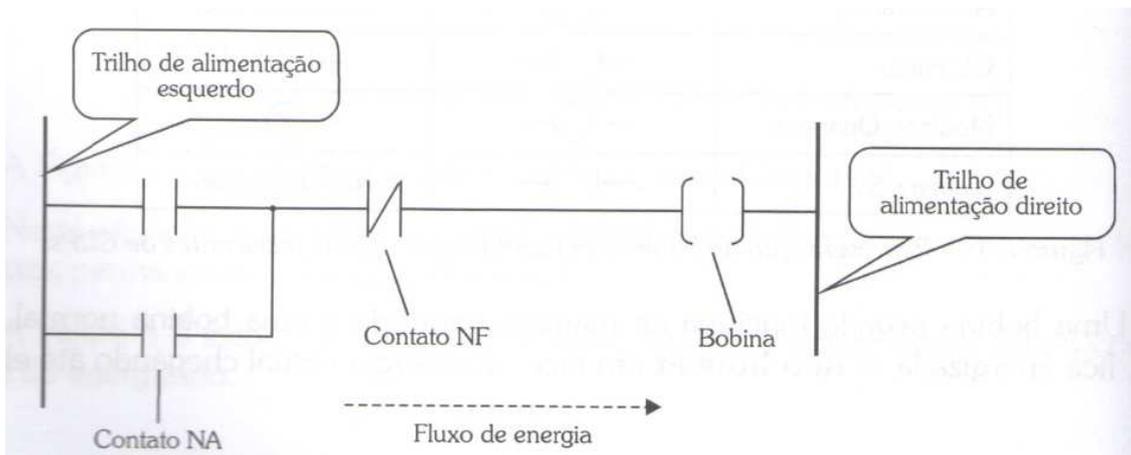
### 3.6.3.5. Norma IEC 61131-3

É uma norma criada pela Comissão Eletrotécnica Internacional ou em inglês *International Electrotechnical Commission (IEC)* para padronizar a linguagem de programação dos PLC's. Nesta norma foram criadas a Linguagem Gráfica e a Linguagem Textual. Dentro da linguagem gráfica existem o Diagrama Ladder, o Diagrama de Blocos Funcionais e o Sequenciamento Gráfico de Funções. E na Linguagem Textual estão inseridas a Lista de Instruções e o Texto Estruturado.

Diagrama Ladder: Pode ser representado por LD que significa em inglês (*Ladder Diagram*) e em português diagrama de escadas. Ela é a linguagem mais utilizada e que tem semelhança visual de uma escada no modo de programar. Ela é composta de duas linhas verticais e de linhas horizontais. O

esquema é composto da barra de alimentação, do retorno comum ou massa, da zona de teste e da zona de ação. A figura 13 apresenta a estrutura de um diagrama programado na linguagem *Ladder*.

Figura 13: Estrutura de uma linguagem em diagrama *Ladder*



FONTE: FRANCH; CAMARGO, 2013, p.115

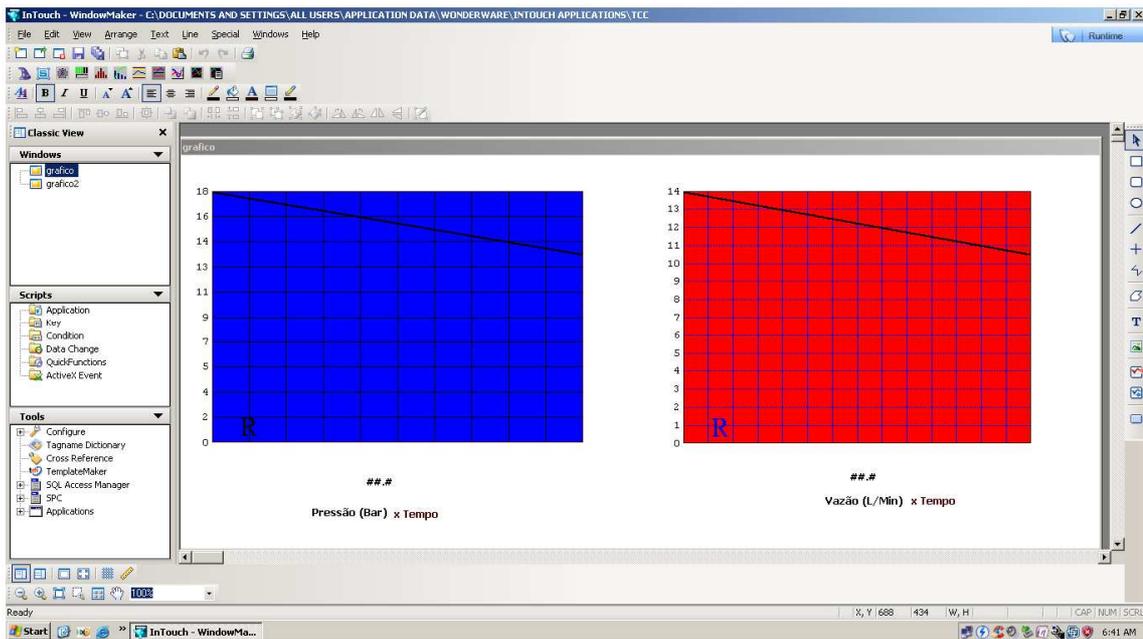
#### 3.6.4. Supervisório

É denominado por Interface Homem/Máquina ou IHM, sendo o órgão que faz a o diálogo entre o homem e a máquina, ou seja, entre o operador ou programador do PLC. Alguns destes sistemas também são chamados de SCADA (Supervisory Control and Data Aquisition).

Ele é dividido em dois blocos fundamentais que são primeiramente o Órgão de Comando e Sinalização de tipo tradicional, no qual se inclui as chaves seletoras e digitais, as botoeiras, indicadores luminosos displays, e em segundo lugar o Terminal de Gestão, onde está painel do operador.

Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário. A figura 14 indica como é a interface de um modelo de sistema supervisório.

Figura 14: Exemplo de interface do sistema supervisório InTouch® HMI



FONTE: Próprio autor

Os sistemas SCADA geralmente dividem suas principais tarefas em blocos ou módulos, que vão permitir maior ou menor flexibilidade e robustez, de acordo com a solução desejada, e de modo geral, pode-se dividir essas tarefas em núcleo de processamento; comunicação com PLCs/RTUs; gerenciamento de alarmes; históricos e banco de dados; lógicas de programação interna (Scripts) ou controle; interface gráfica; relatórios; comunicação com outras estações SCADA; comunicação com sistemas externos / corporativos e *etc.*

A regra geral para o funcionamento de um sistema SCADA parte dos processos de comunicação com os equipamentos de campo, cujas informações são enviadas para o núcleo principal do software. O núcleo é responsável por distribuir e coordenar o fluxo dessas informações para os demais módulos, até chegarem na forma esperada para o operador do sistema, na interface gráfica ou console de operação com o processo, geralmente acompanhadas de gráficos, animações, relatórios, *etc.*, de modo a exibir a evolução do estado dos dispositivos e do processo controlado, permitindo informar anomalias, sugerir medidas a serem tomadas ou reagir automaticamente.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

Os materiais e softwares utilizados na montagem deste projeto serão descritos nas seções 4.1.1 até a seção 4.1.5, para melhor compreensão das características de funcionamento deles.

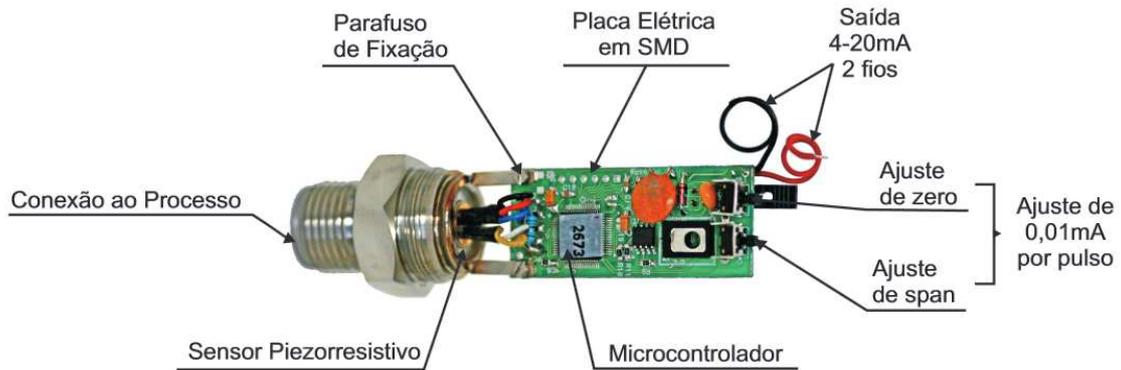
#### 4.1.1. Transmissor de Pressão

O transmissor utilizado foi um PSI. 420, composto por aço inox AISI (*American Iron and Steel Institute*) ou em português (Instituto Americano de Ferro E Aço) 316/304, e é compatível com muitos tipos de fluídos industriais em processos pneumáticos, hidráulicos e gases corrosivos. A eletrônica microcontrolada gera precisão e durabilidade aliada a um transmissor Piezorresistivo, sendo utilizadas as técnicas de fabricação mais atuais. As características deste transmissor são descritas a seguir:

- Grau de proteção do invólucro IP (*International Protection*) – 65 que significa que é protegido contra poeira e jatos de água
- Material do Invólucro aço inox AISI 304
- Faixa: Vácuo - 1600 Bar
- Vedações: Anéis *O'ring*, borracha nitrílica.
- Conector: DIN (*Deutsches Institut für Normung*) ou em português (Instituto Alemão para Normatização) 43650
- Tipo de transmissor: Piezorresistivo
- Sinal de saída: 4 a 20 mA
- Precisão do sinal: 0,1%
- Temperatura do Fluido: -10°C a +80°C
- Temperatura do Invólucro: 55°C
- Zero e Spans ajustáveis 20% F.E.
- Ajuste de 0,1mA por pulso
- Precisão, Histerese, Repetibilidade, Linearidade 0,25% FE
- Alimentação de 0 a 30 (Vcc)
- Proteção contra rádio frequência e inversão de polaridade

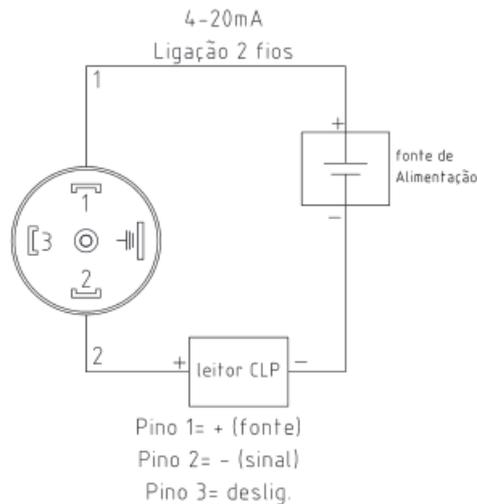
As figuras 15 e 16 indicam respectivamente os componentes internos do transmissor e o esquema de ligação com um PLC

Figura 15: Componentes Internos do transmissor



FONTE: Disponível em  
<[http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores\\_de\\_Pressao/PSI.420.DIF.pdf](http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores_de_Pressao/PSI.420.DIF.pdf)> Acesso em 13 Maio 2015

Figura 16: Esquema de ligação no PLC



FONTE: Disponível em  
<[http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores\\_de\\_Pressao/PSI.420.DIF.pdf](http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores_de_Pressao/PSI.420.DIF.pdf)> Acesso em 13 Maio 2015

#### 4.1.2. Transmissor de Vazão

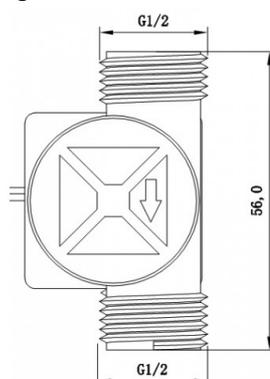
O transmissor de fluxo utilizado foi o modelo SEN-HZ21WA (compatível com POW110D3B) que mede a quantidade de água que passa pelo cano, podendo assim controlar o volume desejado. Possui um rotor interno e um transmissor de efeito *Hall*. Quando a água passa pelo rotor, são gerados pulsos proporcionais a velocidade do rotor. Atua na faixa de vazão de 1 a 30L por minuto e a tensão de operação é de 3 a 18V, sendo a tensão nominal de 5V. Ele é feito em material plástico (Nylon), resistente e durável. Possui rosca de 0,5pol que possibilita o encaixe direto na tubulação. A figura 17 mostra como é o transmissor e a figura 18 apresenta o perfil geométrico do mesmo.

