

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CLEVERSON KRUL FERREIRA  
MICHAEL SCHILLER  
PAULA RIBEIRO COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TORRE AUTOMATIZADA PARA O  
RESFRIAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CUTIRIBA  
2014

CLEVERSON KRUL FERREIRA  
MICHAEL SCHILLER  
PAULA RIBEIRO COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TORRE AUTOMATIZADA PARA O  
RESFRIAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientadora: Rosângela Winter, M.Sc.

CURITIBA  
2014

**CLEVERSON KRUL FERREIRA  
MICHAEL SCHILLER  
PAULA RIBEIRO COSTA**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TORRE AUTOMATIZADA PARA O  
RESFRIAMENTO DE ÁGUA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, do **Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial**, da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 13 de Setembro de 2014

---

Prof. José da Silva Maia, M.Sc.  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Rafael Fontes Souto, M.Sc.  
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Clider Adriane de Souza Silva, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof.<sup>a</sup> Rosângela Winter, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientadora

---

Prof. Jaime Favretto, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Juvenal Akita, B.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

COSTA, P. R; SCHILLER, M.; FERREIRA, C. K. Desenvolvimento de uma torre automatizada para o resfriamento de água. 2014. 71f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Departamento de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O presente trabalho refere-se ao desenvolvimento e montagem de uma bancada acadêmica, a qual representa um sistema em malha fechada que simula uma torre de resfriamento de água automatizada. Apresenta-se um levantamento bibliográfico para embasamento teórico-conceitual, o qual consiste nos princípios de funcionamento dos dispositivos utilizados, como motores elétricos, sensores e atuadores, inversores de frequência, controlador lógico programável e sistema de supervisão. A programação do controlador lógico programável e dos inversores gerencia um sistema de controle automatizado e a modelagem do sistema supervisorio da interface humano-máquina, tem como prioridade sua fácil utilização. O resultado obtido foi um protótipo de uma bancada acadêmica que monitora e controla automaticamente a temperatura da água estabelecida pelo usuário.

**Palavras-chave:** Bancada acadêmica, torre de resfriamento, resfriamento de água, controlador lógico programável, inversor de frequência, sistema supervisorio, controle de temperatura.

## ABSTRACT

COSTA, P. R; SCHILLER, M.; FERREIRA, C. K. Development of an automated water cooling tower. 2014. 71f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Departamento de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The present work refers to the development and assembly of an academic bench, which represents a closed loop system that simulates an automated water cooling tower. It presents bibliographical survey for theoretical-conceptual basis, which consists of the operating principle of the devices used, like electric motors, sensors and actuators, frequency inverters, programmable logic controller and supervisory system. The programmable logic controller and inverters programming manages the automated control system and the supervisory system modeling of the human-machine interface, has the priority of easy to use. The result was a prototype of an academic bench that monitors and automatically controls the water temperature set by the user.

**Keywords:** Academic bench, cooling tower, water cooling, programmable logic controller, frequency inverter, supervisory system, temperature control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema Funcionamento do sistema.....	17
Figura 2 – Motor Elétrico .....	23
Figura 3 – Bomba Centrífuga .....	26
Figura 4 – Ciclo de tensão trifásica.....	27
Figura 5 – Ligação tipo estrela .....	28
Figura 6 – Ligação tipo triângulo.....	29
Figura 7 – Gráfico de temperatura de um sensor PT-100.....	30
Figura 8 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência.....	33
Figura 9 – Esquemas internos de um inversor de frequência .....	33
Figura 10 – Estrutura Básica de um CLP.....	37
Figura 11 – Fluxograma do ciclo de varredura. ....	41
Figura 12 – Sistema de Interface Humano Máquina (IHM).....	42
Figura 13 – Torre de Resfriamento de Água (bancada acadêmica) .....	45
Figura 14 – Circuito de Comandos e Alimentação.....	46
Figura 15 – Painel de controle principal (IHM).....	47
Figura 16 – Diagrama de Blocos do funcionamento da Torre de Resfriamento.....	48
Figura 17 – Tela do sistema supervisorio (IHM) .....	49
Figura 18 – Telas de configuração e desenvolvimento do sistema supervisorio.....	51
Figura 19 – Motor Bomba .....	52
Figura 20 – Motor Ventilador .....	53
Figura 21 – Sensor de Temperatura PT100 .....	54
Figura 22 – Sensor de Nível .....	55
Figura 23 – Controlador de Temperatura N1100 da Novus .....	56
Figura 24 – Radiador de Troca de Calor.....	56
Figura 25 – Fluxo de Resfriamento da Água .....	57
Figura 26 – Disjuntores.....	58
Figura 27 – Fonte 24 V .....	58
Figura 28 – Inversor de Frequência.....	59
Figura 29 – Controlador Lógico Programável - CLP .....	61
Figura 30 – Esquema 1 de Programação do CLP .....	62
Figura 31 – Esquema 2 de Programação do CLP .....	62
Figura 32 – Esquema 3 de Programação do CLP .....	62
Figura 33 – Esquema 4 de Programação do CLP .....	63
Figura 34 – Esquema 5 de Programação do CLP .....	63
Figura 35 – Esquema 6 de Programação do CLP .....	63
Figura 36 – Esquema 7 de Programação do CLP .....	63
Figura 37 – Esquema 8 de Programação do CLP .....	64
Figura 38 – Esquema elétrico de alimentação da TRA.....	64
Figura 39 – Esquema elétrico de alimentação do CLP .....	65
Figura 40 – Esquema elétrico de Entradas no CLP .....	65
Figura 41 – Esquema elétrico de Saídas do CLP .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistema de Memória da CPU.....	40
Tabela 2 – Valores de Parametrização dos Inversores de Frequência.....	60

## LISTA DE SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
IHM	Interface Humano-Máquina
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PC/MPI	Personal Computer/ Multiple Protocol Interface
PLC	Programmable Logic Controller
PWM	Pulsed Wave Modulation
RAM	Random-Access Memory
ROM	Read-Only Memory
RPM	Revolutions per minute
RTD	Resistance Temperature Detector
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SDCDs	Sistemas Digitais de Controle Distribuído
TRA	Torre de Resfriamento de água
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 TEMA .....	10
1.1.1 Delimitação do tema .....	12
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	13
1.3 OBJETIVO .....	14
1.3.1 Objetivo geral.....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	15
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 RESFRIAMENTO DE ÁGUA.....	18
2.1.1 Diferença entre refrigeração e resfriamento .....	18
2.1.2 Sistemas de resfriamento .....	18
2.1.2.1 Sistemas abertos de resfriamento .....	18
2.1.2.2 Sistemas semiabertos de resfriamento.....	19
2.1.2.3 Sistemas fechados de resfriamento.....	19
2.2 TORRE DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA.....	20
2.2.1 Conceitos e princípio de funcionamento de uma Torre de Resfriamento .....	20
2.2.2 Aplicações de torres de resfriamento.....	21
2.3 MOTORES ELÉTRICOS.....	21
2.3.1 Constituição de um motor .....	22
2.3.2 Motores Tipo Bomba.....	24
2.3.2.1 Bombas volumétricas .....	24
2.3.2.2 Turbobombas ou bombas dinâmicas .....	25
2.3.2.2.1 Classificação das turbobombas.....	25
2.3.2.2.2 Funcionamento da bomba centrífuga .....	26
2.3.3 Ligação dos motores – Sistemas de corrente alternada trifásico.....	27
2.3.3.1 Ligação em estrela .....	27
2.3.3.2 Ligação em triângulo .....	28
2.4 SENSORES .....	29
2.4.1 Sensor de temperatura .....	29
2.4.2 Sensor de nível.....	31
2.5 INVERSORES DE FREQUÊNCIA .....	31
2.5.1 Funcionamento .....	32
2.5.2 Parametrização.....	34
2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL – CLP.....	34
2.6.1 Histórico.....	35
2.6.2 Estrutura de um CLP .....	36
2.6.2.1 Fonte de Alimentação.....	37
2.6.2.2 Módulos de Entradas e Saídas.....	37

2.6.2.3 CPU – Unidade Central de Processamento .....	39
2.6.2.3.1 Processador .....	39
2.6.2.3.2 Sistema de Memória.....	40
2.6.3 Princípio de funcionamento .....	40
2.7 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS .....	41
2.7.1 Sistemas de Supervisão .....	41
2.7.2 Interface Humano Máquina (IHM).....	42
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....	44
3.1 BANCADA DIDÁTICA EXPERIMENTAL.....	44
3.1.1 Circuito de Comandos e Alimentação.....	46
3.1.2 Painel de Controle Principal (Interface Humano Máquina) .....	47
3.1.3 Funcionamento da Torre de Resfriamento de Água .....	47
3.1.4 Sistema Supervisório.....	49
3.2 COMPONENTES UTILIZADOS .....	52
3.2.1 Motores.....	52
3.2.1.1 Motor Bomba .....	52
3.2.1.2 Motor Ventilador .....	53
3.2.2 Sensores.....	54
3.2.2.1 Sensor de temperatura .....	54
3.2.2.2 Sensor de Nível .....	54
3.2.3 Controlador de temperatura.....	55
3.2.4 Radiador de Troca de Calor.....	56
3.2.5 Proteção e Alimentação do Sistema Elétrico .....	58
3.2.5.1 Disjuntores.....	58
3.2.5.2 Fonte de Alimentação 24 V .....	58
3.2.6 Inversores de Frequência .....	59
3.2.6.1 Parametrização dos Inversores .....	60
3.2.7 Controlador Lógico Programável – CLP .....	61
3.2.7.1 Programação do CLP .....	61
3.3 ESQUEMAS ELÉTRICOS DA TORRE DE RESFRIAMENTO.....	64
4 CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS.....	69

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

O avanço tecnológico em todas as áreas do conhecimento humano tem se mostrado expressivamente vertiginoso nos últimos anos. A utilização da automação nas indústrias tem sido cada vez maior. Isto faz com que as mesmas aumentem a qualidade e a quantidade da produção, tendo como consequência preços melhores aos seus clientes.

A engenharia de controle e automação é uma área com forte base conceitual matemática e de natureza multidisciplinar e interdisciplinar de acordo com Pena *et al.* (2001). A partir dessa informação, um projeto de controle e automação bem sucedido, depende da integração de variados campos, tais como a teoria de controle, processamento de sinais, instrumentação, comunicação, *software*, computação em tempo real entre outros (KHEIR *et al.*, 2004).

Na indústria tais temas são encontrados em diversas aplicações, utilizando os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCDs) e os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), os quais interagem com uma gama extensa de tecnologias de instrumentação, processo, comunicação e *softwares* de supervisão.

A automação industrial sempre é notada quando são inseridas novas técnicas de controle a um determinado processo. Para Ferreira (2007), automação "são sistemas automáticos de controle, pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem interferência do ser humano". Desse modo, pode-se dizer que automação é a tecnologia pela qual um processo ou procedimento é realizado sem ajuda humana, que utiliza para sua execução um programa combinado com um sistema de controle.

Para Silveira e Santos (2008),

A automação é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre qual atuam. Com base nas informações, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada para a execução da ação e esta é uma característica de sistemas em malha fechada, conhecidos como sistemas de realimentação, ou seja: aquele que mantém uma relação expressa entre o valor de saída em relação ao de

entrada de referência do processo. Essa relação entrada/saída serve para corrigir eventuais valores na saída que estejam fora dos valores desejados. Para tanto, são utilizados controladores que por meio da execução algorítmica de um programa ou circuito eletrônico, comparam o valor atual com o valor desejado, efetuando o cálculo para ajuste e correção.

Este cenário industrial inspirou o presente projeto, o qual se trata da construção de uma Torre de Resfriamento de Água e a implementação de uma interface humano-máquina. Trata-se de um sistema de controle em malha fechada, que simula a variação e controle da temperatura dentro da torre.

O projeto da Torre de Resfriamento de Água foi realizado nos laboratórios do Departamento de Eletrotécnica (DAELT) na própria Universidade Tecnológica Federal do Paraná e também foram ajustados externamente. As pesquisas teóricas foram feitas na biblioteca da universidade e na casa dos integrantes do presente trabalho.

Em busca de um sistema de controle que obtenha dados precisos foi proposto automatizar a Torre de Resfriamento em questão, para simular uma máquina utilizada em muitas indústrias no resfriamento e controle de temperatura de água para um determinado processo produtivo.

A comunicação desse sistema de controle foi feita de duas maneiras: por meio de um computador conectado por cabos ou por meio do painel de controle principal, instalado diretamente na torre.

Para poder visualizar todo o processo de funcionamento da Torre de Resfriamento foi desenvolvido no laboratório de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, um protótipo desta máquina que tem todas as funções de um equipamento de escala industrial.

De forma a melhorar os procedimentos operacionais e a manutenibilidade deste protótipo, foi instalado um sistema supervisor em um *desktop* (terminal local) onde o operador terá todo o controle e supervisão do processo envolvido nesta máquina, ou seja, através do sistema o operador poderá ligar ou desligar a máquina, checar o funcionamento dos motores e visualizar possíveis falhas no equipamento.

Segundo Moraes e Castrucci (2001):

Quando se trabalha com sistemas automatizados complexos, surge a necessidade de se criar uma interface de maneira a facilitar o trabalho da equipe encarregada da operação do sistema. Nos trabalhos de implantação

e teses é muito difícil avaliar o que está acontecendo pela análise do funcionamento da planta, diretamente pelo programa do CLP. Assim surge a necessidade da criação de uma interface amigável (eficiente e ergonômica), que o mercado tem designado por Sistema Supervisório ou Interface Humano-Máquina (IHM). Seu objetivo é permitir a supervisão e muitas vezes o comando de determinados pontos da planta automatizada.

### 1.1.1 Delimitação do tema

A partir do conceito de Automação Industrial e da necessidade de controle e monitoramento dos processos industriais, foi desenvolvida uma Torre de Resfriamento de Água, a qual é controlada via controlador lógico programável (CLP). O CLP, segundo Natale (2002), “pode controlar uma grande quantidade de variáveis, substituindo o ser humano com mais precisão, confiabilidade custo e rapidez.”.

O presente estudo visa, através da integração disciplinar estudada ao longo do curso, a demonstração de um sistema de resfriamento, o qual consiste na montagem de um protótipo de uma Torre de Resfriamento de Água. Nesta torre, que consiste num tanque, numa bomba d'água e uma colmeia para resfriamento onde se circula a água, o aquecimento é feito através de uma resistência elétrica e, quando a água atingir uma determinada temperatura, um motor ventilador começa a girar, fazendo assim com que a colmeia seja resfriada e a temperatura abaixe novamente.

Foi implementado na Torre de Resfriamento um sistema supervisório com uma interface humano-máquina (IHM) simples para controle e monitoramento da mesma. O sistema supervisório surge a partir da necessidade de um sistema remoto de controle cujos dados coletados permitam que os responsáveis pelo funcionamento da Torre de Resfriamento de Água possam monitorar e prever futuras ações ou soluções para o correto funcionamento do sistema. É de extrema importância que esse controle seja de fácil utilização, possuindo uma interface humano-máquina simplificada.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, os processos industriais têm a necessidade de serem controlados para que se obtenham maiores desempenhos e para se controlar qualquer atividade se faz necessário um monitoramento adequado. Assim surge o problema de controlar o processo em tempo real de maneira fácil e se possível remotamente. Tal controle deve ser preciso e de fácil manuseio.

Temperatura é sem dúvida a variável mais importante nos processos industriais. Sua medição e controle, embora difíceis, são vitais para a qualidade do processo e para a segurança não só das máquinas como também do ser humano. Não é difícil de chegar a esta conclusão, basta verificar que todas as características físico-químicas de qualquer substância alteram-se de forma bem definida com a temperatura.

Assim sendo, uma determinada substância pode ter suas dimensões, seu estado físico (sólido, líquido, gasoso), sua densidade, sua condutividade, etc., alterados pela mudança conveniente de seu estado térmico.

Então, qualquer que seja o tipo de processo, a temperatura afeta diretamente o seu comportamento provocando, por exemplo:

- Ritmo maior ou menor em produção;
- Uma mudança na qualidade de um produto
- Um aumento ou diminuição na segurança de um equipamento e/ou das pessoas;
- Um maior ou menor consumo de energia;
- E, por conseguinte, um maior ou menor custo de produção.

Buscou-se então com este trabalho resolver os seguintes problemas:

### **1) Como criar um sistema de resfriamento que possa exemplificar de forma acadêmica um processo industrial?**

Uma torre resfriamento foi montada pelo grupo em uma bancada para demonstração acadêmica do conteúdo disciplinar, desenvolvido durante o curso de Tecnologia em Automação Industrial dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Esta bancada acadêmica simula uma Torre de Resfriamento de Água (TRA) a qual integra ferramentas de *hardware* e *software* industriais numa configuração flexível e versátil. A TRA é constituída pelos principais elementos de sistemas de automação industrial, como motores elétricos, Controlador Lógico Programável (CLP), interface humano máquina, inversores de frequência, sensores e atuadores, os quais podem ser conectados eletricamente de diversas maneiras.

