



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**STÊNIO DE SOUSA COELHO**

**ACIONAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO CLP E**  
**INVERSOR DE FREQUÊNCIA**

**TERESINA**

**2014**

**STÊNIO DE SOUSA COELHO**

**ACIONAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO CLP E  
INVERSOR DE FREQUÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal do Piauí, como requisito à obtenção do  
grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Otacílio da Mota  
Almeida.

**TERESINA**

**2014**

---

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: [www.biblioteca.ufc.br](http://www.biblioteca.ufc.br), clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

---

**STÊNIO DE SOUSA COELHO**

**ACIONAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO CLP E  
INVERSOR DE FREQUÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal do Piauí, como requisito à obtenção do  
grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Otacílio da Mota Almeida (Orientador)  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

---

Prof. Prof. Dr. Antonio Airton Carneiro de Freitas  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

---

Prof. Prof. Dr. José Medeiros de Araújo Júnior  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

A Deus pelo dom da vida e da inteligência.

Aos meus pais pelo amor e dedicação.

Aos professores, colegas e funcionários da UFPI.

A toda minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, pelo apoio financeiro em boa parte do projeto.

Ao Prof. Dr. Otacílio da Mota Almeida, pela paciência e excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Antônio Aírton Carneiro de Freitas e José Medeiros de Araújo Júnior pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais, José Albino Marques Coelho e Maria Eliete de Sousa Coelho, pelo amor e carinho que tanto me foram dados e pelo sacrifício que fizeram para que eu pudesse ter uma formação ética e profissional da melhor qualidade.

Aos meus irmãos Antonio de Sousa Coelho e Thémis de Sousa Coelho pelo convívio diário e momentos juntos.

À Juciara Alves da Silva, minha flor, pelo amor, compreensão e dedicação.

Aos companheiros de curso e grandes amigos Daniel Leal, Gielson Veras, Caio Damasceno e Lindokeny Moura pelos inúmeros risos compartilhados, noites de sono perdidas estudando juntos e conquistas divididas.

A todos os professores com os quais tive o prazer de aprender e conviver dentro e fora do âmbito acadêmico.

Aos técnicos Alan e Raimundo pela colaboração e auxílio sempre muito bem vindos.

Aos demais familiares e amigos aqui não mencionados dedico neste espaço minhas sinceras desculpas.

“Deus quer, o homem sonha, a obra nasce”.

Fernando Pessoa.

## RESUMO

Este trabalho consiste no projeto e desenvolvimento de uma planta que é básica para o controle e supervisão do acionamento da maioria das aplicações encontradas na indústria de processamento e transformação moderna. O sistema desenvolvido tem o objetivo de controlar as ações de um motor de indução trifásico através de um inversor de frequência comandado por um Controlador Lógico Programável – CLP e um computador. A planta foi montada no Laboratório de Máquinas Elétricas do Curso de Engenharia Elétrica e vem a contribuir para incrementar o fator de utilização deste espaço, constituindo o primeiro de vários outros processos de acionamento motriz industrial que encontram-se disponíveis no Laboratório a ser automatizado tomando esta aplicação como base. A comunicação entre dispositivos através do protocolo Modbus abre espaço para a criação de uma rede industrial, conectando todos os equipamentos, tornando possível o controle *on-line* sobre a atuação de forma paralela de vários equipamentos monitorados através de um único sistema supervisório. Ações tais como partida e parada de forma temporizada, aceleração, desaceleração, levantamento de curvas, entre outras, foram implementadas no acionamento do motor. Estes recursos são comuns em aplicações típicas da indústria tais como elevadores, esteiras, compressores, bombas, entre outros. Um sistema supervisório foi criado para monitorar as ações do processo por meio de uma interface gráfica da IHM que contém os componentes do sistema e elementos capazes de controlar todo o processo. A comunicação entre o supervisório e os equipamentos é realizada por meio do protocolo Modbus, implementado em nível de supervisório Elipse SCADA e CLP. Aplicações práticas desenvolvidas no sentido de levantar o comportamento do sistema (Motor + Inversor) quanto às curvas de velocidade, aceleração e desaceleração como resposta a sinais padrões de referência.

**Palavras-chave:** CLP. Inversor de Frequência. Sistema Supervisório.



## **ABSTRACT**

This work consists in the design and development of a base plant for the control and supervision of majority of the drive applications found in modern processing and manufacturing industry. The developed system is designed to control the actions of a three-phase induction motor through a frequency inverter controlled by a Programmable Logic Controller – PLC and a computer. The plant was set up in the Electrical Machines Laboratory of Electrical Engineering Course and comes to contribute increase the utilizations factor of this space, constituting the first of several other industrial motor drive processes that are available in the laboratory to be automated basing in this application. The communication between devices through Modbus protocol opens space for the creation of an industrial network, connecting all equipment, making possible the online control over the actions in parallel to multiple devices monitored by a single supervisory system. Actions such as timed starting and stopping, acceleration, deceleration, curve acquisitions, among others, have been implemented in the motor drive. These resources are common in the typical industry applications such as elevators, conveyors, compressors, pumps and others. A supervisory system was designed to monitor the process actions through a graphical HMI interface that contains the system components and elements that can control the entire process. The communication between the supervisor and the equipment is performed through the Modbus protocol, implemented in supervisory level Elipse SCADA and PCL. Practical applications developed to survey the system behavior (motor + inverter) about the velocity curves, acceleration and deceleration in response to a reference standard signal.

**Keywords:** PLC. Frequency Inverter. Supervisory System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1–	Estrutura básica de um CLP.....	19
Figura 2.2 –	Fluxograma do funcionamento de um CLP.....	21
Figura 2.3–	CLP utilizado no desenvolvimento do projeto.....	22
Figura 2.4–	Estrutura básica de um inversor de frequência.....	26
Figura 2.5–	Esquema de um inversor de frequência trifásico.....	27
Figura 2.6–	Inversor de frequência CFW-11 utilizado.....	28
Figura 2.7–	Conector XC1 e chave de seleção do sinal nas entradas/saídas analógicas...	29
Figura 2.8–	Sistema de supervisão e controle de um processo.....	32
Figura 2.9–	Frame geral do protocolo Modbus.....	34
Figura 2.10–	Árvore hierárquica de classes de objetos no Organizer.....	35
Figura 2.11–	Configuração do driver.....	36
Figura 2.12–	Janela de configuração do driver.....	37
Figura 2.13–	Janela “Extras” referente ao driver.....	37
Figura 2.14–	Configuração do protocolo Modbus.....	38
Figura 2.15–	Configuração da aba Serial.....	38
Figura 3.1–	Declaração do módulo conversor 8AD.....	41
Figura 3.2–	Declaração do módulo conversor 2DA.....	41
Figura 3.3–	Configuração do canal de conversão AI3.....	42
Figura 3.4–	Configuração do canal de conversão AO2.....	42
Figura 3.5–	Frame de comunicação.....	43
Figura 3.6–	Canal de conversão do módulo 8AD.....	44
Figura 3.7–	Canal de conversão do módulo 2DA.....	45
Figura 3.8–	Programação em LADDER do CLP.....	46
Figura 3.9–	Diagrama elétrico dos comandos do inversor.....	47
Figura 3.10–	Montagem do sistema desenvolvido.....	47
Figura 3.11–	Agrupamento e parametrização dos tags.....	48
Figura 3.12–	Endereços Modbus.....	49
Figura 3.13–	Ambiente de interação do sistema supervisório.....	49
Figura 3.14–	Variação da velocidade do motor em função da tensão aplicada.....	50
Figura 3.15–	Curva velocidade x tempo para aceleração seguida de desaceleração.....	51
Figura 3.16–	Curva velocidade x tempo para aceleração.....	52

Figura 3.17– Curva velocidade x tempo para desaceleração.....	52
Figura 3.18– Curva velocidade x tempo para aceleração em duas etapas.....	53
Figura 3.19– Curva velocidade x tempo para desaceleração em duas etapas.....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Elementos básicos de programação de um CLP.....	23
Tabela 2 – Instruções de parametrização da porta de comunicação RS232.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
Acel.	Aceleração
ADU	Application Data Unit
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
Barram.	Barramento
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
D/A	Digital/Analógico
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
Desac.	Desaceleração
E/S	Entrada/Saída
I/O	In/Out
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IHM	Interface Homem-Máquina
Inc.	Incorporation
NA	Normalmente Aberto
Nom.	Nominal
NF	Normalmente Fechado
Parâm.	Parâmetros
PDU	Protocol Data Unit
PID	Proporcional Integral Derivativo
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RTU	Remote Terminal Unit
Sel.	Seleção
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
UCP	Unidade Central de Processamento
UFPI	Universidade Federal do Piauí
VVW	Vector Voltage WEG

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Perspectiva histórica e diretrizes .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Contribuições do projeto .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>COMPONENTES DO SISTEMA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Controlador Lógico Programável - CLP .....</b>	<b>18</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Estrutura do CLP .....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Princípio de Funcionamento do CLP .....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3</i>	<i>CLP WEG TPW 03 40HR-A .....</i>	<i>22</i>
<b>2.2</b>	<b>Inversor de Frequência .....</b>	<b>24</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Estrutura do Inversor de Frequência .....</i>	<i>25</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Princípio de Funcionamento do Inversor de Frequência .....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Inversor de Frequência WEG CFW-11 .....</i>	<i>28</i>
<b>2.3</b>	<b>Sistema Supervisório .....</b>	<b>31</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Componentes de um sistema supervisório .....</i>	<i>31</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Protocolo Modbus .....</i>	<i>33</i>
<i>2.3.2.1</i>	<i>Elipse SCADA .....</i>	<i>35</i>
<i>2.3.2.2</i>	<i>Driver Modbus .....</i>	<i>37</i>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A automação industrial é uma área da engenharia que ampliou sua atuação com os avanços na tecnologia de processamento digital tanto em nível de pesquisa quanto em nível de desenvolvimento aplicado ao setor produtivo. O uso de componentes de tecnologias avançadas aliado à capacidade de solucionar problemas através do conhecimento de novos conceitos e técnicas têm sido fundamental no desenvolvimento da área, sendo fundamental para a produção em larga escala, com níveis de qualidades padronizados e com produtividade competitiva (PAREDE E GOMES, 2011).