Figura 17: Transmissor de Vazão



FONTE: Disponível em <<http://www.webtronico.com/sensor-de-vaz-o-de-liquido.html>> Acesso em 10 Maio 2015

Figura 18: Perfil geométrico do Transmissor de vazão



FONTE: Disponível em <<http://www.webtronico.com/sensor-de-vaz-o-de-liquido.html>> Acesso em 10 Maio 2015

#### 4.1.3. Controlador Lógico Programável SLC 500

O PLC utilizado foi o SLC™ 500 cód. cat. 1746-P2 que é uma família modular de controladores com entradas e saídas baseadas em rack. Com várias opções de processadores, inúmeras opções de fonte de alimentação é utilizado para controle industrial distribuído ou autônomo de médio porte. Contém um conjunto completo de funções e é uma plataforma robusta baseada em rack. Ele aceita entradas de -10 Volts a +10 Volts ou -20 mA a +20 mA. A plataforma SLC tem potência para operar todas as suas aplicações industriais críticas com adequação para mudanças. Ele pode ser isolado ou em rede, pode controlar uma única máquina, ou pode ser distribuído ao longo de uma grande área para aplicações SCADA. Pode-se facilmente expandir a capacidade do controlador ou adicionar entradas e saídas conforme seu sistema aumenta. Este PLC pode endereçar aplicações de controle de processo discretas de alta velocidade. Os seus processadores são projetados para oferecer uma ampla faixa de opções em memória (de 1 k a 64 k), opções de rack (4, 7, 10 ou 13 slots), conjunto de instruções, fontes de alimentação e recursos de rede incorporados de forma que pode-se customizar o sistema de controle para atender exatamente as especificações da aplicação. Ele é composto por cinco modelos de controlador: o 5/01, 5/02, 5/03, 5/04 e 5/05. Por causa deste conjunto de controladores, tendo a flexibilidade para controlar diversos tipos de máquinas ou processos. A figura 19 mostra o modelo de PLC SLC 500 com seus cartões de entrada e saída.

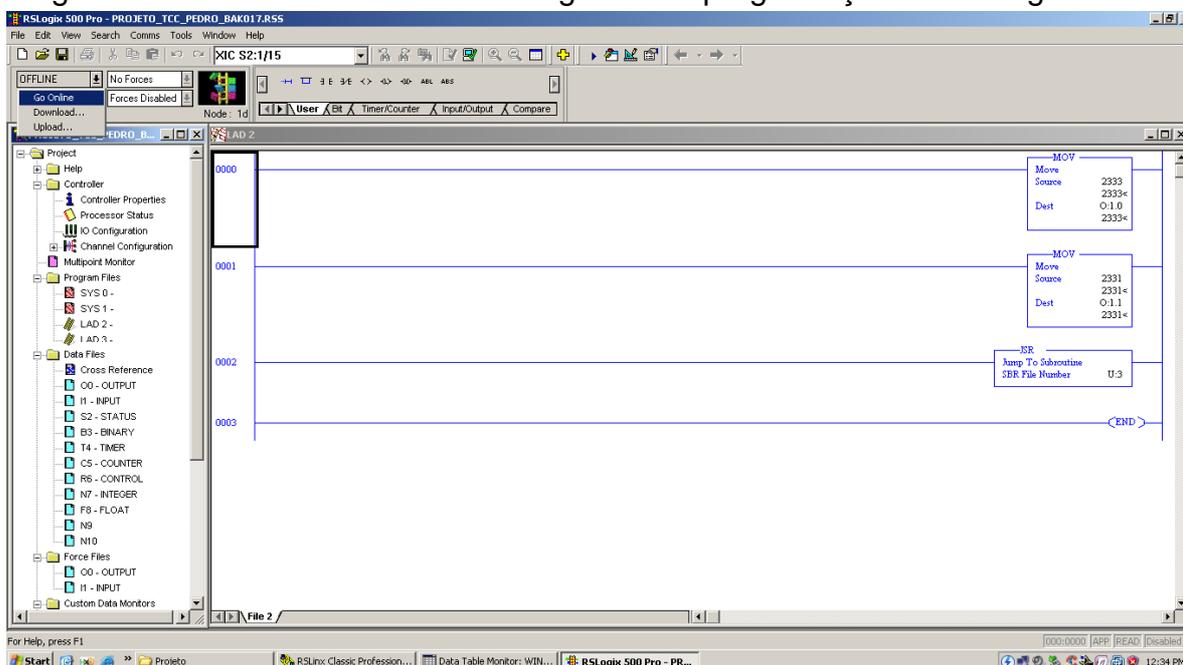
Figura 19: Modelo do PLC SLC 500 com seus cartões de entrada e saída



FONTE: Próprio Autor

O SLC 500 possui o software de programação RSLogix 500 que permite a criação, modificação e monitoramento dos programas aplicativos para o mesmo, simplificando a padronização em um pacote de software para todas as necessidades de controladores de pequeno porte. O pacote RSLogix 500 inclui as ferramentas de configuração RSNetWorx™, a interface de comunicação RSLinx® Lite e o RSLogix™ Emulate 500, que é um software de emulação que auxilia a testar e depurar os programas antes do comissionamento e partida. A figura 20 apresenta o exemplo de como é a interface de programação dos diagramas ladder no RSLogix 500.

Figura 20: Modelo de interface de diagrama de programação do RSLogix 500



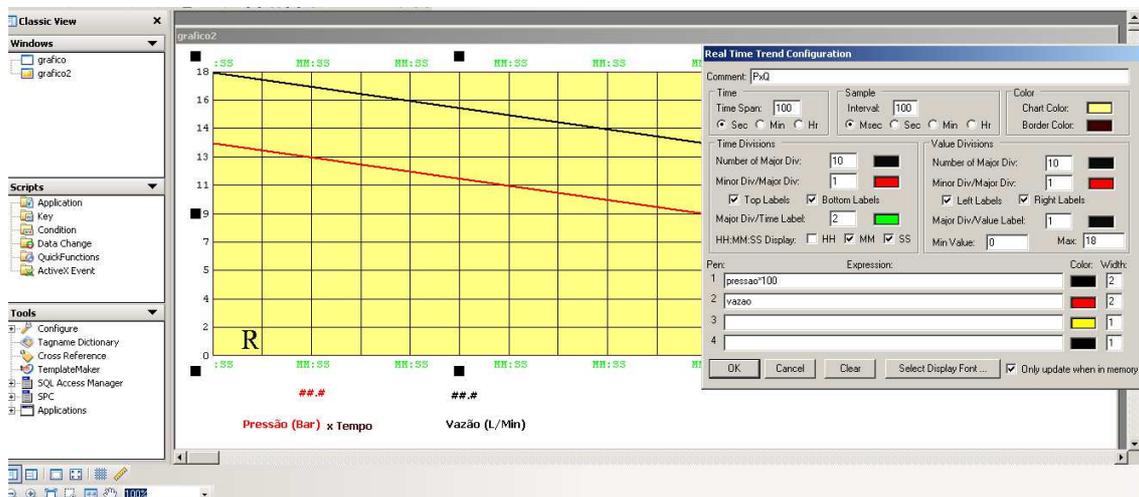
FONTE: Próprio Autor

#### 4.1.4. Software IHM InTouch®

O *Wonderware InTouch®* consiste num software do tipo HMI com uma série de ferramentas disponíveis que permite monitorar e operar qualquer sistema parcialmente ou completamente automatizado, por meio de uma ou mais Computadores. A monitorização ocorre por meio de telas gráficas, com indicações dinâmicas do estado dos equipamentos, possuindo também ferramentas para realizar gráficos de tendência, relatórios, histórico de eventos e de processo. Ele permite o uso de objetos animados, representando de forma

os equipamentos bem realista os acionamentos físicos, normalmente encontrados em qualquer processo, como botoeiras, chaves, etc. As principais características técnicas envolvem a capacidade de possuir grande quantidade de drivers de comunicação, de permitir efetuar o armazenamento de informações do processo ao longo do tempo, de visualizar gráficos de tendência do processo em tempo real, a possibilidade de criar relatórios com as informações monitorizadas pelo sistema, de permitir a definição de alertas para condições que representam qualquer risco. A figura 21 indica como é a interface de um modelo de supervisório criado no ambiente do InTouch®

Figura 21: Modelo de supervisório criado no ambiente do InTouch®



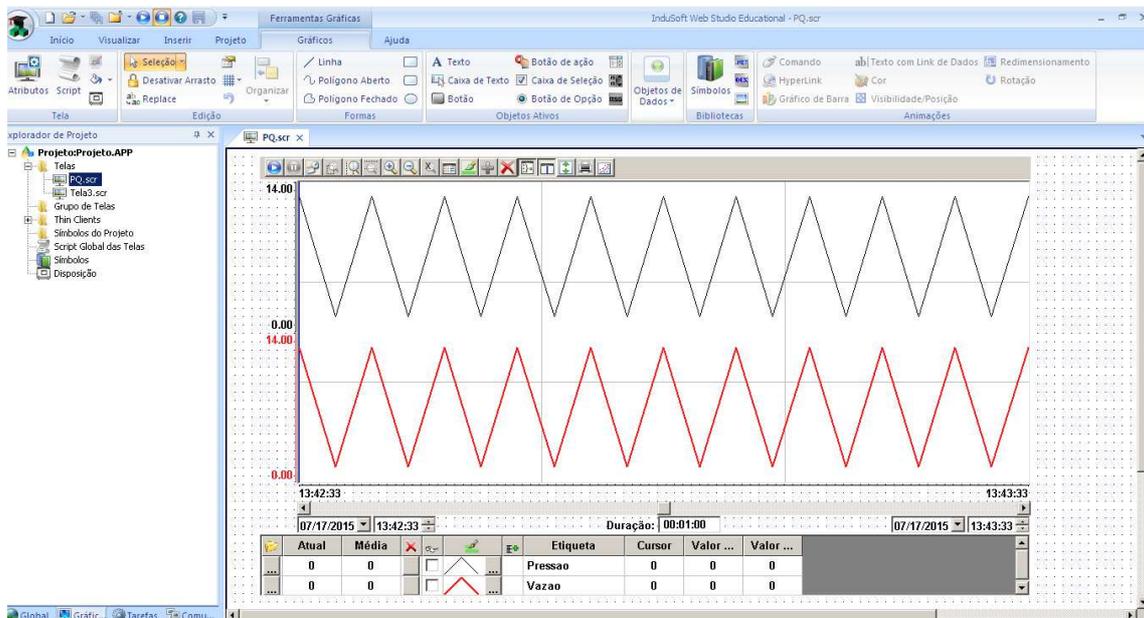
Fonte: Próprio Autor

#### 4.1.5. Software IHM/ Scada Indusoft Web Studio®

InduSoft Web Studio® é um software IHM desenvolvido para atender diversos tipos de aplicações e projetos relativos a vários setores da indústria de automação, tais como, indústrias farmacêuticas, alimentícias, Biotecnologia, Mineração, Metal e Minerais. Ele possui uma grande diversidade de ferramentas de automação que possibilita o desenvolvimento de aplicações IHM, SCADA, para sistemas embarcados, para sistemas de instrumentação, e em conexões de internet e intranet.

