



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ-MG

NILSON ANTONIO DE SOUZA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE VARIADOR
HIDRÁULICO DE VELOCIDADE

ARAXÁ/MG

2016

NILSON ANTONIO DE SOUZA

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE VARIADOR
HIDRÁULICO DE VELOCIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial

Orientador: Prof. Me. Luis Paulo Fagundes.

ARAXÁ/MG

2016

ATA DE APROVAÇÃO

NILSON ANTONIO DE SOUZA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE VARIADOR HIDRÁULICO DE VELOCIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Data de defesa perante a banca examinadora: Araxá, 21 de junho de 2016.

Presidente e Orientador: Prof. Me. Luis Paulo Fagundes, Mestre

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. Dr. Admilson Vieira da Costa

Universidade Federal de Uberlândia

Membro Titular: Prof. Jean Carlos de Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

*Aos meus familiares, aos amigos e, principalmente
à minha esposa e às minhas duas filhas, que sempre
me incentivaram e são as minhas fontes de inspiração.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade a mim conferida, pela saúde e pelo equilíbrio para que eu pudesse manter o foco para realizar um grande sonho.

À minha esposa Rita de Cássia e às minhas filhas Marina Souza e Amanda Souza, que sempre me apoiaram.

Aos meus familiares e amigos pelo incentivo.

A todos os professores do CEFET-MG campus IV unidade Araxá, sem exceção, que foram para mim exemplos.

RESUMO

A busca por maior eficiência no processo, maior produtividade e menor custo são objetivos ou metas de empresas que querem consolidar seu nome no mercado. Em vista disso, neste trabalho focaliza-se a substituição de um circuito eletrônico de controle dedicado obsoleto, utilizado em variadores de velocidade hidráulico, os quais têm por função posicionar um pescador acoplado a uma haste de um cilindro hidráulico no interior do acoplador hidráulico e, conseqüentemente, controlar a velocidade de saída. Isso seria possível sem investimentos em novos equipamentos, aplicando uma solução e utilizando equipamentos já instalados e utilizados na empresa. Uma possível alternativa para isso é a utilização do Controlador Lógico Programável – CLP – empregando a linguagem LADDER para realizar o controle do sistema; alternativa essa que se constitui enquanto objetivo geral deste trabalho. Sendo assim, para o controle do referido pescador, pretende-se utilizar a válvula solenoide e o cilindro hidráulico existentes no sistema atual para o acionamento do sistema. Diante o exposto, o manual técnico de alguns fabricantes de variador de velocidade hidráulico, bem como trabalhos realizados em meio acadêmico e dados levantados através da experiência, com a aplicação dos referidos variadores, são utilizados como referências teóricas. Logo, eliminar equipamentos de controle obsoletos, reduzir necessidades de sobressalentes, manter ou melhorar a eficiência de controle e agilizar o ajuste do sistema de controle são ganhos esperados com a aplicação deste trabalho. O sistema que se pretende criar a partir deste estudo poderá ser aplicado em empresas que utilizam o Controlador Lógico Programável, em um parque de variadores hidráulicos de velocidade instalado há mais tempo, como uma solução eficiente e de baixo custo de implantação.

Palavras-chave: Controle. Variador Hidráulico. Velocidade.

ABSTRACT

The search for greater efficiency in the process, higher productivity and lower cost are goals or targets companies that want to consolidate their name in the market. As above, this paper aim to replace an electronic circuit dedicated obsolete control used in variable hydraulic speed, which have the function of positioning a rod of a hydraulic cylinder within the fluid coupling, and consequently, control the output speed. This would be possible without investments in new equipment, applying a solution and using equipment already installed and used in the company. A possible alternative would be the use of Programmable Logic Controller - PLC - using the ladder diagram to program the control system; this alternative is the aim of this project. So, for the control of rod intends to use the existing solenoid and hydraulic cylinder in the present system for the valve drive system. Faced with the above, the technical manual of some inverter manufacturers of hydraulic speed as well as work carried out in academia and data collected through experience with the application of these drives are used as theoretical references. Therefore, eliminate obsolete control equipment, reduce spare requirements, maintain or improve control efficiency and speed control system setting are expected gains from the implementation of this project. The system developed during this study would be applied to companies that use the programmable logic controller, in a park of hydraulic variable speed drives installed for some time, as an effective solution and low cost deployment.

Keywords: Control. Variator Hydraulic. Speed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de um CLP comercial.	17
Figura 2: Fonte de alimentação de CLP	18
Figura 3: Módulo de comunicação Ethernet de CLP	19
Figura 4: Back plane de um CLP	20
Figura 5: CLP linguagem <i>Ladder</i>	22
Figura 6: Contatos elétricos e linguagem <i>Ladder</i>	23
Figura 7: Entrada digital VDC típica.	24
Figura 8: Saídas digitais típicas de CLP.....	25
Figura 9: Módulo RTD.....	26
Figura 10: Esquema de interligações módulo RTD	27
Figura 11: Sistema com variador hidráulico de velocidade.....	28
Figura 12: Motor, variador de velocidade hidráulico, redutor.	29
Figura 13: Partes do acoplamento hidráulico.	30
Figura 14: Vista em 3D em corte do acoplamento hidrodinâmico.	31
Figura 15: Gráfico potência x escorregamento para equipamentos centrífugos.	32
Figura 16: Curvas características torque em função da rotação.....	33
Figura 17: Válvula de controle direcional.	35
Figura 18: Representação de acordo com o número de posições.....	36
Figura 19: Número de vias e sentido do fluxo.	37
Figura 20: Identificação numérica dos orifícios.	37
Figura 21: Fotos de cilindros e simbologia.	39
Figura 22: Sensores de temperatura PT100.....	40
Figura 23: Controlador eletrônico dedicado.	44
Figura 24: Malha 1 linguagem de contatos	45
Figura 25: Malha 2 linguagem de contatos	47
Figura 26: Malha 3 linguagem de contatos	48
Figura 27: Interligações do sistema com controlador eletrônico dedicado	48
Figura 28: Interligações do novo sistema	49
Figura 29: Interligações do novo sistema.....	50
Figura 30: Controle inicial em automático do sistema com controle dedicado	53
Figura 31: Controle em automático sistema com controle dedicado	53
Figura 32: Controle em automático sistema com controle dedicado	54
Figura 33: Controle em automático do novo sistema.....	55
Figura 34: Controle em automático do novo sistema.....	55
Figura 35: Controle em automático através do sistema com controle dedicado.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Temperatura em °C em relação a resistência ôhmica	40
Tabela 2: Simulação e teste do sistema instalado	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Temperatura em °C em relação a resistência ôhmica	42
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável.
CPU	Unidade Central de Processamento.
RTD	Detector de Temperatura pela Resistência.
VAC	Tensão em Corrente Alternada.
VCC	Tensão em Corrente Contínua.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Controlador Lógico Programável.....	16
2.1.1 Princípio de funcionamento	17
2.1.2 Fonte de alimentação	18
2.1.3 CPU	18
2.1.4 Base ou Rack.....	19
2.1.6 Memória do programa	20
2.1.7 Linguagens de programação de CLP	21
2.1.8 Módulos de entradas e saídas (I/O)	23
2.1.9 Módulo Detector de Temperatura por resistência (RTD)	25
2.2 Variador de velocidade hidráulico	27
2.2.1 Princípio de funcionamento do variador de velocidade hidráulico	29
2.2.2 Curvas características do variador de velocidade hidráulico	32
2.2.3 Aplicação de variadores de velocidade hidráulicos	33
2.2.4 Vantagens na aplicação de variadores de velocidade hidráulicos	34
2.2.5 Características construtivas dos variadores de velocidade hidráulicos	34
2.3 Válvula de controle direcional	35
2.3.1 Posições da válvula de controle direcional	36
2.3.2 Vias da válvula de controle direcional.....	36
2.3.3 Identificação dos orifícios da válvula	37
2.3.4 Tipos de acionamentos ou comandos	38
2.4 Atuadores hidráulicos ou pneumáticos.....	38
2.5 Sensores de temperatura	39
3. METODOLOGIA	42
3.1 Implantação do projeto	43
3.1.1 Linguagem <i>Ladder</i>	43
3.1.2 Interligações dos cabos elétricos	48
3.1.3 Lista de materiais.....	50

3.1.4 Testes de funcionamento.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Programa com linguagem <i>Ladder</i>	52
4.2 Desempenho obtido e comparação entre os sistemas	52
4.3 Ajustes e colocação em funcionamento do sistema	57
5. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

Otimizar processos de manutenção e de operação é uma busca constante de qualquer empresa que queira se manter e se consolidar no mercado. Geralmente, nos planos de investimentos anuais são elaborados projetos que visam a otimização desses processos, a obtenção de maior disponibilidade de equipamentos, um menor tempo de reparo, a disponibilidade de sobressalentes no mercado, a capacitação de técnicos, entre outros. Porém, vários projetos e soluções com custo reduzido ou sem a necessidade de investimentos trazem grandes benefícios para as empresas, pois alavancam resultados de uma determinada área ou, até mesmo, de toda a planta.

Por exemplo, a variação de velocidade de bombas acionadas por motores elétricos assíncronos é amplamente aplicada em grandes processos, tais quais aqueles empregados nas empresas de mineração no processo de beneficiamento de minério. Em ordem cronológica, algumas tecnologias aplicadas nessas empresas são: variadores de velocidade hidráulicos e inversores de frequência. Ressalta-se, entretanto, que as empresas que iniciaram sua construção e/ou colocação em marcha nas décadas de 60 e 70, disponibilizam, entre as duas tecnologias citadas, apenas a primeira opção. Ademais, embora o inversor de frequência possua algumas vantagens em relação ao variador de velocidade hidráulico¹, esse último ainda se mantém disponível no mercado, com atualização tecnológica do seu sistema de controle.

Em vista dessas considerações, salienta-se que o objeto de estudo desta pesquisa constitui a variação de velocidade hidráulica utilizada, entre outras, em empresas de mineração. A escolha por esse objeto se deve à necessidade de se (re)pensar alternativas viáveis para o parque instalado com os variadores hidráulicos, dado que, nesses casos, pode-se substituir todos os equipamentos por inversores de frequência ou atualizar o sistema de controle dos variadores hidráulicos. Essas são opções tecnicamente viáveis e eficientes, no entanto facilmente se tornam inviáveis economicamente, caso a necessidade de adequação seja imediata ou de curto prazo. Logo, intenta-se, a partir desse objeto, encontrar alternativas com baixo custo de implantação para eliminar e/ou substituir os sistemas de controles dedicados obsoletos dos variadores de velocidade hidráulicos visando otimizar o sistema operacional.

Sabe-se que o sistema de controle de velocidade dos variadores hidráulicos é composto por um equipamento eletrônico que utiliza componentes eletrônicos discretos. Esse equipamento é alimentado por meio de um cabo elétrico de três condutores com nível de tensão

¹ Os inversores de frequência consomem menos energia elétrica, além de apresentarem maior facilidade para trabalhar nos dois sentidos de rotação.

igual 127 VAC e recebe um sinal analógico de corrente de 4 a 20 mA, proveniente do Controlador Lógico Programável (CLP). Tal equipamento, lançado em 1960, é um computador robusto e projetado para controlar processos no ambiente industrial, o qual proporciona alta confiabilidade, facilidade de manutenção no que se refere à substituição de cartões eletrônicos, permite a expansão de módulos, entre outros, sendo, portanto, quando instalado, responsável pela automação da planta. No que se refere ao pedido de velocidade do equipamento controlado, tem-se como saída dois sinais digitais responsáveis pela alimentação de bobinas de válvulas solenoides, que acionam a movimentação de um cilindro hidráulico, que é responsável pelo posicionamento do pescador do variador hidráulico. Recebe-se, através de um cabo elétrico de três condutores, a realimentação de posição da haste do cilindro por meio de um potenciômetro de 0 a 10 K Ω .

Em vista do exposto, o objetivo geral deste trabalho é eliminar o controle eletrônico dedicado obsoleto do variador de velocidade hidráulico utilizando recursos disponíveis na empresa a partir do Controlador Lógico Programável. Para tanto, os seguintes objetivos específicos serão contemplados, quais sejam: a) desenvolver um programa no CLP para controlar a posição da haste de um cilindro hidráulico, conseqüentemente, a velocidade de uma bomba centrífuga; b) manter, no mínimo, o desempenho do controle atual, em termos de estabilidade do processo; c) agilizar e facilitar os ajustes de controle de velocidade, realizados pela equipe de manutenção, dos variadores de velocidade hidráulicos.

Neste trabalho, intenta-se eliminar um dispositivo de controle eletrônico dedicado obsoleto, instalado próximo ao equipamento controlado, utilizando outro dispositivo de controle atual, já disponível na planta e que atende a outros equipamentos, sem a necessidade de investimentos em materiais e equipamentos, apenas em mão de obra, a qual será empregada para o desenvolvimento de um programa via CLP que exerça todas as funções do controlador eletrônico dedicado. Essa proposta de estudo proporcionará alguns benefícios às empresas, tais como: manter, no mínimo, o desempenho do controle atual, em termos de estabilidade do processo, além de agilizar e facilitar os ajustes de controle de velocidade realizados pela equipe de manutenção nos variadores de velocidade hidráulicos. Esse dispositivo poderá ser utilizado em variadores de velocidade hidráulicos instalados em empresas nas quais não há disponibilidade de investimentos para modernização e/ou substituição por outra tecnologia.

Sendo assim, intenta-se desenvolver um programa no CLP para realizar o controle de velocidade, utilizando duas saídas digitais para acionar as duas bobinas das solenoides mencionadas anteriormente, e fazer a realimentação de posição do cilindro por meio de um potenciômetro ligado diretamente ao CLP, utilizando um módulo eletrônico de entrada de

termoresistência. Levando em consideração essas informações, esta pesquisa parte do seguinte questionamento: é possível eliminar o controle eletrônico dedicado obsoleto do variador de velocidade hidráulico utilizando recursos disponíveis nas empresas a partir do Controlador Lógico Programável de modo a garantir benefícios sem a necessidade de substituição por novas tecnologias?