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de controle e acionamento de um motor de indução trifásico através de um Inversor de Frequência monitorado por um CLP (Controlador Lógico Programável) em uma arquitetura de redes industriais, supervisionado através de uma IHM (Interface Homem-Máquina) programada e desenvolvida em um computador. Este tipo de aplicação é fundamental em um projeto de automação de processos fabris. Aspectos da rede industrial, seus protocolos e meio físico utilizado, são abordados no decorrer do texto.

### 1.1 Motivação

Os motores de indução trifásicos são os componentes responsáveis pela força motriz na indústria, o que os torna elementos de grande relevância no processo produtivo. Suas aplicações na indústria são diversas, tais como: acionamento de ventiladores, elevadores, esteiras, compressores, bombas, entre outros. Portanto, a maior parte da energia elétrica consumida em uma indústria é transformada em energia mecânica por meio desses equipamentos (LOBOSCO E DIAS, 1988). Dessa forma, é evidente a necessidade de ações que promovam o aumento da eficiência dos motores elétricos em seus processos de operação (GUIMARÃES, 2007). Para tanto, utiliza-se um Inversor de Frequência comandado remotamente por CLP.

A implementação da Interface Homem-Máquina em sistemas formados por CLPs e inversores requer a utilização de um Sistema Supervisório (*Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA*) com o objetivo de monitorar as variáveis dos processos, possibilitando o gerenciamento das atividades de unidades operacionais integradas para atingir os objetivos da aplicação.

## 1.2 Perspectiva histórica e diretrizes

Pode-se marcar como início da automação industrial o século XVIII, com a criação inglesa da máquina a vapor. No século seguinte a indústria cresceu e tomou forma, novas fontes de energia e a substituição do ferro pelo aço impulsionaram o desenvolvimento das indústrias na Europa e Estados Unidos. No século XX, embora o conceito de indústria já estivesse bastante estabelecido, os ambientes fabris ainda desfrutavam de processos de automação muito rudimentares e os dispositivos controlados por relés necessitavam de atenção especial, visto que se tratavam de elementos mecânicos e, portanto, susceptíveis a desgastes acelerados com o tempo de operação e alto consumo de energia com produção de faísca, sendo inadequados para o uso em ambientes explosivos e sujeitos a incêndios. Nesse contexto, foi concebido o Controlador Lógico Programável – CLP, criado na década de 1960 com o objetivo de substituir os sistemas a relés empregados para controlar operações sequenciais e repetitivas na linha de montagem da indústria automobilística General Motors (PAREDE E GOMES, 2011).

O investimento em automação industrial é imprescindível para a indústria moderna, considerando uma dinâmica de mercado extremamente competitiva e correlacionada a investimentos em indústrias pesadas, tais como a petroquímica e automotiva, configurando-se como uma área de oportunidades relevantes, tanto para negócios, como para aumento de eficiência da indústria no Brasil (CICTEC, 2013).

Considerando o mercado brasileiro, este tem se mostrado promissor, no que diz respeito ao setor de automação, abrangendo uma gama de atividades características do país, como aquelas referentes às indústrias de petróleo, gás, mineração, usinas de açúcar, etanol e biodiesel. A líder nacional em fabricação de CLPs, a Altua Sistemas de Automação S.A., anunciou em abril de 2013 a venda de 15% de suas participações para o grupo sueco Beijer Electronics, apontando um crescente interesse das empresas globais pelo mercado de automação dos países em desenvolvimento (CICTEC, 2013).

Segundo previsões de analistas o mercado mundial de automação caminha para uma taxa de crescimento anual de 9,1% entre 2011 e 2015, impulsionado por políticas e regulações governamentais que garantem o uso mais efetivo da eletricidade e redução de perdas. (CICTEC, 2013).



O presente documento está disposto da seguinte forma:

No Capítulo 2 são descritos os materiais utilizados (Controlador Lógico Programável, Inversor de Frequência e Sistema Supervisório).

No capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento do sistema

Os resultados práticos obtidos são mostrados no Capítulo 4.

No capítulo 5 é feita a conclusão sobre os resultados do projeto, abordando os pontos positivos e o que deve ser aprimorado, bem como as dificuldades encontradas no decorrer da execução.

### **1.3 Contribuições do projeto**

O projeto desenvolvido teve como ideia principal controlar, através de um Controlador Lógico Programável – CLP e de um Inversor de Frequência, a velocidade de um motor de indução trifásico, tornando possível a automação dos processos que tem o mesmo como parte atuante.

Além do ganho no aprendizado de uma área pouco explorada no curso de Engenharia Elétrica, o trabalho realizado foi pioneiro na utilização dos equipamentos industriais dos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí, promovendo a disseminação do conhecimento e proporcionando, portanto, o desenvolvimento de projetos na área. Com isto, disciplinas tais como Acionamento de Máquinas, Controle de Processos e Redes Industriais poderão oferecer uma visão prática mais completa, colocando os alunos em contato com os sistemas industriais utilizados hoje em dia.

Atualmente, os resultados desse estudo são usados no curso de Especialização em Controle e Automação e nas aulas experimentais de disciplinas da grade curricular do curso.

## 2 COMPONENTES DO SISTEMA

Neste capítulo são apresentados o Controlador Lógico Programável, o Inversor de Frequência e o *software* supervisor Elipse SCADA utilizados para o desenvolvimento do processo de acionamento e controle de velocidade de um motor de indução trifásico. Descrições gerais, aspectos físicos, princípio de funcionamento e especificidades de cada componente são abordados.

### 2.1 Controlador Lógico Programável - CLP

Define-se CLP como sendo um sistema eletrônico operado digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que utiliza uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas pelo usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O Controlador Programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e usados em todas suas funções previstas (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

Entre as vantagens da utilização de um CLP em meios industriais pode-se citar: tamanho reduzido, proporcionando economia de espaço; não produz faíscas, possibilitando o seu uso em ambientes explosivos e com risco de incêndio; pode ser programado sem a necessidade de interromper a produção; pode criar um banco de armazenamento de programas; baixo consumo de energia; necessita de uma equipe de manutenção reduzida; tem flexibilidade para a expansão dos módulos de entrada e saída; rapidez de elaboração de projetos; possibilita a implementação hierárquica de automação industrial dado a capacidade de conexão em rede com outros CLPs e computadores; entre outros.

#### 2.1.1 Estrutura do CLP

Desde o seu surgimento até os dias atuais, as estruturas de software e hardware evoluíram nos CLPs. Esta evolução está ligada diretamente ao desenvolvimento tecnológico da informática em suas características de software e hardware. O que antes era executado por



Os dispositivos de entrada e saída são os circuitos responsáveis pela interação entre o homem e a máquina, por onde o usuário pode introduzir informações no equipamento ou por onde as informações são disponibilizadas ao operador.

O terminal de programação é um dispositivo (periférico) que, conectado temporariamente ao CLP, permite introduzir o programa do usuário e configuração do sistema. Pode ser um equipamento dedicado, ou seja, um terminal que só tem utilidade como programador de um determinado fabricante de CLP, ou um software que transforma um computador pessoal em um programador (como é o caso de um sistema supervisório – SCADA).