## **2) Como controlar e/ou monitorar a Torre de Resfriamento, desenvolvida pelo grupo, em tempo real?**

Para controle e monitoramento da torre foram utilizados dispositivos, tais como sensores e atuadores, inversores de frequência e um controlador lógico programável que foi interligado a interfaces humano máquina em um painel de controle principal, com botoeiras e um controlador de temperatura, e em um sistema supervisorio, com comunicação através de um computador que executa seu sistema de operação e supervisão (IHM-SCADA). Ambas as interfaces estão adaptadas para esta aplicação específica onde será possível controlar e monitorar a variação de temperatura em tempo real.

### 1.3 OBJETIVO

#### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi construir uma Torre de Resfriamento de Água em uma bancada acadêmica onde são demonstrados componentes utilizados nos processos de Automação industrial e foi implementado um sistema de controle e monitoramento da Torre de Resfriamento de Água utilizando como interface humano-máquina um sistema supervisorio.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar a bibliografia necessária para a elaboração deste projeto;

- Montar um protótipo de Torre de Resfriamento para que este demonstre a eficácia do sistema de controle;
- Fazer a programação dos dispositivos utilizados para o controle, sendo eles o controlador lógico programável e os inversores de frequência;
- Modelar um sistema supervisorio para a Torre de Resfriamento de modo que seja de fácil utilização.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A proposição do desenvolvimento de uma Torre de Resfriamento de Água para fins acadêmicos visa demonstrar na prática os conceitos e conhecimentos obtidos em diversas disciplinas do curso de Tecnologia em Automação Industrial, tais como:

- Máquinas elétricas;
- Controles lógicos programáveis;
- Interface Humano-máquina (IHM) e Sistema supervisorio;
- Instalações elétricas;
- Planejamento e análise.

A importância do desenvolvimento desta torre é justificada pelo fato de tornar possível a simulação de um processo físico. Segundo Prado (1999), a simulação, como o próprio nome indica, é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real. Portanto a bancada permite a simulação de um sistema de resfriamento de água e seu controle em tempo real.

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da Torre automatizada de Resfriamento de Água, foram realizadas reuniões entre a equipe, com o objetivo de discutir as necessidades do projeto.

As pesquisas bibliográficas foram realizadas a partir de livros, teses, artigos, dissertações e periódicos.



Foi desenvolvido um simulador de controle de temperatura em malha fechada, por meio da construção de um protótipo automatizado de controle de resfriamento de água, o qual utiliza um CLP, sistema supervisório, inversores de frequência, dispositivos de comando, controle e proteção.

A bancada acadêmica simulando uma Torre de Resfriamento de Água e seu controle de temperatura, foram desenvolvidos para atender as características de um processo real, baseado em normas técnicas, métodos e conceitos aprendidos durante o curso.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na Figura 1 pode-se visualizar o esquema de funcionamento do sistema de controle e comunicação da Torre de Resfriamento de Água. Esta, além de um painel de comando, tem o seu controle operacional feito por meio de um sistema supervisório (Terminal Local) que foi especialmente desenvolvido para controlá-la. Este sistema de comunicação funciona como um terminal de operação ou manutenção, que em caso de alguma falha ou problema no processo, possibilita ao técnico responsável pelo equipamento prestar uma manutenção ou executar alguma operação mesmo estando distante da Torre de Resfriamento.

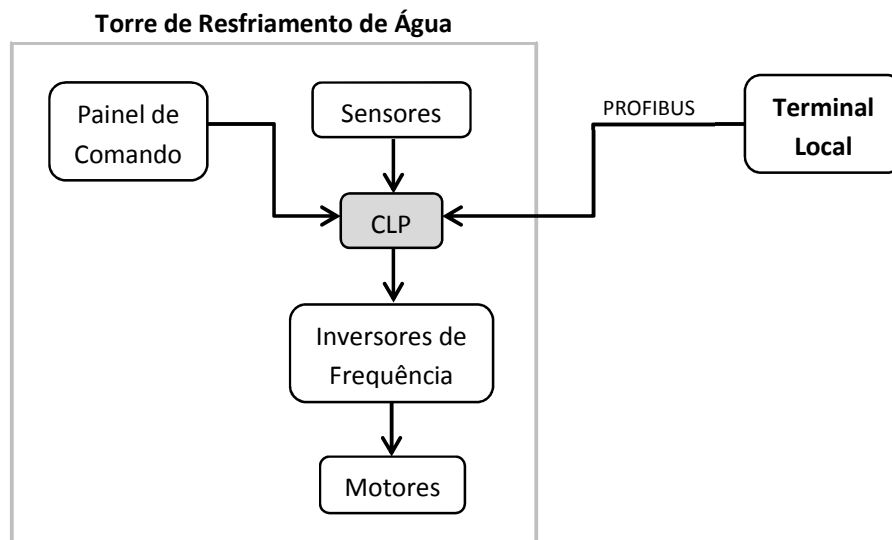


Figura 1 – Esquema Funcionamento do sistema  
Fonte: Autoria Própria

No esquema de funcionamento do sistema têm-se os seguintes elementos:

- Torre de Resfriamento: equipamento desenvolvido para controlar automaticamente a temperatura da água, simulando um processo industrial.
- Terminal Local: terminal ou console operacional da máquina onde o sistema supervisório foi instalado. Local onde o operador da Torre de Resfriamento comanda o equipamento, ou seja, inicia ou finaliza um processo, visualiza o funcionamento dos motores, etc.

Para este sistema funcionar corretamente, foram utilizados alguns *softwares* de programação e comunicação. Na Torre de Resfriamento foi utilizado um CLP (Controlador Lógico Programável) da marca Siemens, o modelo S7 200 para fazer toda a automação do equipamento, este por sua vez se comunica via cabo PC/MPI (Siemens) com um *desktop*, onde está instalado o programa do supervisor WinCC Siemens. Neste supervisor, o operador tem todo o controle operacional da máquina.

## 2.1 RESFRIAMENTO DE ÁGUA

### 2.1.1 Diferença entre refrigeração e resfriamento

- **Resfriamento** indica uma redução de temperatura, em qualquer intervalo que seja;
- **Refrigeração** indica, especificamente, a redução de temperatura a valores abaixo de 0 °C (273 K).

### 2.1.2 Sistemas de resfriamento

#### 2.1.2.1 Sistemas abertos de resfriamento

Também chamado de sistema de uma só passagem (“*once-through*”), é empregado quando existe disponibilidade de água suficientemente alta, com qualidade e temperatura satisfatórias para as necessidades do processo. A água é captada de sua fonte, circula pelo processo de resfriamento e é retornada ao final, com uma temperatura menos elevada (SELBY, 2002).

Neste tipo de sistema não há como proceder a um tratamento químico conveniente da água, uma vez que volumes muito altos estão envolvidos. Além disso, este processo tem o inconveniente de gerar a chamada “poluição térmica”, que pode comprometer a qualidade do curso de água onde é despejada.

Emprega-se este sistema em locais próximos a fontes abundantes e/ ou pouco onerosas de água.

### 2.1.2.2 Sistemas semiabertos de resfriamento

Segundo Selby (2002), um sistema semiaberto de resfriamento é utilizado quando existe demanda elevada e disponibilidade limitada de água. Após passar pelos equipamentos de troca térmica que devem ser resfriados, a água aquecida circula por uma instalação de resfriamento (torre, lagoa, “*spray*”, etc.) para reduzir sua temperatura e tornar-se própria para o reuso.

Apresenta um custo inicial elevado, porém resolve o problema de eventual escassez de água, possibilita menor volume de captação e evita o transtorno da poluição térmica. Pode ser submetido a um tratamento químico adequado, capaz de manter o sistema em condições operacionais satisfatórias e, com isto, pode-se reduzir os custos operacionais do processo (SELBY, 2002).

### 2.1.2.3 Sistemas fechados de resfriamento

É aplicado em processos nos quais a água deve ser mantida em temperaturas menores ou maiores do que as conseguidas pelos sistemas semiabertos. Também é empregado em instalações pequenas e móveis.

De acordo com Dossat (2004), neste sistema, a água (ou outro meio) é resfriada em um trocador de calor e não entra em contato direto com os demais fluidos do processo (ar, gases, etc.).

Alguns exemplos que utilizam este sistema são: circuitos fechados para resfriamento de compressores, turbinas a gás, instalações de água gelada, radiadores de motores a combustão interna (automóveis, caminhões, tratores) e algumas instalações de ar condicionado e refrigeração (DOSSAT, 2004).

A Torre de Resfriamento desenvolvida neste trabalho de diplomação utiliza um sistema fechado de resfriamento.

## 2.2 TORRE DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA

### 2.2.1 Conceitos e princípio de funcionamento de uma Torre de Resfriamento

Em muitos processos, há necessidade de remover carga térmica de um dado sistema e usa-se, na maioria dos casos, água como o fluido de resfriamento. Devido à sua crescente escassez e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água "quente" que sai desses resfriadores deve ser reaproveitada. Para tanto, ela passa por outro equipamento que a resfria, em geral uma torre chamada Torre de Resfriamento.

O desempenho de uma Torre de Resfriamento varia, entre outros fatores, conforme a temperatura do ar ambiente e umidade do ar, ou seja, com o clima. No inverno, a temperatura do ar cai e a temperatura de saída da água também cai, caso a carga térmica seja mantida constante. Para manter a temperatura da água de saída constante, pode-se diminuir a vazão de água que circula no sistema de resfriamento.

No verão ocorre o inverso. A temperatura de saída da água aumenta, comprometendo a operação de um trocador de calor, ou colmeia, por exemplo. Para compensar este aumento de temperatura pode-se aumentar a vazão de água no sistema, visando uma maior quantidade de água durante a troca de calor com o ambiente. Em países de clima quente como o Brasil, os principais problemas de queda de desempenho na operação de torres de resfriamento ocorrem durante o verão.

O desempenho da Torre de Resfriamento é afetado pelas condições do tempo, mas existem mais obstáculos para superar. Na verdade, a torre é parte de um circuito de troca de energia, portanto sempre que os níveis de produção sejam alterados ou novos sistemas de resfriamento estejam disponíveis, a temperatura da água irá se alterar. A qualidade da água é também uma questão importante, porque a troca de calor depende fortemente desse valor.

### 2.2.2 Aplicações de torres de resfriamento

Torres de resfriamento industriais usam água para remover calor de uma variedade de fontes como de máquinas ou materiais que tenham processos com aquecimento. O uso principal das grandes e industriais torres de resfriamento é remover o calor absorvido nos sistemas de resfriamento usados em centrais elétricas, refinarias de petróleo, fábricas que processam alimentos, e outras instalações industriais tais como:

- Operações siderúrgicas, metalúrgicas, fundições, usinagens, resfriamento de fornos, moldes, formas, etc.;
- Resfriamento de reatores químicos, bioquímicos e nucleares;
- Condensação de vapores em operações de destilação e evaporadores, colunas barométricas, descargas de turbinas de instalações termelétricas e nucleares, etc.;
- Resfriamento de compressores e gases frigoríficos em circuitos de refrigeração (condensadores evaporativos), incluindo operações de ar condicionado e de frio alimentar;
- Arrefecimento de mancais, peças, partes móveis, lubrificantes, rotores e inúmeras máquinas e equipamentos;
- Resfriamento dos mais variados fluidos (líquidos e gases) em trocadores de calor, entre muitas outras aplicações.

## 2.3 MOTORES ELÉTRICOS

O motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica. Em geral esta energia mecânica é disponibilizada num eixo em rotação, que pode ser aproveitado de diversas maneiras, conforme a aplicação desejada (ALMEIDA, 1995).

Existem diversos tipos de motores elétricos, os quais são divididos em duas grandes famílias. Uma delas é a dos motores acionados por corrente contínua (motores CC) e a outra é família dos motores de corrente alternada (motores CA). Devido à fácil disponibilidade de corrente alternada e um melhor aproveitamento de

custo, o motor CA é o mais popular na indústria. Além disso, a indústria também normalmente utiliza os motores de indução polifásico, uma vez que os sistemas atuais de distribuição de energia elétrica normalmente são trifásicos de corrente alternada (FILIPPO, 2000).

Segundo Filippo Filho (2000):

Estima-se que mais de 40% de toda a energia elétrica consumida no país é destinada ao acionamento de motores elétricos em geral. No setor industrial como um todo, pouco mais da metade da energia elétrica é consumida por motores. Os outros pontos de forte consumo são os processos eletroquímicos, aquecimento e iluminação. São comuns as indústrias nas quais mais de 80% do consumo de energia elétrica é de responsabilidade dos motores.

A Torre de Resfriamento desenvolvida no presente trabalho de diplomação utiliza um motor CA trifásico, com uma hélice acoplada em seu eixo, para a ventilação do sistema de resfriamento.

### 2.3.1 Constituição de um motor

O motor utilizado no sistema de ventilação do presente projeto também é um motor de indução, como boa parte dos motores elétricos. O seu princípio de funcionamento baseia-se na interação do fluxo magnético com uma corrente em um condutor, resultando numa força no condutor. A variação deste fluxo magnético no interior de uma espira gera a indução de tensão em seus terminais. Caso estes terminais estejam curto-circuitados, haverá circulação de uma corrente elétrica induzida (ALMEIDA, 1995).

Segundo Franchi (2007), outra característica do componente utilizado é referente ao tipo de construção do motor. De um modo geral, existem dois tipos de motores de indução trifásicos, o com rotor bobinado (em anéis) e o com rotor em gaiola. O sistema de ventilação da torre possui um motor com rotor em gaiola, ilustrado na Figura 2.

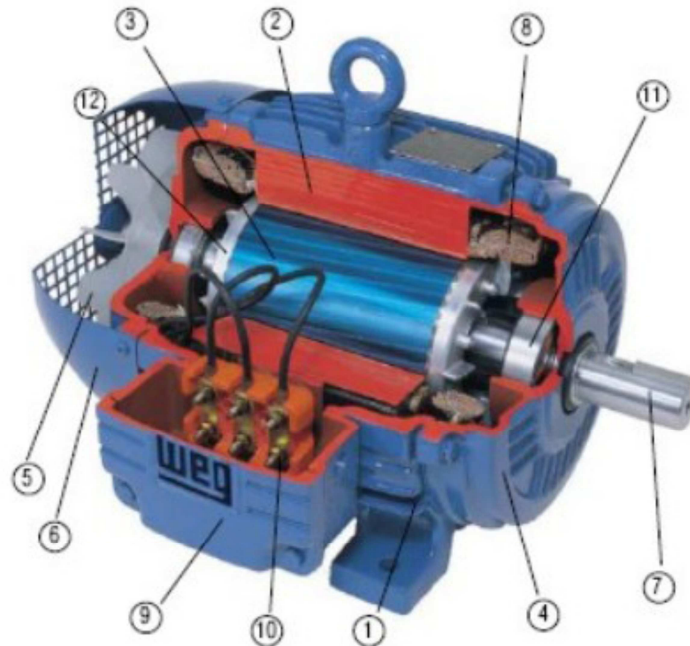


Figura 2 – Motor Elétrico  
Fonte: WEG (2009)

Este tipo de motor é constituído basicamente pelos seguintes elementos:

- **Circuito magnético estático:** composto por chapas ferromagnéticas (2) empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator, e que fica na estrutura do motor, ou carcaça (1), que exerce a função de suporte do conjunto. É construído em ferro fundido, aço ou alumínio injetado que o torna robusto e resistente à corrosão. Ainda possui aletas para uma melhor refrigeração;
- **Bobinas:** composto por um enrolamento trifásico (8), localizadas em cavas abertas no motor e alimentadas pela rede de corrente alternada, vão de acordo com o número de grupos que caracterizam o motor monofásico ou polifásico;
- **Rotor:** formado por um núcleo ferromagnético (3), sobre o qual se encontra um conjunto de condutores paralelo ou um enrolamento, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator. Ainda possui um eixo (7) de rotação de saída e barras com anéis de curto-circuito (12). O rotor é apoiado em uma cavidade que transmite à



carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o estator e rotor) é bastante reduzido, de forma a diminuir a corrente em vazio;

▪ **Outros:** ainda há componentes como a tampa (4), o Ventilador (5), a Tampa defletora (6), a caixa de ligação (9), os terminais (10) e os rolamentos (11).

Segundo Franchi (2007):

Quando o motor é energizado, ele funciona como um transformador com secundário em curto-circuito, portanto exige da rede uma corrente maior do que o nominal. À medida que o campo girante arrasta o rotor, aumentando sua velocidade, a corrente diminui até atingir a corrente nominal, no tempo em que a rotação atinge seu valor nominal.

### 2.3.2 Motores Tipo Bomba

O motor do tipo bomba é um dispositivo utilizado para mover fluidos, tais como líquidos, lamas, ou até mesmo gases. As bombas podem mover um volume por ação física ou mecânica. Um equívoco comum sobre bombas é que elas criam pressão quando, na verdade, elas não realizam este trabalho sozinhas, mas apenas deslocam o fluido. A resistência no fluxo do fluido é a verdadeira causa de pressão (CARVALHO, 1999).

A classificação geral mais significativa para as bombas é aquela apresentada pelo “*Hydraulic Institute*”, segundo o qual as bombas são subdivididas em dois grandes grupos:

- a) Bombas volumétricas;
- b) Turbobombas.