A fim de responder a esse questionamento de pesquisa, neste trabalho, aventa-se a seguinte hipótese: se houver a eliminação do sistema de controle eletrônico dedicado, existente para controle de velocidade dos variadores de velocidade hidráulicos, utilizando o Controlador Lógico Programável (CLP), já instalado e que atende toda a planta, e definir uma configuração que possa ser empregada utilizando apenas os recursos existentes no campo para controlar o sistema, então será possível proporcionar a modernização do sistema de controle, a redução da necessidade de peças sobressalentes, uma maior agilidade da equipe de manutenção na realização de ajustes, entre outros benefícios.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP) surgiu na década de 1960, sendo que em 1968 houve um avanço considerável em sua constituição, alavancado pela empresa General Motors – GM. Esse avanço foi possível pelo desenvolvimento dos circuitos integrados e da lógica digital. Tal Controlador pode ser definido, segundo Silva (2007, p. 32), “baseado em norma da ABNT, como um equipamento eletrônico-digital compatível com aplicações industriais”. Em outros termos,

O CLP pode ser definido como um dispositivo de estado sólido - um Computador Industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização e contagem, por exemplo), além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de Sistemas Automatizados. (STOCLER, 2010, p. 7).

A figura 1 apresentada traz o modelo de um CLP comercial.



Figura 1: Modelo de um CLP comercial.
Fonte: Stocler (2009).

Várias vantagens presentes em equipamentos como esse podem ser citadas, quais sejam:

- fácil diagnóstico durante o projeto;
 - economia de espaço devido ao seu tamanho reduzido;
 - não produzem faíscas;
 - podem ser programados sem interromper o processo produtivo;
 - possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas;
 - baixo consumo de energia;
 - necessita de uma reduzida equipe de manutenção;
 - tem a flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas;
 - capacidade de comunicação com diversos outros equipamentos, entre outras;
- (SILVA, 2005, p. 27).

O CLP é constituído de módulos eletrônicos, como fonte de alimentação, módulo de comunicação, módulo de Unidade Central de Processamento (CPU), módulos de entradas e saídas de sinais digitais ou analógicos; esses são montados em um único módulo denominado *backplane*.

2.1.1 Princípio de funcionamento

O CLP funciona de forma sequencial, fazendo um ciclo de varredura, passando pelas seguintes etapas:

- Verifica os estados das entradas, ou seja, lê cada uma das entradas, verificando se houve acionamento;
- Transfere os dados para a memória;
- Compara, com o programa existente, as instruções atualizadas pelo usuário;
- Atualiza as saídas, acionando ou desativando, conforme determinação do processamento realizado;
- Inicia um novo ciclo.

O tempo gasto para realizar o ciclo completo mencionado anteriormente é definido como *SCAN* do CLP. Esse varia proporcionalmente ao tamanho da aplicação e da velocidade de processamento da CPU do CLP. De forma ilustrativa são exemplos de *SCAN* 10, 30 e 60 milissegundos. Quanto menor o *SCAN* significa que é mais rápido o processamento e consequentemente a atuação do CLP.

2.1.2 Fonte de alimentação

Faz a conversão da tensão de rede de 110 ou 220 volts em corrente alternada (VAC) para +/-5 volts em corrente contínua (VCC), +/-12VCC, +/-24VCC, para alimentar os módulos eletrônicos que compõem o CLP. De acordo com o número de módulos eletrônicos instalados em cada painel, é especificada uma fonte com a capacidade necessária, a qual é disponível no mercado, respeitando modelos e fabricantes diversos, sendo essas fontes com a capacidade de corrente de 1 a 15 Amperes (A).

Na figura 2 ilustra-se um modelo de fonte disponível no mercado.



Figura 2: Fonte de alimentação de CLP
Fonte: Schneider Eletric

2.1.3 CPU

A CPU é a principal parte do CLP. Ela é responsável por todo o processamento de dados, sendo composta por microcontroladores ou microprocessadores, os quais possuem as seguintes unidades:

- Unidade lógica e aritmética (ULA), responsável pelas operações aritméticas e lógicas;
- Unidade de Controle (UC), executa as instruções, após extraí-las e decodificá-las da memória;
- Registradores e Memória, os quais armazenam os dados para o processamento.

Os módulos da CPU disponibilizam portas de comunicação, quais sejam RS232, RS422 e *Ethernet*. De acordo com o modelo e o fabricante essas portas são fornecidas como padrão de fabricação ou são disponibilizadas em módulos independentes.

Na figura 3 apresenta-se o módulo de comunicação *Ethernet* do CLP da Schneider Electric da linha *Quantum* que deve ser instalado independentemente da CPU, pois, essa não disponibiliza essa porta na fabricação padrão.



Figura 3: Módulo de comunicação Ethernet de CLP
Fonte: Schneider (2011).

2.1.4 Base ou Rack

Trata-se de um compartimento mecânico, dotado de conectores ou ranhuras, que recebe os módulos eletrônicos que fazem parte do CLP, entre os quais pode-se citar, por exemplo, a fonte, a CPU, os módulos de comunicação, módulos de entradas e saídas. Existem interligações entre os referidos conectores por meio dos quais são realizadas as comunicações entre os módulos, bem como a alimentação de tensão.

A base ou *rack* ou ainda *backplane* são fabricados e disponibilizados no mercado com número variado de conectores: 4, 8, 10 e 12 são alguns exemplos. Em cada conector é instalado um módulo eletrônico.

Na figura 4 tem-se um exemplo comercial de um *backplane* com 10 conectores, ranhuras, ou ainda, *slot*. Os referidos conectores estão na cor azul.



Figura 4: Back plane de um CLP
Fonte: Schneider (2011).

2.1.5 Bateria

Utilizada para manter o circuito do relógio em tempo real. Normalmente, são utilizadas baterias recarregáveis.

2.1.6 Memória do programa

Programa responsável pelo gerenciamento de todas as funções do CLP, e não pode ser alterado pelo usuário. Geralmente são: Memória programável somente para leitura (PROM); Memória somente para leitura programável e apagável (EPROM); Memória somente para leitura programável e apagável eletricamente (EEPROM).

A memória tipo PROM é uma memória somente para leitura de dados, no entanto, é possível alterar os dados programados utilizando um programador específico para esse tipo de memória. Esta reprogramação de dados altera internamente as ligações elétricas do circuito integrado possibilitando que essa alteração seja realizada somente uma vez.

A memória tipo EPROM diferencia-se da memória do tipo PROM, pois traz uma inovação que permite várias reprogramações dos dados no circuito integrado. Os dados são apagados expondo o circuito integrado à luz ultravioleta por um período aproximado de 20 minutos. A nova programação dos dados é realizada através de um elevado nível de tensão.

Por sua vez, a memória tipo EEPROM também é uma memória somente para leitura. Ela é reprogramável e possui uma inovação em relação à anterior: é apagada eletricamente. Esse fato permite um número elevado de reprogramação de dados. Outra vantagem considerável é a de que não se faz necessária a retirada do circuito integrado do equipamento.

2.1.7 Linguagens de programação de CLP

Algumas linguagens de programação de CLP foram desenvolvidas e são comumente aplicadas, como: diagramas de funções sequenciais (SFC); diagramas de contatos (*Ladder diagram* – LD); programação com esquemas de relés; diagramas de blocos de funções (FBD).

A linguagem tipo *Ladder* foi criada baseada na utilização de contatos de relés, na tentativa de facilitar a transição entre os comandos elétricos realizados por relés e a implantação do CLP. Na figura 5, é possível identificar os contatos similares aos comandos elétricos. As três primeiras linhas (0000, 0001 e 0002) utilizam contatos normalmente aberto (NA), já a linha 0003 apresenta um contato normalmente fechado (NF). Do lado direito de cada linha estão as bobinas, as quais se referem às saídas do CLP ou às bobinas auxiliares para a elaboração do programa, representadas na linha 0000 por O:2 L 0.

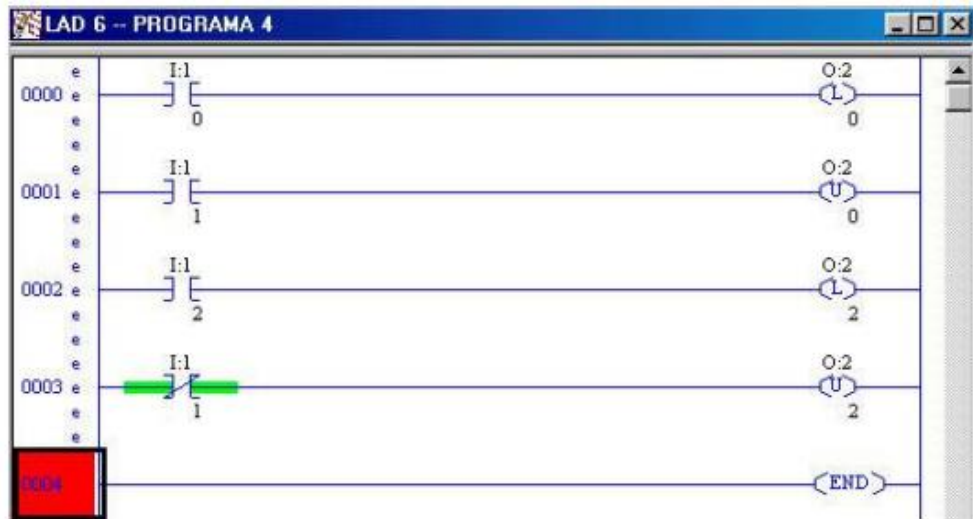


Figura 5: CLP linguagem *Ladder*
 Fonte: Stocler (2009)

A linguagem tipo *Ladder* será a linguagem utilizada neste trabalho. A simbologia baseada na aplicação dos contatos de reles utilizada anteriormente ao desenvolvimento do CLP. Conforme Silva,

a flexibilidade dos controladores lógicos programáveis se deve a possibilidade de programação dos mesmos através de um *software* dedicado. A primeira linguagem de programação, que surgiu no mercado foi a linguagem *Ladder*, denominada assim por sua semelhança com uma escada. Esta linguagem tem um formato muito similar aos circuitos elétricos. (SILVA, 2015, p. 32).

Na figura 6, tem-se, na parte superior, a Lógica convencional referente aos contatos elétricos, onde F1 e F2 representam a alimentação de tensão do circuito, por exemplo, 110 VAC. Os contatos B0 e B1 representam as entradas de uma porta lógica E, respectivamente, e a lâmpada é representada por L0. Já na parte inferior da mesma figura, tem-se a representação das entradas elétricas nos cartões de entrada e saída do CLP e o mesmo circuito representado agora na linguagem *Ladder*.

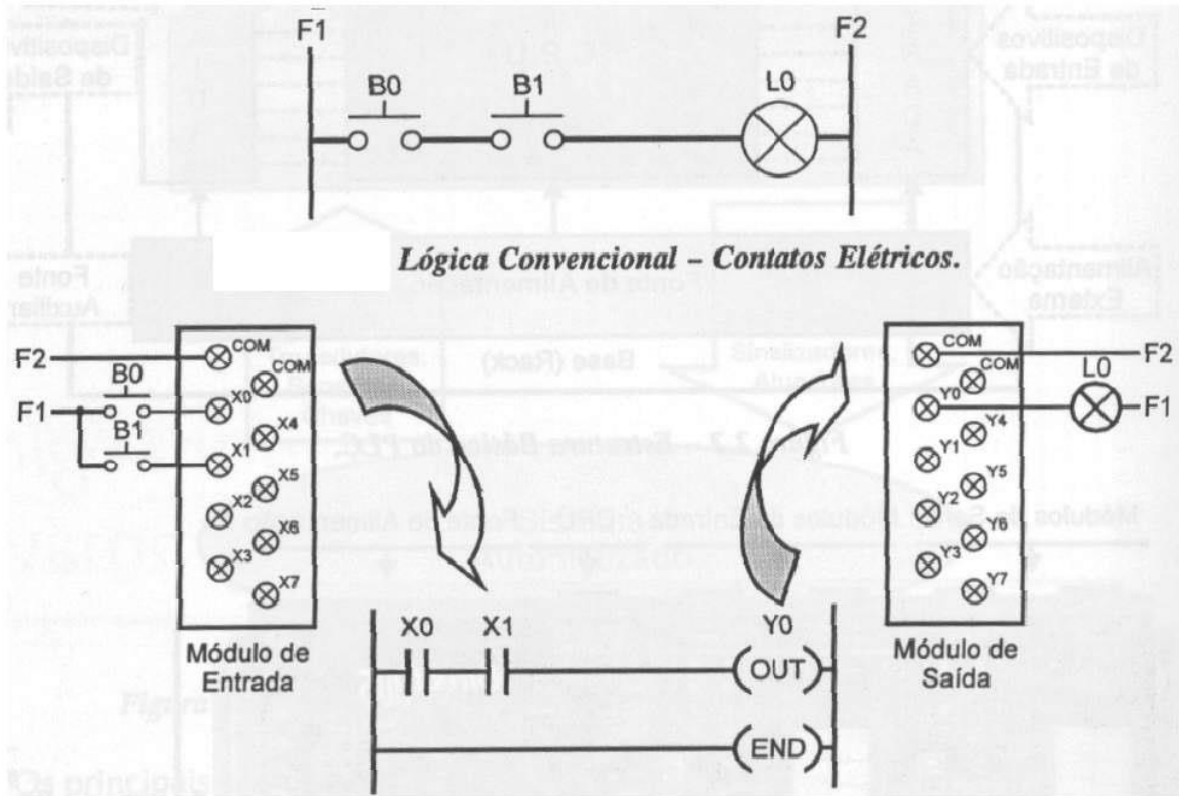


Figura 6: Contatos elétricos e linguagem *Ladder*
Fonte: Stocler (2009).

2.1.8 Módulos de entradas e saídas (I/O)

Os módulos de entradas e saídas (I/O) são responsáveis para interligar o meio externo com a CPU. Eles recebem os sinais, os interpretam e os convertem para valores específicos para o processamento. Além disso, outra função importante desses módulos é o isolamento e a proteção da CPU contra possíveis interferências e danos provenientes do meio externo.

Os tipos de entradas e saídas são classificados em discretas e analógicas.

Os sinais discretos ou digitais se caracterizam como *bits*, com nível de sinal em zero ou um (*on/off*). Como exemplo de entradas digitais tem-se sinais provenientes de pressostatos, termostatos, botoeiras liga / desliga e como exemplos de saídas digitais, tem-se liga / desliga motor, abre / fecha válvula. As faixas de tensão de trabalho dos sinais discretos comumente disponíveis no mercado são: 110, 220 VAC; 12, 24, 125 VCC e 12, 24, 125 VAC/CC. Quanto ao número de pontos disponíveis de entradas/saídas discretas por módulo, tem-se 4, 8, 12, 16, 32 ou 64, variando em relação ao modelo e ao fabricante do CLP. Na figura 7 exemplifica-se a representação típica de entradas digitais com isolamento óptico.