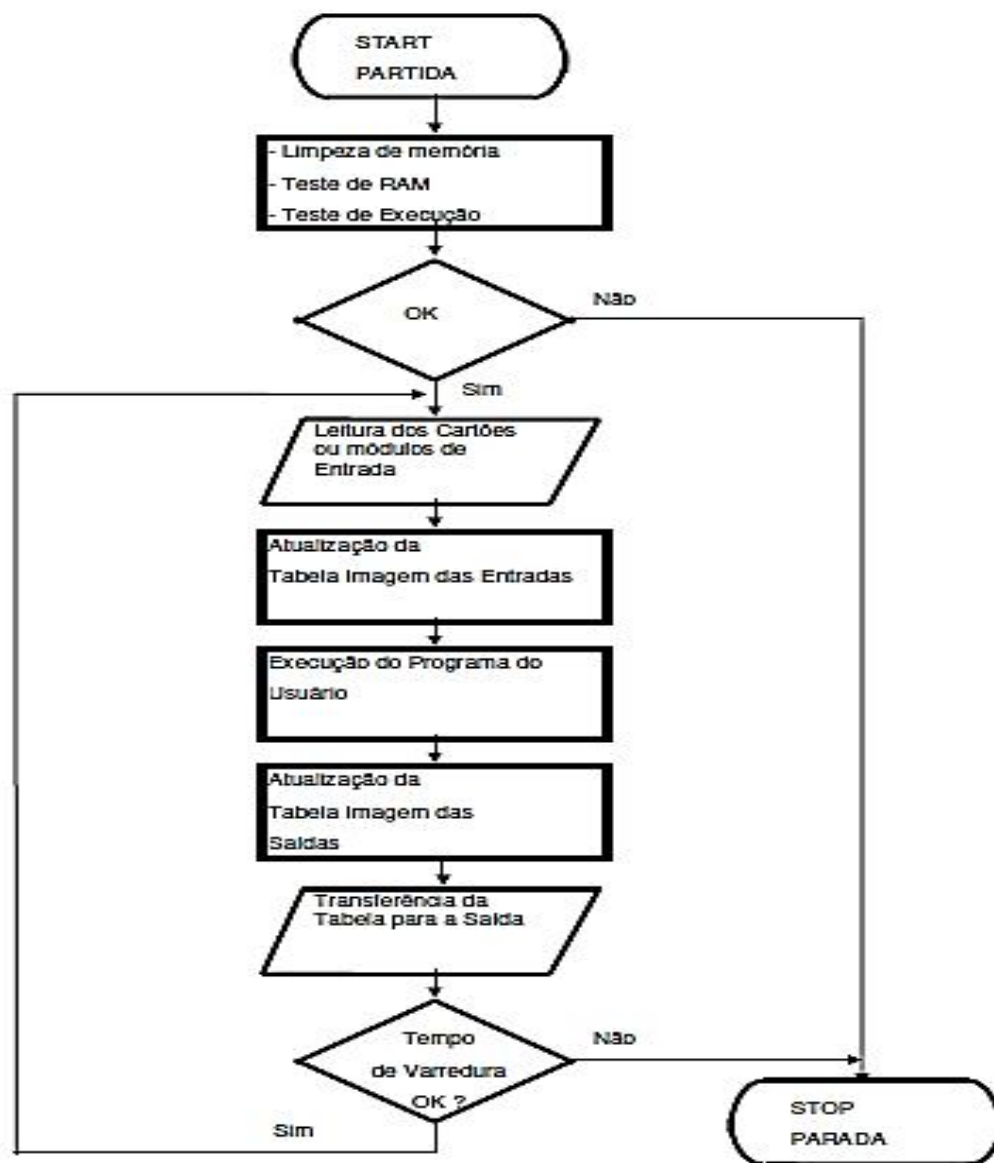
### ***2.1.2 Princípio de Funcionamento do CLP***

Um CLP tem o funcionamento baseado em um sistema de microcomputador, havendo uma estrutura de software que realiza ciclos de varredura de forma contínua. A depender do modo de operação em que se encontra o equipamento, há três estados possíveis para o Controlador: programação, execução e erro.

No estado de programação o CLP não assume nenhuma lógica de controle, ficando preparado para receber uma configuração imprimida pelo programador. É o que se chama de programação *off-line*. No estado de execução o CLP assume a lógica de controle contida na memória, executando a rotina programada e podendo, em alguns casos, sofrer modificações no programa, realizando-se a chamada programação *on-line*. Já o estado de erro aponta falhas na operação e execução do programa (FERREIRA JÚNIOR, 2012; MARTINS, 2007; VIANNA, 2008).

O Controlador Programável possui uma rotina de inicialização intrínseca ao seu sistema operacional, executada ao energiza-lo no modo de execução, que consiste em três etapas: limpeza da memória de operandos não retentivos; teste da memória RAM; teste de executabilidade do programa. Na ocorrência de falha em alguma dessas etapas, o CLP entra no status de “Erro” e a operação é interrompida, evitando o mau funcionamento dos componentes da planta devido a operações incorretas da rotina de programação. Caso nenhum erro seja detectado é iniciado o ciclo de varredura, como mostra a figura 2.2.

Figura 2.2 – Fluxograma do funcionamento de um CLP.



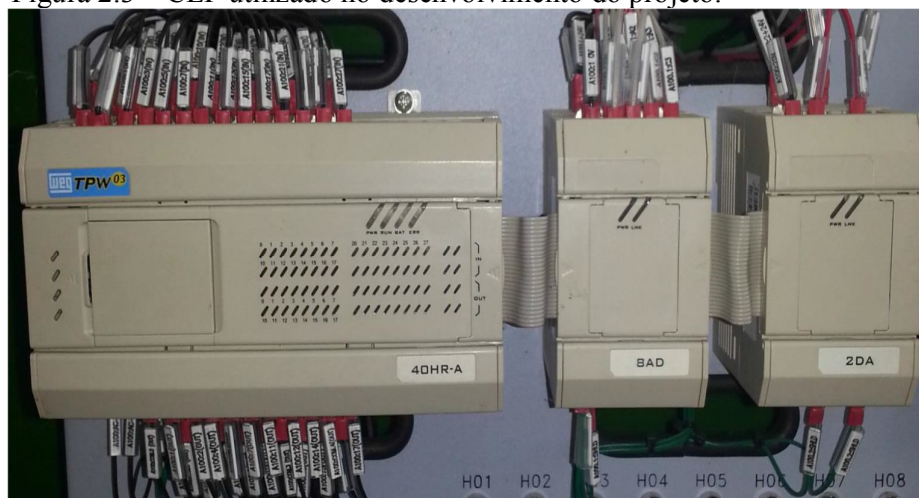
Fonte: VIANNA, 2008, p. 29.

O ciclo de varredura é efetuado de forma sequencial em *loop*. É realizada, portanto, a leitura e verificação dos estados de todas as entradas, sendo armazenados os valores obtidos em uma tabela imagem das entradas. Em seguida, as instruções contidas no programa do usuário são executadas, os valores resultantes do processamento são armazenados em uma memória, transferidos para os cartões de saída e inicia-se um novo *loop*. O tempo de processamento das instruções é supervisionado por um *watch dog time*, de modo que a operação é interrompida na ocorrência de estouro do tempo máximo estipulado (FERREIRA JÚNIOR, 2012; VIANNA, 2008).

### 2.1.3 CLP WEG TPW 03 40HR-A

O CLP utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi o TPW 03 40HR-A, fabricado pela WEG. A estrutura desse controlador é composta por uma Unidade Central de Processamento – UCP (*Central Processing Unit – CPU*), interfaces de entrada/saída e memórias.

Figura 2.3 – CLP utilizado no desenvolvimento do projeto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os sinais de entrada/saída processados por este equipamento podem ser de natureza digital ou analógica. No caso de entradas do tipo analógico, utiliza-se o módulo conversor A/D. Já para expressar uma resposta na forma de um sinal analógico (nível de tensão ou corrente que excita um atuador para elaborar o controle de uma variável desejada), é necessária a utilização do módulo conversor D/A.

Segundo o catálogo do produto, este CLP é compacto, possui alta velocidade de processamento, comunicação Modbus padrão, permite expansões de entradas e saídas (E/S) e é ideal para aplicações em processos industriais de pequeno e médio porte.

O TPW 03 40HR-A tem alimentação de 100-240 Vca, 60Hz, possui de 24 entradas digitais (24Vcc) e 16 saídas à relé (2A), com possibilidade de expansão para até 256 entradas e saídas digitais, 56 entradas analógicas e 8 saídas analógicas; relógio de tempo real e porta de comunicação RS485.

Este equipamento possui a capacidade de comunicação em redes industriais através das interfaces Modbus RS485 (mestre ou escravo) e RS232 (escravo) nos modos RTU

e ASCII, proporcionando flexibilidade de comunicação em sistemas com múltiplas estações de controle, o que permite sua aplicação em diversos processos de automação industrial (WEG AUTOMAÇÃO. TPW 03 CONTROLADOR PROGRAMÁVEL: Manual de Instalação, 2009).

O software utilizado para a programação da memória deste equipamento é o TPW03–PCLINK, disponibilizado gratuitamente pela WEG, que utiliza linguagem *ladder* ou lista de instruções para o desenvolvimento das rotinas de controle, tornando o processo bastante intuitivo e didático.







A programação em *ladder* é a mais utilizada para a escrita na memória dos CLPs devido ao fato de ser muito semelhante à lógica de interpretação de comandos de relés em circuitos elétricos, havendo contatos e bobinas que podem ser dispostos de diversas maneiras. Uma bobina aciona saídas diretas, temporizadores internos, contadores ou marcadores auxiliares. Cada bobina possui contatos auxiliares que podem ser utilizados em outros locais do programa. Estes contatos podem ser normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF).

Existem, basicamente, seis tipos de memória que podem ser utilizadas para a programação do CLP, que podem armazenar apenas os estados ON (1) e OFF (0), sendo, portanto, endereços de bit. São eles:

- X: Identifica todas as entradas físicas e diretas do CLP.
- Y: Identifica todas as saídas físicas e diretas do CLP.
- T: Identifica os temporizadores internos do CLP.
- C: Identifica os contadores internos do CLP.
- M e S: São marcadores auxiliares que podem ser utilizados em operações internas do programa.

A Tabela 1 mostra os principais elementos de programação de um CLP.