Este software possui a função de Gráfico de Tendência no qual é possível monitorar o processo desejado online ou via histórico e enviar informações para telas de computadores ou *web browsers* e também distribuir informações pela rede para facilmente monitorar telas de aplicações. Ele suporta dois tipos de linguagens, que são funções IWS (ou *built-in*) e a VBScript que é um sub-sistema do *Visual Basic* usado em *Active Server Pages* e em *Windows Scripting Hosts* como uma linguagem de aplicação universal (general-purpose). As duas são suportadas independentemente do sistema operacional usado no runtime. O VBScript foi especificamente escolhido pelas suas habilidades de rodar em WindowsCE, XP, Vista, 7 e edições do Server. A figura 22 mostra como é a interface do InduSoft Web Studio®

Figura 22: Interface do InduSoft Web Studio®



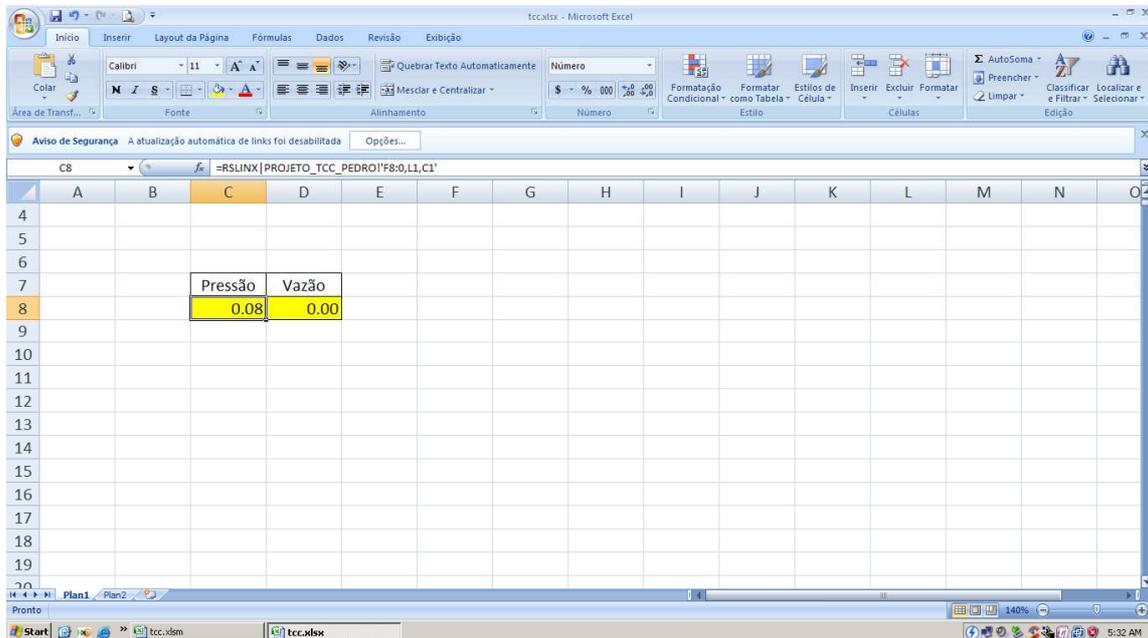
Fonte: próprio autor

#### 4.1.6. MsExcel®

O MsExcel® é um software desenvolvido pela empresa Microsoft, utilizado para criar vários tipos de tabelas, gráficos, calcular e analisar vários perfis de dados. Este software possui o formato de planilha que é constituída por células organizadas em linhas e colunas, sendo um programa dinâmico, com interface atrativa e muitos recursos para o usuário, além de trazer incorporado nele uma

linguagem de programação baseada em Visual Basic, denominada Macro. A figura 23 ilustra a interface de uma planilha de Excel.

Figura 23: Interface de uma planilha do Excel

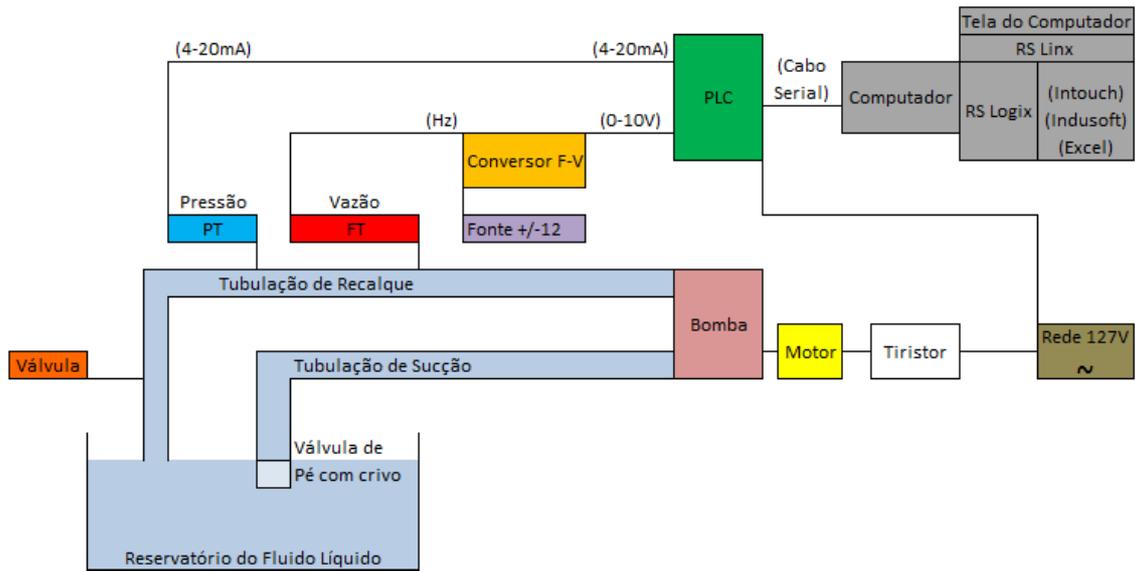


Fonte: Próprio Autor

## 4.2. Montagens e Configurações

Nesta seção é descrito todo o processo de montagem e configuração de dispositivos e softwares da instalação. Sendo assim, o projeto inicia-se com a montagem do protótipo de uma instalação elevatória, a qual é composta de uma tubulação de sucção, válvula de pé com crivo, uma bomba hidrodinâmica, um motor para acionamento elétrico da bomba em diversas velocidades, uma tubulação de recalque, um reservatório, água como fluido líquido, uma válvula de esfera de controle de fluxo no recalque, um registro de gaveta para controle de fluxo na sucção, um tiristor controlador de tensão e um transmissor de vazão e um de pressão na tubulação de recalque. Um esquema de toda a montagem desta instalação com os transmissores e softwares são mostrados na figura 24 a seguir.

Figura 24: Esquema representativo de montagem da instalação com os transmissores e softwares



Fonte: Próprio Autor

Estes itens descritos são mostrados respectivamente nas figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36.

Figura 25: Protótipo de uma Instalação Elevatória



Fonte: Próprio Autor

Figura 26: Tubulação de Sucção



Fonte: Próprio Autor

Figura 27: Detalhe de uma válvula de pé com crivo



Fonte: Próprio Autor

Figura 28: Bomba Hidrodinâmica



Fonte: Próprio Autor

Figura 29: Motor elétrico de acionamento da bomba



Fonte: Próprio Autor

Figura 30: Tubulação de recalque do projeto



Fonte: Próprio Autor

Figura 31: Reservatório do fluido



Fonte: Próprio Autor

Figura 32: Válvula de esfera de controle de fluxo no recalque



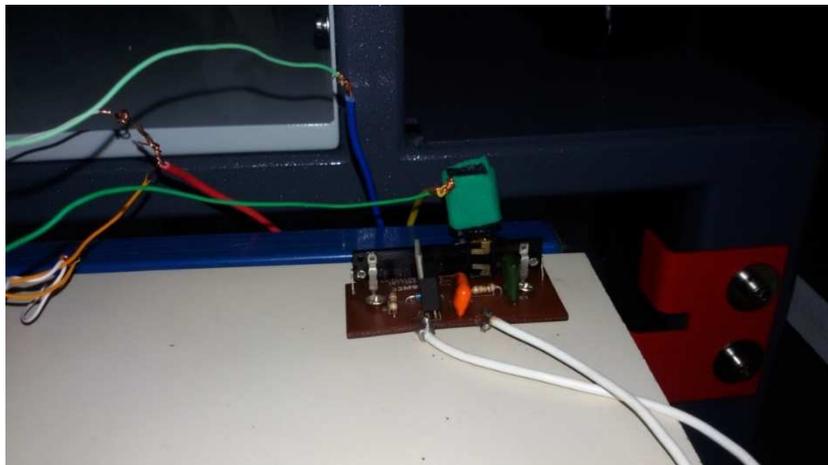
Fonte: Próprio Autor

Figura 33: Registro de gaveta para controle de fluxo na sucção



Fonte: Próprio Autor

Figura 34: Tiristor controlador de tensão



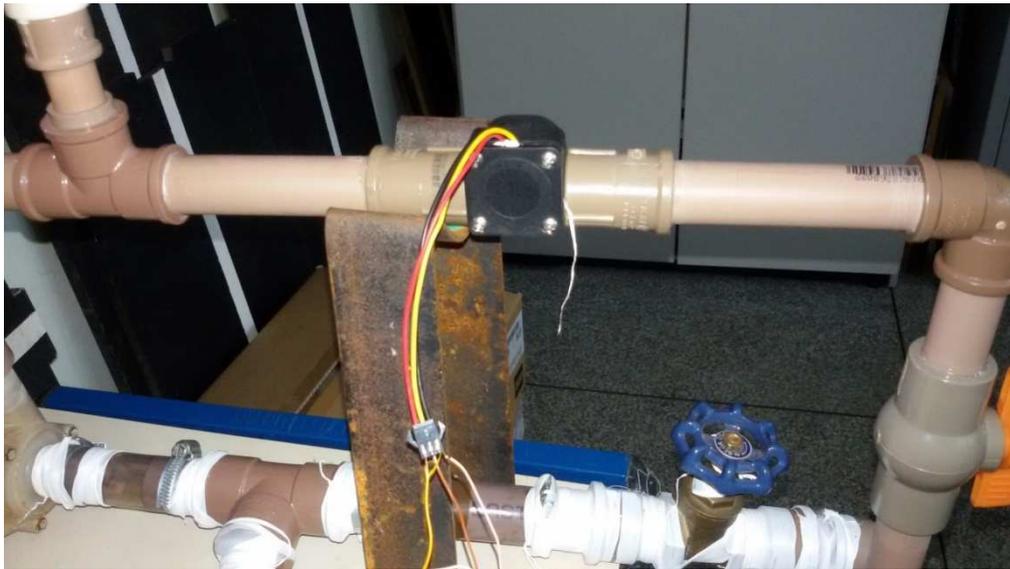
Fonte: Próprio Autor

Figura 35: Transmissor de Pressão utilizado no projeto



Fonte: Próprio Autor

Figura 36: Transmissor de Vazão utilizado no projeto



Fonte: Próprio Autor

O funcionamento básico da instalação elevatória é iniciado com a escorva da instalação. A escorva é o ato de eliminar o ar presente dentro de toda a tubulação com o preenchimento do fluido que irá circular nela. Fecha-se a válvula de esfera e através de um bocal de enchimento no recalque adiciona-se fluido até bolhas de ar deixarem de sair pelo bocal de enchimento. Fecha-se o bocal de enchimento e a seguir aciona-se o motor em uma rede elétrica de 127V. A bomba começa a succionar o líquido dentro do reservatório por diferença de pressão. Abre-se completamente a válvula de esfera e o líquido é conduzido através do rotor da bomba e deslocado para a tubulação de recalque, passando pelos dois transmissores descritos e retornará para o reservatório, iniciando novamente o ciclo. Em um contexto de aplicações industriais, este líquido seria recalcado e transmitido para um destino específico de um processo produtivo. No caso deste projeto, o líquido retorna ao reservatório, pois o objetivo é medir as variáveis de vazão e pressão do líquido.

Cabe observar que neste projeto foi considerado que as perdas de carga na sucção foram constantes para cada rotação utilizada, pois não alteramos a abertura de uma válvula instalada na sucção. Também consideramos, mesmo sabendo da inconsistência teórica disto, a altura manométrica como

sendo a pressão de descarga, sem somar as perdas de carga da sucção. Isso decorre principalmente do fato do vacuômetro instalado na sucção não estar devidamente calibrado. Para efeito de representações gráficas isso, no entanto, não interfere nos resultados.

#### 4.2.1. Conexão dos transmissores ao Controlador

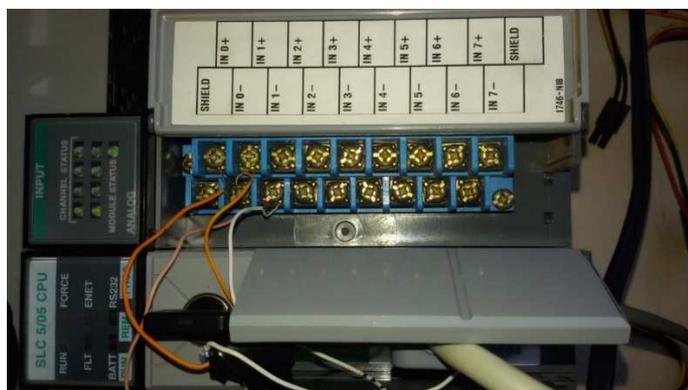
A segunda etapa do projeto começa pela conexão dos transmissores ao cartão de entrada do PLC SLC 500 que é energizado em 127V, localizando-se ao lado do protótipo. O PLC utilizado no projeto é mostrado na figura 37 e o cartão de entrada está indicado na figura 38.