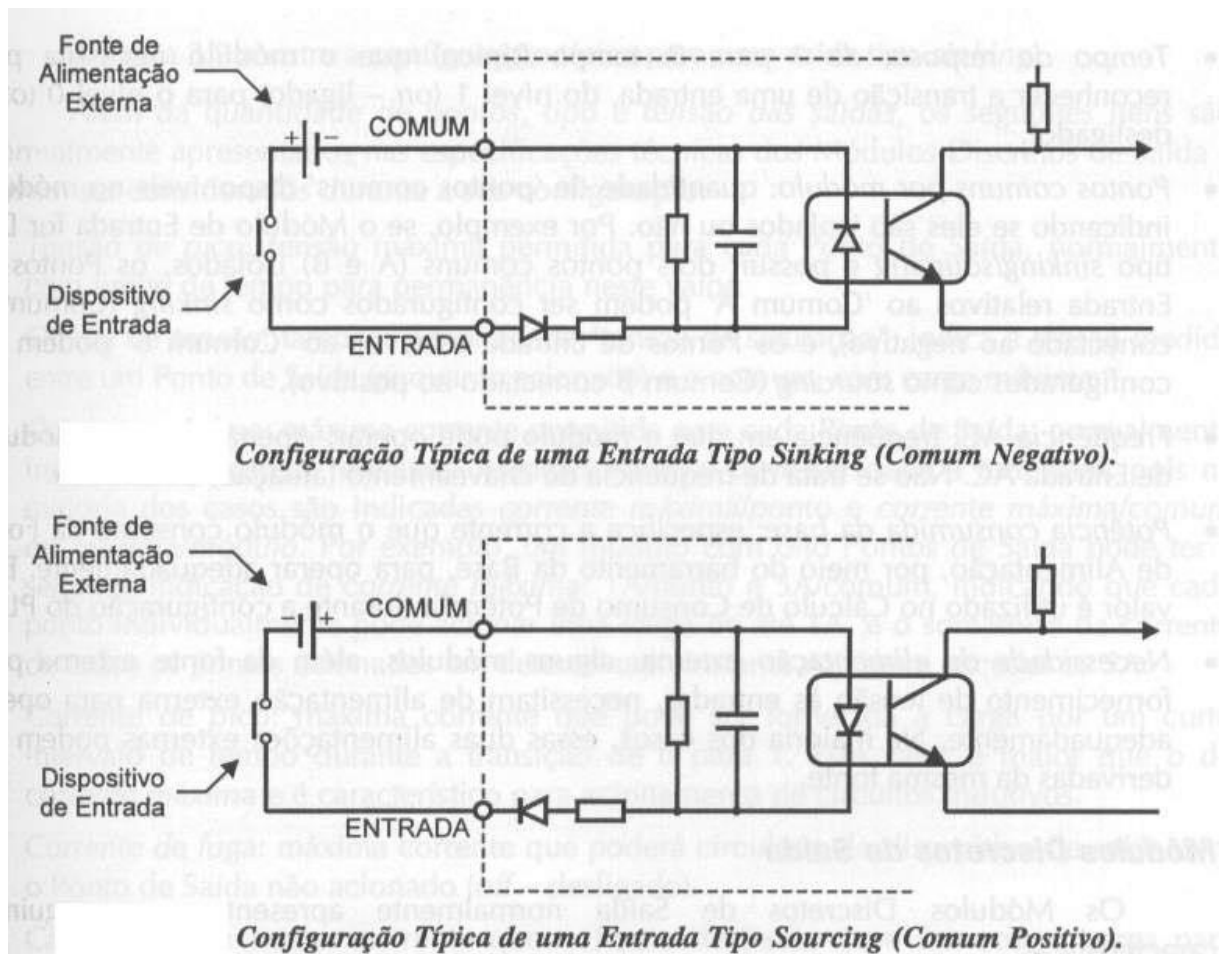


Figura 7: Entrada digital VDC típica.
Fonte: Stocler (2009).

Na figura 7, o dispositivo de entrada é representado por um botão normalmente aberto que, quando fechado, aciona a referida entrada digital, levando o estado dessa de nível zero para nível um. De forma contrária, ou seja, caso o botão utilizado fosse o normalmente fechado, quando acionado, levaria o estado de nível um para nível zero.

Nos cartões de saídas discretas utiliza-se reles ou componentes eletrônicos de potência para realizarem a interface com a parte externa ao CLP. Na figura 8 demonstra-se a representação de saídas discretas com componentes eletrônicos de potência e através de contato de rele.

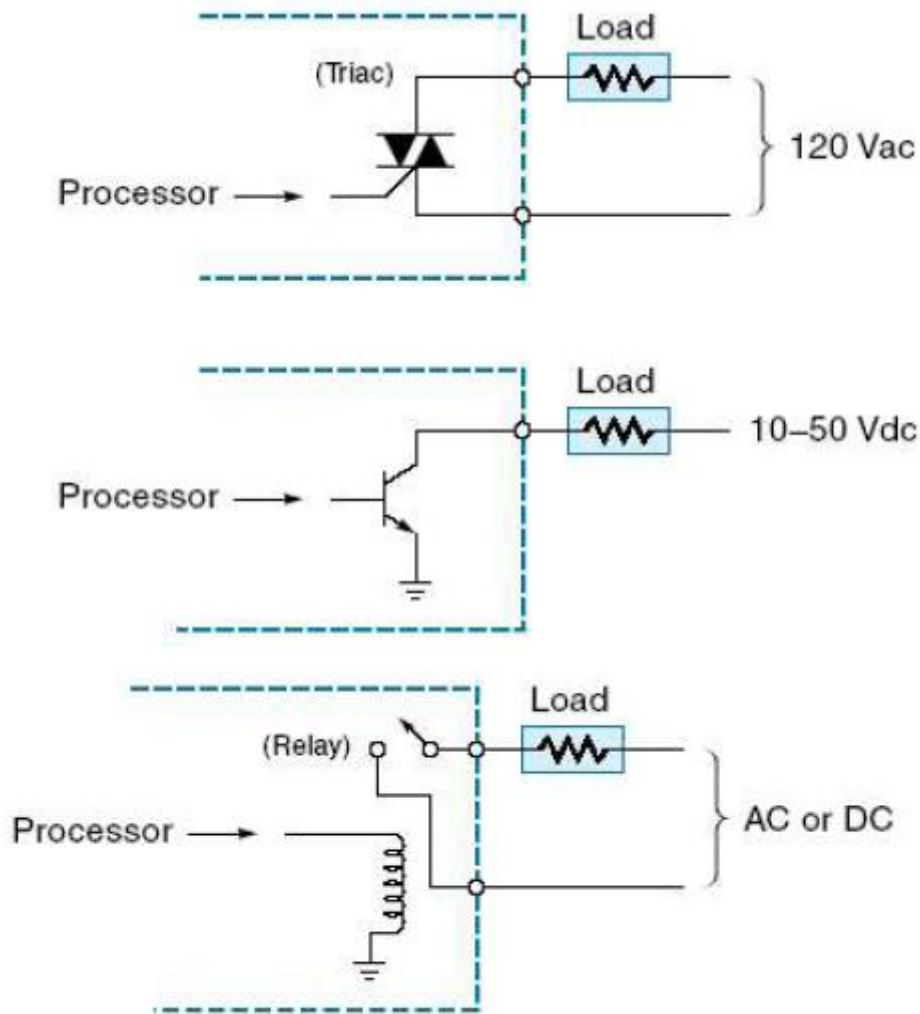


Figura 8: Saídas digitais típicas de CLP.
 Fonte: Apostila Controladores Lógicos Programáveis. IME.

Sinais analógicos trabalham com sinais de corrente de 0 a 20 mA ou, o mais utilizado, 4 a 20 mA, pois, nesse caso, é possível identificar o rompimento do cabo elétrico responsável pelo sinal e também o sinal de tensão geralmente disponível na faixa de 0 a 10 VCC.

O sinal proveniente de um sensor de temperatura é um exemplo de sinal de entrada analógica, e o pedido de velocidade enviado do CLP para um Inversor de frequência de saída analógica. Por módulo de entrada ou saída analógica são disponíveis 4 e 8 pontos.

Silva (2005, p. 4) define controle analógico “[...] como aquele que se destina ao monitoramento das variáveis analógicas”.

2.1.9 Módulo Detector de Temperatura por resistência (RTD)

O módulo de entrada de sinais de temperatura converte valores de resistência ôhmica, aplicadas através de termoresistências para valores digitais. Um exemplo, o PT100, esse sensor possui valores diferentes de resistência, de acordo com a variação de temperatura. A figura 9 apresenta um modelo de módulo de entrada RTD.



Figura 9: Módulo RTD
Fonte: Schneider Electric

Por sua vez, a figura 10 demonstra o esquema de interligações disponíveis no Módulo RTD com a termoresistência, no qual é possível a conexão a dois, três ou quatro fios.

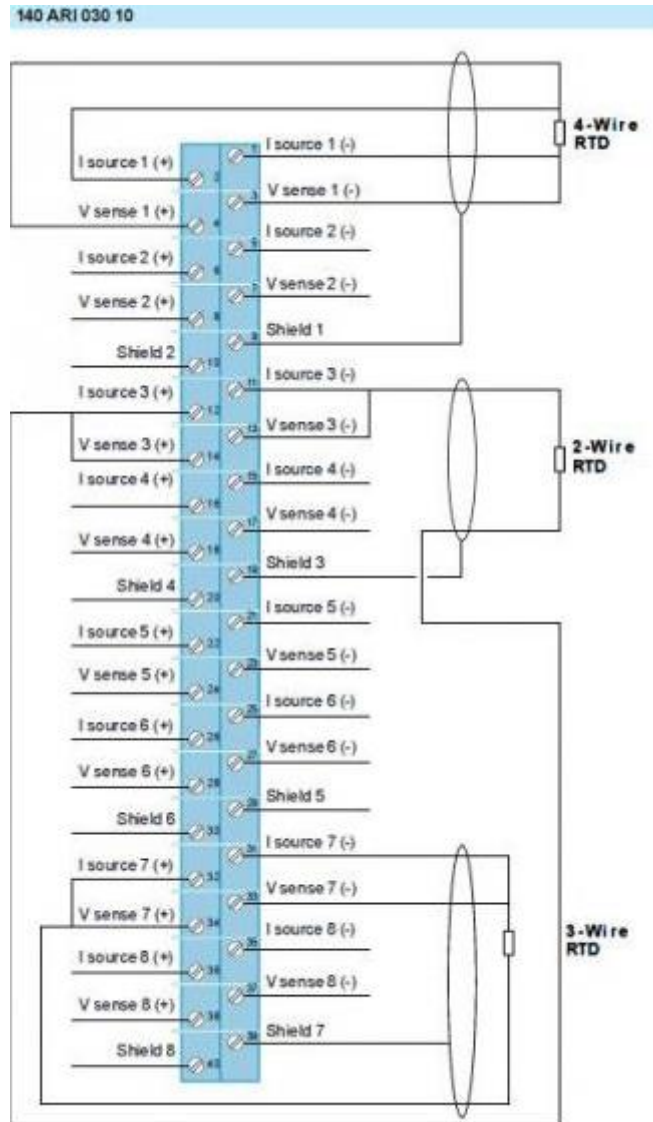


Figura 10: Esquema de interligações módulo RTD
Fonte: Schneider Electric

2.2 Variador de velocidade hidráulico

Variador de velocidade hidráulico ou hidrodinâmico foi desenvolvido na década de 1930. No Brasil teve sua aplicação na década de 1960, com os variadores de enchimento constante e, na sequência, ainda na mesma década, a aplicação dos variadores de enchimento variável, objeto deste trabalho.

O variador de velocidade hidráulico é um equipamento mecânico composto por dois eixos, um de entrada e outro de saída, tendo como uma das principais funções suavizar a partida

da máquina acionada. Esse pode ser classificado em dois tipos, sem variação de velocidade e com variação de velocidade no eixo de saída; o segundo objeto deste trabalho.

De acordo com Domingues,

Acoplamentos hidrodinâmicos (HC) são turbos acoplamentos hidráulicos que conectam o acionador principal (normalmente um motor elétrico) à máquina acionada, que pode ser uma bomba, um compressor ou um ventilador. A potência é transmitida pela transferência de energia cinética do óleo no interior da câmara de trabalho. (DOMINGUES, 2012, p. 63).

Os principais componentes do variador hidráulico de velocidades são: o reservatório de óleo, a bomba de óleo de deslocamento positivo, o trocador de calor, o tubo captador de óleo - pescador, as rodas acopladoras, os eixos de entrada e saída e o compartimento do variador hidráulico, conforme detalhado na figura 11. O eixo de entrada do variador de velocidade hidráulico é acoplado ao eixo de um motor elétrico assíncrono com velocidade constante; já o eixo de saída, no qual há variação da velocidade, é acoplado a uma máquina, que pode ser um redutor, uma bomba centrífuga, entre outras, como evidenciado na figura 11.

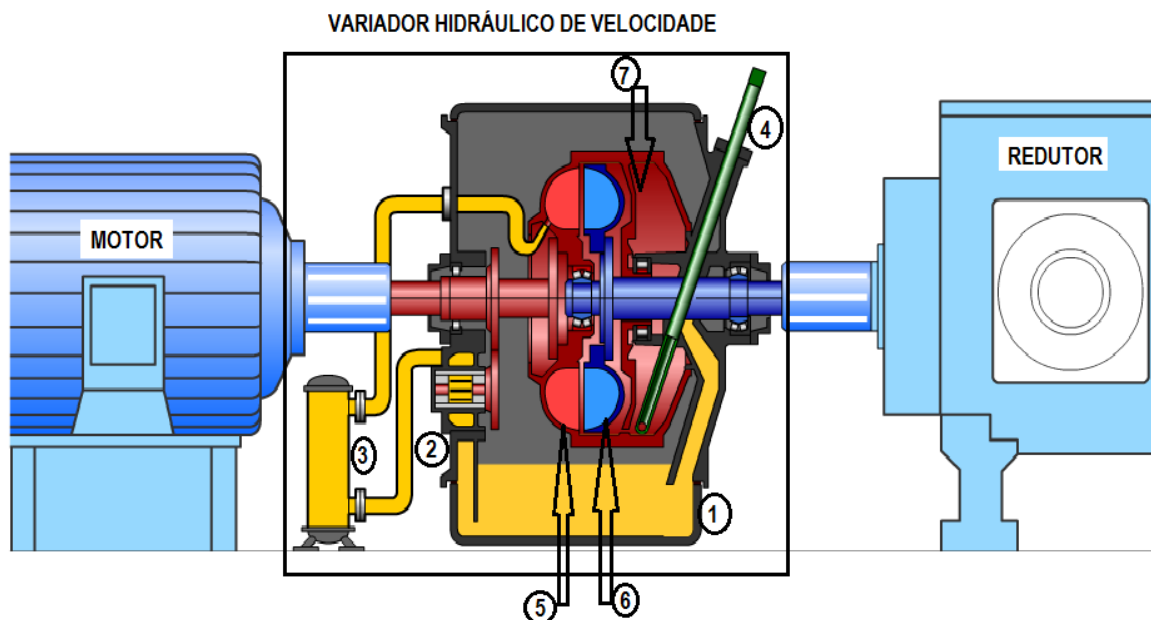


Figura 11: Sistema com variador hidráulico de velocidade
Fonte: Voith

1. Reservatório de óleo; 2. Bomba de óleo; 3. Trocador de calor; 4. Pescador; 5. Polia motora; 6. Polia movida; 7. Câmara do variador hidráulico.