Tabela 1 – Elementos básicos de programação de um CLP.

Elemento	Descrição
	Contato aberto
	Contato fechado
	Pulso de subida
	Pulso de descida
	Saída
	Saída fechada



Instrução de aplicação

Contato aberto abre interligação

Contato fechado abre interligação

---

Fonte: WEG AUTOMAÇÃO. TPW03-PCLINK: Manual de Programação, 2009.

As instruções de aplicação são elementos de grande importância nas rotinas utilizadas no controle de processos industriais, permitindo executar manipulações complexas de dados, operações matemáticas e facilitar a programação e monitoração. Cada instrução aplicada possui uma sintaxe única (WEG AUTOMAÇÃO. MANUAL DE PROGRAMAÇÃO TPW 03, 2009). Serão apresentadas algumas das principais funções possíveis de ser implementadas pelo TPW 03 40HR-A.

**Função MOV** – O conteúdo de origem é copiado para o endereço de destino quando a entrada de controle está ativa. Usada, principalmente, na parametrização de portas de comunicação e conversões A/D e D/A.

**Função CMP** – Compara o valor de dados de dois endereços, informando se o resultado é maior, menor ou igual. Muito usada para comparação de valores de entradas analógicas com referências.

**Função RAMP** – Varia um valor atual entre os limites de dados programados pelo usuário, levando n varreduras de programa para que a jornada seja completada.

**Função PID** – Recebe uma entrada de dados e calcula uma ação corretiva para um nível específico baseado em controle PID. Este cálculo é realizado através da comparação entre uma variável e o valor de set-point definido, tendo o erro entre os dois valores processado através de uma malha PID para produzir o valor de correção no sentido de trazer a variável atual para um valor próximo ou igual ao valor de set-point.

## 2.2 Inversor De Frequência

O aumento da quantidade e qualidade da produção das indústrias, a redução dos custos de fabricação, o aumento da segurança do trabalho, permitindo o desenvolvimento de linhas de produção em áreas perigosas, e a redução da ociosidade dos equipamentos foram fatores determinantes para que fosse implantado um mecanismo de acionamento de máquinas elétricas. Nesse ambiente, então, desenvolveu-se o inversor de frequência.



Entende-se por inversores como sendo circuitos que convertem a energia elétrica CC em AC, possuindo a função de converter uma tensão de entrada CC em uma tensão de saída CA simétrica de amplitude e frequência desejadas. Mais precisamente, inversores transferem potência de fontes CC para cargas CA (HART, 2010). No caso específico, o inversor de frequência é utilizado para controlar a rotação de um motor assíncrono por meio de microprocessadores que controlam um circuito característico de alimentação do motor (CASTRO, Gleston F.).

Os inversores de frequência são amplamente utilizados em aplicações industriais, como no acionamento de máquinas CA em velocidade variável, aquecimento indutivo, fontes auxiliares e sistemas de energia ininterrupta (RASHID, 1993). Dentre as vantagens da aplicação deste equipamento em controle de processos industriais destacam-se: a substituição de variadores mecânicos e eletromagnéticos; a automação e flexibilização de plantas industriais; comunicação avançada com outros componentes e aquisição de dados, permitindo o monitoramento e controle de suas ações através de um sistema supervisório; eliminação de elementos de partida pesada; instalação simples; aumento da vida útil do maquinário; evita choques mecânicos na partida dos motores; redução do nível de ruído; economia de energia, tendo em vista que grande parte da energia gasta em uma indústria é destinada à alimentação de motores.

No final do século XIX, uma máquina a vapor acionava um eixo longo com várias polias, o que, posteriormente, fora substituído por um motor elétrico que movia todas as máquinas da planta, ficando sobrecarregado em determinados momentos. Passou-se a utilizar, portanto, um motor para cada máquina e, tempos depois, as máquinas passaram a conter diversos motores. Era cada vez mais evidente a necessidade de haver um controle sobre os motores, de modo que o inversor de frequência passou a compor o sistema de acionamento da grande maioria das máquinas de um ambiente industrial.

### ***2.2.1 Estrutura do Inversor de Frequência***

Um inversor de frequência é basicamente formado por uma Unidade Central de Processamento – UCP, uma Interface Homem-Máquina – IHM, interfaces de entrada e saída de dados e alimentação.

Figura 2.4 – Estrutura básica de um inversor de frequência.

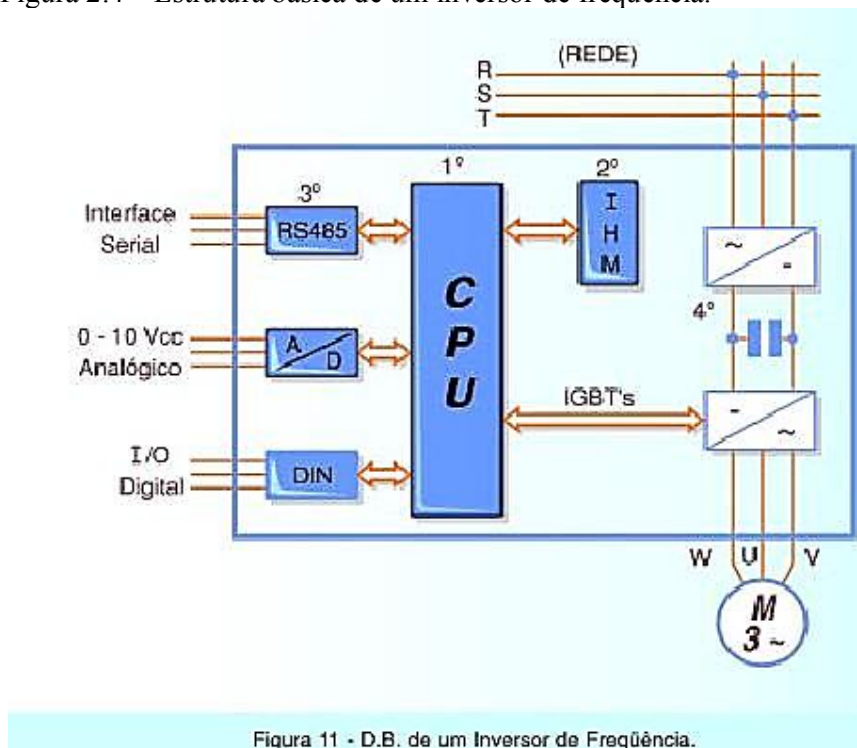


Figura 11 - D.B. de um Inversor de Frequência.

Fonte: REVISTA MECATRÔNICA ATUAL, 29/11/2001.

De acordo com Capelli (2002), os inversores de frequência podem ser subdivididos em quatro blocos: CPU, IHM, Interfaces e Etapa de potência.

A CPU é formada por uma memória integrada, onde são armazenadas informações de parâmetros e dados do sistema, e um microprocessador ou microcontrolador (como, por exemplo, um CLP). É nela que são gerados pulsos de disparo para os IGBT's, seguindo uma lógica coerente com a aplicação.

A IHM (Interface Homem-Máquina) permite a visualização das mudanças ocorridas no inversor e sua parametrização (através de teclas) de acordo com o controle desejado sobre a aplicação.

Interfaces digitais e analógicas conectam o inversor de frequência com o ambiente externo e podem ser selecionadas de acordo com os parâmetros de programação. Quando se quer, por exemplo, controlar a velocidade de rotação de um motor AC por meio de um inversor, utiliza-se uma entrada de tensão analógica com amplitude entre 0 e 10 Vcc, obtendo velocidades de rotação proporcionais ao valor da tensão de entrada.

A etapa de potência consiste num circuito retificador que alimenta a saída do inversor através de um circuito intermediário.

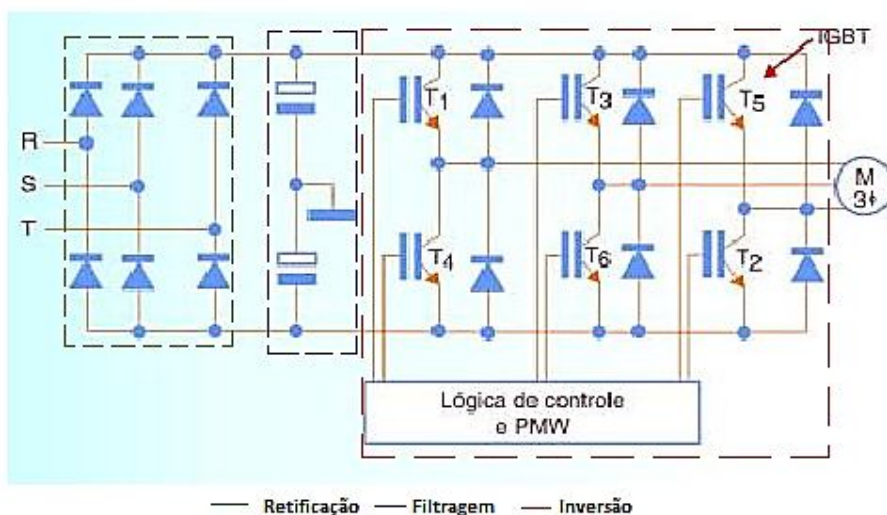
### 2.2.2 Princípio de Funcionamento do Inversor de Frequência

O inversor de frequência tem a finalidade de variar a velocidade de um motor elétrico mantendo seu conjugado constante. Para manter o torque do motor constante, é necessário fazer variar a tensão juntamente com a frequência de modo que o fluxo também permaneça constante.