#### 2.3.2.1 Bombas volumétricas

Para Mattos e Falco (1998) as bombas volumétricas ou de deslocamento positivo são aquelas em que a energia é fornecida ao líquido já sob a forma de pressão, não havendo portanto a necessidade de transformação como no caso das bombas centrífugas. Assim sendo, a movimentação do líquido é diretamente causada pela movimentação de um órgão mecânico da bomba. O líquido enche e

depois é expulso de espaços com volume determinado no interior da bomba e por isso resultando o nome de bombas volumétricas.

### 2.3.2.2 Turbobombas ou bombas dinâmicas

São máquinas nas quais a movimentação do líquido é produzida por forças que se desenvolvem na massa líquida, em consequência da rotação de um rotor, também conhecido como impelidor, com certo número de pás especiais. A distinção entre os diversos tipos de turbobombas é feita fundamentalmente em função da forma como o impelidor cede forças ao fluido bem como pela orientação do fluido ao sair do rotor (MATTOS e FALCO, 1998).

#### 2.3.2.2.1 Classificação das turbobombas

A principal classificação das turbobombas leva em consideração a trajetória desenvolvida pelo fluido no rotor. Assim, quanto a este aspecto, segundo Carvalho (1999), classificam-se as turbobombas em:

- a) bombas axiais: trajetória do fluido se desenvolve, com relação ao rotor, em direção preponderantemente axial. São bombas cujo campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de grandes vazões em pequenas alturas;
- b) bombas diagonais ou de fluxo misto: constitui um caso intermediário entre as bombas radiais e axiais, tanto no que diz respeito à trajetória, como, inclusive no campo de emprego. Assim, sua trajetória se faz numa diagonal e seu campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de médias vazões em médias alturas;
- c) bombas radiais ou centrífugas: o fluido penetra axialmente no rotor, sendo sua trajetória bruscamente desviada para a direção radial. São bombas cujo campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de pequenas vazões em grandes alturas.

Para Macintyre (2013) em uma bomba centrífuga pura ou radial, o líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos normais ao eixo. Essas trajetórias são portanto curvas praticamente planas contidas em planos radiais.

### 2.3.2.2 Funcionamento da bomba centrífuga

No funcionamento de uma bomba centrífuga, uma fonte externa à bomba, como um motor elétrico, gira um rotor dentro do corpo da bomba que por sua vez movimenta o líquido e gera a força centrífuga que cria uma zona de pressão. Portanto é necessário que a bomba centrífuga contenha líquido em seu interior para seu correto funcionamento.

Segundo Macintyre (2013), resumidamente o que ocorre durante o funcionamento de uma bomba centrífuga, é que o rotor, também chamado de impelidor, fornece energia ao líquido e com isso certo aumento de pressão ocorre durante a passagem do fluído desde a entrada até a saída do canal formado pelas pás do impelidor.

Na Figura 3 se verifica uma vista em corte de uma bomba centrífuga:

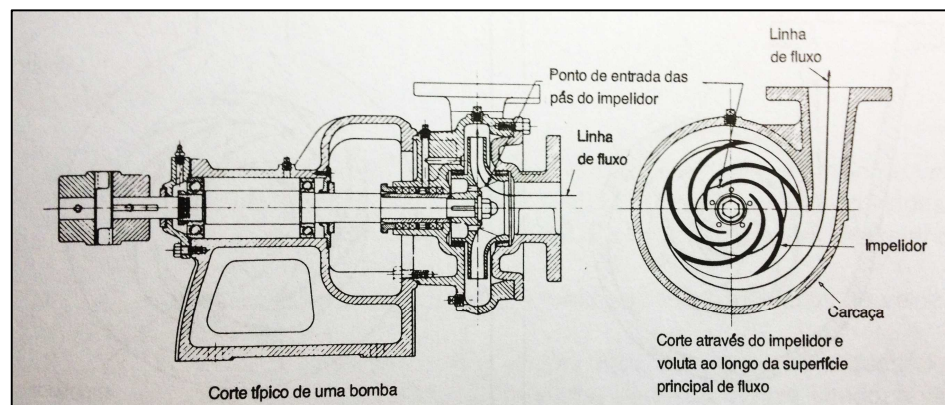


Figura 3 – Bomba Centrífuga  
Fonte: Mattos e Falco (1998)

Para Mattos e Falco (1998) o funcionamento da bomba centrífuga baseia-se praticamente na criação de uma zona de baixa pressão e de uma zona de alta pressão:

A criação da zona de baixa pressão decorre do fato de que o líquido, recebendo através das pás o movimento de rotação do impelidor, fica sujeito à força centrífuga que faz com que as partículas do líquido se desloquem em direção à periferia do impelidor. Este deslocamento acarreta a criação da baixa pressão na região central, estabelecendo assim a primeira condição para o funcionamento que é um fluxo contínuo. A zona de alta pressão se dá na periferia e é a responsável pela possibilidade de transporte do fluido e atendimento das condições finais do processo. O líquido que parte para a periferia, sob a ação da força centrífuga, vai encontrar um aumento progressivo na área de escoamento, que causará queda de velocidade e aumento da pressão, necessária para que a bomba cumpra a sua função.

### 2.3.3 Ligação dos motores – Sistemas de corrente alternada trifásico

De acordo com o catálogo geral de motores elétricos da WEG (2009), o sistema trifásico é formado pela associação de três sistemas monofásicos de tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  tais que a defasagem entre elas seja de  $120^\circ$ , ou seja, os “atrasos” de  $U_2$  em relação a  $U_1$ , de  $U_3$  em relação a  $U_2$  e de  $U_1$  em relação a  $U_3$  sejam iguais a  $120^\circ$  (considerando um ciclo completo =  $360^\circ$ ). O sistema é equilibrado, portanto as três tensões têm o mesmo valor eficaz  $U_1 = U_2 = U_3$  conforme Figura 4:

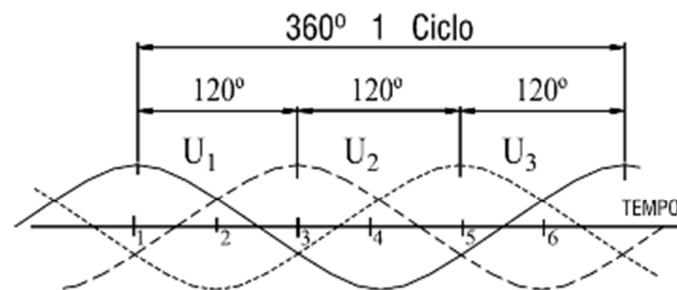


Figura 4 – Ciclo de tensão trifásica  
Fonte: WEG (2009)

Ligando entre si os três sistemas monofásicos teremos um sistema trifásico: três tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  equilibradas, defasadas entre si de  $120^\circ$  e aplicadas entre os três fios do sistema. A ligação pode ser feita de duas maneiras, ligação em estrela ou ligação em triângulo.

#### 2.3.3.1 Ligação em estrela

O catálogo WEG (2009) ainda diz que em uma ligação do tipo estrela, também conhecida por  $Y$ , os terminais das partes iniciais do enrolamento ficam acessíveis para a conexão da carga enquanto os outros terminais são conectados a um interno ponto comum que é o neutro utilizado para se medir as tensões de fase. Este tipo de ligação quando utilizada em motores trifásicos normalmente os configuram para funcionamento com uma tensão de rede de 380 V.

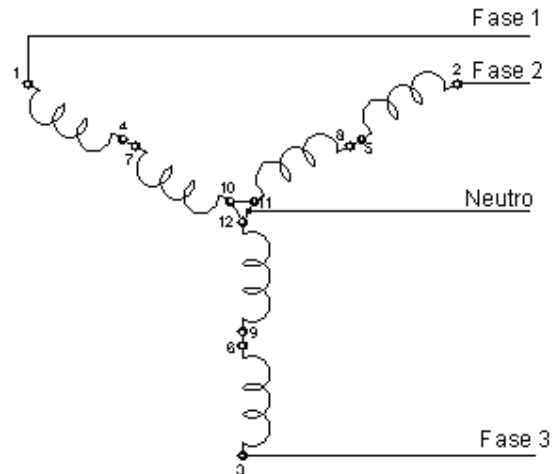


Figura 5 – Ligação tipo estrela  
Fonte: WEG (2009)

Segundo Franchi (2007) as vantagens da ligação em estrela são:

- Duas tensões diferentes para a carga;
- A corrente no condutor neutro é a soma fasorial das correntes de linha: se a carga é equilibrada (três impedâncias iguais), a corrente no neutro é nula (neste caso em particular não é necessário instalar o neutro, porém é recomendado devido a sua função de ser proteção de cargas desequilibradas). Caso contrário, o neutro é necessário para cargas desequilibradas (e usualmente ligado ao terra), ou seja, conectando um dos cabos de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela, onde temos um quarto cabo ligado ao ponto comum das três fases.
- A corrente de cada fio da linha é a mesma corrente da fase que está ligada.
- A tensão entre dois cabos quaisquer do sistema trifásico é a soma gráfica das tensões das duas fases às quais estão ligadas.

### 2.3.3.2 Ligação em triângulo

Em uma ligação do tipo triângulo, também conhecida por  $\Delta$  (delta), o terminal da parte inicial do enrolamento é conectado ao terminal final do enrolamento subsequente, onde as fases do sistema são interligadas nos pontos de junção dos terminais da carga. Este tipo de ligação quando utilizada em motores trifásicos normalmente os configuram para funcionamento com uma tensão de rede de 220 V (WEG, 2009).

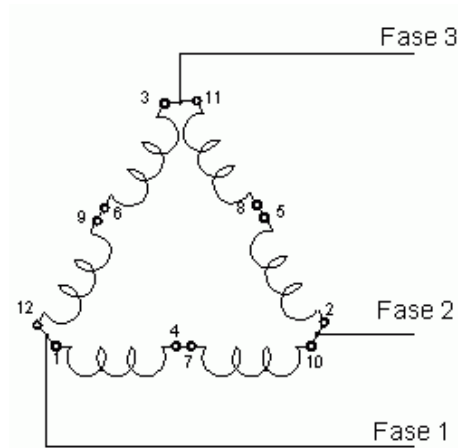


Figura 6 – Ligação tipo triângulo  
Fonte: WEG (2009)

Examinado este tipo de ligação, “a cada carga é aplicada a tensão de linha que é a própria tensão do sistema monofásico. A corrente em cada cabo de linha, ou corrente de linha, é a soma das correntes das duas fases ligadas a esse cabo.” (FRANCHI, 2007).

## 2.4 SENSORES

### 2.4.1 Sensor de temperatura

Conforme Regazzi *et al.* (2005), os sensores são dispositivos, os quais respondem sob a ação de uma grandeza física, fornecendo direta ou indiretamente um sinal o qual indica essa grandeza. Os sensores reagem a um estímulo físico ou químico de maneira específica e mensurável analogicamente. No caso o sensor de temperatura funciona como um termômetro onde a resistência opera baseada no princípio da variação da resistência elétrica de um metal, em função da temperatura, sendo fabricado com fios de alta pureza de platina, níquel ou de cobre.

A temperatura deve ser deduzida, ou seja, não pode ser determinada diretamente, mas a partir de seus sinais elétricos ou físicos produzidos sobre uma substância, que possuem características são conhecidas. Os medidores de temperatura são construídos baseados nesses efeitos (FIALHO, 2010).

Os sensores de temperatura possuem como características a alta estabilidade tanto mecânica quanto térmica, resistência à contaminação, relação de Resistência

x Temperatura praticamente linear, o desvio com o uso e envelhecimento desprezíveis, além do alto sinal elétrico de saída. O sensor de resistência de platina é o modelo de laboratório e o padrão mundial para medidas de temperatura na faixa de  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $962\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para a utilização industrial é um sensor de inigualável precisão, estabilidade e sensibilidade.

A resistência térmica de platina é a mais utilizada na indústria devido a sua grande precisão e estabilidade. A platina é um metal especialmente indicado para a construção de sensores de temperatura, pois se pode refinar até atingir grande pureza.

Para a medição de temperatura da água na Torre de Resfriamento desenvolvida pelo grupo, foi utilizado um sensor de temperatura do tipo resistivo, que varia o valor da resistência com relação à temperatura, e apresenta um comportamento linear de  $+10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  (faixa de temperatura de  $-150$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e opera com alimentação que varia de 4 a 30 V. Este sensor é conhecido como PT-100 ou RTD e sua característica apresenta uma resistência ôhmica de 100 ohm a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (BRUSAMARELLO e BALBINOT, 2006). O gráfico mostrado na Figura 7 ilustra como se comporta o sensor PT-100.

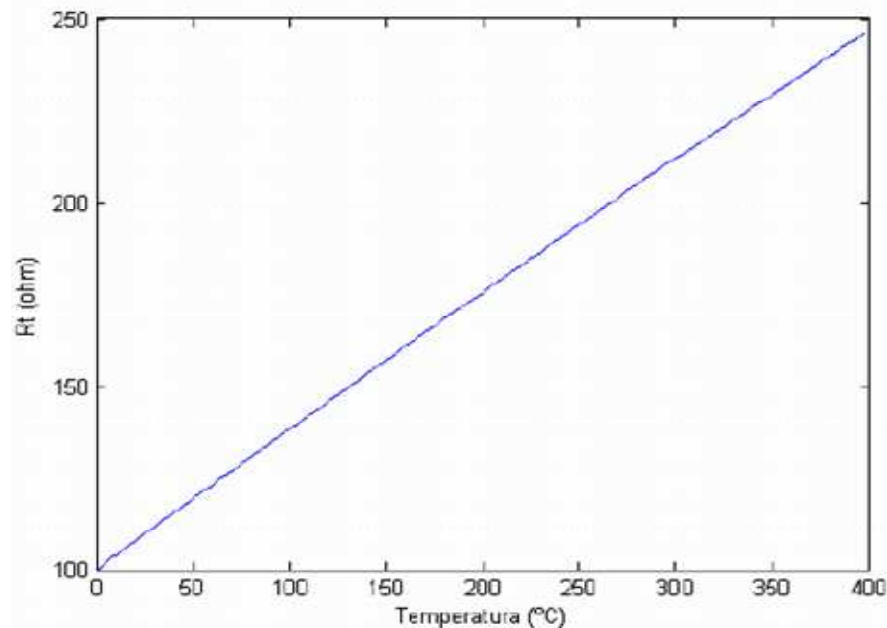


Figura 7 – Gráfico de temperatura de um sensor PT-100  
Fonte: Adaptado de Brusamarello e Balbinot (2006)

#### 2.4.2 Sensor de nível

Um sensor muito utilizado na indústria, especialmente em processos onde existe a constante necessidade de medição de um conteúdo em um determinado reservatório, é o sensor de nível. Diversas são as formas de se verificar, monitorar e controlar o nível de um processo, sendo que o artifício muito usado nestes casos é o sensor ou medidor de nível, devido sua eficiência, versatilidade e fácil instalação.

Segundo Sighieri e Nishinari (2003) os dispositivos de medida de nível medem a oposição da superfície do líquido sobre um ponto de referência ou a altura hidrostática. A partir desses dois princípios, os medidores de nível são classificados da seguinte maneira: medição direta e medição indireta. Na medição direta temos, como referência, a posição do plano superior da substância medida enquanto na medição indireta o nível é medido indiretamente em função de outras grandezas físicas.

Um sensor muito comum para a medição direta, ou seja, posição do plano superior da substância, é o sensor do tipo boia. A boia é um sistema bastante comum, utilizado em tanques abertos e fechados.

O princípio de Arquimedes diz que: “Todo o corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima igual ao peso do volume do fluido deslocado.” Esta força exercida pelo fluido ao corpo nele submerso ou flutuante chamamos de empuxo. Baseado no princípio de Arquimedes a boia, ou deslocador, sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um indicador este movimento. O medidor deve ter um dispositivo de ajuste para densidade do líquido cujo nível está sendo medindo, pois o empuxo varia conforme a densidade (BEGA, 2006).

#### 2.5 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

De acordo com CAMPANA (2000), os inversores de frequência são equipamentos da eletrônica de potência que permitem o controle de torque e, conseqüentemente, de velocidade em motores assíncronos trifásicos tipo gaiola de esquilo. Esses dispositivos encontram-se disponíveis para as potências comerciais



dos motores elétricos existentes no mercado, permitindo alterar, dentre outras variáveis, a frequência de alimentação de determinada carga elétrica, em uma faixa entre 1,5 e 400 Hz.

Conseqüentemente, alterando a frequência da tensão de alimentação é o método ideal para o controle da velocidade do motor assíncrono. Para uma magnetização correta do motor se faz necessário, também modificar a amplitude da tensão. O controle da frequência/tensão resulta em um deslocamento das características de torque através da qual a velocidade é alterada. Através do controle por inversores de frequência não existe redução notável de eficiência (WEG, 2002).

Portanto, o inversor de frequência nada mais é que um dispositivo capaz de gerar tensão e frequência ajustáveis, com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico.

O acionamento de motores elétricos em velocidade variável esta sendo cada vez mais utilizado e barateado dentro da eletrônica de potência. Portanto, graças aos inversores de frequência, atualmente os sistemas que antes usavam motores CC, pela facilidade de controle, hoje podem usar os motores CA de indução (MATHEUS, 2006).