Figura 37: PLC SLC 500 utilizado no projeto



Fonte: Próprio Autor

Figura 38: Cartão de entrada analógica do PLC SLC 500



Fonte: Próprio Autor

Este cartão utilizado no PLC possui a característica de reconhecer sinais de corrente de 0 à 20mA ou sinais de tensão de 0 à 10V. Neste sentido, o transmissor de pressão, por ter saída de 4 a 20mA, é conectado diretamente a ele, ao mesmo tempo que é alimentado por uma tensão de 24V. Já o transmissor de vazão, por possuir uma saída em frequência por efeito *Hall*, não pode ser conectado diretamente no cartão. Por isto houve a necessidade de ser criada uma placa de circuito eletrônico conversora de sinais de variação de frequência em variação de tensão.

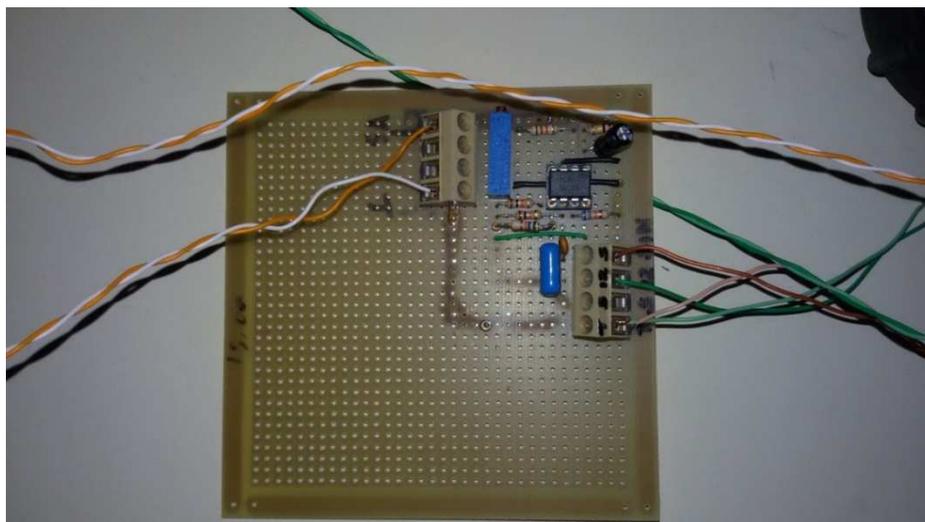
A placa de circuito eletrônica foi construída utilizando-se três capacitores, seis resistores e três componentes principais que foram um circuito integrado KA 331, um CI amplificador operacional 741 e um transistor BC 331, os quais convertem variação de frequência em variação de tensão. O fio do transmissor de vazão que contém o sinal de saída é conectado ao pino 1 do KA331 e o sinal de saída em tensão é obtido no pino do emissor do transistor. O transmissor de vazão é alimentado por uma fonte externa de 5V e este circuito um fonte chaveada de 12V. A figura 39 apresenta a fonte chaveada de 12V e a figura 40 o circuito eletrônico.

Figura 39: Fonte chaveada de 12V



Fonte: Próprio Autor

Figura 40: Placa do circuito eletrônico conversor



Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.2. Aquisição dos dados de pressão e vazão

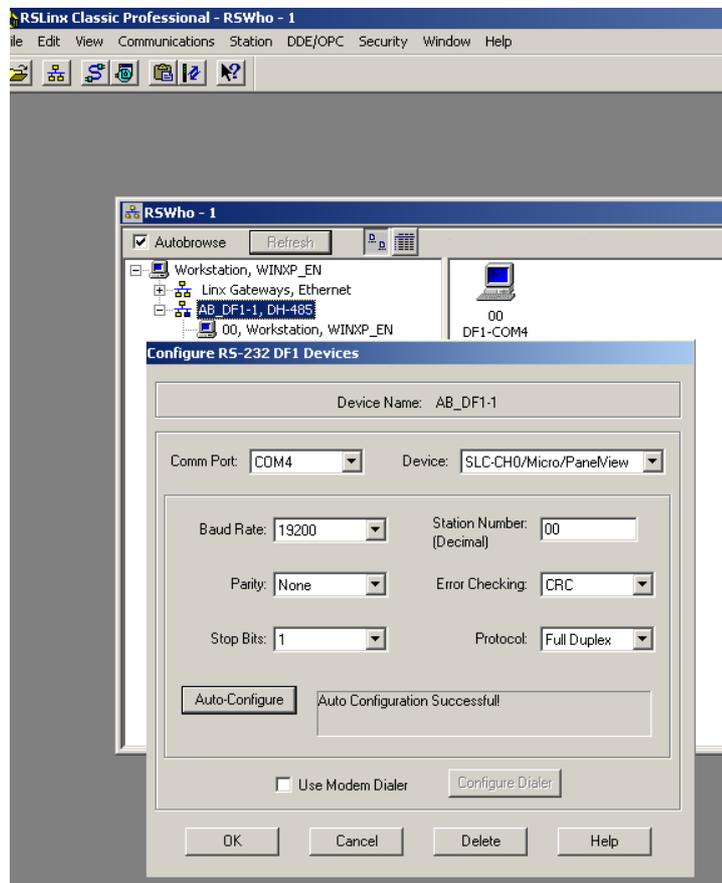
Nesta etapa, após a conexão física dos transmissores ao PLC, foram realizadas as conexões, via cabo serial RS-232, do PLC ao computador. A comunicação foi realizada na interface do software RSLinx, que faz a transmissão de dados entre PLC e computador. Utilizou-se também o RSLogix, no qual foi feita a programação de aquisição de dados, e também foram feitas as comunicações do RSLinx aos supervisórios utilizados neste projeto, que foram o InduSoft Web Studio®, o InTouch® HMI e o MsExcel®, com as funções de gerar gráficos de pressão versus vazão baseados nos dados recebidos.

##### 4.2.2.1. *Configurações no RSLinx e no RSLogix*

Primeiramente é acessado o RSLinx que é o responsável por realizar a comunicação entre computador e PLC e depois configurado o driver de comunicação serial AB\_DF-1, para que este fizesse a comunicação entre o computador e o PLC. Acessando o ícone “RSWho”, abre-se uma janela “RSWho-1” e após isso clicando-se com o botão direito do mouse no ícone “AB\_DF1-1, DH-485”, é aberta uma janela, na qual seleciona-se “Configure Driver”, e outra janela abre-se para configuração deste driver, onde são

selecionadas as opções “Auto-Configure” e Porta COM4 no item “Comm Port”, que é a porta que o cabo serial está conectado no computador. A figura 41 mostra esta janela aberta e configurada.

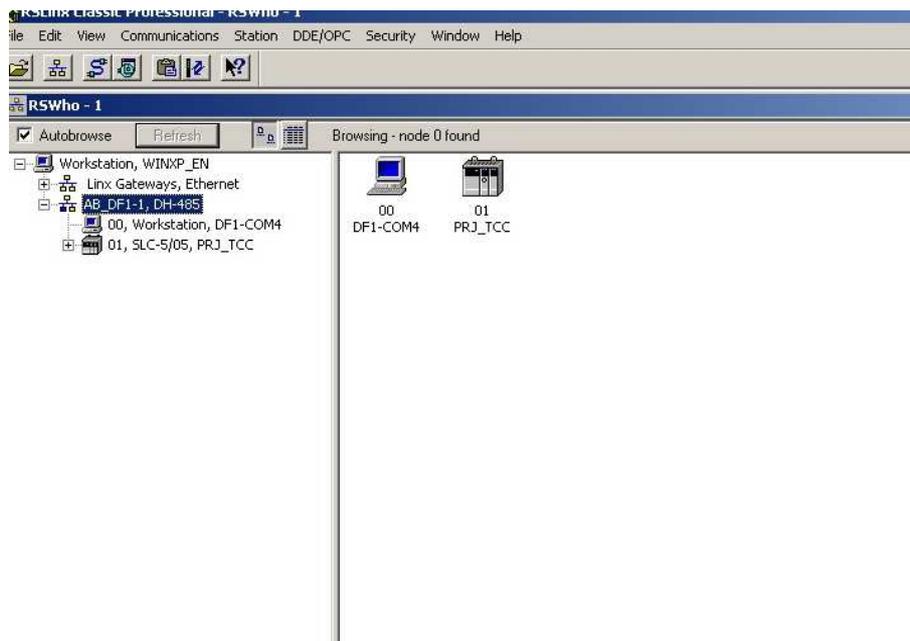
Figura 41: Janela de configuração do Driver AB\_DF1-1



Fonte: Próprio Autor

Após selecionado o “OK”, a comunicação bem-sucedida é representada pelo aparecimento do ícone “01PRJ\_TCC” como mostrado na figura 42.

Figura 42: Janela de confirmação de conexão bem-sucedida com o PLC



Fonte: Próprio Autor

A segunda etapa de configuração é a do RSLogix na qual são habilitadas as portas 1 e 2 do cartão de entrada, e criadas as variáveis de leitura F8:0 e F8:1, representando respectivamente a pressão e a vazão. Outros dados inseridos no RSLogix foram as faixas de valores que os transmissores captariam. No caso do transmissor de pressão, a faixa de valores foi de 0 a 6bar e para o transmissor de vazão foi de 0 a 12l/min. A figura 43 indica os diagramas em *ladder* de captura de dados e as faixas de valores dos dados vindos dos transmissores.

Figura 43:Indicação dos diagramas em *ladder* e a faixa de valores dos dados

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.0
	3352<
Input Min.	3277.0
	3277.0<
Input Max.	16384.0
	16384.0<
Scaled Min.	0.0
	0.0<
Scaled Max.	6.0
	6.0<
Output	F8:0
	0.0343328<

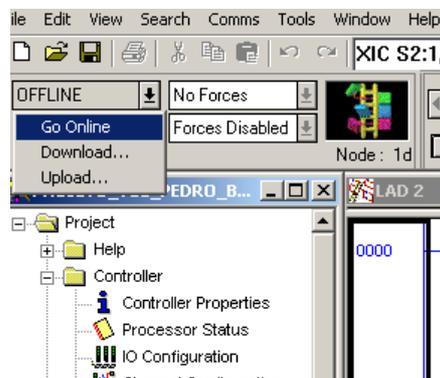
  

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.1
	32767<
Input Min.	0.0
	0.0<
Input Max.	32767.0
	32767.0<
Scaled Min.	0.0
	0.0<
Scaled Max.	12.0
	12.0<
Output	F8:1
	12.0<

Fonte: Próprio Autor

Após estas configurações e desenvolvimento dos diagramas, é acionada a opção “Go Online” no *RSLogix 500* para que o sistema inicie o processo de captura de dados. E após a conexão “Go OnLine” ser estabelecida, uma faixa verde é mostrada ao lado do diagrama indicando conexão estabelecida e dados sendo recebidos. A função Go Online ativada pode ser observada na figura 44 e a faixa verde de dados recebidos pode ser vista na figura 45.

Figura 44: Opção “Go Online” sendo ativada



Fonte: Próprio Autor

Figura 45: Faixa verde indicando conexão online estabelecida e dados sendo recebidos

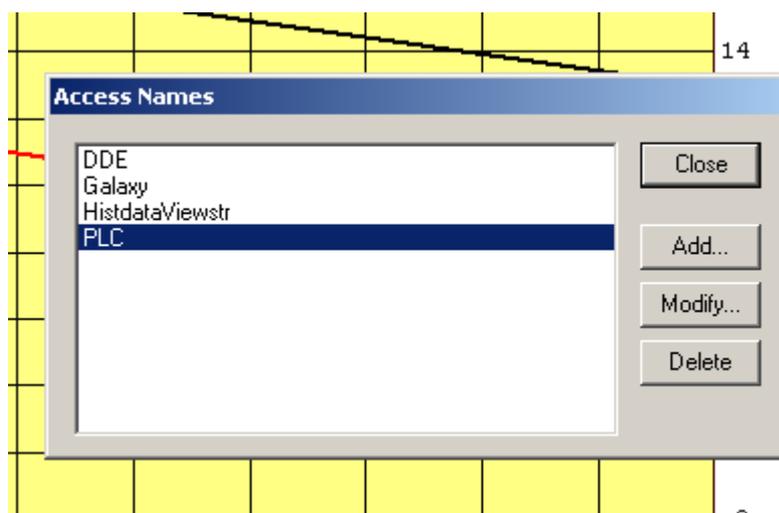


Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.2.2. Configuração de comunicação entre InTouch® HMI e RSLinx

No InTouch® HMI, para se configurar a conexão, primeiramente foi utilizada a ferramenta “Access Names”, para ser criado um nome de acesso “PLC”. A figura 46 indica a ferramenta acessada e o nome “PLC” já criado