A velocidade de rotação é diretamente proporcional à frequência do sinal de alimentação. Portanto, o inversor pode ser considerado como uma fonte de tensão alternada com frequência variável.

Os sinais de tensão provenientes da rede de alimentação à qual o equipamento está conectado são submetidos a três etapas: retificação, filtragem e inversão.

Figura 2.5 – Esquema de um inversor de frequência trifásico.



Fonte: REVISTA MECATRÔNICA ATUAL, 29/11/2001.

Na etapa de retificação o sinal de tensão de entrada proveniente da rede de alimentação tem sua amplitude e frequência alteradas pela ponte trifásica de diodos, passando a assumir valores fixos (geralmente 220V e 60Hz, respectivamente) e, portanto, tornando-se CC. Em seguida capacitores eletrolíticos diminuem as ondulações na tensão retificada, fazendo o processo de filtragem e garantindo, assim, o fornecimento de tensão CC para a fase de inversão do sinal. Eles realizam, ainda, a troca de energia reativa com o conversor nos instantes em que há a operação da máquina girante como motor ou gerador. Por último, a tensão CC é transformada em CA por meio do chaveamento controlado de semicondutores,

através da modulação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation* – PWM), o que faz variar o valor médio do sinal e de acordo com o tempo de condução de cada dispositivo, produzindo, desta forma, a onda senoidal que será aplicada ao motor na saída do circuito inversor (FUENTES, 2005).

### 2.2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA WEG CFW-11

O modelo do Inversor de Frequência utilizado para a composição do sistema é o CFW-11, fabricado pela empresa WEG e que está disponível no Laboratório de Máquinas Elétricas do Departamento de Engenharia Elétrica (Bloco 8) da UFPI. Ele é composto por uma unidade de processamento (CPU), Interface Homem-Máquina (IHM), interfaces de entrada/saída de dados e alimentação.

Figura 2.6 – Inversor de frequência CFW-11 utilizado.



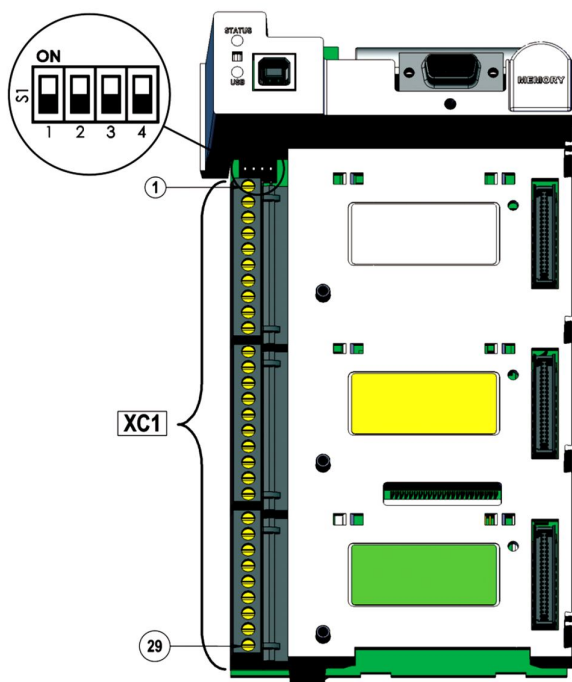
Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com as informações disponíveis no manual, o inversor de frequência CFW-11 é um produto de alta performance que permite o controle de velocidade e torque de motores de indução trifásicos, possuindo desenvolvimento tecnológico de alto nível que apresenta as seguintes vantagens: controle escalar (V/f), *Vector Voltage WEG* – VVW (controle da velocidade do motor com ajuste automático às variações de carga e da rede) ou

controle vetorial programáveis no mesmo produto; controle vetorial programado como *Sensorless* (sem necessidade de encoder), permitindo um alto torque e rapidez de resposta mesmo em velocidades baixas, ou com encoder no motor, possibilitando alto grau de precisão no acionamento para todas as velocidades (inclusive motor parado); função de controle de frenagem do motor (função “Frenagem ótima”), eliminando o resistor de frenagem adicional em algumas aplicações; função que permite o ajuste automático dos reguladores e parâmetros de controle, a partir da identificação dos parâmetros do motor e da carga utilizada (função “Auto-Ajuste”).

O CFW-11 pode trabalhar com sinais analógicos ou digitais. Para tanto, as conexões de controle (entradas/saídas analógicas e digitais) devem ser feitas no conector XC1, atentando-se para a função desempenhada por cada posição. A Figura 2.7 mostra a localização do conector XC1.

Figura 2.7 – Conector XC1 e chave de seleção do sinal nas entradas/saídas analógicas



Fonte: WEG AUTOMAÇÃO. INVERSOR DE FREQUÊNCIA CFW-11: Manual do Usuário, 2008.

O conector XC1 consta de 29 posições, sendo que cada uma desempenha uma função específica. A tabela com as funções e posições do conector em questão está disponível no Anexo A.

A Figura 2.7 mostra também a chave S1 de seleção do tipo de sinal das entradas/saídas analógicas do inversor. Para a aplicação desejada utilizou-se as posições padrões de fábrica de S1, em que as entradas e saídas analógicas são selecionadas na faixa de 0 a 10 V.

Para que o inversor desempenhe corretamente a função que se deseja deve-se também programa-lo seguindo as orientações contidas no Manual de Programação. A edição dos parâmetros é feita através da IHM.

Inicialmente deve-se inserir o número 5 no parâmetro P000, tornando editáveis, assim, os demais.

Os parâmetros são divididos em quatro grandes grupos que facilitam o acesso e edição por parte do usuário: parâmetros de leitura, parâmetros de regulação, parâmetros de configuração e parâmetros do motor.

Os parâmetros de leitura correspondem àqueles que são visualizados no *display* da IHM, mas que não podem ser alterados, podendo ser observado qual valor programado nos parâmetros dos outros três grupos. Alguns exemplos são: P0001 – Referência Velocidade; P0002 – Velocidade do Motor; P0003 – Corrente do Motor; P0004 – Tensão do Barram. CC; P0005 – Frequência do Motor.

Parâmetros de regulação consistem em valores editáveis que são usados pelas funções do inversor de frequência, servindo para calcular a ação do equipamento sobre o motor, como por exemplo: P0100 – Tempo Aceleração; 0P101 – Tempo Desaceleração; P0102 – Tempo Acel. 2ª Rampa; P0103 – Tempo Desac. 2ª Rampa; P0133 – Velocidade Mínima; P0134 – Velocidade Máxima.

Quanto aos parâmetros de configuração pode-se afirmar que eles definem forma como o inversor irá controlar o motor a ele conectado, indicando as funções que serão executadas. Exemplos desse tipo de parâmetro são: P0202 – Tipo de Controle; P0203 – Sel. Função Especial; P0204 – Carrega/Salva Parâm.; P0205 – Sel. Parâm. Leitura 1.

Por fim, os parâmetros do motor indicarão quais os valores nominais das variáveis do motor. Exemplos: P0399 – Rendimento Nom. Motor; P0400 – Tensão Nominal Motor; P0401 – Corrente Nom. Motor; P0402 – Rotação Nom. Motor; P0403 – Frequência Nom. Motor.

Os parâmetros podem ser acessados através da IHM pelo menu “TODOS OS PARÂMETROS” e, então, buscando, por ordem numérica crescente, aquele que se deseja ajustar ou pelo menu “GRUPOS DE PARÂMETROS”, onde pode-se procurar de maneira

orientada o parâmetro que se deseja editar, tendo em vista que os mesmos são agrupados por funções.

## **2.3 Sistema Supervisório**

A integração entre os sistemas de automação de uma planta industrial com seus respectivos sistemas gerenciais e protocolos de comunicação em parte implementada através do software supervisório. Existe uma variedade de softwares capazes de realizar essa tarefa com menor ou maior facilidade, a depender das especificidades de cada um. Aliado aos sistemas supervisórios os bancos de dados podem ser utilizados para armazenar dados da planta (REVISTA MECATRÔNICA ATUAL Nº 19, NOV/DEZ DE 2009).

Sistemas supervisórios são ferramentas que permitem monitorar e rastrear as etapas do processo produtivo, apresentando a análise de resultados de informações coletados de bancos de dados e manipuladas. São chamados também de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) (SILVA & SALVADOR, 2004).

Os Sistemas SCADA servem como interface entre o operador o processo realizado, oferecendo *drivers* de comunicação com equipamentos, sistema de registro contínuo de dados (*datalogger*) e uma interface gráfica para o usuário (IHM).

Entre algumas das funções mais utilizadas em sistemas SCADA estão: geração de gráficos e relatórios com o histórico do processo; detecção de alarmes e registro de eventos em sistemas automatizados; controle de processos, incluindo o envio remoto de parâmetros e *set-points*, acionamento e comando de equipamentos; uso de linguagem de *script* para desenvolvimento de lógicas de automação (MANUAL DO SOFTWARE SCADABR, 2010).

Para desempenhar suas funções, o sistema SCADA permite a definição de *tags*, que são as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo, correspondendo às variáveis do processo real e caracterizando-se, portanto, como a ligação entre o controlador e o sistema.