### 2.5.1 Funcionamento

Para entender o funcionamento de um inversor de frequência é necessário saber a função de cada bloco que o constitui. Ele é ligado na rede, podendo ser monofásica ou trifásica, e em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência diferente da rede. Para tanto, o inversor tem como primeiro estágio, um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua, após isso a um segundo estágio, um circuito inversor, capaz de realizar o inverso, ou seja, de CC para CA (conversor), e com a frequência desejada pela carga (WEG, 2006).

Na Figura 8 é exemplificado o diagrama de blocos de um inversor.

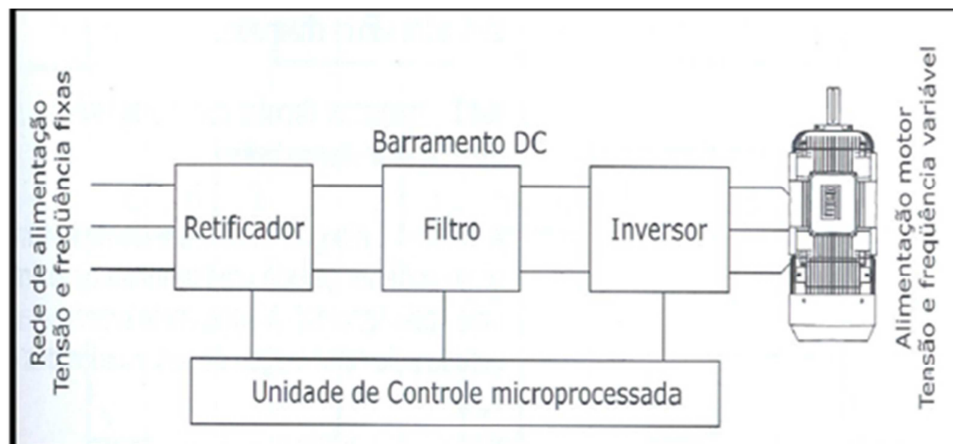


Figura 8 – Diagrama de blocos de um inversor de frequência  
Fonte: WEG, 2006

Para um melhor entendimento do funcionamento do inversor, é apresentado na Figura 9 o esquema interno (simplificado) dos blocos da Figura 8.

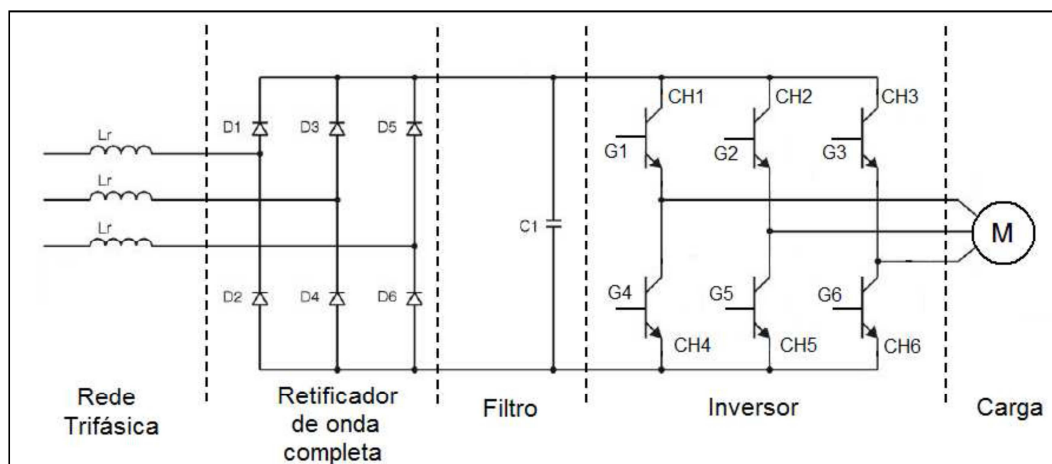


Figura 9 – Esquemas internos de um inversor de frequência  
Fonte: CAPELLI, 2002

O Retificador de Onda Completa, composto por seis diodos, converte as tensões alternadas da rede trifásica em tensões retificadas. A tensão CC resultante é filtrada por um capacitor e depois reutilizada para a seção inversora (CAPELLI, 2002).

No inversor a tensão ratificada CC é novamente convertida em trifásica CA. Os transistores funcionam como chave e ligam e desligam várias vezes por ciclo, gerando um trem de pulsos com largura variável senoidal (PWM). Este trem de

pulsos aplicado a um motor irá gerar uma forma de onda de corrente bem próxima de uma onda senoidal CA que fluirá pelo enrolamento do motor.

De acordo com Mohan (2007), os inversores de frequência também possuem os seguintes blocos funcionais:

- CPU (Unidade Central de Processamento): geralmente formada por um microprocessador ou micro controlador. É na CPU que todas as informações são armazenadas, como os parâmetros e dados do sistema. Além de armazenar os dados e parâmetros a CPU também é responsável pela execução do programa para funcionamento do inversor.
- IHM (Interface Humano-máquina): é através deste dispositivo que podemos verificar o que esta acontecendo no inversor, através do display, e também podemos parametrizá-la de acordo com a aplicação desejada.
- Interfaces: são as entradas analógicas ou digitais, nas quais se pode controlar a velocidade, sentido de rotação e demais características do inversor.
- Etapa de potência: é constituída por um circuito retificador, o qual alimenta o circuito de saída do inversor.

### 2.5.2 Parametrização

Para funcionamento do inversor, além da instalação correta, se faz necessário informar ao mesmo em que condições de trabalho o inversor irá operar. Essa tarefa é justamente a parametrização do inversor.

Os inversores possuem uma quantidade muito grande de parâmetros ajustáveis, para se aprofundar nos conhecimentos do inversor deve-se consultar o manual do produto.

## 2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL – CLP

Um controlador lógico programável, segundo Moraes (2001), pode ser definido basicamente como um computador de pequeno porte, autocontido e

robusto, projetado para controlar processos no ambiente industrial. A partir disso discutiremos sobre a história e funcionamento desses equipamentos industriais.

A norma NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), ICS3-1978, parte ICS3-304, define um controlador programável como:

"Aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementação de funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos. Um computador digital que é utilizado para desempenhar as funções de um controlador programável é considerado dentro deste escopo. Estão excluídas as chaves tambores e outros tipos de sequenciadores mecânicos".

### 2.6.1 Histórico

A princípio os Controladores lógicos programáveis (CLP) foram desenvolvidos na década de 60, com intuito de substituir os painéis de controle à relé. O maior benefício era que os CLPs poderiam ser reprogramados, uma vez que no controle a relé era necessário, muitas vezes, modificações na fiação, as quais muitas vezes eram inviáveis, tornando-se mais barato a substituição do painel todo. A partir disso, os CLPs permitiram modificações no *software* sem que houvesse modificação no *hardware* (GIORGINI, 2000).

De acordo com Kopelvski, Maycon M. (2010):

O Controlador Lógico Programável (CLP) nasceu da indústria automobilística norte americana, especificamente na divisão hidramática da GM em 1968. Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia os sentimentos de muitos usuários de comandos de relês, não só da indústria automobilística como da indústria em geral. Este sentimento resultou da grande dificuldade de alterar o processo usando comandos a relê. Cada alteração significativa no modelo de um carro exigia alterações que acrescentavam, retiravam ou modificavam alguns passos do processo e para isso era necessário alterar todos os painéis e fiação de campo. Além disso, a complexidade e grande tamanho de painéis de relês dificultava a manutenção.

Ainda para Kopelvski (2010), os principais objetivos para o desenvolvimento de um aparelho CLP era melhorar a montagem das máquinas, ser completamente reprogramável, ser adaptável aos processos industriais e possuir fácil manutenção.

Os controladores lógicos programáveis logo chamaram a atenção de diversas empresas. No final da década de 60 já existiam várias empresas começando a produzir os CLPs. A partir do início dos anos 70, houve uma grande difusão nos CLPs, visto as grandes mudanças nas tecnologias eletrônicas (MORAES, 2001).

De acordo com Kopelvski as principais mudanças que impulsionaram a abrangência dos CLPs foram:

- Microprocessador, que facilitou a tarefa de projeto, pois todas as funções lógicas, aritméticas, acumuladores e registradores que antes eram feitos com lógica discreta. Passaram a estar em um único chip, facilitando o projeto e reduzindo o tamanho dos aparelhos.
- Circuitos integrados em larga escala, dando aos CLPs maior confiabilidade, menor tamanho e principalmente, diminuição de custos. Foi possível então, que estes equipamentos passassem a ser utilizados em muitas aplicações industriais, limitando-se ainda a funções antes realizadas por painéis eletromecânicos.
- Maior maturidade de aplicação que gerava novos tipos de entradas e saídas, além de funções cada vez mais avançadas, utilizando plenamente os recursos oferecidos pelos microprocessadores.

Já na década de 80 os CLPs tornam-se cada vez mais populares dentro das empresas, as quais, preocupadas com a qualidade e produtividade, visando um aumento da competitividade e flexibilidade dos seus sistema, difundiram e tornaram o CLP um equipamento essencial nos processos industriais. Desde então, a tecnologia se transforma cada vez mais rápido, com isso tornando os componentes e aparelhos mais eficazes (MORAES, 2001).

### 2.6.2 Estrutura de um CLP

De acordo com Coretti (1998) a estrutura básica de um CLP se divide em três partes principais: fonte de alimentação, processador e os dispositivos de entrada e saída.

Os CLPs podem ser construídos de forma compacta, no qual a CPU e todos os módulos de entrada e saída se encontram no mesmo conjunto; ou pode ser constituído de maneira modular, onde cada módulo é montado de acordo com o processo desejado (NATALE, 2000).

Na Figura 10 se verifica a estrutura básica de um CLP.

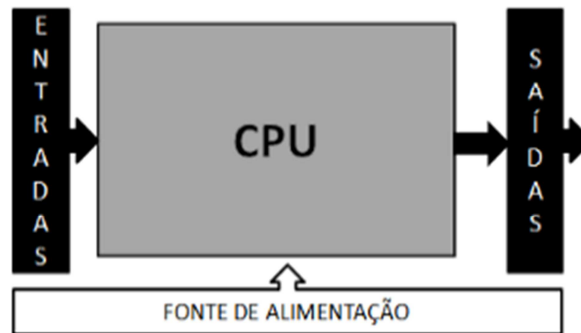


Figura 10 – Estrutura Básica de um CLP  
Fonte: Adaptado de Silveira e Santos (2008)

#### 2.6.2.1 Fonte de Alimentação

Basicamente a fonte de Alimentação possui a função de converter a tensão da rede elétrica (110 ou 220  $V_{CA}$ ) para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos, (+ 5  $V_{CC}$  para o microprocessador, memórias e circuitos auxiliares e +/- 12  $V_{CC}$  para a comunicação com o programador ou computador), manter a carga da bateria, nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e Memória do tipo RAM e fornecer tensão para alimentação das entradas e saídas (12 ou 24  $V_{CC}$ ).

#### 2.6.2.2 Módulos de Entradas e Saídas

Quando os sensores fornecem informações ao CLP sobre as mudanças das variáveis medidas no processo, o CLP, por meio do programa instalado em sua memória, atua no sistema enviando informações de comando, em forma de sinais, em suas saídas. As variáveis de saída do sistema executam a cada instante o fechamento/abertura de válvulas, acionamento de motores para execução de movimentos, etc. (NATALE, 2000).

De acordo com Silveira e Santos (2008) em Automação e controle discreto:

Variáveis de entrada: são sinais externos recebidos pelo PLC, os quais podem ser oriundos de fontes pertencentes ao processo controlado ou de comandos gerados pelo operador. Tais sinais são gerados por dispositivos como sensores diversos, chaves ou botoeiras.

Os dispositivos de entrada podem ser digitais ou analógicos, provenientes geralmente de sensores (alguns CLPs possuem módulos com botões que simulam as entradas).

As unidades de entrada digital reconhecem apenas dois estados: ligado e desligado, ou seja, detectam e convertem sinais de comutação de entrada em níveis lógicos de tensão contínua usados no CLP. Os dispositivos mais utilizados para entrada digital são os botões, chaves de fim de curso, sensores de proximidade, infravermelhos, ultrassom, termostatos, entre outros.

Já as unidades de entrada analógicas reconhecem mais de dois estados, convertem sinais de 0 a 10  $V_{CA}$  ou de 4 a 20 mA em valores numéricos para serem processados pelo CLP. Exemplos desse tipo de entrada são todos os tipos de transdutores que necessitam fazer conversão de grandezas como corrente, peso e pressão, como os termopares e sensores resistivos de posição.

Assim como as unidades de entrada, os dispositivos de saídas também podem ser digitais ou analógicos e o princípio de funcionamento é o mesmo das entradas.

De acordo com Silveira e Santos (2008):

Variáveis de saída: são os dispositivos controlados por cada ponto de saída do PLC. Tais pontos podem servir para intervenção direta no processo controlado por acionamento próprio, ou também para sinalização de estado em painel sinótico. Podem ser citados como exemplos de variáveis de saída os contadores, válvulas, lâmpadas, displays, dentre outros.

Ainda de acordo com Silveira e Santos (2008), os dispositivos de saída digitais podem ser implementados por relés, transistores, alguns exemplos de atuadores para saída digital são os contadores, solenoides, relés, lâmpadas, entre outros. Já os atuadores para saída analógica convertem valores numéricos de variáveis do processo em sinal elétrico variável. Eles são usados para atuar válvulas proporcionais e controlar velocidade de motores (através de inversores de frequência).

### 2.6.2.3 CPU – Unidade Central de Processamento

A (CPU) Unidade Central de Processamento é o “cérebro” do CLP. O processador central é geralmente um microcontrolador, os CLP’s fazem rotinas complexas para check-up da memória para assegurar-se que a mesma não tenha sido danificada na varredura anterior (MATIC, 2001).

De acordo com Georgini (2000):

A CPU de um PLC compreende os elementos que formam a ‘inteligência do sistema: o Processador e o Sistema de Memória, além dos circuitos auxiliares de controle. O processador interage continuamente com o Sistema de Memória por meio do Programa de Execução (desenvolvido pelo fabricante), interpreta e executa o Programa de Aplicação (desenvolvido pelo usuário), e gerencia todo o sistema.

Basicamente, o funcionamento da CPU é similar aos computadores digitais e é a responsável pelo armazenamento do programa aplicativo e sua execução, a qual recebe os dados de entrada, realiza as operações lógicas baseada no programa armazenado e atualiza as saídas.

#### 2.6.2.3.1 Processador

Segundo Matic (2001) o processador é o responsável por todo gerenciamento do sistema do CLP, monitora os sinais de entrada e os combina de acordo com as instruções do programa de usuário. O processador executa operações lógicas, aritméticas, sequencias, para em seguida enviar os sinais devidos às saídas.

Georgini (2000) descreve o processador como:

...o processador é responsável pelo gerenciamento total do sistema, controlando os barramentos de endereços, de dados e de controle. Conforme determinado pelo programa de Execução, interpreta e executa as instruções do Programa de Aplicação, controla a comunicação com dispositivos externos e verifica a integridade de todo sistema (diagnósticos). Pode operar com registros e palavras de instrução, ou de dados, de diferentes tamanhos (8, 16, ou 32 bits), determinado pelo tamanho de seu acumulador e pela lista de instruções disponíveis para cada CPU.



### 2.6.2.3.2 Sistema de Memória

O sistema de memória de um CPU é constituído pela memória do programa executivo (sistema de operação) e pela memória do programa de aplicação (memória do usuário) (SANTOS, 1994).

Tabela 1 – Sistema de Memória da CPU

<b>Memória do Sistema de Operação</b>	<b>Memória de Aplicação</b>
Programa de Execução - ROM / EPROM	Programa de Aplicação - RAM (Bateria) / EPROM / EEPROM
Rascunho do Sistema - RAM (Bateria Opcional)	Tabela de Dados - RAM (Bateria Opcional)

Fonte: Georgini, 2000

A memória do sistema de operação é composta pelo programa de execução, o qual é desenvolvido pelo fabricante do PLC e determina como o sistema irá ser executado, é responsável pela tradução do programa de aplicação desenvolvido pelo usuário. Também compõe a memória básica o rascunho do sistema, a qual se trata de uma área de memória reservada para o armazenamento temporário de certa quantidade de dados, utilizados para cálculos ou controle (GEORGINI, 2000).

Na memória de Aplicação (Usuário) é armazenado o programa de aplicação desenvolvido pelo usuário e também são armazenados os dados que são utilizados pelo programa de aplicação (GEORGINI, 2000).

### 2.6.3 Princípio de funcionamento

Conforme Santos (1994), o princípio de funcionamento de um CLP se dá pela execução, por parte da CPU, de um programa executivo (responsabilidade do fabricante), o qual realiza ciclicamente as leituras dos sinais de entrada, execução do programa de controle do usuário e atualiza as saídas. Esse ciclo, que é repetido continuamente, chama-se ciclo de varredura.

A Figura 11 mostra o fluxograma do ciclo de varredura de um CLP.