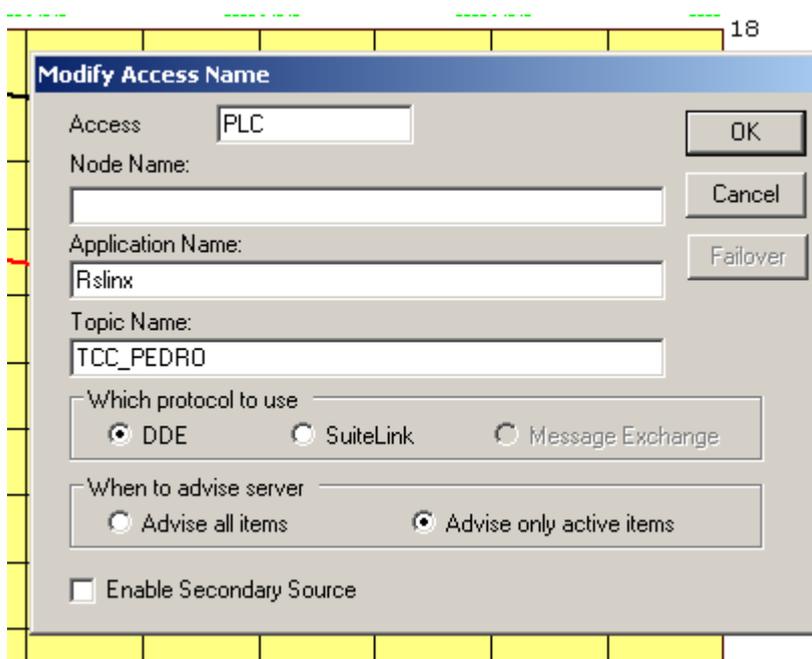
Figura 46: Access Names configurado com o nome PLC



Fonte: Próprio Autor

Em seguida clicou-se em “Add”, para que fosse acessada a janela “*Modify Access Name*”, e assim configurada a ligação entre o projeto do RSLinx “TCC\_PEDRO”, e o InTouch® HMI. E o último passo foi selecionar a opção de conexão DDE. A figura 47 mostra a janela “*Modify Access Name*” acessada e configurada conforme descrito.

Figura 47: *Modify Access Name* acessada e configurada

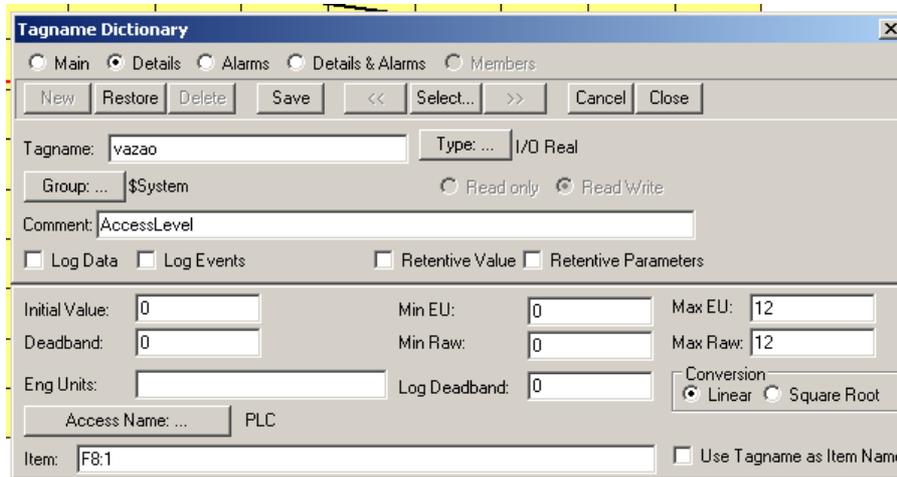


Fonte: Próprio Autor

Em uma segunda etapa foi acessada outra ferramenta chamada “*TagName Dictionary*”, onde foram criadas duas *tags*, sendo uma para pressão e uma para vazão. A tag é um tipo de variável pertencente a supervisórios, que tem a função de se associar a outro dado proveniente de outro programa ou de dentro do próprio supervisório. Para se configurar a tag vazão, foi criada um nome “vazão” no campo “*TagName*”, e depois selecionado o tipo de variável no campo “*Type*”, que neste caso foi do tipo “real”. O próximo passo foi escrever o nome da variável pertencente ao RsLogix no campo “*Item*” que neste caso foi “F8:1”, e em último lugar, nos campos “*Min EU*”, “*Max EU*”, “*Min Raw*” e “*Max Raw*”, foram inseridos os valores máximos e mínimos de vazão transmitida que eram de 0 e 12L/min. No caso da variável pressão, o passo anterior se repete, somente mudando nome de “vazão” para “pressão”, de “F8:1” para “F8:0” e a

faixa de valores de “0 a 12L/min” para “0 a 10bar”. A figura 48 mostra a janela de configuração da tag “vazão”.

Figura 48: Configuração da tag “vazão” no “Tagname Dictionary”

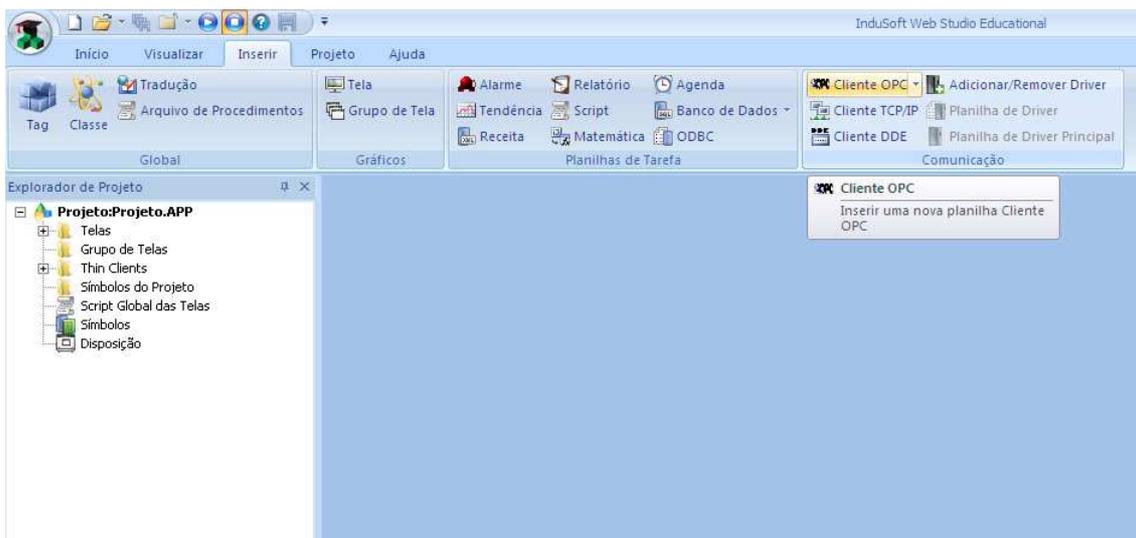


Fonte: Autor Próprio

#### 4.2.2.3. Configuração de comunicação entre Indusoft Web Studio® e RSLinx

Para realizar a configuração no Indusoft Web Studio®, primeiramente abre-se a tela inicial do mesmo, seleciona-se a aba “inserir”, em seguida a opção “Cliente OPC”. A figura 49 mostra a tela de acesso para este procedimento

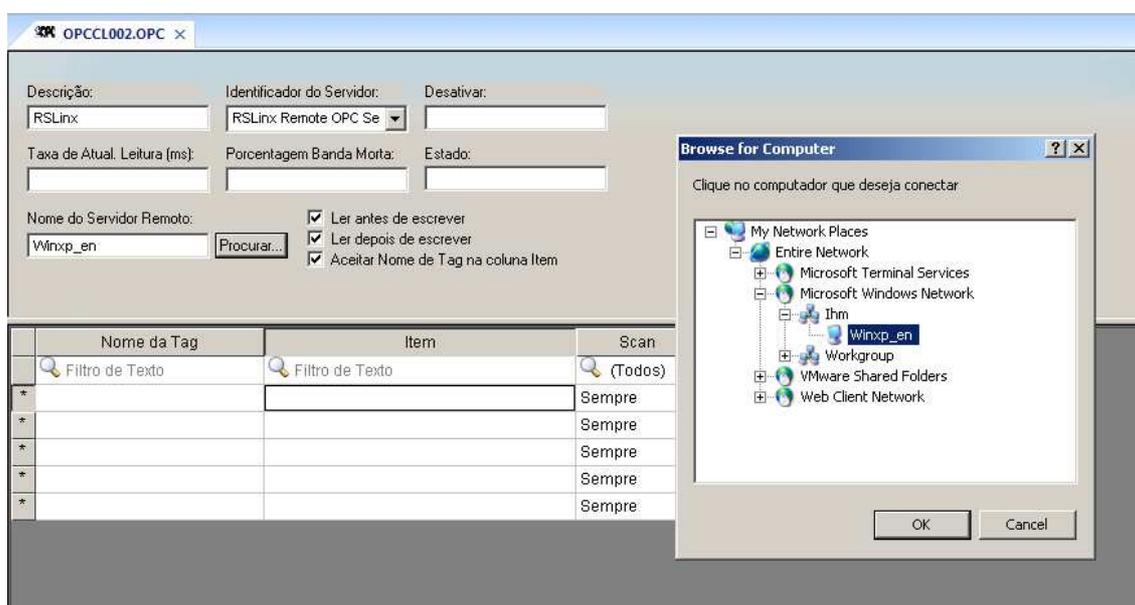
Figura 49: Tela inicial do Indusoft Web Studio® na aba “Inserir” mostrando a opção “Cliente OPC”



Fonte: Autor Próprio

Logo após, uma janela de opções se abre para que os parâmetros e as tag's sejam configuradas. No campo “Descrição” escolhe-se nome “RSLinx”, no campo “Identificador do servidor” seleciona-se “RSLinx Remote OPC Server” e no campo “Nome do Servidor Remoto”, deve-se apontar para o servidor utilizado, que neste caso é “Microsoft Windows Network”, no item “Ihm” e no subitem “Winxp\_en”. A figura 50 mostra apresenta a janela de configuração dos servidores OPC e do servidor Remoto

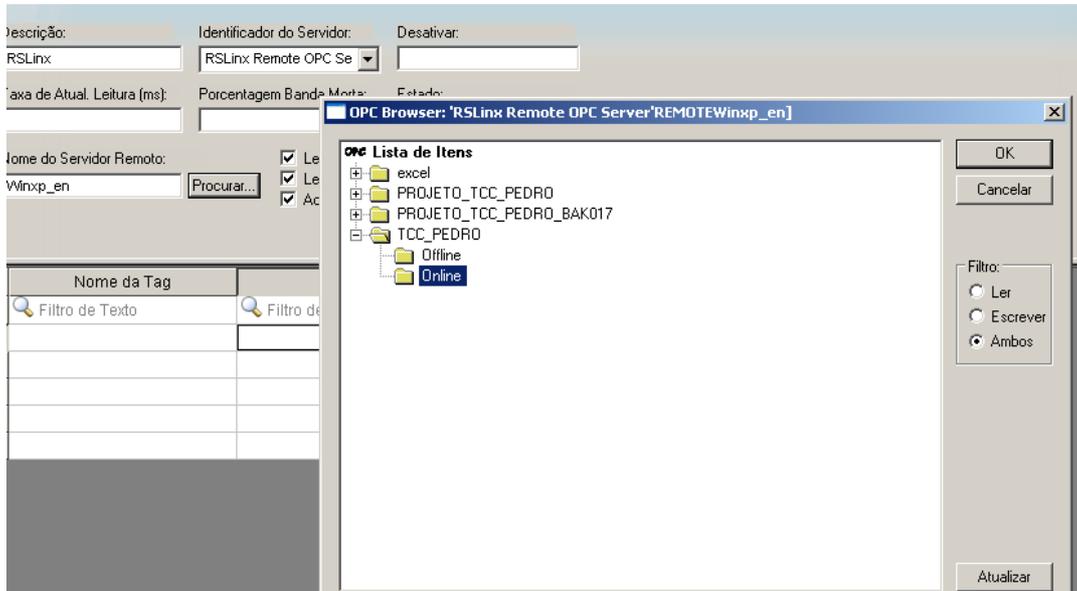
Figura 50: Janela de configuração dos servidores OPC e Remoto



Fonte: Autor Próprio

Para serem configuradas as tag's de pressão e vazão, deve-se clicar no campo “item”, que abrirá uma janela para que as variáveis no RSLinx, F8:0 e F8:1, sejam direcionadas para o Indusoft Web Studio®. A figura 51 mostra a janela aberta sendo direcionada às variáveis no RSLinx no servidor “Winxp\_en”.