### **2.3.1 Componentes de um sistema supervisório**

Os sistemas de supervisão de processos possuem tanto componentes físicos quanto componentes lógicos. Os componentes físicos podem ser divididos em: sensores e

atuadores, rede de comunicação, estações remotas (aquisição e controle) e de monitoração central (sistema computacional SCADA) (KONDRASOVAS, Igor).

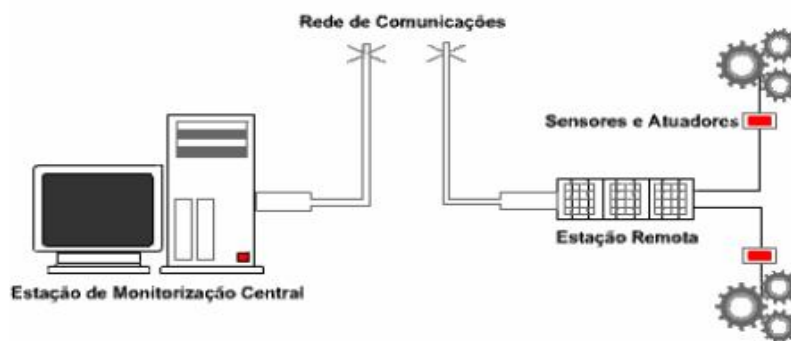
Sensores são dispositivos capazes de converter informações do meio físico (velocidade, temperatura, pressão, etc.) para sinais analógicos e digitais que possam ser lidos pela estação remota. Já os atuadores, como o próprio nome subentende, atuam sobre o sistema, ligando e desligando equipamentos.

O controle e aquisição de dados tem início nas estações remotas, CLPs e RTUs (*Remote Terminal Units*), através da leitura de valores atualizados e controle dos componentes ao qual estão associados. A diferença entre CLPs e RTUs é que este último apresenta arquitetura mais distribuída entre sua CPU e os cartões de entrada/saída, com maior precisão e sequenciamento de eventos, enquanto que o primeiro possui maior flexibilidade quanto à linguagem de programação e controle das entradas/saídas.

Estações de monitoração central são o núcleo do sistema SCADA, tendo em vista que são responsáveis pela coleta de informação geradas pelas estações remotas e atuação de acordo com o evento ocorrido. Elas podem ser centralizadas em um único computador ou distribuídas em uma rede de computadores, compartilhando as informações coletadas.

As redes de comunicação são constituídas de duas partes, o protocolo de comunicação e o meio pelo qual os dados passam dos CLPs e RTUs para o sistema SCADA, podendo ser implementada através de um grande número de diferentes protocolos de comunicação e meios físicos tais como MODBUS, FIELDBUS, ASI, PROFIBUS, etc... e meios físicos RS232, RS485, Ethernet, fibra óptica, rádio, entre outros.

Figura 2.8 – Sistema de supervisão e controle de um processo.



Fonte: SILVA & SALVADOR, 2004.



Quanto aos componentes lógicos os sistemas SCADA, geralmente, dividem suas tarefas em módulos, alterando a flexibilidade e robustez do supervisor de acordo com a solução desejada. Algumas dessas tarefas são: núcleo de processamento; comunicação com CLPs/RTUs (driver runtime); gerenciamento de alarmes; banco de dados (tag's database); históricos; lógicas de programação interna ou controle; interface gráfica; relatórios; comunicação com outras estações SCADA; comunicação com sistemas externos/corporativos.

O funcionamento de um sistema SCADA pressupõe a utilização de um protocolo de comunicação e um meio físico ou rede para comunicação com os equipamentos de campo, que distribui e coordena o fluxo dessas informações para os demais módulos até chegar ao operador do sistema, na interface gráfica ou console de operação com o processo, exibindo a evolução do estado dos equipamentos e do processo supervisionado. A partir daí, são informados eventos ocorridos no sistema, provocando reação automática ou a sugestão de medidas a serem tomadas.

### **2.3.2 Protocolo Modbus**

O protocolo Modbus foi desenvolvido inicialmente pela Modicon Inc. em 1979, sendo hoje um padrão aberto, mantido pela Organização Modbus e tendo sido implementado por centenas de fabricantes em vários equipamentos (ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização Do Driver Modbus, 2012). O protocolo é baseado em mensagens de comando e resposta que possibilita a comunicação mestre/escravo entre equipamentos conectados a diferentes tipos de redes, no qual somente o mestre pode iniciar as transações. Os outros dispositivos (escravos) respondem de acordo com o pedido do mestre ou de acordo com a tarefa em questão, processando a informação e enviando o dado para o mestre. O mestre controla toda a atividade da comunicação serial, através da seleção de um ou mais escravos (*pooling*). O protocolo possibilita a utilização de um mestre e até 247 escravos, sendo que a identificação se dá através de endereçamento, onde cada dispositivo componente da rede tem o seu endereço que o distingue dos demais. O mestre pode acessar um dispositivo escravo de forma individual, através de endereçamento, ou pode enviar uma mensagem para todos os dispositivos escravos (*broadcast*).

A rede Modbus mencionada utiliza o meio físico RS232 ou RS485 Serial para realizar a comunicação, havendo disponíveis dois modos de transmissão: ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e RTU (*Remote Terminal Unit*). Neste trabalho

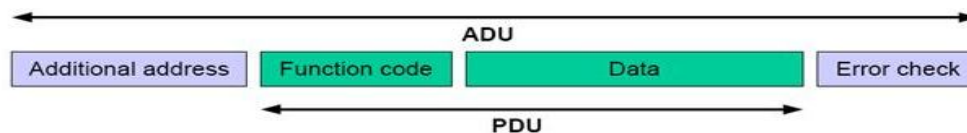
será explanado apenas o modo RTU, por ser mais compacto e mais simples que o modo ASCII.

Este modelo não especifica a camada física, desta forma, podem ser utilizados diversos meios e velocidades, como por exemplo: RS232/RS422 (ponto a ponto); RS485 (rede Multidrop); Modem – Bell 202 (chaveado e linhas privadas); “*Modern Modbus*”.

Quando os controladores são configurados para se comunicar em uma rede Modbus RTU, cada byte de uma mensagem contém dois caracteres hexadecimais de 4 bits, apresentando maior densidade de caracteres e produtividade de informações em relação ao modo ASCII para uma mesma velocidade. Cada mensagem é transmitida conjuntamente sem interrupção.

O protocolo Modbus definiu uma unidade simples de protocolo de dados (PDU), independente de estar por baixo de uma camada de comunicação. O mapeamento do protocolo Modbus em uma rede específica pode introduzir alguns campos adicionais na unidade de aplicação de dados (ADU).

Figura 2.9 – Frame geral do protocolo Modbus.



Fonte: MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION, 2006.

A ADU é construída pelo cliente, que inicia uma transação Modbus, indicando ao servidor que tipo de ação deve ser executada. O protocolo de aplicação Modbus estabelece o formato de um pedido iniciado pelo cliente. O campo do código de função de uma unidade de dados Modbus é codificado em um byte. Quando uma mensagem é enviada do cliente para o servidor o campo de código de função diz ao servidor que tipo de ação deve-se executar. O campo de dados das mensagens enviadas de um cliente para os dispositivos servidores contém informações adicionais que o servidor usa para executar a ação definida pelo código da função, podendo ser inexistente em certos tipos de pedidos. Neste caso o servidor não precisa de informações adicionais e o próprio código da função especifica a ação. Não ocorrendo erro relacionado ao código da função Modbus requisitada em uma ADU Modbus recebida corretamente, o campo de resposta de um servidor para um cliente contém os dados requeridos. Se ocorrer um erro relacionado à função Modbus relativo ao pedido o campo

contém um código de exceção que a aplicação do servidor poderá utilizar para determinar a próxima ação a ser tomada.

### 2.3.2.1 Elipse SCADA

O software utilizado para do desenvolvimento do sistema supervisório aplicado ao neste trabalho foi o Elipse SCADA, que é uma ferramenta poderosa para no gerenciamento em tempo real de processos industriais, energia e infraestrutura, integrando todos esses sistemas numa arquitetura que transforma os dados em informação estratégica.

Através deste aplicativo as informações são coletadas de qualquer tipo de equipamento, os operadores podem monitorar e controlar com precisão os processos do chão de fábrica, bem como máquinas e recursos, gerenciando de forma rápida e eficiente toda a produção. Dados em tempo real são apresentados de forma gráfica, permitindo tratar as informações de diversas maneiras como o armazenamento histórico, a geração de relatórios e a conexão remota. Análises precisas e rápidas resultam em menos perdas e altos níveis de qualidade.

O desenvolvimento de uma aplicação no Elipse SCADA é baseado na ferramenta “Organizer”. Ele permite uma visão simples e organizada de toda a aplicação, ajudando na edição e configuração de todos os objetos envolvidos no sistema através de uma árvore hierárquica.

Figura 2.10 – Árvore hierárquica de objetos no Organizer.



Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

A supervisão de um processo com o Elipse SCADA ocorre através da leitura de variáveis de processos no campo. Os valores dessas variáveis são associados a objetos do sistema chamado *Tags*. Para cada objeto inserido na tela, deve-se associar pelo menos um *tag*. Ao criar *tags*, o usuário pode organizá-los em grupos, facilitando sua busca.