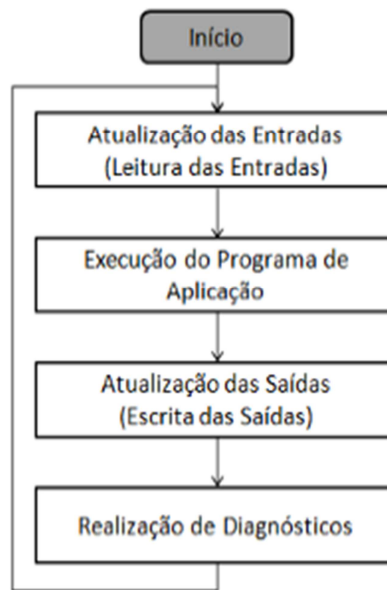


Figura 11 – Fluxograma do ciclo de varredura.  
Fonte: Adaptado de Silveira e Santos (2008)

## 2.7 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Com a evolução tecnológica, os computadores assumiram um papel importante de gerenciamento na coleta e tratamento de dados, permitindo a visualização e geração de funções de controle complexas através de um monitor de vídeo. Segundo Rosário (2007):

Um projeto de sistema automatizado requer a especificação de uma arquitetura de comando. Sobretudo em sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, essa especificação é determinante para o restante do ciclo de vida do sistema em questão. Nesses casos, o projetista se vê diante da difícil tarefa de escolher uma arquitetura de controle capaz de atender a pré-requisitos funcionais tais como os tempos de resposta do sistema.

### 2.7.1 Sistemas de Supervisão

De acordo com Silva e Salvador (2011), em um sistema automatizado são utilizados sensores para a aquisição de informações dos sistemas controlados, os quais convertem parâmetros físicos, tais como a presença física de um corpo, níveis

de água, temperatura etc., em sinais analógicos e digitais para as estações remotas. Os atuadores usados para atuar no sistema podem ser considerados dispositivos de saída das unidades remota.

Sensores e atuadores são dispositivos conectados aos equipamentos monitorados e/ou controlados pelos sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) designados como sistemas de supervisão e controle. O sistema SCADA permite informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos (SILVA e SALVADOR, 2011).

Segundo Aihara *et al.* (2001), um sistema de supervisão é responsável pelo monitoramento de variáveis de controle do sistema, com o objetivo principal de fornecer subsídios ao operador (humano-máquina) para controlar ou monitorar um processo automatizado mais rapidamente, permitindo a leitura das variáveis em tempo real e o gerenciamento e controle do processo automatizado.

### 2.7.2 Interface Humano Máquina (IHM)

A necessidade da construção de uma interface amigável ao usuário é fundamental em um sistema. A Interface humano máquina é o canal de comunicação entre o ser humano e computador, no qual são feitas as interações visando atingir um objetivo comum.

Para Moraes (2001), a interface faz parte do sistema computacional e determina como as pessoas operam e controlam o sistema. Quando uma interface é bem projetada, ela é compreensível, agradável e controlável. Os usuários se sentem satisfeitos e seguros ao realizar suas ações, portanto uma IHM demanda não só o conhecimento da máquina, mas também do próprio ser humano.

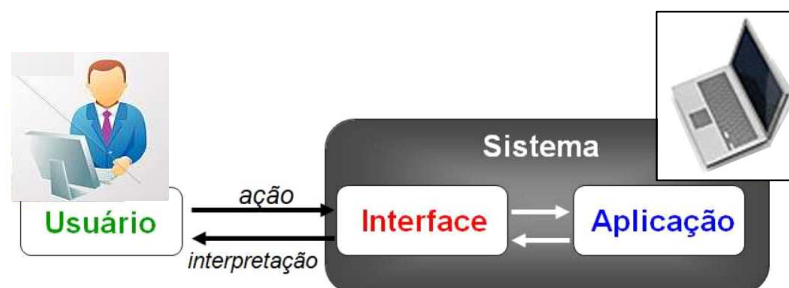


Figura 12 – Sistema de Interface Humano Máquina (IHM)  
Fonte: Adaptado de Moraes (2001)

Sistemas mais simplificados que exemplificam a melhor integração do ser humano com o processo industrial são aqueles constituídos por grandes painéis sinóticos que utilizam anunciadores de alarmes, sinaleiros, chaves seletoras e botoeiras que permitem comandar ou visualizar estados definidos como ligado ou desligado, alto ou baixo, temperatura elevada ou normal (MORAES, 2001).

No entanto, para Moraes (2001) este tipo de interface traz dois problemas claros: o primeiro é a dimensão da superfície do painel, que muitas vezes necessita ser ampliada somente para alojar tantos botões ou informações que são necessárias, e o segundo é toda a complexa e extensa fiação para interligar os sensores e atuadores aos *displays* e chaves digitais.

Para Natale (2000), uma forma de aprimorar este tipo de interface está no desenvolvimento de *softwares* que possuem a mesma finalidade de servir como uma interface humano máquina. Além de poderem efetuar controle e distribuir informações entre estações via rede com desempenho e segurança, realizam controle e aquisição de dados. Estes *softwares* normalmente são robustos e mais confiáveis reutilizados em aplicações de grande porte ou aplicações distribuídas em várias estações.

Segundo Natale (2000), o *software* supervisor é visto como um conjunto de programas gerado e configurado no *software* básico de supervisão, implementando as estratégias de controle e supervisão, as telas gráficas de IHM, a aquisição e tratamento de dados do processo, a gerência de relatórios e alarmes. Este *software* também deve ter entrada de dados manual, através do teclado. Os dados devem ser requisitados através de telas com campos pré-formatados que o operador deverá preencher. Estes dados deverão ser autoexplicativos e possuírem limites para as faixas válidas. A entrada dos dados deve ser realizada por telas individuais. Após todos os dados de um grupo serem inseridos, estes poderão ser alterados ou adicionados pelo operador, que será o responsável pela validação das alterações.

Portanto, a escolha de uma forma de IHM a ser adotada dependerá de fatores resultantes de uma análise e exigências de cada sistema padrão. Independente da forma de *hardware* adotada, as IHMs podem possuir recursos que tornam seu uso altamente atrativo (SILVEIRA e SANTOS, 2008).

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

#### 3.1 BANCADA DIDÁTICA EXPERIMENTAL

A presente bancada didática experimental foi construída para a disciplina Controle Eletrônico de Máquinas Elétricas do curso de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com o intuito de demonstrar um sistema automatizado didático e utilizar o projeto para a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso, que viria a ser desenvolvido ao término das disciplinas. Sua construção se deu na UTFPR com recursos próprios e fornecidos pela Universidade.

Para a construção e montagem da Torre de Resfriamento, a estrutura fornecida pela universidade foi levada a uma oficina onde se realizou a solda de alguns componentes da estrutura para fixação do painel e do radiador de resfriamento da água, corte e adequação dos moldes em madeira para fixação dos motores e reservatório de água, pintura e fixação de todos os componentes.

O painel de controle e monitoramento foi construído com recursos próprios, buscando facilitar a utilização do operador. Sua base foi feita em acrílico e dimensionada para alocar os componentes utilizados, que serão detalhados na sequência deste capítulo.

A Figura 13 mostra uma imagem da Torre de Resfriamento e dos principais equipamentos utilizados.



Figura 13 – Torre de Resfriamento de Água (bancada acadêmica)  
Fonte: Autoria Própria

- **Painel de Controle:** interface Humano Máquina para comandos e visualização do funcionamento da torre;
- **Circuito de Comandos e Alimentação:** local onde foram fixados os componentes de comandos elétricos, eletrônicos e os circuitos de alimentação da torre;
- **Motor Ventilador:** responsável por impulsionar o ar na direção do radiador de resfriamento de água;
- **Radiador de Resfriamento:** responsável pela troca de calor entre a água e o ar ambiente;
- **Motor Bomba:** responsável pela circulação da água em todo os sistema;
- **Reservatório de água:** local onde é armazenada a água e onde estão localizados os sensores de nível, temperatura e a resistência de aquecimento.

### 3.1.1 Circuito de Comandos e Alimentação

Todo o circuito de comando e alimentação da Torre de Resfriamento foi construído e fixado na lateral da estrutura. Foram utilizados suportes para a fixação dos componentes anexados à estrutura e a fiação foi estruturada na forma de chicotes elétricos e organizada de modo a facilitar a ligação de todos os componentes.

A Figura 14 mostra uma vista frontal do circuito de comando e alimentação onde é possível identificar quais os componentes (inversores, fonte, relés, contator, CLP e disjuntores) utilizados na Torre de Resfriamento e suas respectivas posições. Nesta figura também pode ser observado o uso dos chicotes elétricos.

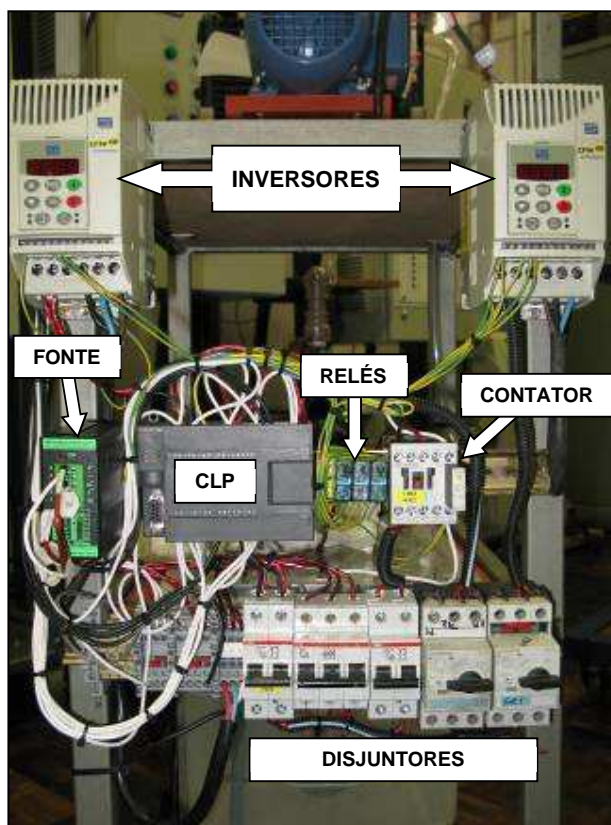


Figura 14 – Circuito de Comandos e Alimentação  
Fonte: Autoria Própria

### 3.1.2 Painel de Controle Principal (Interface Humano Máquina)

No painel de controle principal se encontram as botoeiras de acionamento (liga/desliga) tanto do sistema de aquecimento quanto do sistema de ventilação. Para a identificação visual de funcionamento do sistema de circulação e de ventilação foram introduzidas duas lâmpadas no painel, que ao se acenderem indicam qual o sistema correspondente está ativo.

Também neste painel está disponível o controlador de temperatura, no qual é possível selecionar a temperatura de trabalho que o sistema irá operar de modo a manter a água na temperatura mais próximo da temperatura desejada. No presente controlador também é possível visualizar e monitorar a temperatura atual do reservatório de água da Torre de Resfriamento.

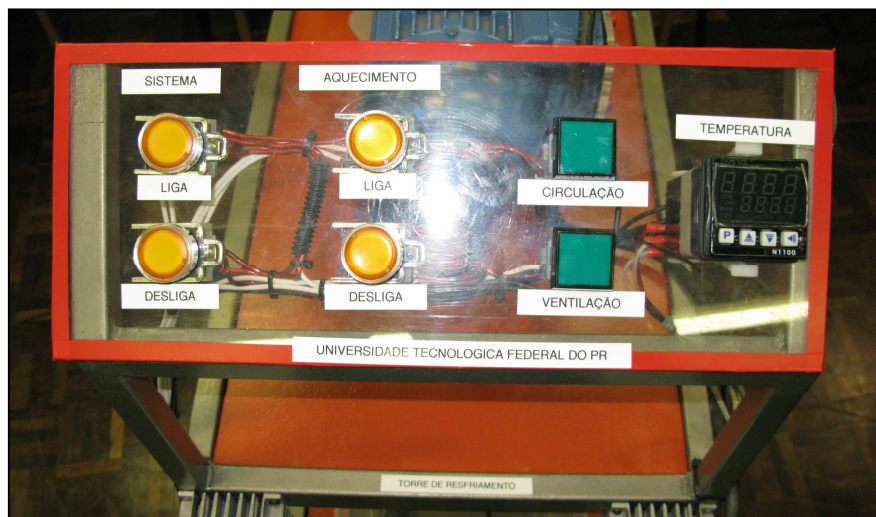


Figura 15 – Painel de controle principal (IHM)  
Fonte: Autoria Própria

### 3.1.3 Funcionamento da Torre de Resfriamento de Água

Para o acionamento da Torre de Resfriamento de Água é necessário que a mesma esteja conectada a uma rede de alimentação de 220 V e seus disjuntores acionados. Para iniciar seu funcionamento deve-se pressionar a botoeira liga do sistema, a qual irá ligar automaticamente o aquecimento, a circulação, a ventilação e o controlador de temperatura, onde o aquecimento poderá ser desligado de forma independente, se necessário. O Diagrama de Blocos ilustrado na Figura 16 mostra o princípio básico de funcionamento da Torre de Resfriamento.



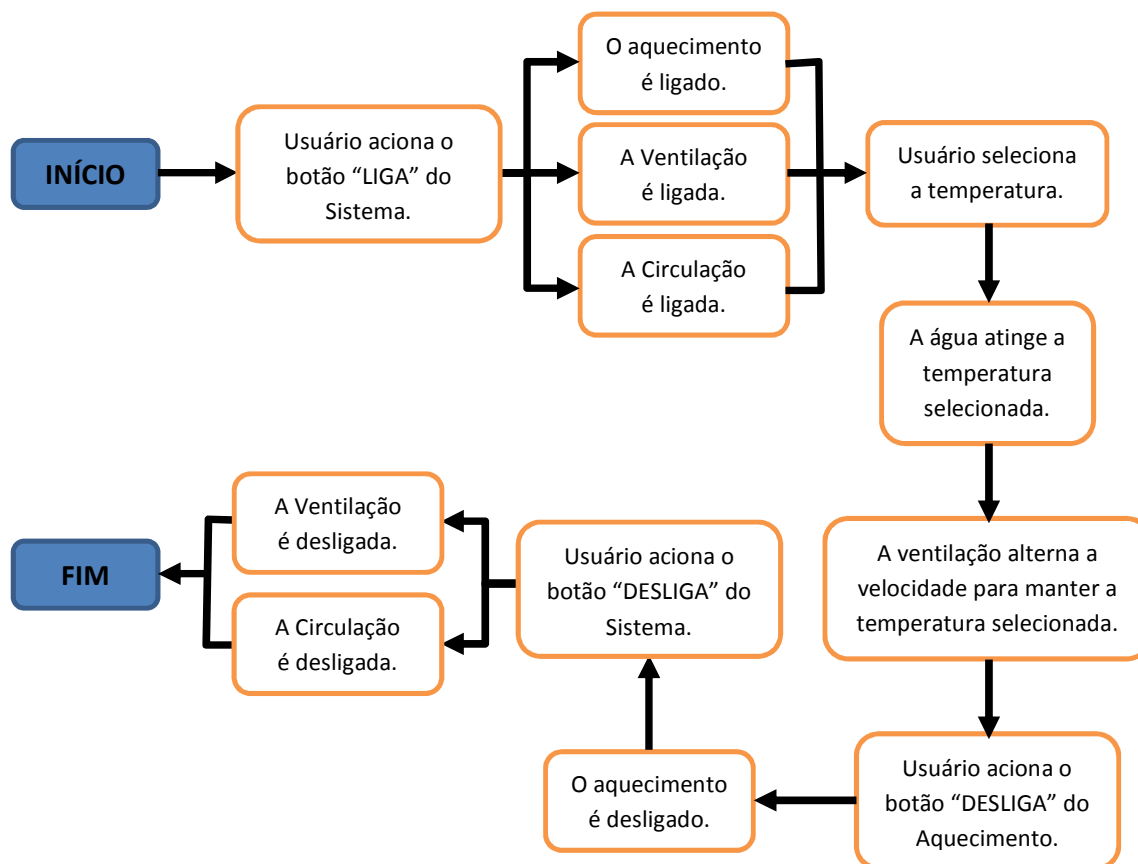


Figura 16 – Diagrama de Blocos do funcionamento da Torre de Resfriamento  
Fonte: Autoria Própria

Ao acionar o sistema geral, são ligados simultaneamente o sistema de circulação da água, de aquecimento e de ventilação.

O sistema de circulação bombeia a água pela rede hidráulica da torre, a qual, através de mangueiras, sai da parte inferior do reservatório, entra no motor-bomba e sai novamente, entra no radiador e finalmente retorna ao reservatório pela sua parte superior.

O aquecimento da água, dentro do reservatório, se dá por meio da ativação da resistência elétrica e o monitoramento da temperatura da água é efetuado através de um sensor submerso na água do reservatório.

Após ligar o sistema geral, o operador deve selecionar, no painel de comando principal, a temperatura de funcionamento desejada.

A Torre de Resfriamento de Água irá trabalhar de maneira a manter a temperatura do sistema o mais próximo possível ou igual ao selecionado. Para tal, a

velocidade do motor de ventilação irá diminuir caso a temperatura da água esteja abaixo da temperatura selecionada. No momento em que ultrapassar a temperatura selecionada, a velocidade do motor de ventilação irá aumentar, elevando assim o fluxo de ar direcionado ao radiador e, por meio de troca de calor, o radiador resfriará a água, que por sua vez retornará ao reservatório equilibrando a temperatura do sistema.