A figura 12 apresenta o motor, variador de velocidade hidráulico, o redutor e a bomba centrífuga, respectivamente, da esquerda para a direita.



Figura 12: Motor, variador de velocidade hidráulico, redutor.

2.2.1 Princípio de funcionamento do variador de velocidade hidráulico

Os eixos de entrada e de saída são acoplados hidraulicamente. Esse acoplamento é constituído de duas partes principais, sendo elas: uma roda de bomba funcionando como um impulsor e uma roda de turbina funcionando como rotor, conforme figura 13.

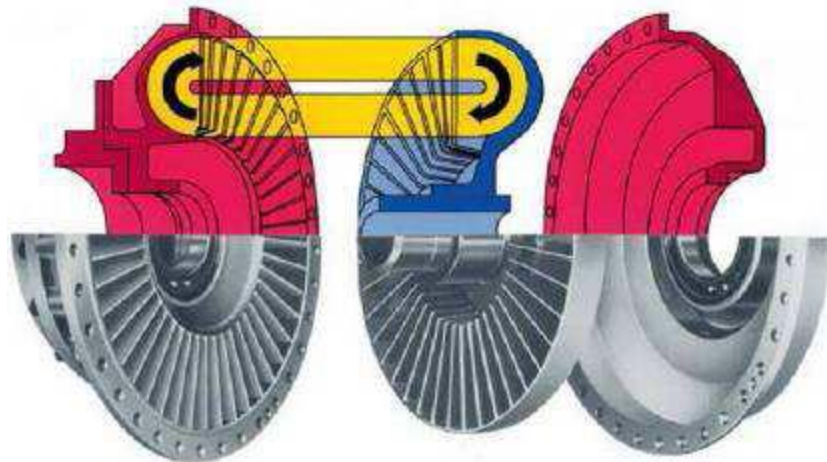


Figura 13: Partes do acoplamento hidráulico.

Fonte: Domingues (2012).

O óleo é o elemento utilizado para a transmissão de torque e rotação, além de ser responsável pela lubrificação do sistema. Ele é introduzido no compartimento do variador hidráulico e bombeado pela bomba de deslocamento positivo. Essa bomba faz parte do conjunto do variador de velocidade hidráulico, conforme a figura 11. O óleo, introduzido no compartimento do variador hidráulico, é retirado desse através do pescador, por onde o óleo retorna ao seu reservatório. A quantidade de óleo introduzida no compartimento é a mesma que é retirada pelo pescador.

Cabe ressaltar que a variação de velocidade no eixo de saída do variador hidráulico se dá em consequência do nível de óleo no compartimento do variador hidráulico, sendo que quanto menor é o nível de óleo menor é a velocidade, e quanto maior é o nível de óleo no referido compartimento maior é a velocidade no eixo de saída. Como a quantidade de óleo injetada é a mesma de saída, a variação do nível de óleo no interior do compartimento do variador hidráulico se dá pela posição do pescador; logo, controlando a posição do pescador, controla-se o nível de óleo no compartimento do variador hidráulico, consequentemente controla a rotação no eixo de saída. Na figura 14 expõe-se, em três dimensões, o variador hidráulico.

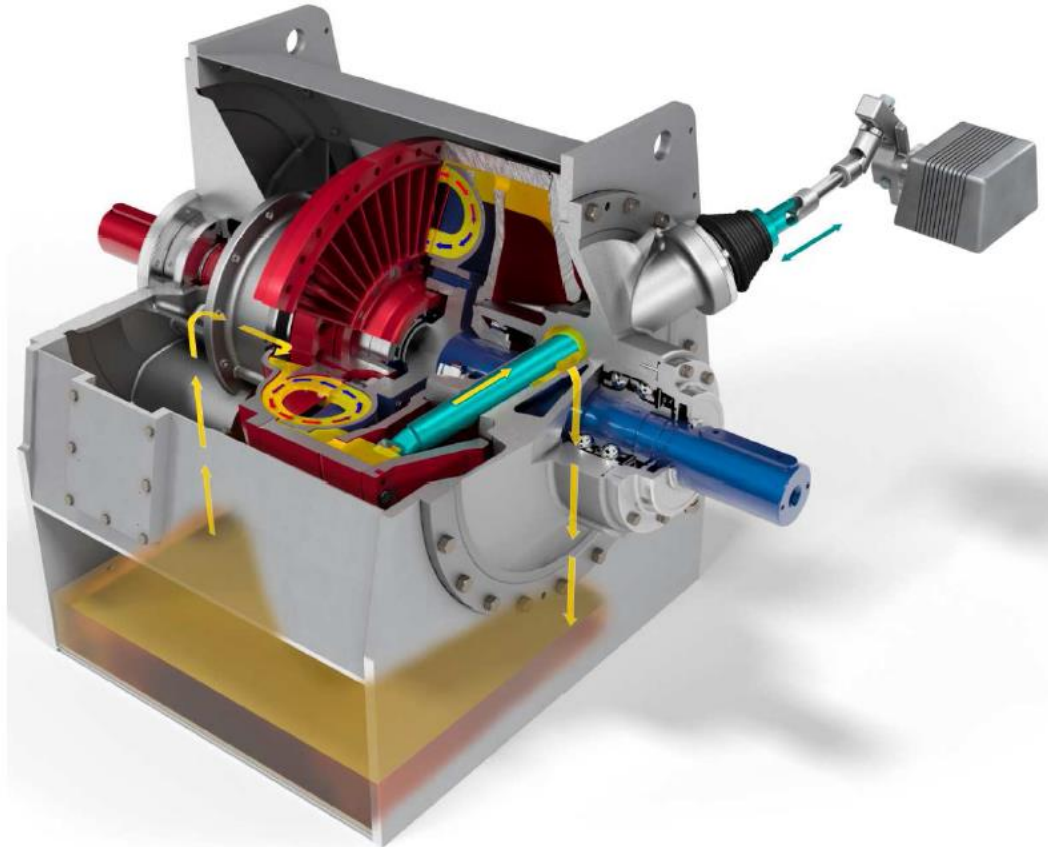


Figura 14: Vista em 3D em corte do acoplamento hidrodinâmico.
Fonte: Domingues (2012).

Em vista do exposto, conforme Domingues,

O nível de óleo dos HCs pode variar conforme a demanda de processo. Este procedimento tem como objetivo elaborar uma rampa de partida suave da máquina sendo, portanto, um equipamento ideal para acelerar grandes massas, além de possibilitar a alteração da velocidade da máquina acionada em operação dentro dos limites do motor.

(DOMINGUES, 2012, p. 67).

Além disso,

O rotor bomba absorve a energia mecânica do motor elétrico e a transforma em energia cinética transmitida ao fluido. Esta é absorvida pelo rotor turbina do HC, que a transforma novamente em energia mecânica para a máquina acionada.

Com o HC é possível modular a rotação na saída para a máquina acionada através da variação da quantidade de óleo dentro da câmara de trabalho. Essa variação ocorre por intermédio do ajuste do posicionamento do tubo captador de óleo, proporcionando o controle das características operacionais da máquina acionada.

(DOMINGUES, 2012, p. 64).

A transmissão de energia do eixo de entrada para o eixo de saída do variador hidráulico se dá somente em consequência do escorregamento, ou seja, da diferença de velocidade entre os eixos supracitados. Dependendo do volume de óleo no interior da câmara de óleo do variador hidráulico o escorregamento mínimo pode variar para as condições de projetos, conforme ponderado por Domingues (2012, p. 64) entre 1,5 a 3,0%.

Já no que se refere ao calor gerado pelo sistema nesse processo, segundo Domingues (2012, p. 72) “O calor gerado neste processo é dissipado através de um trocador de calor externo. O meio refrigerante pode ser água ou ar, dependendo das condições e disponibilidades logísticas do local de operação”.

2.2.2 Curvas características do variador de velocidade hidráulico

A figura 15 apresenta graficamente a relação entre a potência (P) em função da velocidade de entrada do variador de velocidade hidráulico. Percebe-se, pelo gráfico, a maior perda de potência do variador de velocidade hidráulico quando a velocidade de saída trabalha na faixa de 70% do valor nominal de rotação, representando uma baixa de 14,8%.

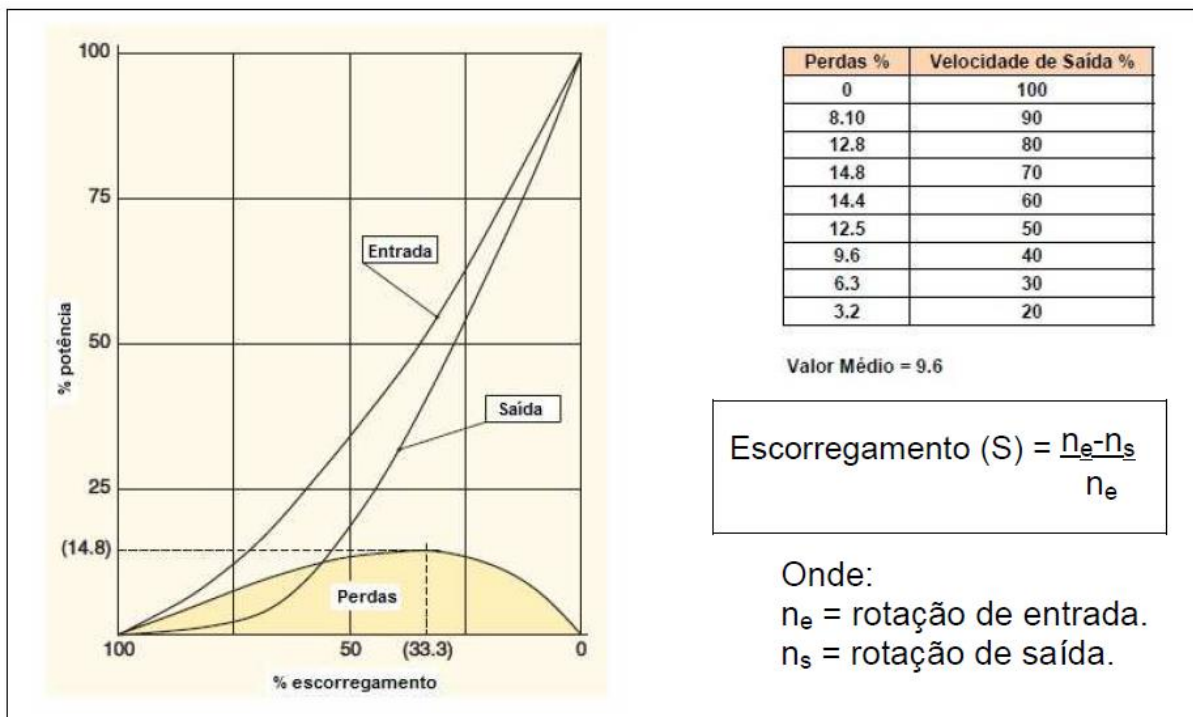


Figura 15: Gráfico potência x escorregamento para equipamentos centrífugos.
 Fonte: Domingues (2012).

Outra curva característica importante desse sistema é a apresentada na figura 16, a qual se refere ao torque em função da velocidade da máquina.

As curvas apresentadas de 0 a 100% representam a posição do captador de óleo, pescador, por se tratar de um variador de velocidade. Já o eixo vertical representa o percentual de torque transmitido em função da rotação do eixo de saída.

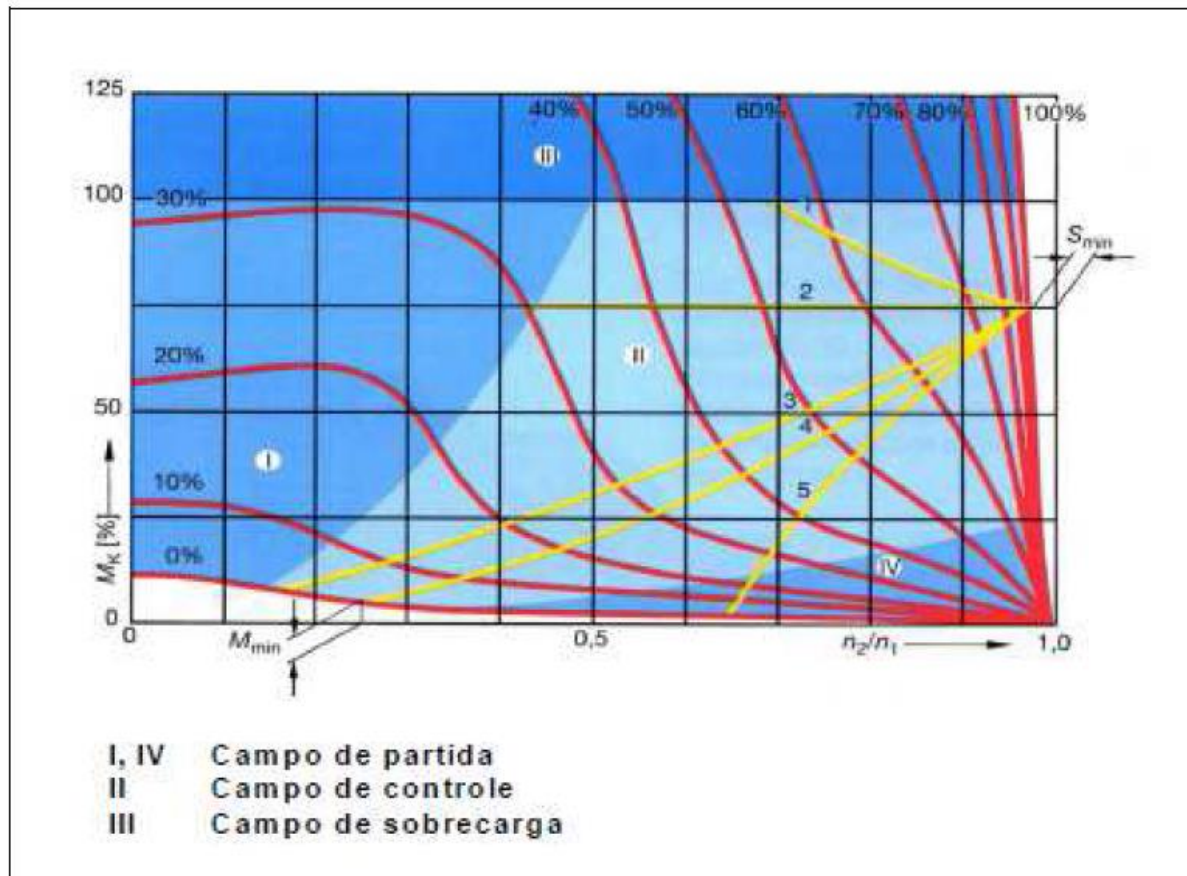


Figura 16: Curvas características torque em função da rotação.
Fonte: Domingues (2012).