Ao criar um *tag*, deve-se indicar qual seu tipo. Para o projeto em questão serão utilizados *tags* do tipo CLP, que são usadas para trocar valores com os equipamentos de aquisição de dados através de *drivers* de I/O fornecidos pela Elipse de acordo com o tipo do equipamento.

Para configurar um driver é preciso acessar o objeto *Drivers* no Organizer e adicioná-lo na aplicação. Cada novo driver adicionado aparece abaixo da opção *Drivers* na árvore da Figura 2.10. Ao selecionar um driver específico, suas propriedades são mostradas ao lado direito, conforme mostra a Figura 2.11.

Figura 2.11 – Configuração do driver.

The image shows a screenshot of the 'Configuração' (Configuration) dialog box for a driver in Elipse SCADA. The dialog has four tabs: 'Configuração', 'Scripts', 'Lista de Tags', and 'Referência-Cruzada'. The 'Configuração' tab is active. It contains the following fields and controls:

- Nome:** A text box containing 'Driver1'.
- Descrição:** A text box containing 'S7-200 Freeport (Sep 6 2001 10:16:44)'.
- Localização do Driver:** A text box containing 'drivers\Freeport.dll'. To its right are three buttons: 'Localizar...', 'Recarregar', and 'Ajuda'.
- Parâmetros:** A section containing four input boxes labeled P1, P2, P3, and P4, each with the value '0'. Below these are three checkboxes: 'Abortar em erro' (checked), 'Esconder mouse durante comunicação' (unchecked), and 'Retentar comunicações falhadas' (unchecked). At the bottom of this section is a text box labeled 'No. de tentativas:' with the value '1'.
- Avançado...:** A button located to the right of the parameters section.
- Extras...:** A button located at the bottom right of the dialog.

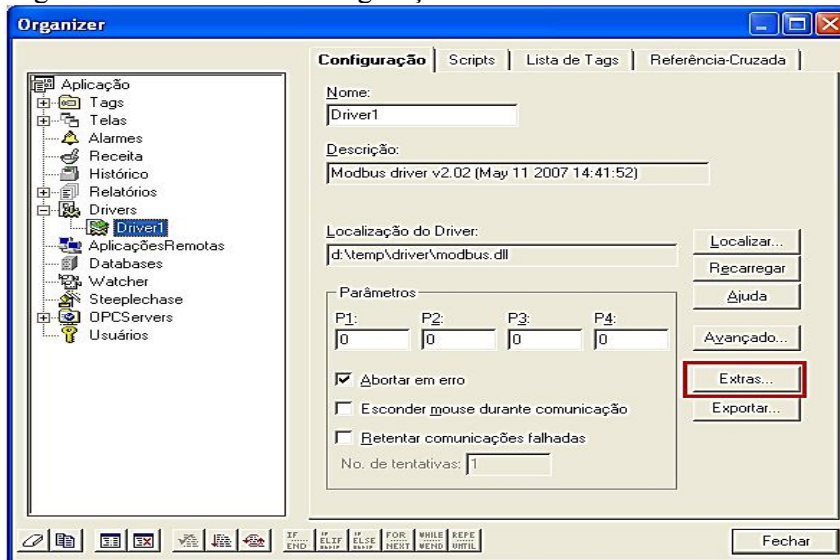
Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

O driver utilizado para a aplicação é o Modbus v2.8.17 fabricado pela Modicon Inc.

### 2.3.2.2 Driver Modbus

Para que o driver funcione corretamente, é preciso configurá-lo entrando na opção “Extras”.

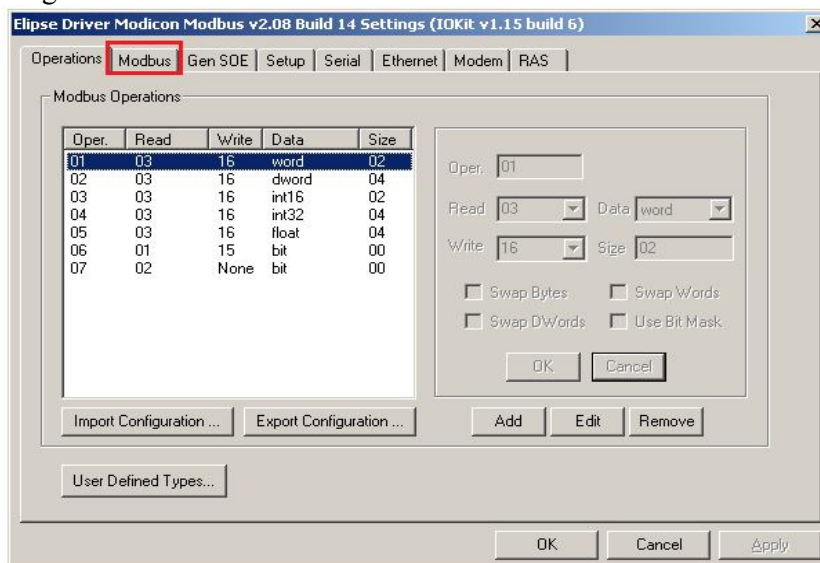
Figura 2.12 – Janela de configuração do driver.



Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

Em seguida deve-se editar os parâmetros do protocolo Modbus entrando na aba “Modbus”.

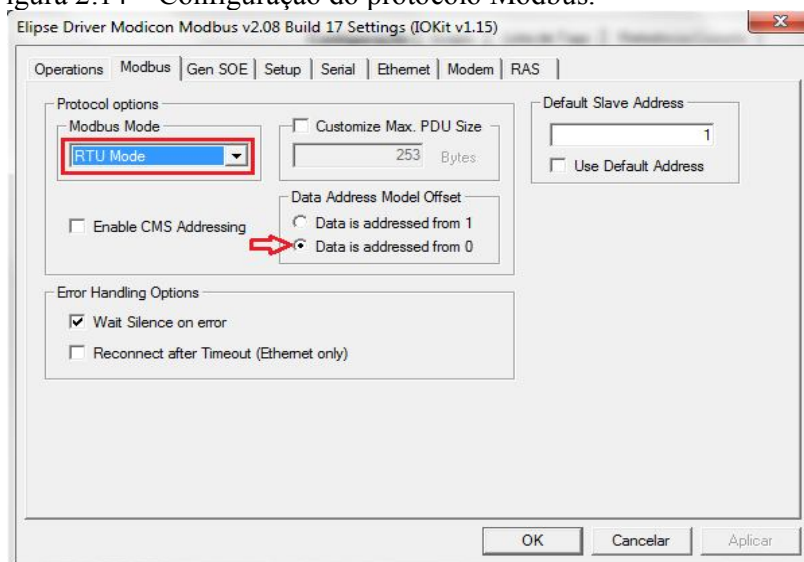
Figura 2.13 – Janela “Extras” referente ao driver.



Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

Como já explanado anteriormente, pelo fato da comunicação utilizada ser do tipo Serial seleciona-se a opção “RTU Mode”. Quanto à opção “Data Address Model Offset”, será selecionada a opção “Data is addressed from 0”, já que os endereços definidos no bloco de memória do equipamento inicia no endereço 0.

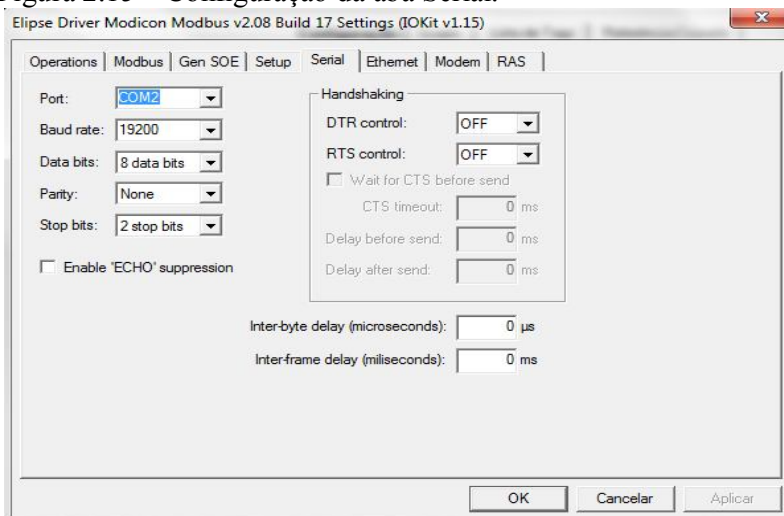
Figura 2.14 – Configuração do protocolo Modbus.



Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

Na aba “Serial”, são editados os parâmetros da comunicação com o equipamento que se deseja controlar, são eles: “Porta de comunicação”, “Baud rate”, “Data bits”, “Paridade” e “Bits de parada”.

Figura 2.15 – Configuração da aba Serial.



Fonte: ELIPSE SOFTWARE. ELIPSE SCADA: Manual De Utilização, 2010.