Existe ainda uma boia de nível alto dentro do reservatório de água, onde caso a água atinja o nível máximo, o motor-bomba irá aumentar sua rotação, elevando o fluxo de água para que a mesma retorne ao nível normal no reservatório.

### 3.1.4 Sistema Supervisório

Outra interface humano máquina de acionamento da Torre de Resfriamento de Água é realizada por meio do sistema supervisório. Esse sistema é gerenciado por computador conectado por um cabo de comunicação da Siemens, modelo PC/MPI, ao CLP da Torre de Resfriamento. A interface do sistema supervisório possui os mesmos comandos e indicadores do painel de controle, com exceção do monitoramento em tempo real da temperatura. A tela única do sistema supervisório, que é disponibilizada para o usuário da TRA, é mostrada na Figura 17.

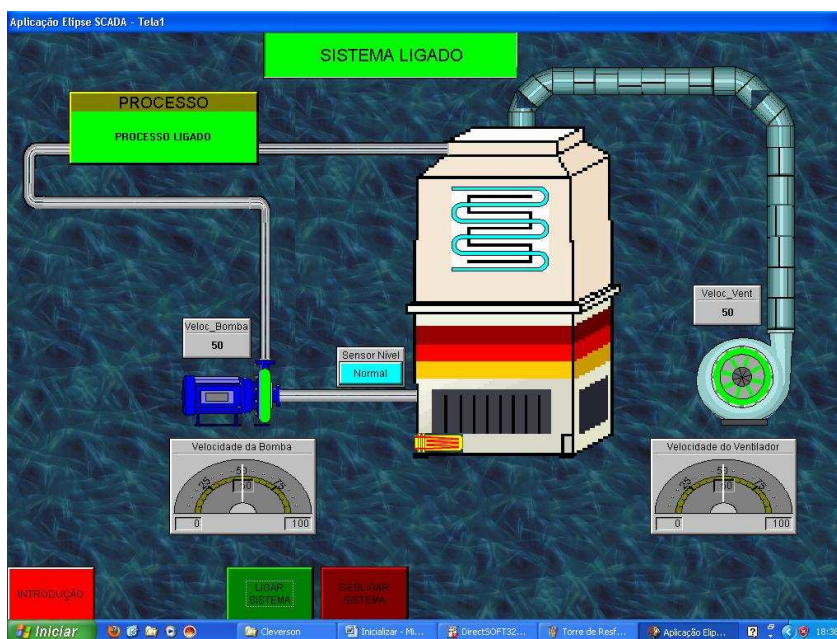


Figura 17 – Tela do sistema supervisório (IHM)  
Fonte: Autoria Própria

Na tela do sistema supervisorio o usuário poderá ligar a Torre de Resfriamento por meio do comando “LIGAR SISTEMA” e automaticamente a indicação “SISTEMA LIGADO” aparecerá na cor verde na parte superior da tela do supervisorio.

Uma vez ligado o sistema, as velocidades do motor da ventilação e do motor bomba serão indicadas na tela possibilitando ao usuário saber se o sistema está trabalhando em alta ou baixa rotação para o resfriamento ou aquecimento da água.

O sensor de nível alto também envia informações ao sistema supervisorio. Um indicativo de nível alto ou nível normal é mostrado ao usuário, o que possibilita um comparativo com a velocidade do motor bomba, para identificação do correto funcionamento do sistema, uma vez que esta velocidade é definida pelo nível da água do reservatório da TRA.

A escolha da temperatura e o monitoramento de seu valor durante o funcionamento da Torre não estão disponíveis no sistema supervisorio, devendo o usuário utilizar a interface do painel de comando, no controlador de temperatura, para configuração e verificação deste estado.

Para parar o funcionamento da Torre de Resfriamento e desligar o sistema, o comando “DESLIGAR SISTEMA” está disponível ao usuário. Ao acionar este comando todos os sistemas da TRA serão desligados e a informação “SISTEMA DESLIGADO” aparecerá na cor vermelha na parte superior da tela do supervisorio.

Para uma melhor identificação visual, as cores verde e vermelha foram utilizadas nos botões de comando e nas indicações de tela, facilitando a compreensão rápida do usuário sobre o estado de funcionamento da Torre de Resfriamento.

O desenvolvimento do sistema supervisorio foi efetuado por meio do *software* Elipse SCADA e foi realizada sua configuração em diversas etapas, sendo as cinco mais importantes mostradas através de algumas telas de configurações do *software* na Figura 18.

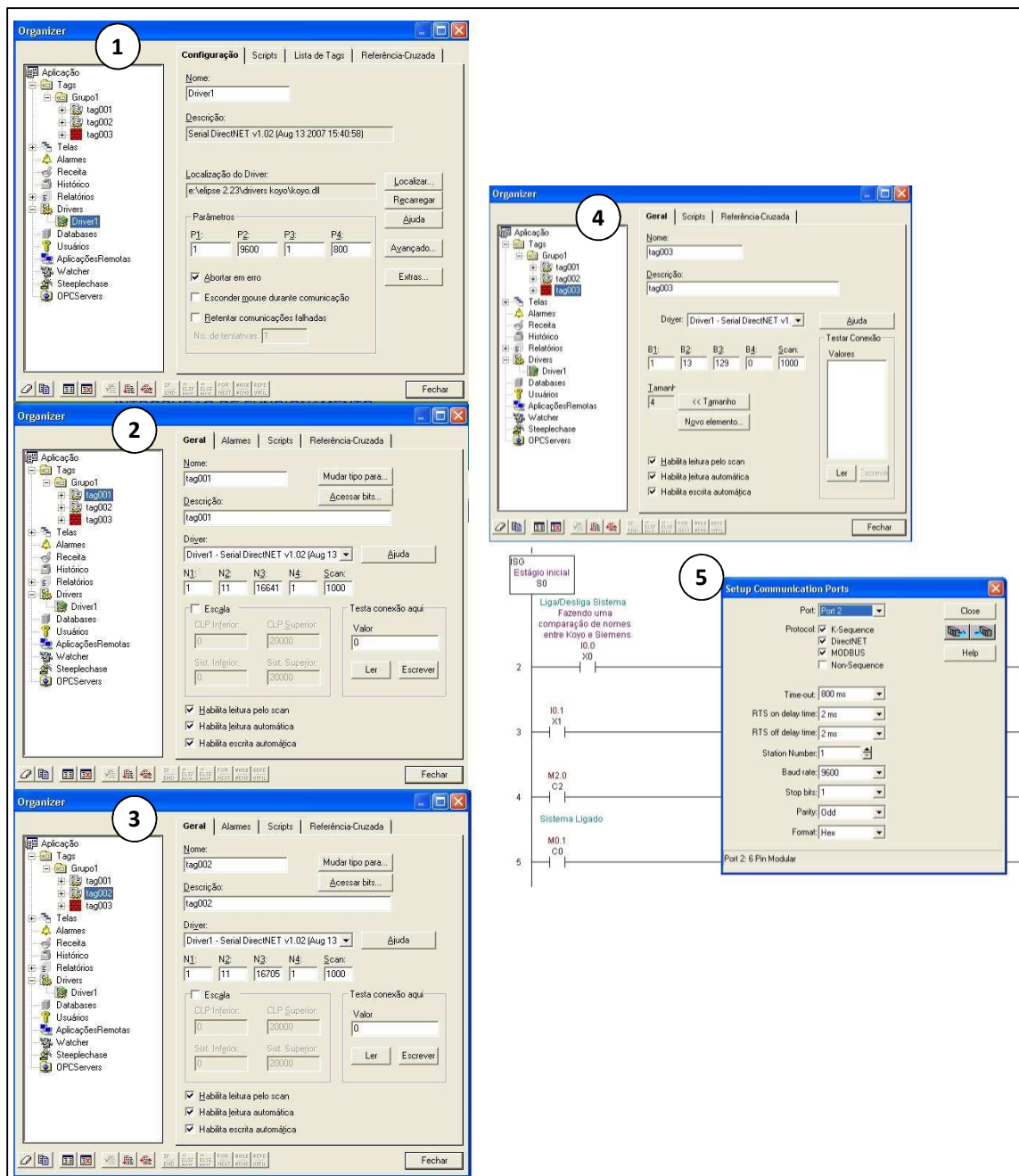


Figura 18 – Telas de configuração e desenvolvimento do sistema supervisorío  
 Fonte: Autoria Própria

## 3.2 COMPONENTES UTILIZADOS

### 3.2.1 Motores

#### 3.2.1.1 Motor Bomba

Para circulação da água foi utilizado um motor bomba trifásico CA WEG, Modelo: 1BTOOCANXJ1/202E, fabricado em 22 de Janeiro de 2007, disponibilizado pela Universidade Tecnológica do Paraná, com os seguintes dados nominais: 220 V, 0,37 kW, 60 Hz, corrente 1,7A, 3460 RPM, com a ligação em triângulo.

O mesmo foi fixado na parte inferior da estrutura da Torre de Resfriamento de Água ao lado do reservatório, facilitando assim o posicionamento das mangueiras de ligação de água.

A Figura 19 mostra esse motor bomba e suas conexões.



Figura 19 – Motor Bomba  
Fonte: Autorial Própria

O motor bomba d'água foi ligada em triângulo ( $\Delta$ ) uma vez que toda a Torre de Resfriamento é alimentada por uma tensão de rede trifásica de 220 V.

### 3.2.1.2 Motor Ventilador

O motor utilizado para o sistema de ventilação da Torre de Resfriamento foi um motor CA trifásico da marca WEG de 220 V, 60 Hz, 0,37 kW, corrente 1,7 A, 3380 RPM, também disponibilizado pela UTFPR. Em seu eixo foi acoplada uma hélice com cinco pás e diâmetro externo de 25 cm para o resfriamento do radiador de água.

O motor foi fixado em uma base elevada na parte superior da estrutura da Torre de Resfriamento de Água, posicionado à frente do radiador, de modo que o fluxo de ar gerado pelas pás da hélice seja direcionado à parte frontal do radiador.

A Figura 20 mostra o motor e a hélice.



Figura 20 – Motor Ventilador  
Fonte: Autoria Própria

O motor de ventilação foi ligado em triângulo ( $\Delta$ ) uma vez que toda a Torre de Resfriamento é alimentada por uma tensão de rede trifásica de 220 V.

### 3.2.2 Sensores

#### 3.2.2.1 Sensor de temperatura

Para o monitoramento da temperatura da água foi introduzido no reservatório um sensor do tipo resistivo que fica submerso na água e é ligado ao controlador de temperatura, adquirido pelo próprio grupo.

Devido às características mencionadas anteriormente em 2.5.1., foi escolhido o sensor de temperatura PT100 para monitoramento de temperatura da Torre de Resfriamento de Água.

A Figura 21 mostra a localização do sensor PT-100 dentro do reservatório de água.

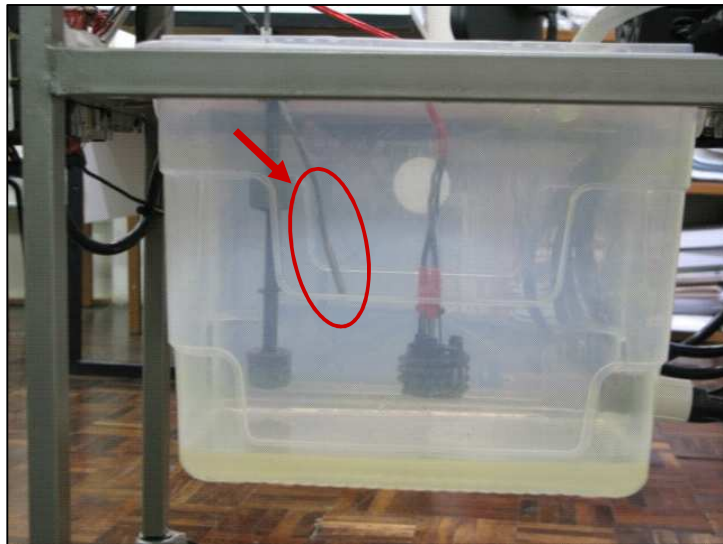


Figura 21 – Sensor de Temperatura PT100  
Fonte: Autoria Própria

#### 3.2.2.2 Sensor de Nível

Para o monitoramento do nível máximo da água foi introduzido no reservatório um sensor que fica submerso na água e é ligado ao controlador lógico programável.

Para o controle do nível da água dentro do tanque foi utilizado um sensor tipo boia *Reed Switch*.



Na figura 22 pode ser observado o posicionamento desse sensor dentro do reservatório de água.

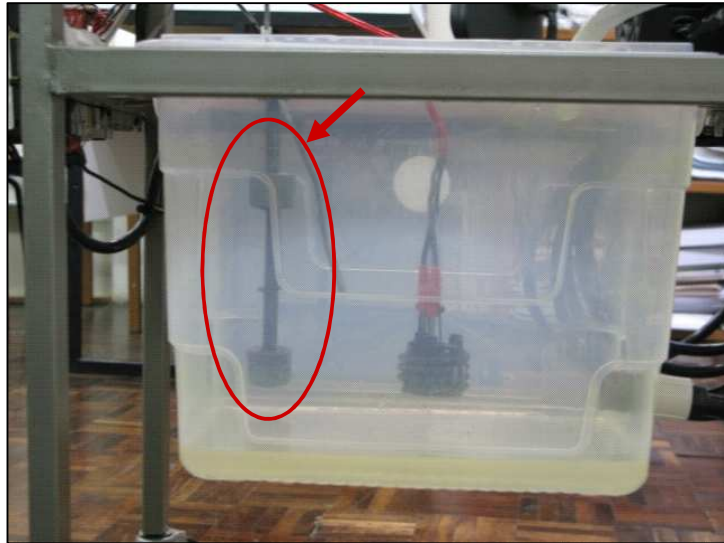


Figura 22 – Sensor de Nível  
Fonte: Autoria Própria

### 3.2.3 Controlador de temperatura

Para o controle da temperatura foi utilizado um controlador de temperatura adquirido pelo grupo e acoplado ao painel de controle principal, de modo a facilitar a visualização da temperatura atual da água e também a digitação da temperatura desejada na Torre de Resfriamento, proporcionando assim ao operador a atuação rápida do ajuste da temperatura desejada.

A leitura do sinal enviado pelo sensor de temperatura PT100 é feita pelo controlador N1100 da Novus e suas informações são enviadas ao CLP, que utiliza os dados para comandar a velocidade dos motores através dos inversores de frequência.





Figura 23 – Controlador de Temperatura N1100 da Novus  
Fonte: Autoria Própria

Este controlador foi escolhido pelo grupo por ter características universais, aceitar a maioria dos sensores e sinais utilizados na indústria e proporcionar todos os tipos de saídas necessárias à atuação no processo da Torre de Resfriamento.

Toda a configuração do controlador é feita através do teclado, sem qualquer alteração no circuito. Assim, a seleção do tipo de entrada e de saída, da forma de atuação dos componentes da Torre de Resfriamento, além de outras funções específicas, são todas acessadas e programadas via teclado frontal.

#### 3.2.4 Radiador de Troca de Calor

Para a troca de calor da água com o fluxo de ar gerado pelo motor ventilador, foi utilizado um radiador tipo colmeia, comumente utilizado em sistemas de ar condicionado veicular, adquirido pelo próprio grupo. O mesmo foi fixado à frente do motor ventilador na parte superior da Torre de Resfriamento, conforme a Figura 24.



Figura 24 – Radiador de Troca de Calor  
Fonte: Autoria Própria

O arrefecimento proporcionado pelo radiador acontece da seguinte forma: a água quente que é bombeada pelo motor bomba, sai do reservatório e ingressa no depósito superior do radiador. Ao ser impulsionada para a colmeia do radiador, a água passa pelos diversos tubos que fazem contato com as aletas e canaletas do radiador. As canaletas da colmeia oferecem maior área de contato com o ar atmosférico empurrado pela hélice do motor ventilador, resfriando o líquido com maior eficiência. Ao final do processo, a água passa pela tubulação e alcança o reservatório inferior, já em uma temperatura mais baixa. Este fluxo de resfriamento da água é mostrado na Figura 25.