2.2.3 Aplicação de variadores de velocidade hidráulicos

Os variadores de velocidade hidráulicos são tipicamente aplicados em ventiladores, compressores e bombas centrífugas, sendo assim, utilizados em diversos segmentos na indústria, como siderurgia, saneamento, indústria de óleo e gás, termelétricas, petroquímica, indústria de papel e celulose, mineradoras, entre outras. Dentre essas, este trabalho parte da análise da aplicação desses variadores nas mineradoras. Nessas indústrias, tais variadores são aplicados em sistemas de bombeamento de polpa de minério, nos quais é necessário o controle de pressão na linha de recalque para alimentação de baterias de ciclones, transferências de

minério como parte do processo produtivo, bombeamento via mineroduto, entre outras aplicações.

2.2.4 Vantagens na aplicação de variadores de velocidade hidráulicos

A aplicação de variadores de velocidade hidráulicos traz uma série de vantagens, quais sejam:

- Aceleração suave de grandes massas;
- Uso de motores elétricos de indução;
- Redução rápida da corrente de partida do motor;
- Limitação do torque máximo transmitido, propiciando proteção do conjunto;
- Torque máximo ajustado pela simples mudança do volume de óleo;
- Transmissão de potência sem desgaste, pois não existe contato mecânico entre as partes.

Domingues (2012, pag. 65), refere-se à vantagem citada de não desgastar as partes mecânicas do variador hidráulico da seguinte maneira: “Uma vez que o fluxo de óleo circula entre os dois rotores e transmite a energia unicamente sob forças dinâmicas, não há desgaste mecânico, pois, não há contato físico entre as partes rotativas de transmissão de potência”.

2.2.5 Características construtivas dos variadores de velocidade hidráulicos

O variador de velocidade hidráulico é montado em uma carcaça metálica fechada, apoiado em mancais próprios e independentes. As dimensões dessa carcaça variam proporcionalmente com a potência projetada. Como as partes rotativas ficam alojadas no interior dessa estrutura metálica, os variadores podem trabalhar em ambientes agressivos e expostos a intempéries.

Os variadores de velocidade hidráulicos possuem instrumentação para monitoramento e controle, sendo esse sistema composto dos seguintes itens:

- Termômetros (tipo capela ou com bulbo), para medir e indicar a temperatura do óleo na entrada e na saída da câmara de trabalho;

- Termostato para medir a temperatura do óleo na saída da câmara de trabalho e alarme ou desarme do sistema elétrico através de seu contato elétrico, caso a temperatura exceda o valor máximo admissível;
- Manômetros, para medição de pressão na linha de recalque da bomba de óleo e na linha de lubrificação do rolamento do mancal de entrada;
- Pressostato, para medição da pressão na linha de lubrificação do rolamento do mancal de entrada e desarme do sistema elétrico, caso a pressão diminua do valor mínimo admissível;
- Sistema eletrônico de controle de velocidade dedicado responsável pelo posicionamento do tubo captador de óleo;
- Sistema de acionamento hidráulico, composto por válvulas solenoides e cilindro hidráulico.

2.3 Válvula de controle direcional

As válvulas de controle direcional têm como função orientar a direção do fluxo do fluido a fim de realizar o trabalho proposto. O sentido desse fluxo pode ser alterado quando houver o acionamento da referida válvula. Nesse sentido, devem ser considerados, para o conhecimento e a aplicação de uma válvula de controle direcional, a posição inicial, o número de posições, o número de vias, o tipo de acionamento, o tipo de retorno e a vazão.

A figura 17 representa um modelo de uma válvula de controle direcional.



Figura 17: Válvula de controle direcional.
Fonte: Apostila Parker M1001 (2000).

2.3.1 Posições da válvula de controle direcional

A quantidade de posições de uma válvula de controle direcional identifica quantas alternativas de posição são disponibilizadas. Fazendo uma analogia com uma torneira instalada em uma residência, essa tem duas posições possíveis de operação, sendo aberta ou fechada. A representação de uma válvula de controle direcional é dada por um retângulo que é dividido em quadrados proporcionalmente ao seu número de posição, conforme figura 18.

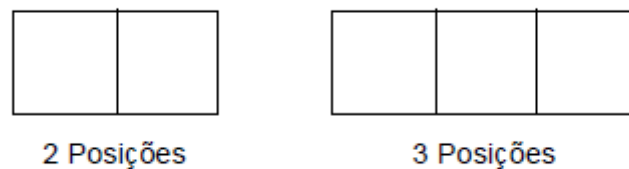


Figura 18: Representação de acordo com o número de posições.
Fonte: Apostila M1001 BR – Parker (2000).

2.3.2 Vias da válvula de controle direcional

As vias de uma válvula de controle direcional representam os caminhos possíveis à passagem do fluido. São representadas pelas setas no interior do quadrado referente à posição da válvula, conforme figura 19. Ademais, cabe pontuar que se pode separar essas vias em três tipos:

- Conexão de entrada de pressão;
- Conexão de utilização;
- Conexão de escape.

A conexão de entrada de pressão é a via por meio da qual é conectada a alimentação do sistema. As conexões de utilização são as saídas da válvula, que são conectadas na carga do sistema. Por último, as conexões de escape retornam o fluxo do fluido, permitindo, assim, o funcionamento do sistema. A figura 19 ilustra a descrição realizada.



Figura 19: Número de vias e sentido do fluxo.
Fonte: Apostila M1001 BR – Parker (2000).

Ainda no que concerne à figura 19, a seta indicada no quadrado do lado esquerdo (2 vias) representa a passagem do fluido, já o símbolo que aparece do lado direito representa o bloqueio do fluido.

2.3.3 Identificação dos orifícios da válvula

Com o intuito de padronizar, em 1976 o Comitê Europeu de Transmissão Óleo-Hidráulica e Pneumática, propôs um método de identificação universal dos orifícios das válvulas de controle, aos fabricantes desses equipamentos. Esse método, que vem sendo estudado pela Organização Internacional de Normalização, é de identificação numérica, conforme demonstrado na figura 20.

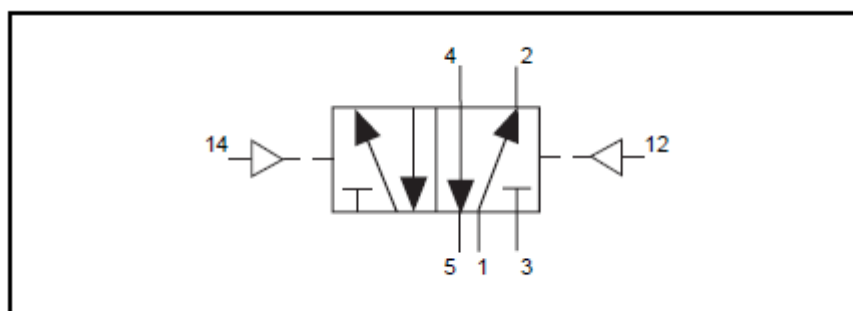


Figura 20: Identificação numérica dos orifícios.
Fonte: Apostila M1001 BR – Parker (2000).

Identificação dos orifícios referentes à figura 20:

- 1 – Orifício de alimentação principal do sistema;
- 2 e 4 – Orifícios de saída;
- 3 e 5 – Orifícios de exaustão ou escape;

- 12 e 14 – Orifícios de pilotagem da válvula.

2.3.4 Tipos de acionamentos ou comandos

As válvulas exigem para seu funcionamento, a atuação de ações internas ou externas, para que suas partes internas se movimentem e alterem a direção de fluxo do fluido utilizado. Os tipos de acionamentos são musculares, mecânicos, elétricos e pneumáticos, sendo possível a combinação entre os tipos mencionados.

Em vista disso, salienta-se que o acionamento elétrico utilizado no presente trabalho é atuado através de uma bobina solenoide que, quando alimentada com energia elétrica com nível de tensão igual a 110 VAC, pilota magneticamente as partes internas da válvula de controle.

2.4 Atuadores hidráulicos ou pneumáticos

Os atuadores hidráulicos ou pneumáticos são ligados diretamente à carga, convertem a energia hidráulica ou pneumática em força ou torque. Esses conversores de energia são classificados em três grupos, em função do tipo de movimento que produzem:

- Lineares;
- Rotativos;
- Oscilantes.

Os conversores de energia que produzem movimentos lineares, utilizados no presente trabalho, são representados pelos cilindros hidráulicos ou pneumáticos, ilustrados na figura 21, conforme o fluido utilizado na aplicação, nesse caso específico, o hidráulico.

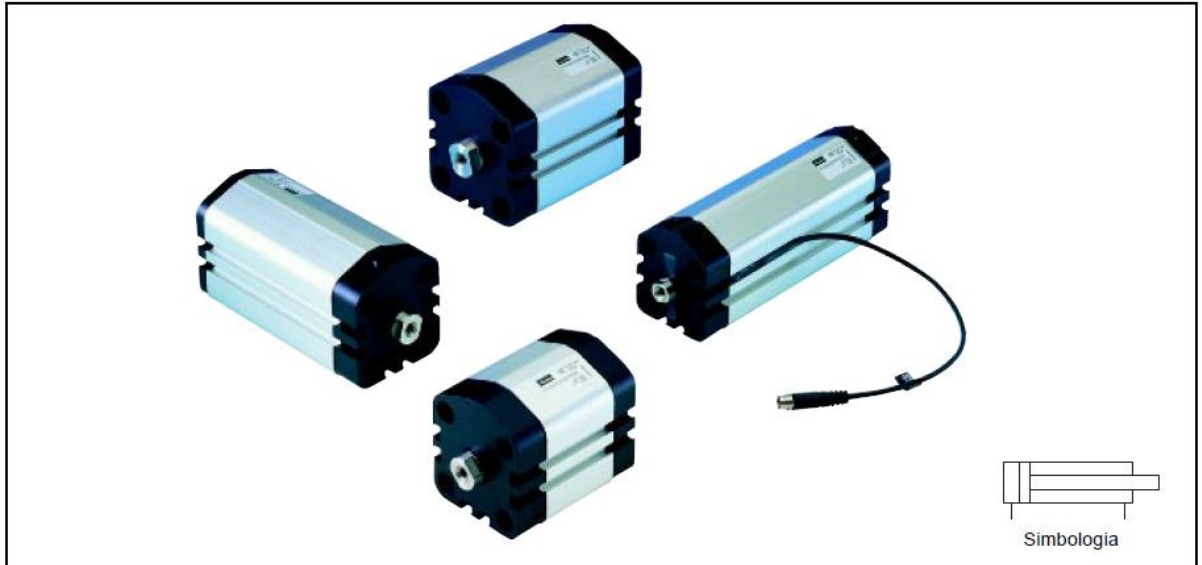


Figura 21: Fotos de cilindros e simbologia.
 Fonte: Apostila M1001 BR – Parker (2000).

2.5 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura são considerados transdutores, uma vez que convertem uma grandeza, no caso a temperatura em outra grandeza, como resistência, tensão, corrente, de modo proporcional.

Quatro principais tipos de transdutores estão disponíveis no mercado, quais sejam: termoresistência, termistor, circuito integrado sensores e termopar.

Dentre esses, neste trabalho, aplica-se a termoresistência que será exclusivamente detalhada em relação aos outros tipos de transdutores mencionados. Esse transdutor também nomeado e classificado como Detector de Temperatura por Resistência (RTD), varia o valor da resistência com a variação da temperatura. Dentre alguns modelos disponíveis no mercado, o Platina 100 (PT100) será detalhado.

A figura 22 apresenta alguns modelos do sensor de temperatura PT100.



Figura 22: Sensores de temperatura PT100
Fonte: Omega (2016).

O sensor de temperatura PT100 é largamente empregado, pelas indústrias devido à sua ampla faixa de medição de temperatura, de -200 a 850 °C. A tabela 1 apresenta a variação de temperatura em relação ao valor da resistência em uma determinada faixa de trabalho do PT100 com o espaçamento de um °C.

Tabela 1: Temperatura em °C em relação a resistência ôhmica

Pt 100 ohms											
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96	
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20	
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44	
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66	
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87	
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06	
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20	
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32	
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43	
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52	
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60	
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64	
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66	
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67	
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66	
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65	
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62	
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58	
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53	
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47	
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41	
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29	
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16	
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86	
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51	
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32	
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12	
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91	
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69	
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45	
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20	
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95	
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68	
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39	
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10	
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79	
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47	
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14	
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81	
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45	
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09	
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72	
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33	
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94	
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53	
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11	
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67	
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Fonte: Iope (2016).

O quadro 1 apresenta também a relação entre a temperatura em °C com a resistência ôhmica, no entanto abrange toda a faixa de trabalho do sensor de temperatura PT100, com espaçamento de 20°C.

Quadro 1: Temperatura em °C em relação a resistência ôhmica

Pt100					
Temperatura (°C)	(Ω)	Temperatura (°C)	(Ω)	Temperatura (°C)	(Ω)
-200	18,52	160	161,06	520	287,62
-180	27,10	180	168,48	540	294,21
-160	35,55	200	175,86	560	300,75
-140	43,88	220	183,19	580	307,26
-120	52,12	240	190,47	600	313,71
-100	60,26	260	197,72	620	320,11
-80	68,34	280	204,91	640	326,48
-60	76,34	300	212,05	660	332,79
-40	84,27	320	219,15	680	339,06
-20	92,16	340	226,21	700	345,28
0	100,00	360	233,21	720	351,45
20	107,79	380	240,17	740	357,58
40	115,54	400	247,09	760	363,67
60	123,25	420	253,95	780	369,71
80	130,90	440	260,78	800	375,70
100	138,51	460	267,55	820	381,64
120	146,07	480	274,29	840	387,54
140	153,59	500	280,98	850	390,48

Fonte: Iope (2016).