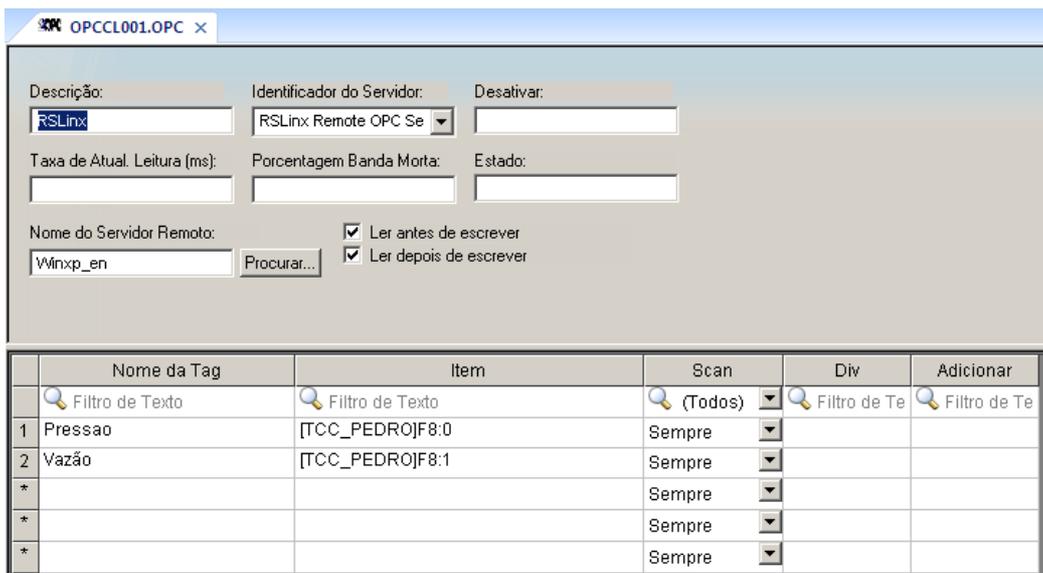
Figura 51: Campo “Item” sendo direcionado para o local das variáveis no RSLinx



Fonte: Autor Próprio

Após este procedimento pode-se observar na figura 52, nos campos “Item 1 e 2” as “tag’s” de pressão e vazão, representadas respectivamente pelas variáveis F8:0 e F8:1, do RSLinx, direcionadas para o software Indusoft Web Studio®.

Figura 52: Tags de pressão e vazão direcionadas para dentro do Indusoft Web Studio®

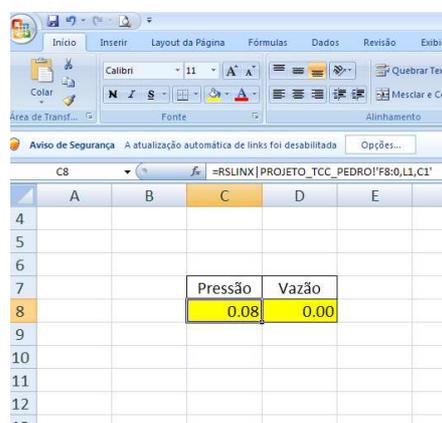


Fonte: Autor Próprio

#### 4.2.2.4. Configuração de comunicação entre MsExcel® e RSLinx

Para se comunicar RSLinx e MsExcel®, o primeiro passo foi acessar o RSLinx e dentro da sua interface, clicar com o botão direito do mouse no ícone “01PRJ\_TCC” como mostrado na figura 39 e selecionar a opção “Data Monitor”, o que abrirá uma primeira janela “Data Table Monitor”, após isso deve-se clicar na última linha onde está o F8, o que abrirá uma segunda janela “SLC 5/05: Data File F8” mostrando os canais 0 e 1, ou seja F8:0 e F8:1, respectivamente pressão e vazão variando de modo online. Selecionando-se os canais 0 ou 1, é mostrada uma terceira e última janela denominada “Copy DDE/OPC Link” que gerará o endereço para que este dado seja capturado. Selecionando-se a opção “OK”, o endereço será copiado para uma área de transferência, que neste caso será o MsExcel®. Acessando-se um arquivo novo do MsExcel®, escolhe-se duas células quaisquer para transferência de dados dos canais 0 e 1, que no caso deste projeto foram as células C8 para pressão e D8 para vazão. Com o botão direito do mouse, em uma das células, seleciona-se a opção “colar especial”, e na janela que se abre, deve-se selecionar “colar com vínculo”. Deste ponto em diante a comunicação entre MsExcel® e RSLinx está realizada e os dados sendo transmitidos de modo online. A figura 53 indica as células C8 e D8, com os valores de pressão e vazão associadas a elas, e indica também no campo de edição “fx” o endereço de origem dos dados F8:0, que é denominado por “RSLINX|PROJETO\_TCC\_PEDRO!F8:0,L1,C1”.

Figura 53: Células C8 e D8 recebendo valores de F8:0 e F8:1 e o campo “fx” mostrando o endereço de origem de dados da pressão



	A	B	C	D	E
4					
5					
6					
7			Pressão	Vazão	
8			0.08	0.00	
9					
10					
11					
12					

Fonte: Próprio Autor

### 4.3. Metodologia dos ensaios

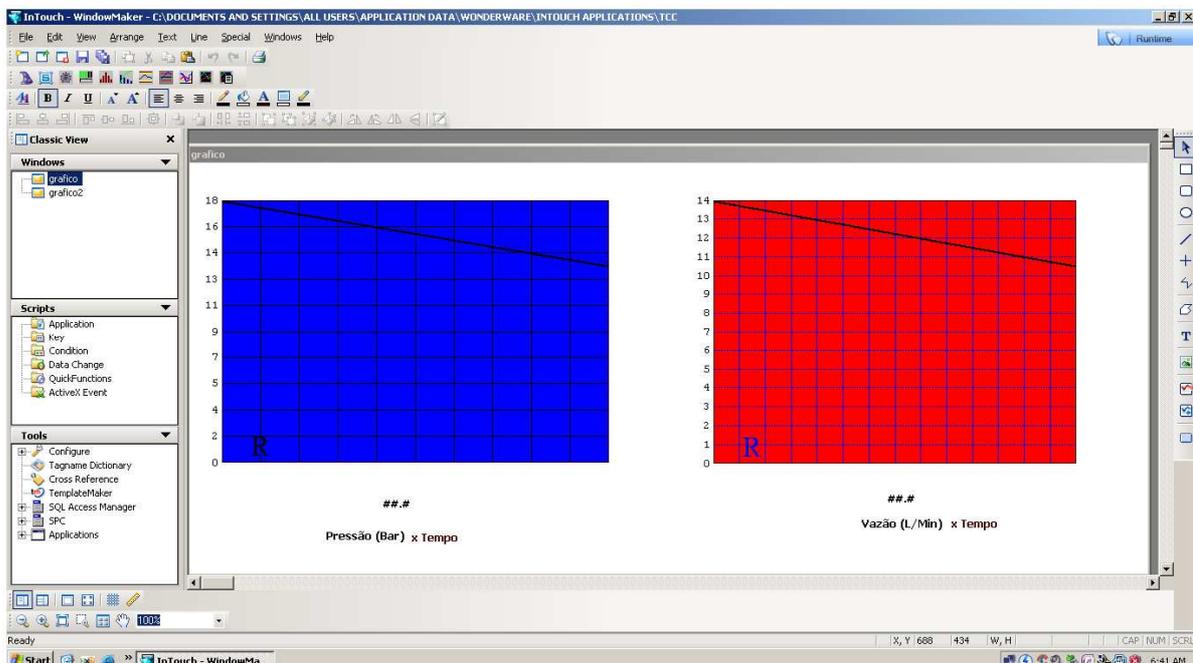
Os procedimentos operacionais para obtenção das curvas de desempenho do sistema de bombeamento estão descritos nesta seção.

Para ser gerada a curva característica da bomba, que é o gráfico de pressão versus vazão, inicialmente utilizou-se o software InTouch®, depois o Indusoft Web Studio® e depois o MsExcel®. Antes de ser iniciado o processo de formação das curvas, foram configurados gráficos de aquisição de dados nos três supervisórios

#### 4.3.1. Criação de gráficos no InTouch®IHM

O gráfico no InTouch®IHM foi construído selecionando-se a ferramenta Real-time Trend duas vezes, uma para criar o gráfico de pressão versus tempo e a outra para criar o gráfico de vazão versus tempo. A figura 54 mostra os dois gráficos criados na área de edição do software.

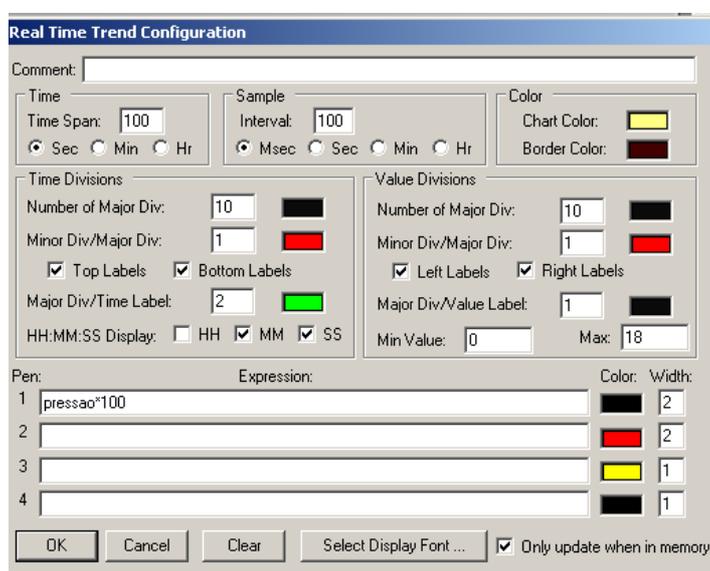
Figura 54: Gráficos de pressão e vazão em função do tempo em modo de edição



Fonte: Próprio Autor

Para se configurar as faixas de valores nos eixos verticais do gráfico, é clicado com o botão direito do mouse em cima de cada gráfico e selecionada a opção propriedades. A janela denominada “*Real Time Trend Configuration*” oferece as opções de configuração de faixa de valores e cores de preenchimento e oferece também a opção no campo “Pen1” que é onde se clica duas vezes e uma lista de *tag’s* existentes se apresentará e a *tag* criada nos procedimentos anteriores será selecionada e direcionada para este campo. A figura 55 apresenta esta janela com as opções de configurações de faixa de valores, cores e *tag’s*

Figura 55: Janela de configuração de faixa de valores, cores de preenchimento e *tag’s* no campo “Pen1”



Fonte: Próprio Autor

#### 4.3.2. Criação de gráficos no Indusoft Web Studio®

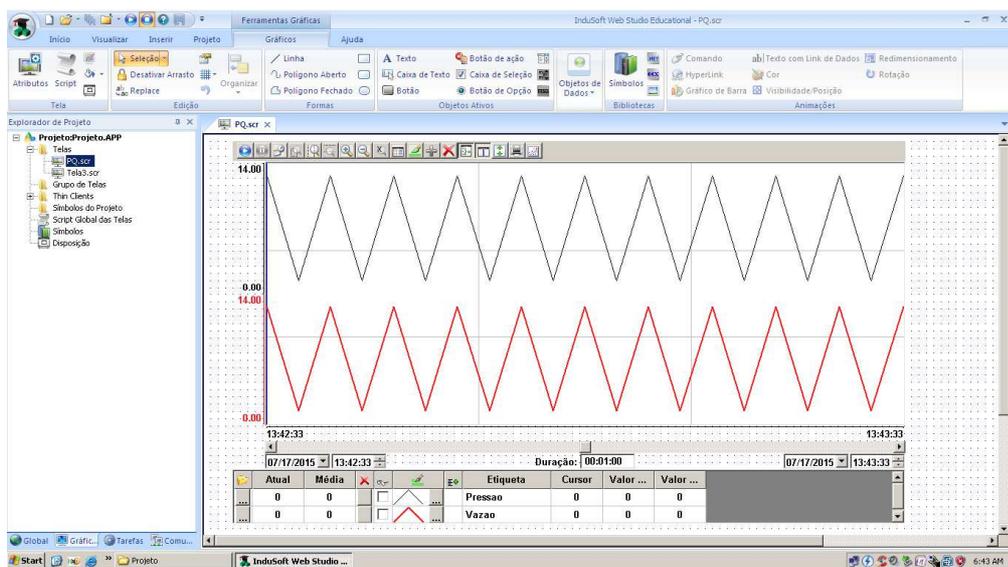
O gráfico no Indusoft Web Studio® foi construído selecionando-se a aba “Gráficos” em seguida a opção “Objetos de dados”, e depois a ferramenta “Tendência”. A figura 56 mostra este procedimento de seleção sendo realizado e a figura 57 indica o gráfico criado na área de edição do software.