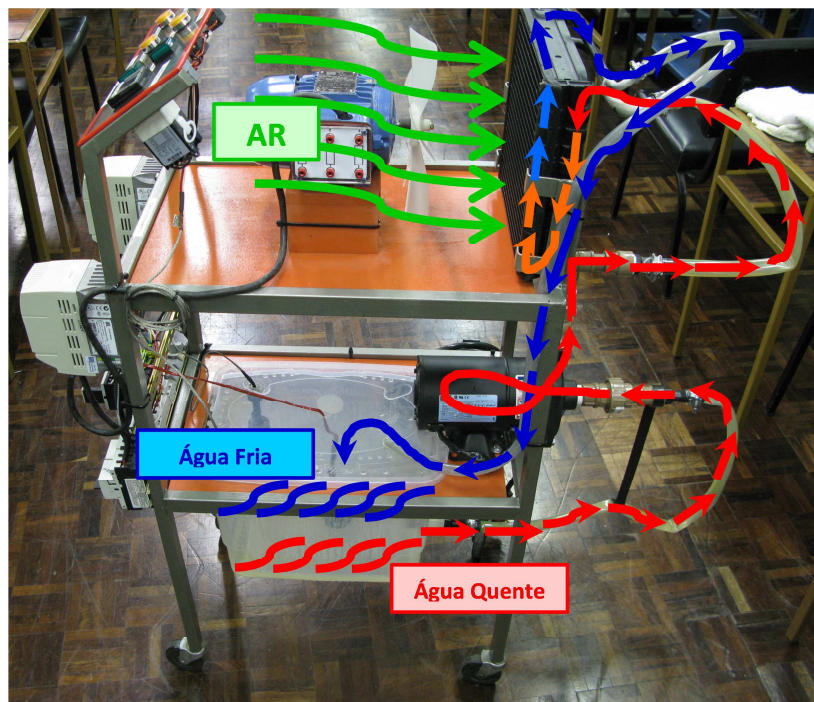


Figura 25 – Fluxo de Resfriamento da Água  
Fonte: Autoria Própria

### 3.2.5 Proteção e Alimentação do Sistema Elétrico

#### 3.2.5.1 Disjuntores

Foram utilizados cinco disjuntores para proteção do sistema eletroeletrônico, sendo dois para proteção dos motores, um disjuntor bipolar de 10 A para a linha de comando, um disjuntor bipolar de 16 A para a resistência de aquecimento e um disjuntor tripolar para a alimentação geral.

Os disjuntores foram adquiridos pela equipe e estão localizados na parte frontal inferior de fácil acesso para o operador. A Figura 26 mostra estes disjuntores.



Figura 26 – Disjuntores  
Fonte: Autoria Própria

#### 3.2.5.2 Fonte de Alimentação 24 V

Para a alimentação do CLP, o grupo adquiriu e acoplou ao sistema de comando uma fonte ligada à rede 220 V e com saída de 24 V e 1 A, a qual pode ser visualizada na Figura 27.

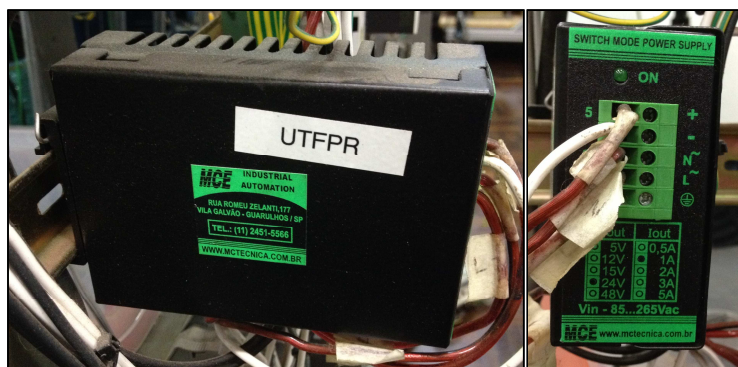


Figura 27 – Fonte 24 V  
Fonte: Autoria Própria

### 3.2.6 Inversores de Frequência

Para controle de velocidade dos motores elétricos foram utilizados dois inversores de frequência CFW8 da WEG, ambos parametrizados com a função *multispeed* (velocidades múltiplas) e fornecidos pela UTFPR.



Figura 28 – Inversor de Frequência  
Fonte: Autoria Própria

A função *multispeed* é utilizada quando se deseja até 8 velocidades fixas pré-programadas, a mesma é comandada por meio das entradas digitais (DI4, DI5 e DI6).

No caso deste projeto de TCC, primeiramente, foram utilizados apenas duas velocidades, podendo outras no futuro serem implementadas.

### 3.2.6.1 Parametrização dos Inversores

A Tabela 02 mostra a parametrização dos dois inversores de frequência:

Tabela 2 – Valores de Parametrização dos Inversores de Frequência

Função	Descrição	Parâmetro
P000	Alteração de parâmetros	5
P005	Frequência de saída	60 Hz
P100	Aceleração	5 s
P101	Desaceleração	10 s
P124	Referência 0 <i>multispeed</i>	60 Hz
P125	Referência 1 <i>multispeed</i>	30 Hz
P133	Frequência mínima	0 Hz
P134	Frequência máxima	66 Hz
P222	Seleção referência - situação remoto	6
P263*	Entrada digital DI1 - Habilitar Geral	1
P264	Entrada digital DI2 - Sem função	2
P265	Entrada digital DI3 - <i>Multispeed</i> MS1	7
P266	Entrada digital DI4 - <i>Multispeed</i> MS0	7
P277	Função saída relé NA - Run	5
P400	Tensão nominal do motor	220 V
P401	Corrente nominal do motor	1,7 A
P402	Velocidade nominal do motor	3380/3460
P403	Frequência nominal do motor	60 Hz
P404	Potência nominal do motor	0,37 kW

\* Habilita geral e parte o inversor para 30 Hz conforme *multispeed* 1 (P124), desde que fique aberto o contato para DI4, se o contato para DI4 fechar com 0 V, habilita o *multispeed* 0, conforme P125.

### 3.2.7 Controlador Lógico Programável – CLP

Para o controle dos inversores e de todo sistema foi usado o Controlador Lógico Programável (CLP) da Siemens, o SIMATIC S7-200, emprestado para equipe somente para desenvolvimento do presente trabalho. O mesmo foi acoplado na parte frontal central facilitando seu manuseio.

O SIMATIC S7-200 foi escolhido por ser um sistema de micro-PLC modular para tarefas de automação e, principalmente, pelo seu baixo-custo. Além disso, a escolha por este modelo se deu pela sua disponibilidade e facilidade de programação.



Figura 29 – Controlador Lógico Programável - CLP  
Fonte: Autoria Própria

#### 3.2.7.1 Programação do CLP

A programação do CLP foi efetuada a partir de um sistema da Siemens chamado STEP7, compatível com o *software* do CLP. A programação, efetuada em *ladder*, foi construída em oito etapas conforme a seguir:



Primeira: programação do acionamento do sistema geral (Liga/Desliga):

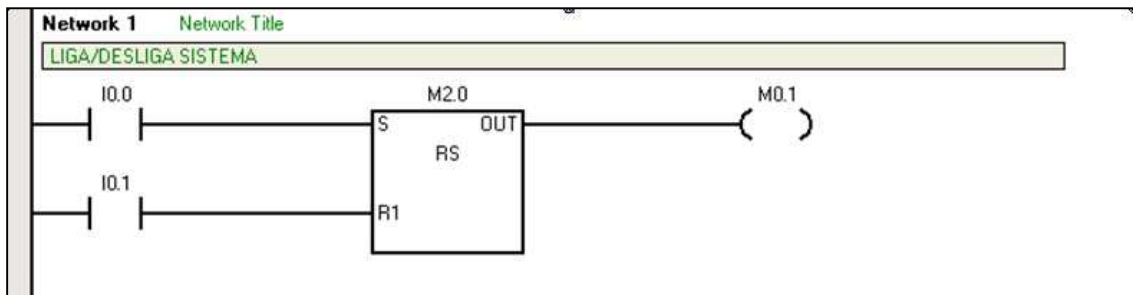


Figura 30 – Esquema 1 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Segunda: depois de ligado o sistema, o mesmo aciona a lâmpada indicadora de sistema ligado e os inversores de frequência da ventilação e da bomba de circulação de água:

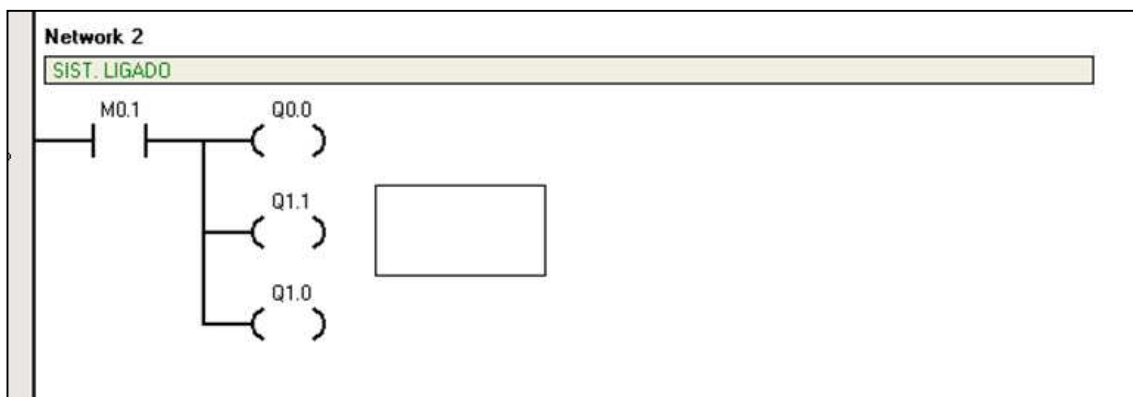


Figura 31 – Esquema 2 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Terceira: corresponde a programação da indicação do sensor de nível alto d'água, o qual controla a velocidade alta, ou nominal, de rotação do motor-bomba:

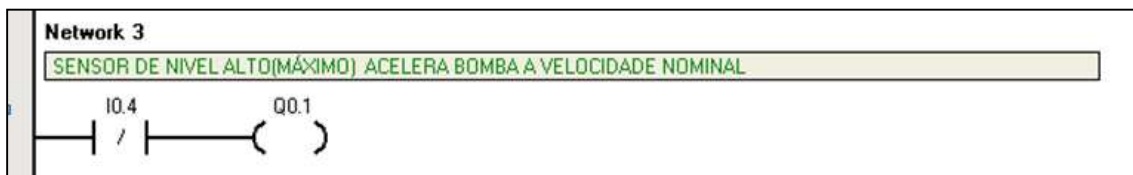


Figura 32 – Esquema 3 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Quarta: corresponde ao controle da temperatura, onde, se a mesma exceder o valor de *set up* inserida pelo usuário, o motor da ventilação acelerará, velocidade alta, ou nominal, gerando assim maior troca de calor e resfriamento da água:

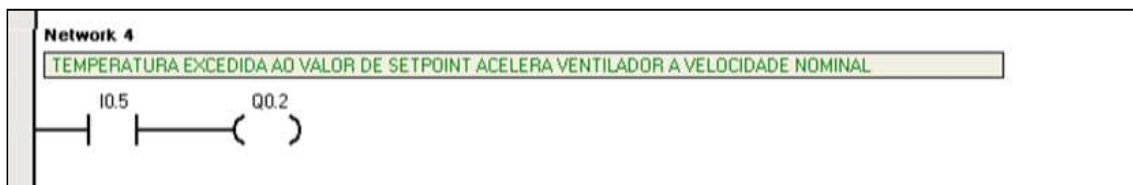


Figura 33 – Esquema 4 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Quinta: programação do acionamento do sistema de aquecimento da água, ou seja, o ligamento e desligamento da resistência elétrica, que pode ser desativada sem desligar o sistema geral:

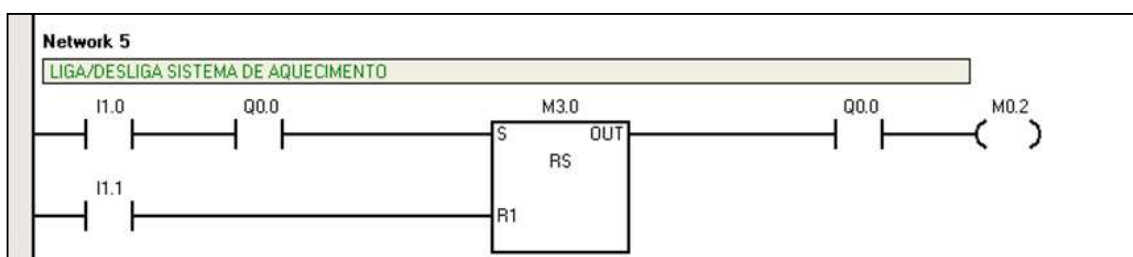


Figura 34 – Esquema 5 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Sexta: corresponde ao acionamento da lâmpada indicativa do sistema de aquecimento e do contator de acionamento da resistência elétrica:

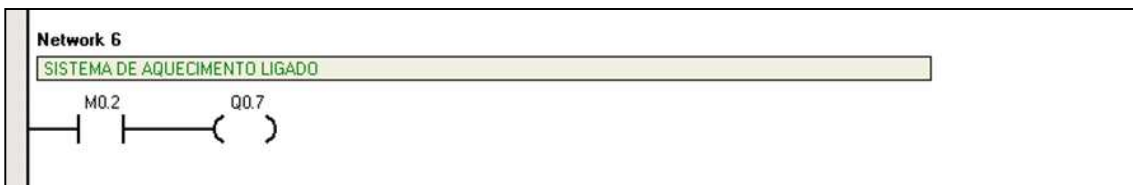


Figura 35 – Esquema 6 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

Sétima: acionamento da velocidade baixa da ventilação, que é a de funcionamento normal do sistema de ventilação:

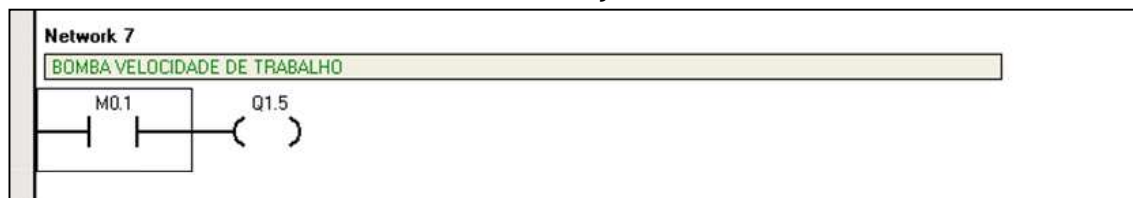


Figura 36 – Esquema 7 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria



**Oitava:** acionamento da velocidade baixa do motor bomba, que é a de funcionamento normal do sistema de circulação da água:

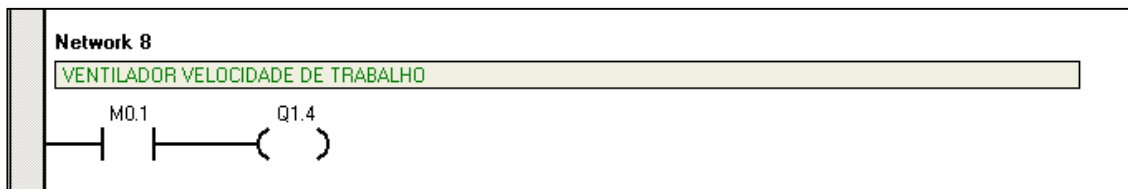


Figura 37 – Esquema 8 de Programação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

### 3.3 ESQUEMAS ELÉTRICOS DA TORRE DE RESFRIAMENTO

A seguir serão apresentados os esquemas elétricos de ligação e funcionamento da Torre de Resfriamento de Água.

A Figura 38 mostra o esquema elétrico da alimentação trifásica do controlador de temperatura, fonte 24 V, motor bomba, motor da ventilação e resistência de aquecimento. Para proteção deste circuito foram utilizados cinco disjuntores, nomeados de Q0, Q1, Q2, Q3 e Q4.

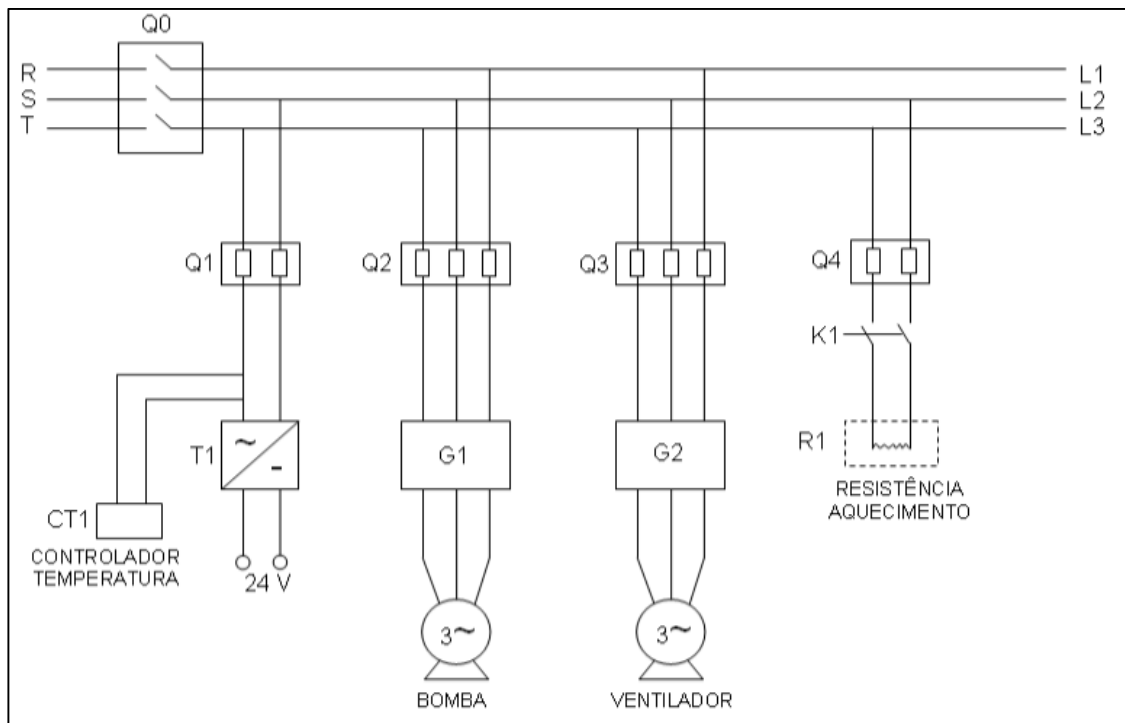


Figura 38 – Esquema elétrico de alimentação da TRA  
Fonte: Autoria Própria

A Figura 39 mostra o esquema elétrico da alimentação do CLP, fornecida pela fonte 24 V.