3. METODOLOGIA

Tendo em vista os objetivos antes apresentados, o método empregado neste trabalho foi norteado por dois momentos: em um primeiro momento, focalizou-se no estudo teórico de trabalhos relacionados ao eixo temático deste estudo; e, em um segundo momento, realizou-se a aplicação do fato com análise dos resultados obtidos.

Destaca-se que a experiência em campo foi fator importante na aplicação deste trabalho, por se tratar de um estudo prático, que buscou a substituição de um sistema de controle de velocidade instalado utilizando recursos existentes. Esse objetivo partiu da consciência de que há, disponíveis no mercado, opções para modernização do referido sistema. Nessa medida, foram realizadas as seguintes etapas:

- Elaboração programa via CLP para realizar o controle proposto;
- Realização das simulações necessárias via CLP e campo com o objetivo de garantir a eficiência de controle;

- Implantação do sistema.

Para tanto, foram levantados dados de desempenho de controle do sistema existente através da variável controlada, seja o nível de uma caixa ou a pressão em uma bateria de ciclone, comparando o valor do *set point* com a respectiva variável controlada, por meio dos registros gráficos disponíveis no sistema supervisorio. Esses dados serviram como referência para comparação com o controle proposto.

3.1 Implantação do projeto

Para a implantação do sistema pretendido, o controlador eletrônico dedicado e obsoleto foi eliminado, sendo assim os cabos elétricos, utilizados para a alimentação de energia elétrica e para a definição do pedido de velocidade do controlador eletrônico dedicado passaram a desempenhar outras funções, as quais são detalhadas posteriormente.

Nessa medida com o desenvolvimento da programação utilizando a linguagem de contatos no CLP, obteve-se todas as funções do controlador eletrônico dedicado aplicado ao sistema.

3.1.1 Linguagem *Ladder*

A programação em linguagem de contatos utilizada na programação do CLP realiza todas as funções do controlador eletrônico dedicado. Esse controlador, conforme figura 23, trata-se de um circuito eletrônico desenvolvido com componentes eletrônicos discretos.

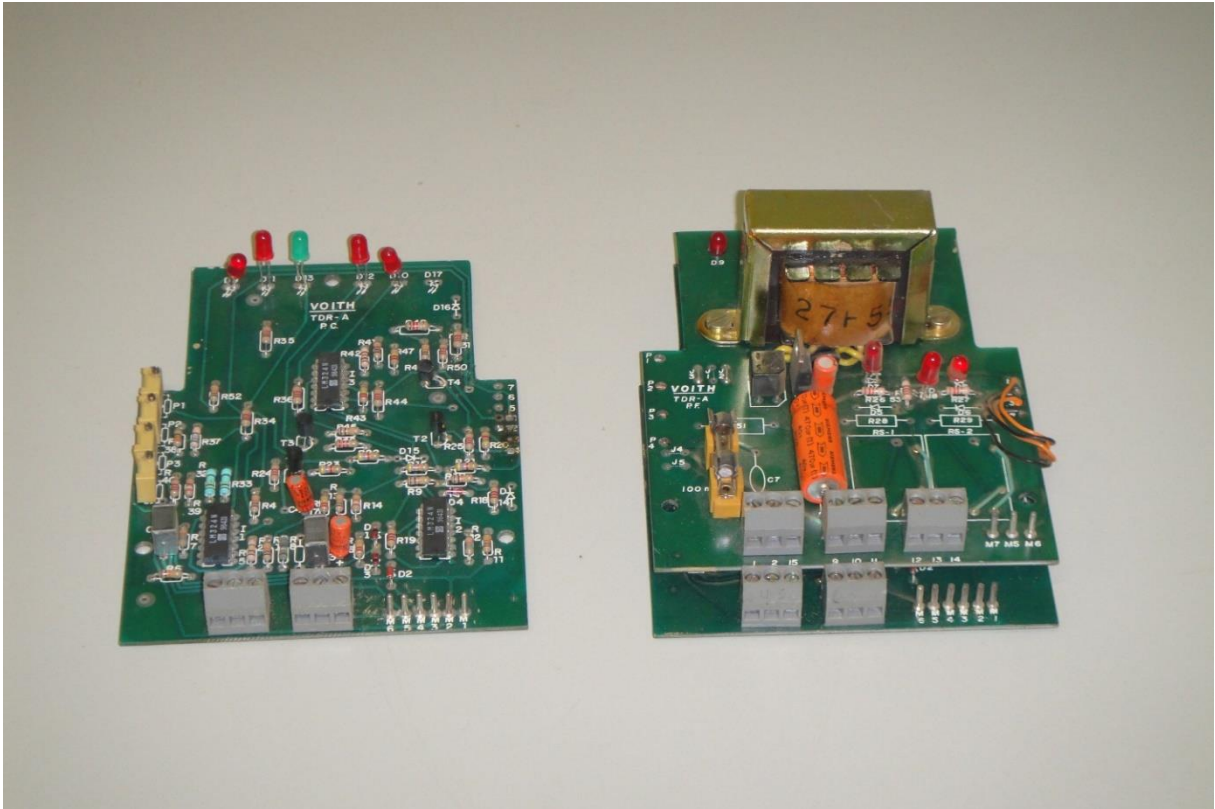


Figura 23: Controlador eletrônico dedicado.

A programação em linguagem de contatos foi desenvolvida em três malhas, detalhadas a seguir:

A malha 1, ilustrada na figura 24, apresenta um bloco matemático. A função dessa expressão matemática é converter o sinal proveniente do potenciômetro de realimentação para o valor de registro compatível com o tratado internamente pelo CLP, correspondente de 0 a 100% da faixa para 0 a 4095, sendo essa faixa interna ao CLP; isso por se tratar de um equipamento que trabalha com 12 *bits*, o que possibilita o tratamento desse sinal para demais etapas do programa.

$$REG1 = FIX(Z_{142389} - 49) * 7,626)$$

O REG1 do CLP recebe o valor correspondente a expressão, sendo essa simplificada minimizando a programação. Essa simplificação vem das seguintes etapas:

$$REGx = (REGx1 - \text{valor na posição zero}) * \frac{100}{\text{valor da faixa de trabalho}}$$

Nessa expressão o valor obtido em REGx corresponde a posição do potenciômetro de realimentação de 0 a 100% da faixa, sendo a primeira etapa da conversão desejada.

$$REGx2 = (REGx * 4095) / 100$$

Considerando o REGx2 o sinal de realimentação do potenciômetro já convertido conforme o desejado.

Intercalando as duas últimas expressões, tem-se a expressão simplificada.

$$REG1 = FIX ((Realimentação - posição zero) * 4095 / faixa de trabalho)$$



Figura 24: Malha 1 linguagem de contatos

A malha 2 do CLP, exposta na figura 25, realiza a função de controle do sistema. Essa malha possui duas saídas discretas, sv1 e sv2, que acionam as bobinas da válvula solenoide, comandando o movimento, para aumentar ou diminuir a velocidade.

Para o acionamento de uma das mencionadas saídas discretas, o contato NA xeliga deve estar fechado. Esse contato fecha somente quando o motor da bomba auxiliar do sistema a ser controlado estiver ligado. Estando esse contato aberto, desabilita o funcionamento da malha 2.

Na sequência o bloco SUB tem a função de comparar os sinais de pedido de velocidade, com o sinal de realimentação de origem do potenciômetro de realimentação. A diferença entre esses sinais é apresentada na saída do bloco SUB, sendo apresentada a diferença, com valor

absoluto, positiva na saída superior do referido bloco ou na saída inferior caso a diferença seja negativa.

Considerando a saída do bloco SUB pela saída superior, o sinal é encaminhado a entrada do bloco TEST, que compara esse sinal com o sinal fixo, no caso, igual a 150, uma vez a diferença superior a 150, o bloco TEST ativa a saída superior, ou seja, tem-se nível alto na saída superior do referido bloco.

O conteúdo citado de 150 refere-se à faixa digital utilizada nesse CLP. Conforme mencionado anteriormente, o referido CLP funciona com a faixa de 0 a 100% correspondente ao conteúdo digital de 0 a 4095, sendo assim o valor fixado para comparação corresponde a 3,66% da faixa.

$$x = \frac{150 * 100}{4096}$$

$$x = 3,66\%$$

Obteve-se valor ideal de funcionamento igual a 150 após a realização de testes com valores de 50 e 100, os quais apresentaram uma instabilidade de funcionamento do sistema.

Para que esse nível alto na saída do bloco TEST ative a saída discreta da bobina da válvula solenoide, sv1, os três contatos NF devem estar fechados. O primeiro contato auxdef é o contato de defeito do sistema, o segundo contato aux_z1 é o contato que garante que a diferença entre os sinais comparados no bloco TEST é maior que 150 e o terceiro contato é um intertravamento que garante que as duas bobinas sv1 e sv2 nunca serão acionadas ao mesmo tempo.

Após a ativação de saída discreta sv1, um contato NA dessa saída fecha, selando o circuito e garantindo que a saída discreta sv1 continuará ativa até que a diferença dos sinais comparados no bloco TEST seja igual ou inferior a 150. Com a diferença dos sinais comparados no bloco TEST igual ou inferior a 150 a bobina aux_z1 é energizada, e o seu contato NF, que está na linha da bobina da saída discreta sv1, abre, desenergizando a bobina da saída discreta sv1.

A parte inferior do programa, referente ao acionamento da bobina da saída discreta sv2 funciona de maneira similar a citada referente ao acionamento da bobina da saída discreta sv1. O bloco TEST tem a mesma função citada, o que o difere do primeiro é que se compara o conteúdo 150 com o sinal proveniente do bloco SUB.

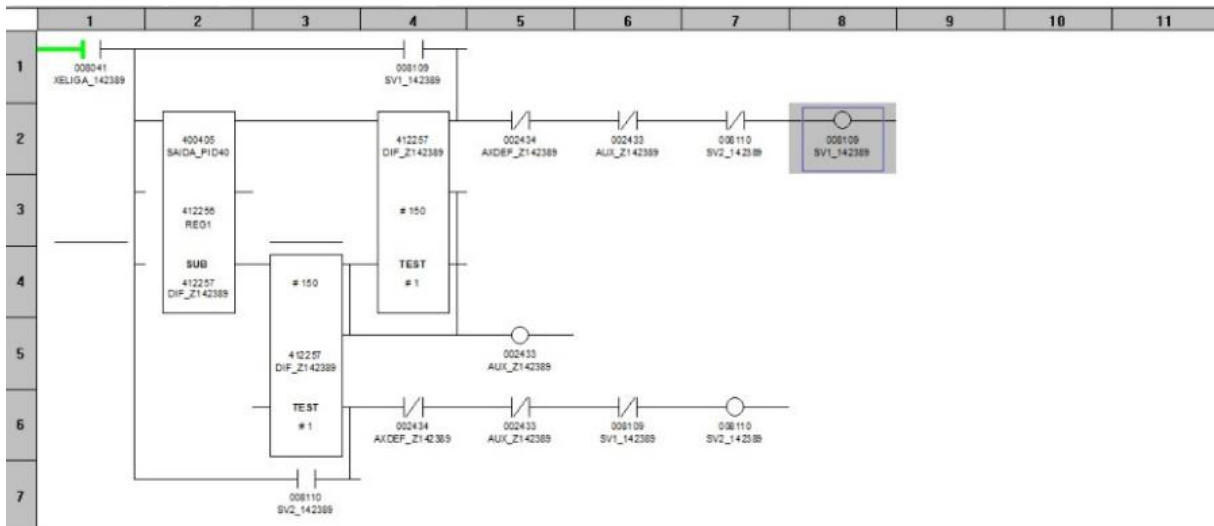


Figura 25: Malha 2 linguagem de contatos

A malha 3 de linguagem de contatos, evidenciada na figura 26, disponibiliza duas funções. A primeira é garantir que, no caso de falha do potenciômetro ou do seu respectivo cabo elétrico, o conteúdo lido pelo CLP não ultrapasse o valor máximo de sua faixa de trabalho, que é de 0 a 4095. Os blocos TEST e SUB desempenham essa função. A segunda função da parte inferior do programa, referente às linhas de programação 5 a 7, é a proteção das bobinas das válvulas solenoides, para que não fiquem energizadas por um longo período de tempo. Nessa medida, para todo acionamento das saídas discretas sv1 ou sv2 é ativado um bloco temporizador; logo se qualquer saída permanecer ativa por mais de 30 segundos, o sistema interromperá seu funcionamento e será ativado um alarme de falha no sistema. O tempo gasto para que o sistema varra todo o percurso, da posição 0% e atinja o 100%, ou saia da posição 100% até a posição 0%, é de aproximadamente 20 segundos.

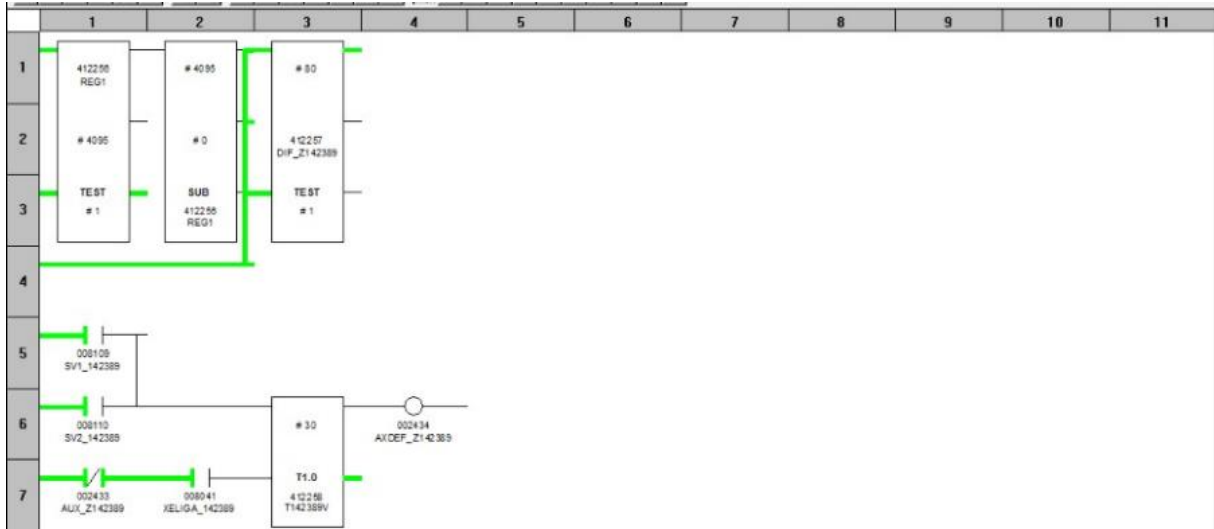


Figura 26: Malha 3 linguagem de contatos

3.1.2 Interligações dos cabos elétricos

Em um segundo momento realizou-se a interligação dos cabos elétricos em campo. O esquema da figura 27 representa as interligações elétricas do sistema atual.