Figura 56: Gráfico do procedimento de seleção da ferramenta “Tendência”



Fonte: Próprio Autor

Figura 57: Gráfico criado na área de edição do InduSoft Web Studio®



Fonte: Próprio Autor

O próximo passo é clicar duas vezes na área do gráfico para que a opção de “Propriedades do Objeto” seja acessada e as configurações de faixa de valores, tag’s e cores de preenchimento sejam alteradas de acordo com o projeto. Esta opção de “Propriedades do Objeto” pode ser vista na figura 58.

Figura 58: Janela “Propriedades do Objeto” para ser configurada



Fonte: Próprio autor

Acessando-se a opção “Pontos”, uma janela se abre com mais opções de configurações tais como nome da variável, cores de preenchimento, escalas e escolha da tag. Clicando-se no campo “Tag/Campo”, uma lista de tag’s criadas será aberta, e então poderá ser visualizada e selecionada as tag’s de pressão e vazão para este campo. A figura 59 mostra a janela na qual pode se fazer estas configurações.

Figura 59: Janela de configuração de nomes de variáveis, cores de preenchimento e seleção de tag’s

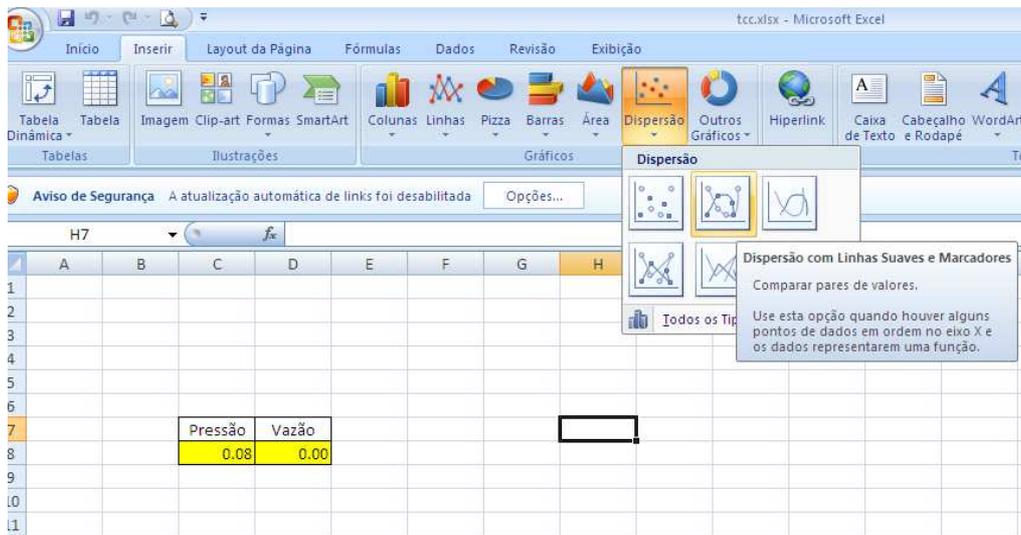


Fonte: Próprio Autor

#### 4.3.3. Criação de gráficos no MsExcel®

Uma outra opção avaliada foi utilizar o MsExcel®, na versão 2007, para realizar a criação da curva característica, conforme modelos apresentados por diversos fabricantes. Para que ele realizasse a curva, primeiramente foi criada uma nova planilha e na opção “inserir gráficos”, selecionada “dispersão com linhas suaves de tendência”, e este gráfico foi associado com as duas colunas, “C” e “D” que receberiam os dados de pressão e vazão do PLC. A figura 60 mostra como foi selecionado o gráfico de dispersão com linhas de tendência.

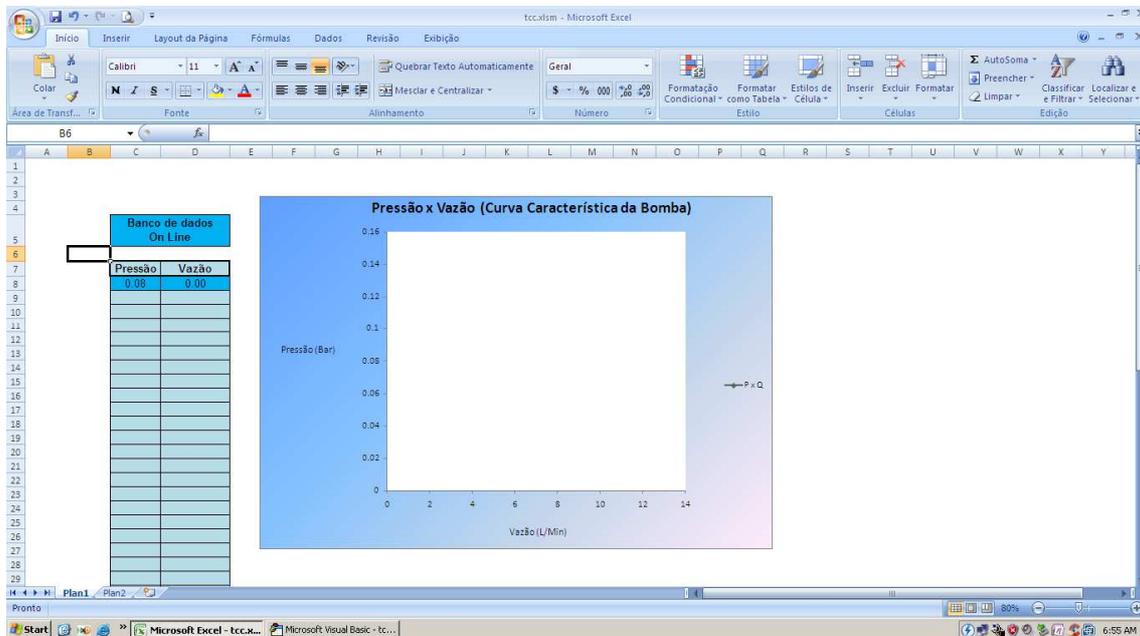
Figura 60: Modo de seleção do gráfico de dispersão de linhas de tendências



Fonte: Próprio Autor

A figura 61 mostra a configuração do gráfico de pressão *versus* vazão escolhida e as colunas preparadas para recebimento dos valores de pressão e vazão provenientes do PLC.

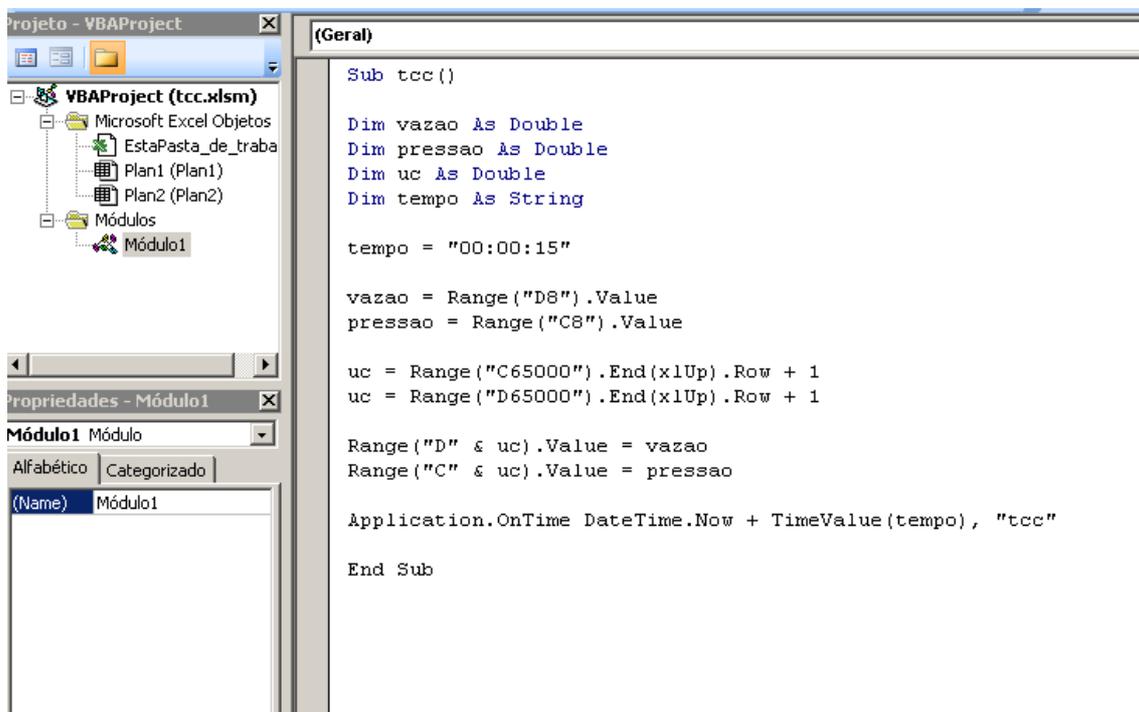
Figura 61: Configuração do gráfico de pressão *versus* vazão e das colunas C e D para recebimento de valores



Fonte: Próprio Autor

Após a criação e associação deste gráfico às colunas de dados foi desenvolvida uma “Macro” no software MsExcel®, para que por meio dela, os dados recebidos fossem sendo armazenados da linha 9 em diante, e com isso fosse possível serem criadas um banco de dados em duas colunas com vários valores de pressão e vazão. Uma observação a ser feita é que Macro é uma ferramenta de programação disponibilizada dentro do MsExcel® para criar sequências de comandos lógicos para que estes possam manipular dados dentro das planilhas. Para se ter acesso à área de programação da Macro, deve clicar nas teclas “Alt e F11” simultaneamente. Como descrito, o comando lógico criado na macro teve o objetivo de acumular dados de pressão e vazão da linha 9 em diante em um tempo de amostragem de livre escolha no programa. A figura 62 apresenta como é a interface de programação de um ambiente Macro e o código da programação realizado.

Figura 62: Ambiente de programação de uma Macro e o código de armazenamento de dados



Fonte: Próprio Autor

#### 4.3.4. Definição do número de Rotações da bomba

Outro dado medido no experimento foi o número de rotações por minuto (rpm) da bomba. Este dado é importante porque para cada valor de rotação há uma curva característica diferente para a bomba.

Para variar a rotação, foi usado o tiristor controlador de tensão, mostrado na figura 34, que tem a função de limitar o valor da tensão média eficaz proveniente da rede elétrica que chega até o motor de corrente contínua. E pode ser observado também que no eixo do motor foi conectado uma ventoinha para que por meio desta pudesse ser observada a rotação deste eixo. A figura 29 mostra a ventoinha conectada ao motor elétrico girando.

E para medir a rotação do eixo do motor foi utilizado um tacômetro digital. A figura 63 mostra o Tacômetro digital utilizado na medição.

Figura 63: Tacômetro Digital



Fonte: Próprio Autor

O tacômetro digital é um instrumento que possui uma ponta de prova a qual é colocada em contato com o objeto girante para que os dois girem ao mesmo tempo, e desse modo indique no display a rotação do objeto. A ponta de prova foi conectada no centro da ventoinha e apresentou o valor de máxima rotação de 3.048rpm. A figura 64 ilustra o uso do tacômetro digital para medir a rotação da bomba.

Figura 64: Medida de 3.048rpm realizada com o Tacômetro digital



Fonte: Próprio Autor

Foi realizada outra medição com a rotação reduzida, para que houvesse geração de uma curva diferente no experimento. E um valor de rotação reduzido escolhido para esta nova curva foi de 1.651rpm. A figura 65 ilustra a nova medição sendo realizada para se formar nova curva.

Figura 65: Medição realizada com o Tacômetro Digital de 1.651rpm



Fonte: Próprio Autor

#### 4.3.5. Realização dos ensaios

Após estas configurações de comunicação entre supervisórios e PLC e a definição de dois valores de rotação para geração de curvas diferentes, será mostrado como foi feito o ensaio. Para os ensaios se estabeleceu dois valores de rotação, um em 3048rpm para o primeiro ensaio e o outro em 1651rpm, e após isso a formação da curva se dá pelo fechamento progressivo da válvula de esfera instalada na tubulação de recalque, que aumenta a resistência ao escoamento (pressão), gerando a redução da vazão do líquido. A figura 66 mostra a válvula na cor laranja que é manipulada no sentido horário para que esta se feche.