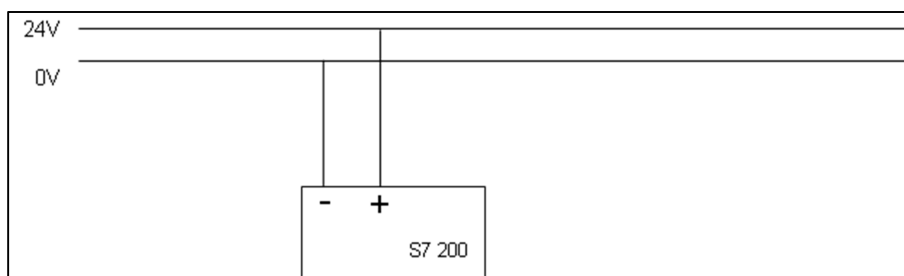


Figura 39 – Esquema elétrico de alimentação do CLP  
Fonte: Autoria Própria

A Figura 40 mostra o esquema elétrico das entradas dos sinais no CLP. Estes sinais são enviados por meio uma tensão positiva ( $24 V_{CC}$ ) fornecida pela fonte 24 V e são comandados pelas botoeiras B0, B1, B2 e B3. O Sensor Boia (S1) e o Controlador de Temperatura quando a mesma ficar acima do limite estipulado pelo usuário (T1), também comandam os sinais de entrada no CLP.

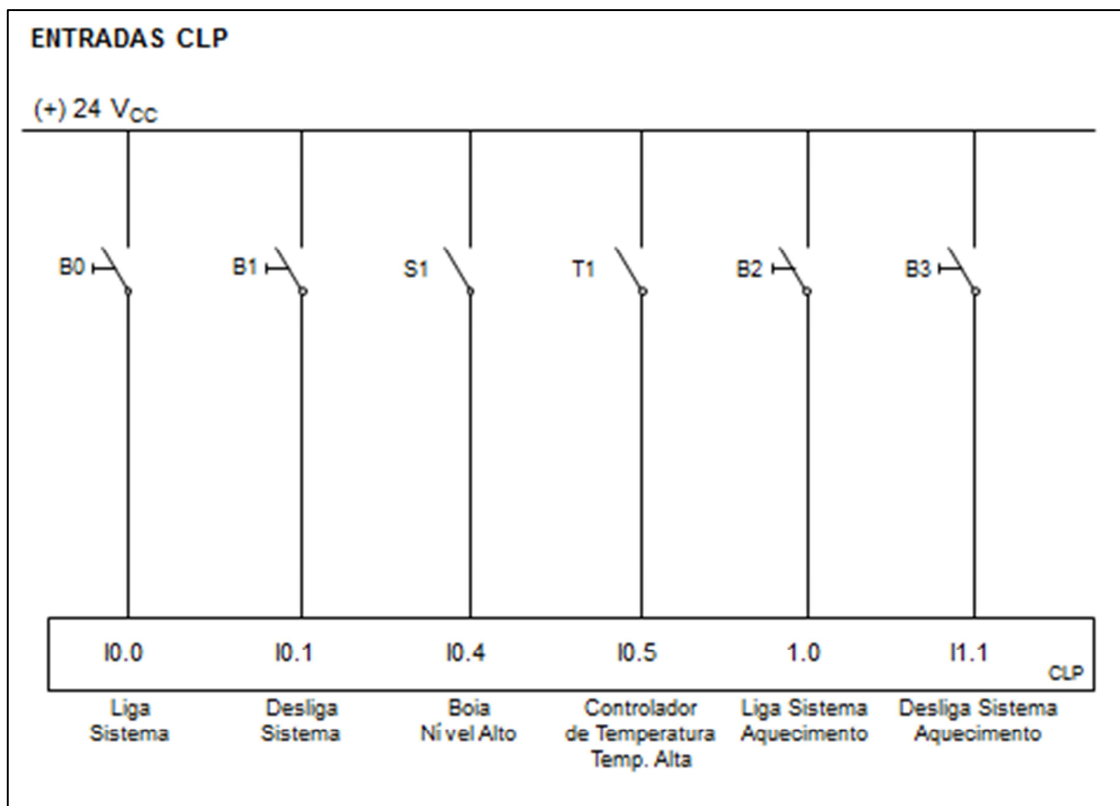


Figura 40 – Esquema elétrico de Entradas no CLP  
Fonte: Autoria Própria

A Figura 41 mostra o esquema elétrico das saídas do CLP para comando dos componentes da TRA. Estas saídas acionam a lâmpada (L1) de indicação de sistema ligado e o contator (K1), que aciona a resistência de aquecimento da água juntamente com a lâmpada L2, que indica que o aquecimento está ligado. Também são acionados os inversores de frequência 01 e 02 que controlam as velocidades do motor da ventilação e do motor bomba, respectivamente.

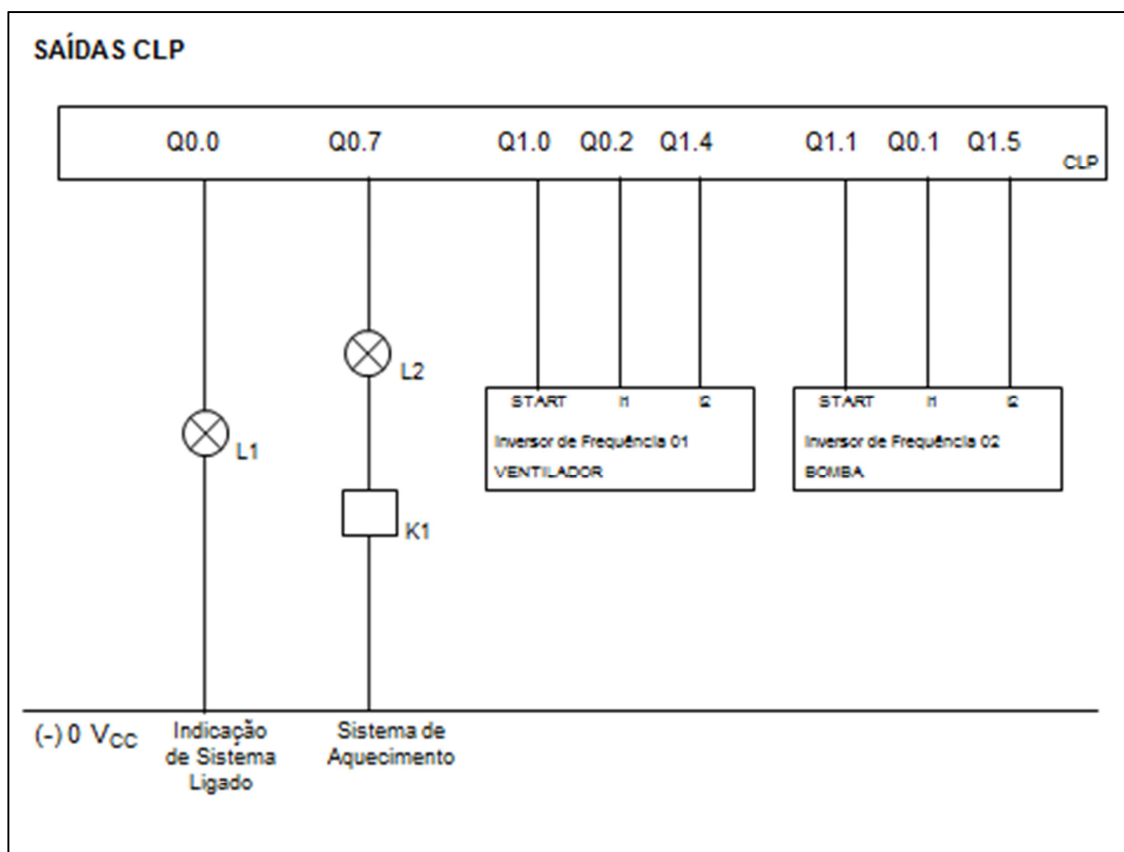


Figura 41 – Esquema elétrico de Saídas do CLP  
Fonte: Autoria Própria

## 4 CONCLUSÕES

O presente projeto de uma Torre de Resfriamento de Água proporcionou aos integrantes da equipe muito trabalho extraclasse e grande conhecimento técnico, mecânico e interpessoal (trabalho em equipe). Houve dificuldades na elaboração e montagem do projeto, tais como: aquisição de material, montagem dos componentes e circuito de comando, associação e ajustes dos motores, sensores, inversores e CLP.

A elaboração da Torre de Resfriamento de Água automatizada possibilitou a aplicação prática de muitas disciplinas e conhecimentos obtidos durante o curso, tal como CLP, programação, lógica, utilização de sensores, parametrização de inversores, instalação e manutenção de motores elétricos, pesquisas com base em referências bibliográficas e diversas aplicações de conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso.

A partir dos testes realizados e analisando o funcionamento geral, observa-se que a TRA é de fácil compreensão, manuseio e sua aplicação possibilita exemplificar na prática diversos sistemas e conhecimentos da área de Automação Industrial, viabilizando assim o seu uso para fins acadêmicos uma vez que este modelo pode ser aproveitado para demonstrações práticas em sala de aula, conforme proposto no objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Foram também alcançados todos os objetivos específicos propostos para esse TCC. Através de pesquisas efetuadas pela *Internet*, em livros da biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e acervo de livros pessoais, o grupo obteve êxito em revisar e obter a referência bibliográfica necessária para explicação e elaboração desse projeto.

A montagem da Torre de Resfriamento de Água transcorreu de forma esperada e seu funcionamento ocorreu conforme o planejado. A eficácia do controle e monitoramento da temperatura da água foi alcançada por meio do sistema em malha fechada.

Tal eficácia foi obtida com a utilização e correta programação do CLP, parametrização dos inversores de frequência e instalação dos componentes. O CLP foi programado em *ladder* em blocos de tal maneira que cada uma das oito etapas

do sistema funcionasse corretamente, conforme demonstrado no item 3.2.7.1. Para parametrização dos dois inversores utilizou-se o manual específico da WEG e o conhecimento obtido na disciplina de controle eletrônico de máquinas.

Finalmente foi modelada uma interface de simples utilização por meio de um sistema supervisor, a qual o operador da Torre de Resfriamento de Água consegue facilmente identificar possíveis ajustes a serem realizados, monitorar a temperatura e desligar ou ligar o sistema.

Foram identificadas várias possibilidades de melhoria, como por exemplo: para reforçar a segurança do sistema, é possível acrescentar dispositivos de bloqueio e intertravamento; acrescentar botões de *stop* e parada de emergência; enclausurar as partes elétricas e eletrônicas; implementar uma vedação ao ventilador para direcionar de maneira mais eficiente o fluxo de ar e melhorar as instalações hidráulicas (mangueiras). Além disso, outras velocidades podem ser programadas nos motores elétricos, conseguindo assim maiores variações no fluxo de ar e água da TRA.

## REFERÊNCIAS

- AIHARA, C. K. **Desenvolvimento de aplicativos para monitoramento de variáveis de controle de processos industriais**. Escola Brasileira de Aplicações em Dinâmica e Controle. EEUSP São Carlos, 2001.
- AIHARA, T.; TOBA, A.; YANASE, T.; MASHINO, A.; EDO, K. **Sensorless torque control salient-pole synchronous motor at zero-speed operation**. IEEE Trans. Ind. Applications, v. 14. 1999.
- ALMEIDA, Jason E. De. **Motores Elétricos: Manutenção e Testes**. 3. ed. Editora Hemus, 1995.
- BEGA, E. A.; **Instrumentação industrial**. Editora Interciência. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.
- BRUSAMARELLO, Valner; BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e fundamentos de medida**. Vol. I. Editora LTC, 2006.
- CAMPANA, S. **Inversor de frequência – uma alternativa para racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação** Pivô Central. In: AGRENER 2000.
- CARVALHO, D. F., **Instalações Elevatórias. Bombas**. FUMARC - Fundação Mariana Resende Costa. 6ª Edição. Belo Horizonte, 1999.
- CARVALHO, Paulo Cesar de. **Controlador Lógico Programável – 3ª parte**. Revista Mecatrônica Atual. N° 4, 2002.
- CORETTI, J. A. **Manual de Treinamento Básico de Controlador Programável**. Sertãozinho, Centro de Treinamento SMAR. São Paulo, 1998.
- DOSSAT, Roy J. **Princípios da refrigeração**. Editora Hemus, 2004.
- FILIPPO, Guilherme Filho. **Motor de indução**. Ed. Érica, 2000.
- FRANCHI, Claiton M. Acionamentos Elétricos. **Motores Elétricos Diagrama de Comando, Chaves de Partida, Inversores de Frequência e Soft-starters**. São Paulo: Ed. Polis, 2007.
- FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Nova Fronteira, 2007.
- GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada: Descrição e implementação de Sistemas Sequenciais** com PLC. 4. ed. São Paulo: Erica, 2000.

KHEIR ,N.A., ASTROM,K.J., AUSLANDER,D., CHECK,K.C., FRANKLIN,O.F., MASTEN,M. and RABINSTT,M. **Control Systems Engineering Education**. V. 40 Automática, 2004.

KOPELVSKI, MAYCON MAX. Teoria do CLP. **Apostila do Instituto Federal de Ciência Educação e Tecnologia**. São Paulo, março 2010.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de Bombeamento**. 2.ed. rev. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro; Editora LTC, 2013.

MATTOS, Edson Ezequiel de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas Industriais**. 2.ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1998.

MATIC, Nebojsa. **Introduction to CLP controllers**. USA, Milkroe. 2001.

MATHEUS, H.; **Curso completo sobre conversores de frequência**. Disponível em: <<http://ejm.com.br/download.htm>>. Acesso em 10.Jul.2014

MOHAN, Ned, and TORE M. Undeland. **Power electronics: converters, applications, and design**. John Wiley & Sons, 2007.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MORAES, Cícero Couto de. **Engenharia de Automação Industrial** – 2.ed. Editora LTC, 2007.

NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial**. 4 ed. São Paulo: Erica, 2000.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFATORES ASSOCIATION, **Programmable Controllers (PLC)**, Part 1: General Information.USA, 1978.

PENA, R. T.; JOTA, F. G.; SEIXAS-FILHO, C. **A new undergraduate degree in control engineering**. *IEEE Transactions on Education*, v. 44, 2001.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**, Série Pesquisa Operacional. v. 3. Belo Horizonte. Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

REGAZZI, Rogério Dias; PEREIRA, Paulo Sergio; SILVA Jr, Manuel Feliciano da. **Soluções práticas de instrumentação e automação**. Rio de Janeiro, 2005.

REGAZZI, Rogério D.; PEREIRA, Paulo S.; SILVA JR, Manoel F. da. **Soluções práticas de instrumentação e automação: Utilizando a programação gráfica LabVIEW**. Rio de Janeiro, 2005.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de mecatrônica**. Editora Prentice Hall. São Paulo, 2005.

SANTOS, W. E. **Controlador Lógico Programável**. (Apostila – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 1994.

SANTOS, Sérgio Lopes dos, **Bombas e Instalações Hidráulicas**, 1a. ed., Editora LCTE, 2007.

SELBY, K.A. **Closed Cooling and Heating Systems: Problems, Treatment and Monitoring**. Corrosion, 2002.

SIGHIERI, Luciano; NISHINARI, Akiyoshi. **Controle automático de processos Industriais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SILVA, A. P.; SALVADOR, M. **O que são sistemas supervisórios?**. Artigo atualizado em 2011 <[www.elipse.com.br](http://www.elipse.com.br)>. Acesso em 12.Jul. 2014

SILVEIRA, Paulo R. de; SANTOS, Winderson E. **Automação e Controle Discreto**. 9.ed. Editora Érica Ltda. São Paulo, 2008

WEG. **Catálogo geral: motores elétricos**. Jaraguá do Sul, 2009.

WEG. **Catálogo técnico. Motores elétricos** – linhas de produtos, características, especificações, instalações e manutenções. Disponível em: <<http://www.weg.com.br/index.htm>>. Acesso em 10.Jul.2012

WEG. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência**. Disponível em: <[http://www.mundoeletrico.com/downloads/Guia\\_de\\_Aplicacao\\_de\\_Inversores\\_de\\_Frequencia.pdf](http://www.mundoeletrico.com/downloads/Guia_de_Aplicacao_de_Inversores_de_Frequencia.pdf)>. Acesso em 12.Jul.2014

WEG. **Guia prático de treinamentos de motores elétricos**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-pratico-de-treinamento-de-motores-eletricos-50009256-guia-rapido-portugues-br.pdf>>. Acesso em 12.Jul.2014

WEG. **Manual inversor de frequência – CFW08**. 2003