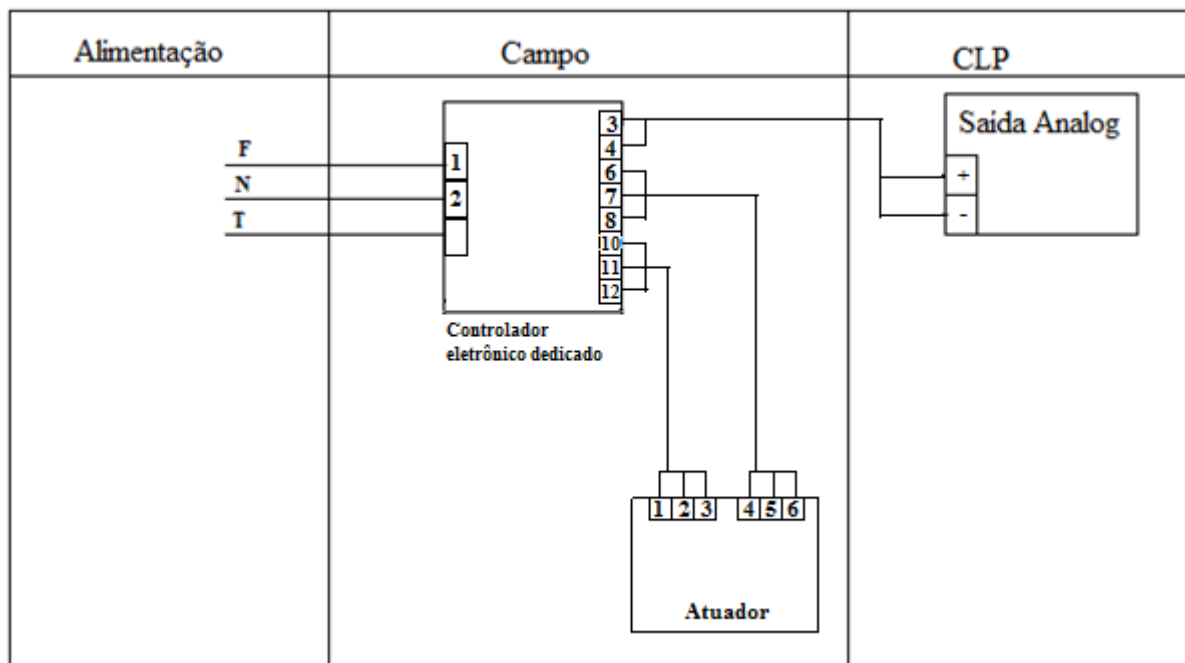


Figura 27: Interligações do sistema com controlador eletrônico dedicado

Em vista dessa figura 27, nas figuras 28 e 29 apresenta-se a nova interligação. O cabo elétrico utilizado no sistema atual como pedido de velocidade, sendo um cabo elétrico 2 x 1,5 mm² blindado utilizando sinal elétrico de 4 a 20 mA, passa a desempenhar outra função, a de realimentação do sistema levando o sinal de posição do pescador através do potenciômetro de realimentação. Esse sinal é encaminhado diretamente ao cartão RTD do CLP.

O cabo elétrico utilizado na alimentação do sistema atual, cabo elétrico 3 x 2,5 mm², terá uma outra função, qual seja: a de acionamento das duas bobinas da válvula solenoide comandadas diretamente pelo CLP. Um dos condutores foi ligado ao neutro e os outros dois condutores aos acionamentos das mencionadas bobinas. Para essa instalação foi lançado 20 metros de cabo elétrico 3 x 2,5 mm², entre o painel de entradas e saídas do CLP e o quadro de distribuição, no qual foi realizada a conexão desse cabo elétrico com o cabo elétrico existente.

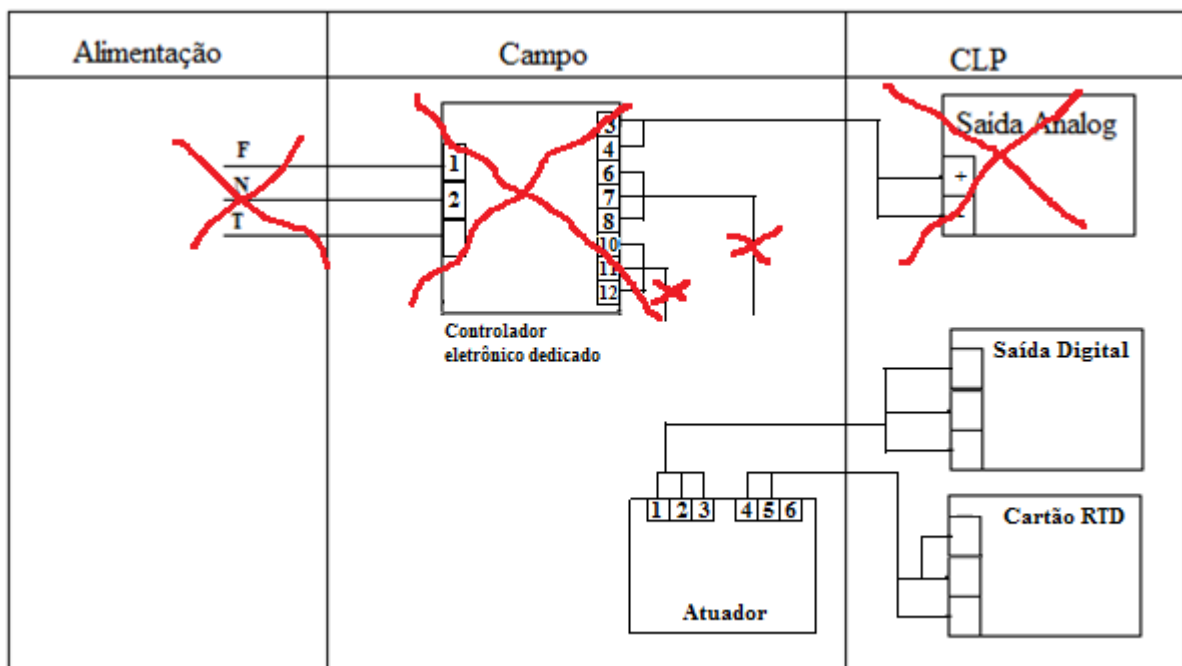


Figura 28: Interligações do novo sistema

O potenciômetro linear utilizado originalmente, do tipo carvão de valor ôhmico de 10 K Ω de uma volta, foi substituído, pois, é incompatível com a faixa de valores lida pelo cartão RTD do CLP. Esse potenciômetro linear foi substituído por outro potenciômetro linear de fio do tipo multivolts, com 10 volts e valor ôhmico de 5 K Ω , faixa compatível com o cartão RTD do CLP, pois, esse potenciômetro vai atuar em uma faixa inferior a meia volta. Junto a esse potenciômetro, foi instalado em série um resistor (R) de valor ôhmico de 100 Ω , com potência de 1/8 *watts*, conforme figura 29.

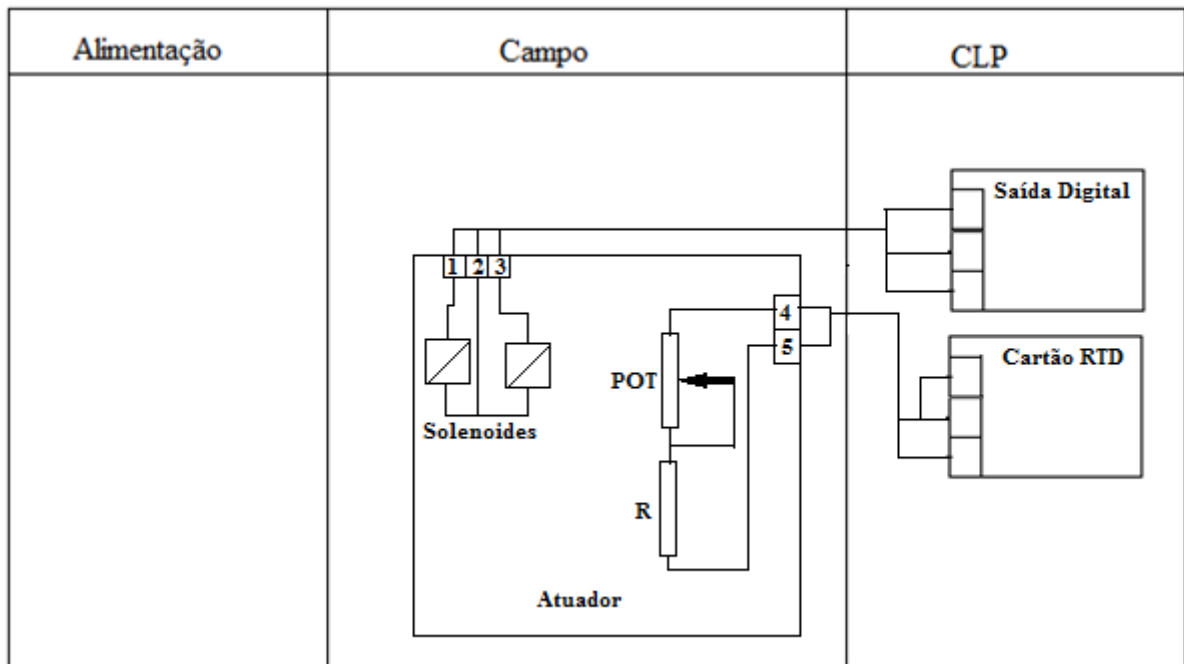


Figura 29: Interligações do novo sistema

O resistor foi instalado em série com o potenciômetro de realimentação com o objetivo de minimizar a programação na linguagem de contatos no CLP, pois, com o potenciômetro posicionado em 0% da faixa a realimentação será igual ao valor do resistor, ou seja, 100 Ω . Dessa forma, o CLP entenderá a realimentação como valor igual a zero, considerando que o sensor de temperatura PT100 reconhece 0°C com o valor ôhmico de 100 Ω , sendo assim, os valores de realimentação ficaram na faixa de valores positivos.

3.1.3 Lista de materiais

Para a instalação do sistema foram utilizados os seguintes materiais, com os respectivos custos estimados.

1. 20 metros de cabo elétrico, 3 x 2,5 mm², custo estimado total de R\$100,00;
2. 1 resistor de 100 Ω , 1/8 watt, custo estimado de R\$0,50.
3. 1 potenciômetro linear de fio, multivoltas (10 voltas) de 5 k Ω , valor estimado de R\$50,00.

Todos os materiais empregados estavam disponíveis na empresa, para a aquisição dos mesmos o valor total seria em torno de R\$150,50.

3.1.4 Testes de funcionamento

Após a programação das malhas utilizando a linguagem de contatos e as interligações elétricas, foram realizadas simulações de sinais do CLP para o campo.

Os valores simulados são apresentados na tabela 2.

A coluna média realiza a média aritmética dos resultados levantados das três colunas da esquerda:

$$Média = \frac{A1 + A2 + A3}{3}$$

O erro percentual foi calculado utilizando os resultados da média obtida com referência ao valor da faixa de corrente simulado.

$$Erro\% = \frac{Média - faixa}{faixa}$$

Tabela 2: Simulação e teste do sistema instalado

Sinal de corrente mA/%	A1 - Posição pescador %	A2 - Posição pescador %	A3 - Posição pescador %	Média	Erro %
4 (0%)	0	0	0	0	0
8 (25%)	24,5	25	24,5	24,6	-1,6
12 (50%)	50	49,5	50	49,8	-0,4
16 (75%)	76	75	74,5	75,2	0,3
20 (100%)	100	100	100	100	0

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho foi aplicado em um sistema que controla a velocidade de uma bomba centrífuga através do nível do seu reservatório. A escolha por esse sistema se deve à disponibilidade de um sistema reserva, o que possibilitou a instalação do sistema nessa bomba reserva, enquanto a outra permanecia em operação, não impactando a continuidade operacional da planta. No entanto, essa possui uma capacidade de bombeamento menor em relação à bomba titular do processo, o que dificultou, em partes, os testes do sistema de controle instalado, no que se refere ao tempo de testes, ou seja, o tempo de testes foi o menor possível para que não afetasse a produção.

4.1 Programa com linguagem *Ladder*

Conforme apresentado através das figuras 24, 25 e 26, o programa com o emprego da linguagem de contatos, responsável por substituir as funções do controlador eletrônico dedicado, apresenta reduzido número de páginas de programação, o que representa maior facilidade de análise e entendimento pela equipe responsável pela manutenção e automação da empresa. Ademais, isso, possibilita agilidade para identificação de problemas em caso de falhas ou defeitos do sistema.

4.2 Desempenho obtido e comparação entre os sistemas

O controle de velocidade utilizado em bombas centrífugas instaladas é subordinado ao controle de pressão em uma bateria de ciclones ou ao nível do reservatório que alimenta a bomba centrífuga em questão; variáveis imprescindíveis ao controle de processo em uma planta.

A figura 30 representa o desempenho do sistema com controle eletrônico dedicado. No instante inicial, o controle de nível do reservatório é efetuado manualmente através do sistema de supervisão, representado, nessa situação, pela pena na cor azul, em nível baixo. A pena amarela, por sua vez, representa a saída do sinal proveniente do controlador proporcional, integral, derivativo controlado pelo CLP. Nota-se que, com o sistema controlado manualmente esse sinal permanece constante.

Para que o controle seja alterado do modo manual para o automático, representado pela pena na cor azul, ao comando no sistema supervisorio a referida pena passa de nível baixo para nível alto. Nessa medida, percebe-se que o nível do reservatório da bomba, representado pela cor vermelha, sobe, iniciando, assim, o controle, buscando a menor oscilação e a maior estabilidade dessa variável.

As figuras 31 e 32 retratam o mesmo sistema, instantes depois do ponto inicial de controle automático.



Modo de controle – 0 = manual; 1 = automático

Saída do controle PID

Set point

Nível do reservatório

Figura 30: Controle inicial em automático do sistema com controle dedicado



Modo de controle – 0 = manual; 1 = automático

Saída do controle PID

Set point

Nível do reservatório

Figura 31: Controle em automático sistema com controle dedicado



Figura 32: Controle em automático sistema com controle dedicado

As figuras 33 e 34 representam o desempenho do novo sistema. No instante inicial o controle de nível do reservatório é controlado manualmente através do sistema de supervisão, representado, nessa situação, pela pena na cor azul, em nível baixo. A pena amarela, corresponde à saída do sinal proveniente do controlador Proporcional, integral, derivativo, controlado pelo CLP. Nota-se que, com o sistema controlado manualmente, esse sinal permanece constante.