Figura 66: Indicação da válvula de esfera na cor laranja



Fonte: Próprio Autor

## 5. RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

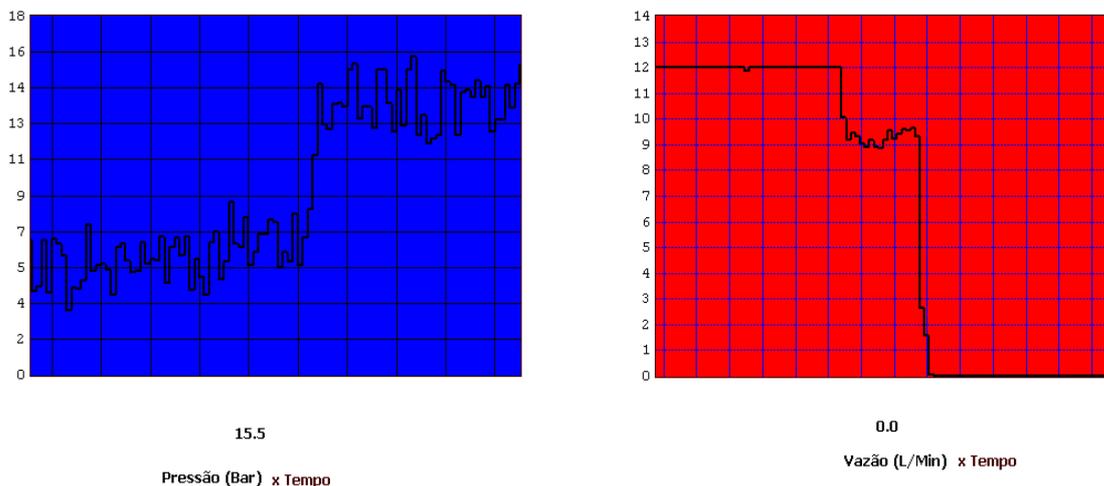
### 5.1. Resultados obtidos nos ensaios

A seguir estão apresentados os gráficos, que foram descritos e configurados anteriormente, das curvas geradas nos ensaios.

#### 5.1.1. Gráfico gerado no InTouch® HMI:

O gráfico a seguir foi originado do ensaio em 3048rpm da bomba hidrodinâmica, no qual é mostrado pressão e vazão em função do tempo. A figura 67 mostra o gráfico na cor azul representando a pressão variando em uma faixa de 0 a 0.18bar, sendo que os valores estão multiplicados por 100, e o gráfico vermelho indicando a vazão variando em uma faixa de 0 a 12L/min sem multiplicador. Os dois gráficos mostram de forma bem clara que a medida que a pressão aumenta, a vazão diminui. Pode se observar que no tempo inicial “zero”, antes de a válvula ser fechada, a pressão na instalação é mínima e vazão é máxima, e no final com a válvula fechada, a pressão é máxima e a vazão é zero.

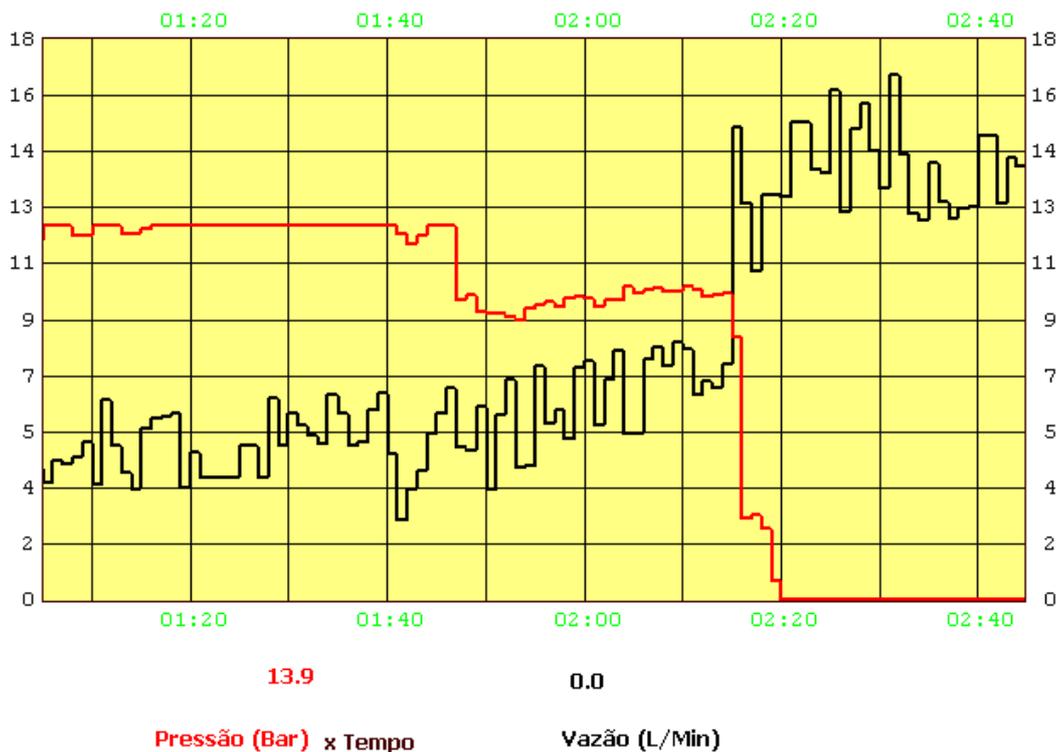
Figura 67: Gráfico da Vazão e da Pressão em função do tempo



Fonte: Próprio Autor

O gráfico apresentado na figura 68 mostra a pressão e a vazão em um mesmo eixo variando com o tempo. Nele pode-se ver a linha vermelha indicando a pressão e a linha preta indicando a vazão, e o resultado mostra a redução da vazão com o aumento da pressão.

Figura 68: Gráfico de Vazão e Pressão em função do tempo

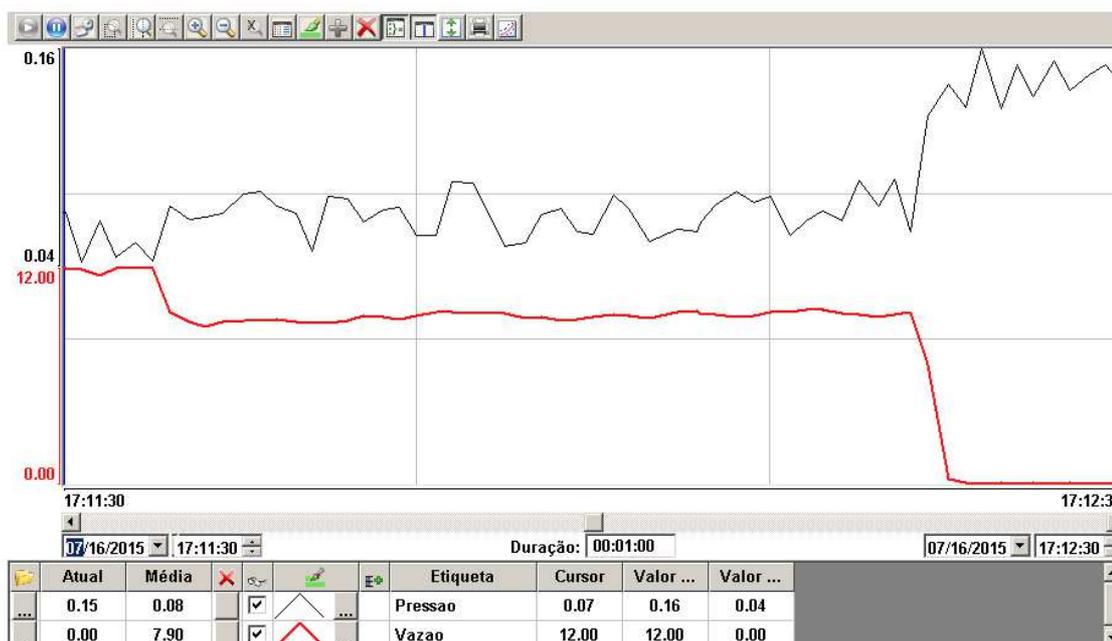


Fonte: Próprio Autor

### 5.1.2. Gráfico gerado no InduSoft Web Studio®

O gráfico da figura 69 mostra a pressão e a vazão variando no mesmo eixo em função do tempo, no qual a linha preta representa a pressão e a linha vermelha a vazão. Este ensaio também foi em 3048rpm, com a válvula de esfera da figura 66 sendo fechada no sentido horário, e o resultado foi apresentado na figura 69 de forma bem visível com a vazão reduzindo em função do aumento da pressão.

Figura 69: Gráfico de pressão e vazão em função do tempo



Fonte: Próprio Autor

### 5.1.3. Geração do gráfico no MsExcel®:

No MsExcel® foram realizados dois ensaios, sendo o primeiro com a bomba à máxima rotação em 3048rpm e o segundo com a bomba em rotação reduzida em 1651rpm. Deve-se relembrar que neste supervisor foi possível traçar a curva de pressão x vazão.

#### 5.1.3.1. *Ensaio à máxima rotação*

Fechando-se lentamente a válvula de esfera da figura 63, pode-se observar a formação da curva característica desta bomba hidrodinâmica. E esta curva pode ser vista na figura 70.





Outro resultado observado nestes experimentos foi a extrema sensibilidade de captura de sinais dos dois transmissores. A vantagem desta sensibilidade foi o fato de ela ter permitido coletar dados com muita precisão, entretanto a desvantagem foi não poder eliminar as oscilações resultantes disso. Contudo, houve a tentativa de modificá-la, mas não houve sucesso nisto. Nas figuras 64, 65, 66, 67 e 68 são percebidas que a variação de valores é muito grande, criando várias oscilações nas curvas. No entanto, apesar de ter existido oscilações, o princípio teórico se manteve o mesmo, mostrando que enquanto a pressão aumenta, vazão é reduzida, e que mesmo assim as curvas traçadas não perderam sua característica.

## 6. CONCLUSÕES

Pode-se observar que a curva característica foi traçada de modo online alcançando o objetivo almejado e, conseqüentemente, comprovou-se a coerência do formato da mesma com o aspecto teórico de bombas. E isso faz deste projeto de pesquisa apto para ser utilizado em construção de curvas características de outras bombas também em tempo real.

Nesse sentido o uso deste método de obtenção da curva característica pode ser útil àquelas empresas que possuem bombas hidrodinâmicas em seus processos produtivos e que pretendem manter uma rotina de inspeção nestas bombas para avaliar se elas estão operando dentro dos padrões do fabricante e conseqüentemente sendo eficientes no processo.

Uma outra inferência para este projeto foi evidenciar que dois importantes softwares supervisórios utilizados na indústria apresentaram limitações quanto à criação de gráficos, o que levou a se optar por um software que não tem um perfil de supervisório industrial, mas que atendeu à demanda da proposta deste trabalho.

Modelos capazes de serem avaliados instantaneamente devem ser implantados, uma vez que as alterações nos pontos operacionais do sistema tornam-se cada vez mais frequentes com a automatização dos processos, seja por válvulas instaladas no recalque, seja por alteração na rotação dos motores de acionamentos.

## 7. REFERÊNCIAS

BEGA, E. Instrumentação Industrial. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006, p. 460-472.

Bomba Centrífuga. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_centric%C3%ADfuga](http://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_centric%C3%ADfuga)> Acesso em 05 Abril 2015.

CARVALHO, Djalma F. Instalações Elevatórias: Bombas. 2.ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Civil – IPUC, 1979.

DA SILVA, Marcos Antônio. Manual de treinamento: Seleção e Aplicação de Bombas Centrífugas. 5 ed [s.l.] KSB Bombas Hidráulicas, 2003.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO Valter Luís A. de Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos. 2 ed. São Paulo, 2013.

LINHARES, Alexandre. Princípios de Mecânicas dos Fluidos. Araxá [s.n.], 2008

MACINTYRE, Archibald J. Bombas e Instalações de bombeamento 2. Ed Rio de Janeiro, 1997.

OLIVEIRA, Humberto B.; LINHARES Alexandre; COSTA JUNIOR, Ezequiel de S. C. Apostila de Instalações Elevatórias e Bombas. Araxá [s.n.], 2011.

Sensor de Vazão de Líquido. Disponível em:

<http://www.webtronico.com/sensor-de-vaz-o-de-liquido.html> Acesso em 10 Maio 2015.

Transmissores de Pressão. Disponível em:

<[http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores\\_de\\_Pressao/PSI.420.DIF.pdf](http://www.zurichpt.com.br/images/pdf/Transmissores_de_Pressao/PSI.420.DIF.pdf)> Acesso em 13 maio 2015.