Para que o controle seja alterado do modo manual para o automático, representado pela pena na cor azul, passou-se de nível baixo para nível alto. Logo percebe-se que o nível do reservatório da bomba, representado pela cor vermelha, sobe, iniciando, assim, o controle buscando a menor oscilação e a maior estabilidade dessa variável.

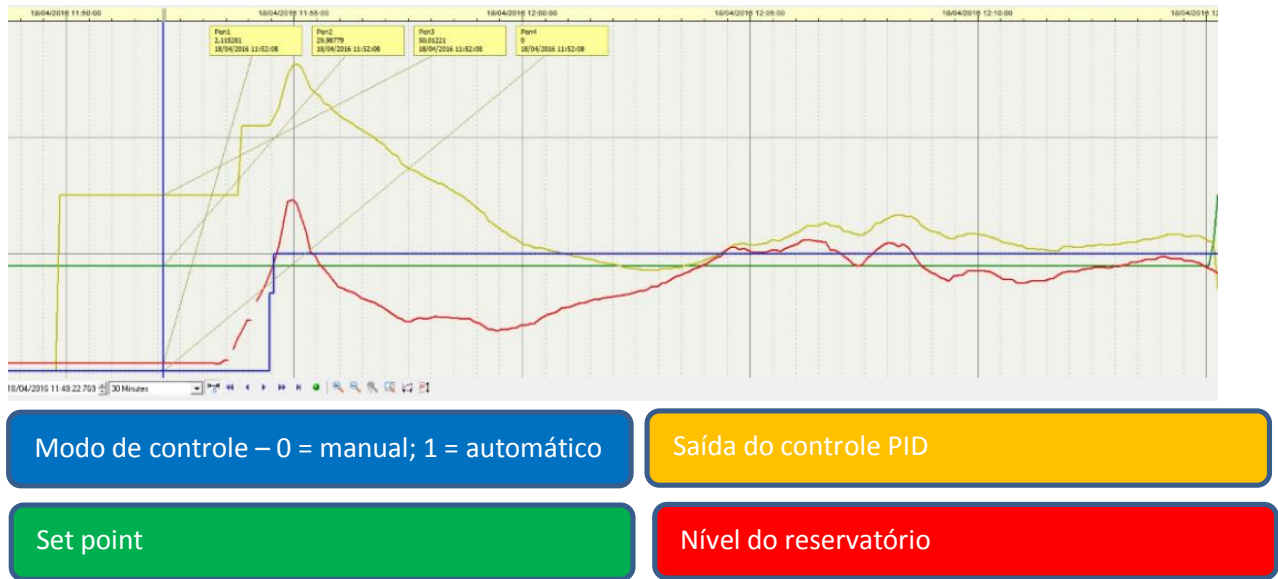


Figura 33: Controle em automático do novo sistema

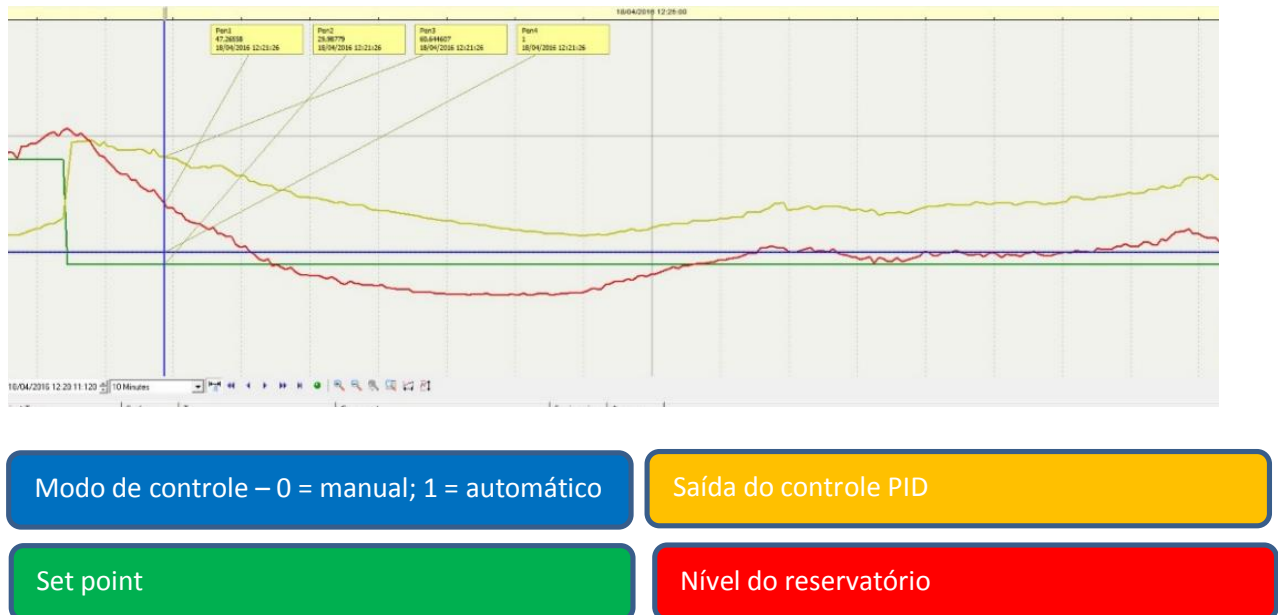


Figura 34: Controle em automático do novo sistema

Comparando os resultados apresentados nas figuras 30, 31 e 32 com os resultados ilustrados nas figuras 33 e 34, nota-se que o desempenho de controle do sistema instalado é similar ao desempenho do sistema com o controle dedicado.

A figura 35 representa o controle do sistema através da pressão medida em uma bateria de ciclones. O *set point*, valor desejado no controle, está ajustado em 1,40 kgf/cm². O valor de 1,37 kgf/cm², definido como entrada P141389, representa a variável de processo. A variável manipulada é representada pela saída: S142378, dada em percentual da velocidade da referida bomba centrífuga.

Realizando o cálculo do erro percentual entre o valor desejado 1,40 kgf/cm² e o valor da variável de processo 1,37 kgf/cm², e os valores levantados em um determinado instante do processo, tem-se:

$$E\% = \frac{(\text{variável de processo} - \text{valor desejado})}{\text{valor desejado}} * 100$$

$$E\% = \frac{1,37 - 1,40}{1,40} * 100 = -2,14\%$$



Figura 35: Controle em automático através do sistema com controle dedicado

Tendo em vista que o sistema proposto foi instalado em um processo com o controle de nível de um reservatório, não há dados disponíveis para comparação entre os dois

métodos em estudo, quais sejam: utilização do Controle eletrônico dedicado e controle via CLP, com a variável pressão; ficando essa comparação disponível para futuras aplicações.

4.3 Ajustes e colocação em funcionamento do sistema

Para a realização de ajustes e posta em marcha do sistema atual, com o controlador eletrônico dedicado, após uma intervenção no sistema de controle pela equipe de manutenção, utiliza-se o procedimento:

1. Passar o sistema para comando LOCAL no painel do controlador eletrônico dedicado;
2. Ligar a bomba de recirculação de óleo;
3. Inserir uma fonte de corrente externa através dos bornes números 3 e 4;
4. Ajustar a fonte de corrente externa para 50% da faixa, ou seja, 12 mA;
5. Retirar a tampa de proteção de acesso à haste do cilindro;
6. Soltar o parafuso de fixação de ajuste do potenciômetro de realimentação;
7. Ajustar manualmente o potenciômetro de realimentação, até que a haste do cilindro atinja 50% da faixa do percurso total;
8. Apertar o parafuso de fixação de ajuste do potenciômetro de realimentação;
9. Reinstalar a tampa de proteção de acesso à haste do cilindro;
10. Mudar o ajuste da fonte de corrente externa para 4,5 mA;
11. Ajustar o potenciômetro P3 totalmente no sentido anti-horário, no controlador eletrônico dedicado;
12. Ajustar o potenciômetro P1 até que o Diodo Emissor de Luz na cor verde acenda; ambos, no controlador eletrônico dedicado, indica que o valor da posição pedida está igual a posição real;
13. Mudar o ajuste da fonte de corrente externa para 19,5 mA;
14. Ajustar o potenciômetro P1 totalmente no sentido horário, no controlador eletrônico dedicado;
15. Ajustar o potenciômetro P2 até que o Diodo Emissor de Luz na cor verde acenda; ambos, no controlador eletrônico dedicado, indica que o valor da posição pedida está igual a posição real;
16. Repita os passos referentes aos itens 09 a 14 para confirmar os ajustes;
17. Mudar o ajuste da fonte de corrente externa para 4 mA;

18. Ajustar o potenciômetro P3 no sentido horário até que o Diodo Emissor de Luz número 9 acenda; ambos, no controlador eletrônico dedicado, indica que foi ajustado o limite de proteção quando o valor de pedido for igual a 0%;
19. Mudar o ajuste da fonte de corrente externa para 20 mA;
20. Ajustar o potenciômetro P4 no sentido anti-horário até que o Diodo Emissor de Luz número 10 acenda; ambos, no controlador eletrônico dedicado, indica que foi ajustado o limite de proteção quando o valor de pedido for igual a 100%;
21. Retirar a fonte de corrente inserida no sistema e religar os cabos nos bornes 3 e 4 do circuito de controle dedicado.

As ferramentas e instrumentos necessários, para a realização do procedimento citado, são:

1. Uma chave de boca 9/16 polegadas;
2. Um alicate de bico chato;
3. Uma chave de borne;
4. Uma chave de fenda, tipo relojoeiro;
5. Uma chave de fenda, tamanho médio;
6. Uma fonte de corrente, faixa de 4 a 20 mA.

Com o sistema proposto instalado, o procedimento para ajustes e colação em marcha segue as seguintes etapas:

1. Através da programação de linguagem de contatos via CLP, acionar a saída digital correspondente à bobina da válvula até que o atuador atinja a posição 0%;
2. O conteúdo lido no registro do potenciômetro de realimentação deve ser inserido no registro correspondente à posição 0%;
3. Através da programação de linguagem de contatos via CLP, acionar a saída digital correspondente à bobina da válvula até que o atuador atinja a posição 100%;
4. O conteúdo lido no registro do potenciômetro de realimentação deve ser inserido no registro correspondente à posição 100%;

As ferramentas e instrumentos necessários, para a realização do procedimento citado, são:

1. Computador com acesso ao CLP.

Diante do exposto, nota-se que com a implantação do sistema aqui proposto foram obtidos ganhos para o ajuste e a colocação em marcha, tanto inicial, quanto após uma

intervenção de manutenção, no sistema de controle. A redução do número de itens no procedimento de colocação em marcha representa um dos ganhos do sistema instalado. Para ratificar os objetivos específicos alcançados, além da redução de itens no procedimento de 21 para 06, o primeiro sistema é ajustado com a presença do Técnico de Manutenção em campo, intervindo no controlador eletrônico dedicado, utilizando ferramentas e instrumentos; já o segundo, que é o controle através do CLP, é realizado pelo Técnico de Manutenção, na sala, com acesso ao CLP, sem necessidade de utilização de ferramentas e instrumentos.

Em vista disso, salienta-se que a redução de tempo dispensado à realização do procedimento do novo sistema representa maior disponibilidade do equipamento para a operação, bem como maior disponibilidade do Técnico de Manutenção para a realização de outras atividades. Outro fator primordial é a redução de exposição ao risco de acidente do Técnico de Manutenção, devido à redução do tempo de exposição e, principalmente, pela eliminação da necessidade de ferramentas manuais.

5. CONCLUSÃO

Com a aplicação deste trabalho, utilizando o controle via CLP, garantiu-se a mesma eficiência do controle atual, bem como a atualização do sistema de controle, dado que se assegurou o uso de equipamentos e de acessórios disponíveis no mercado.

Ademais com o controle proposto foi possível, conforme demonstrado, agilizar e simplificar consideravelmente os ajustes e a verificação de funcionamento do sistema de controle do variador hidráulico de velocidade. Nesse sentido a elaboração da programação em linguagem de contatos em apenas três malhas trouxe um ganho considerável para o trabalho, pela facilidade de análise e de entendimento.

Salienta-se, ainda, que o emprego de um cartão de entrada de temperatura para a realimentação de um valor ôhmico proporcional à posição, torna-se essa utilização inovadora, bem como, possibilita vislumbrar novas aplicações.

Em vista disso, fica evidenciado que a instalação do sistema de controle via CLP em substituição ao sistema de controle eletrônico dedicado, aplicado em variadores de velocidade hidráulicos instalados nas décadas de 70 a 90, é uma aplicação eficiente e de baixo custo.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, H. A. R. **Implementação de controle digital de posição de motor CC em tempo real utilizando MATLAB e Simulink**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-06022013-103816/?&lang=br>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

DOMINGUES, M. P. **Avaliação do emprego de acoplamentos hidrodinâmicos em conjuntos motobombas de média tensão: aplicação no setor de saneamento**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli337.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2015.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. **Apostila Controladores Lógicos Programáveis**. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~aecc/Automacao/Controladores_Logicos_Programaveis.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

IOPE - Instrumentos de Precisão Ltda. Termoresistência PT-100. Disponível em: <http://www.iope.com.br/p_temp_tab_1.php#>. Acesso em: 20 fev. 2016.

LIMA, A.G.S. **Automação de testes funcionais em ambientes WEB: um estudo de caso no laboratório de sistema e banco de dados da Universidade Federal do Ceará**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Ceará, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000012/000012ec.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

OLIVEIRA, M. L. **Aplicação de um método construtivo de pneumática**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/200956472/modelo-tcc-automacao-industrial-ead-docx#scribd>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

PARKER - Tecnologia Pneumática Industrial - **Apostila M1001 BR** - Agosto 2000.

SCHNEIDER – **Product End-of-Life Instructions** – Apostila ENVEOLI101204EN – setembro 2011. Disponível em: <http://schneider-electric.com/files?p_Reference=ENVEOLI101204EN&p_File_Id=3655402&p_File_Name=ENVEOLI101204EN_V0.pdf>. Acesso em 3 dez.2015.

Sensores de temperatura PT100. Disponível em <http://www.omega.de/temperature/images/T3PROBES_m.jpg>. Acesso em: 20 fev. 2016.

SILVA, M. E. **Apostila Automação Industrial**. Escola de Engenharia de Piracicaba. 2005.

STOCLER, G. **Apostila Controlador Lógico Programável**. Cataguases. 2009.