Os operandos do driver são configurados da seguinte maneira, segundo a função suportada por ele:

Funções de Leitura:

- 01: Leitura de Bit (*Read Coil Status*);
- 02: Leitura de Bit (*Read Input Status*);
- 03: Leitura de Words (*Read Holding Registers*);
- 04: Leitura de Words (*Read Input Registers*);
- 07: Leitura de Status (*Read Exception Status*);
- 20: Leitura de Registro de Arquivo (*Read File Register*);

Função de Escrita:

- 05: Escrita de Bit (*Force Single Coil*);
- 06: Escrita de Word Simples (*Present Single Register*);
- 15: Escrita de Bits (*Force Multiple Coils*);
- 16: Escrita de Words (*Preset Multiple Register*);
- 21: Escrita de Registro de Arquivo (*Write File Register*);

Tais operandos são utilizados na parametrização dos *tags* segundo a função que cada um exerce no sistema supervisório. A janela de edição dos operandos é mostrada na Figura 2.12.

Os componentes descritos ao longo deste capítulo são utilizados na montagem do sistema de controle desenvolvido, havendo um interfaceamento entre esses equipamentos e o monitoramento através de um sistema supervisório que comunica-se com a rede pelo protocolo MODBUS RTU. O Capítulo 3 descreve as etapas do desenvolvimento e os resultados provenientes da realização de experimentos no sistema.

### 3 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

No projeto desenvolvido alguns tipos de acionamentos foram implementados através de comandos oriundos da programação do Controlador Lógico Programável, tais como: aceleração, desaceleração, inversão do sentido de giro, parada temporizada do movimento e controle de velocidade. Estes tipos de acionamentos são realizados a partir de uma entrada de tensão de 0 a 10V do conversor que encontra-se disponível para acionamento externo via CLP. O motor trifásico de 4 polos atinge velocidade de rotação máxima de 1800 rpm. Através da variação do sinal de tensão que entra no canal analógico do CLP é possível controlar a rotação do motor de 0 rpm à aproximadamente 1800 rpm, com sentido de giro programado. Com a utilização de Sistema Supervisório SCADA, todas as ações são controladas e monitoradas pelo software Elipse SCADA, que se comunica com o Controlador Programável pelo do protocolo Modbus RTU, através da porta RS232. Na arquitetura, o computador com o sistema SCADA funciona como mestre do barramento e o CLP como escravo.

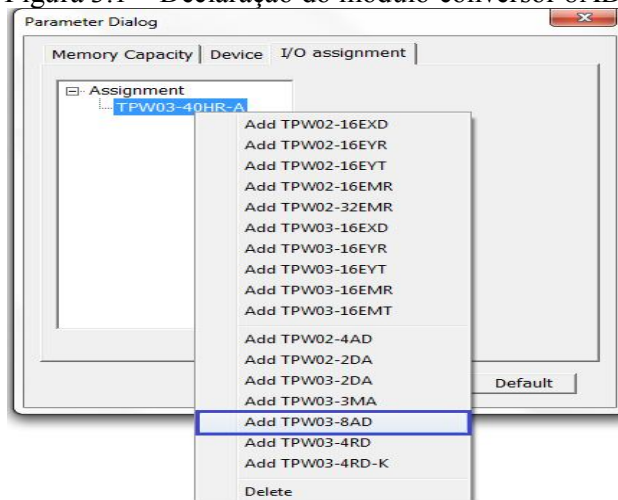
O CLP TPW 03 40HR-A, disponível no Laboratório de Máquinas Elétricas do DEE/CT/UFPI, foi utilizado no projeto proposto. Aspectos relacionados aos seus componentes físicos, conexões internas, mapa de memória, comunicação e ambiente de programação foram importantes para as implementações desenvolvidas.

Para conversão de sinais analógicos para digital foi utilizado um módulo expensor conversor 8AD e para a conversão digital analógico um módulo conversor 2DA. Estes módulos são conectados ao módulo principal do Controlador Lógico Programável através de um barramento de 8 vias.

Na Figura 2.3 é possível observar a presença dos módulos conversores 8AD e 2DA. Para o correto funcionamento da aplicação é necessária a declaração dos módulos adicionais no software de programação conforme as Figuras 3.1 e 3.2.

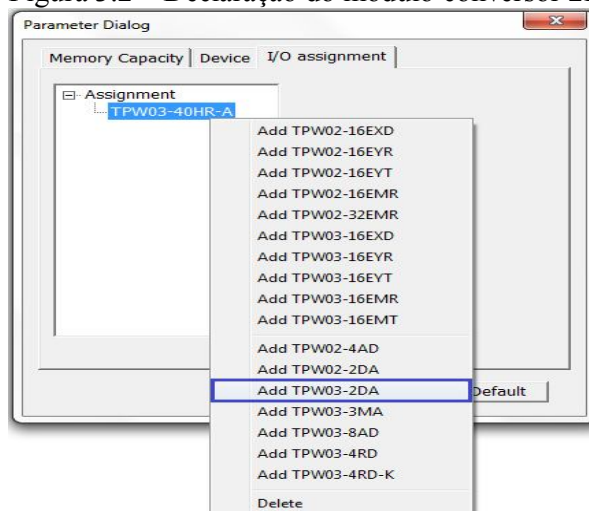


Figura 3.1 – Declaração do módulo conversor 8AD.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.2 – Declaração do módulo conversor 2DA.



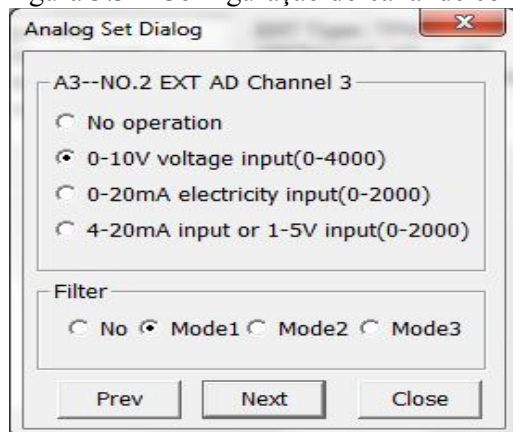
Fonte: Elaborada pelo autor.

O conversor 8AD possui 8 canais de conversão de sinais analógicos para digitais, já o conversor 2DA possui 2 canais de conversão de sinais digitais para analógicos, ambos conversores com resolução de 2,5 mV ou 10  $\mu$ A e velocidade de transmissão de 1 ciclo de scan/ 4 canais. Os canais AI3 e AO2 dos módulos conversores 8AD e 2DA foram utilizados no projeto para o processamento dos dados analógicos de velocidade, tensão e corrente do motor.

Os módulos foram configurados para operar com sinais de tensão (0 – 10 V), representando uma variação linear de 0 a 4000 unidades no valor da constante de carga dos registradores dos canais de conversão de cada módulo. Assim, para uma tensão de 0 V, os

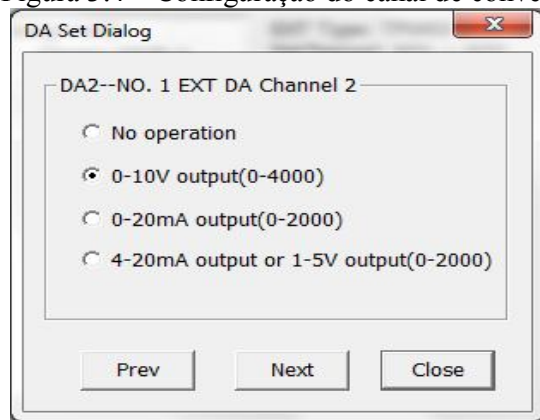
registradores contém o valor 0, já para uma tensão de 10 V a constante presente nos registradores é 4000, a resolução portanto de 10/4000 V/unidade de incremento do registro. A Figura 3.3 apresenta detalhes da configuração do conversor.

Figura 3.3 – Configuração do canal de conversão AI3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.4 – Configuração do canal de conversão AO2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O protocolo Modbus foi utilizado para a comunicação RTU Serial entre o CLP e o Sistema SCADA através de uma conexão RS232. Para a configuração da porta RS232 do Controlador, utiliza-se a função MOV, para carregar o registrador D8321 com o valor constante referente à parametrização padrão da porta de comunicação. A constante de parametrização é um valor decimal obtido a partir de uma *string* de comando, composta por valores binários que caracterizam o modo RTU, juntamente com o código da função e dados de comunicação.

O registrador D8321 é parametrizado de acordo com os valores apresentados na Tabela 2.

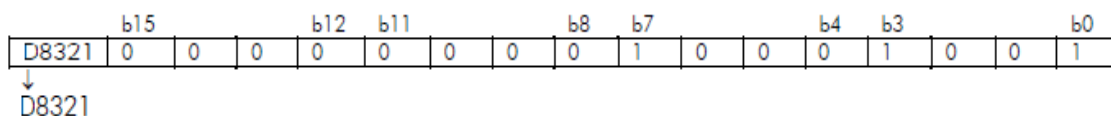
Tabela 2 – Instruções de parametrização da porta de comunicação RS232.

Bit	Descrição	Conteúdo	
		0 (OFF)	1 (ON)
B0	Data bits	7 bit	8 bit
B1	Paridade	B2,B1 (0,0): nenhum (0,1): IMPAR (1,0): PAR	
B2			
B3	Stop bits	1 bit	2 bit
B4	Baud rate (bps)	B7,B6,B5,B4 (0,1,1,1):9.600 (1,0,0,0):19.200 (1,0,0,1):38.400 (1,0,1,0):57.600 (1,0,1,1):76.800	B7,B6,B5,B4 (1,1,0,0):128.000 (1,1,0,1):153.600 (1,1,1,0):307.200
B5			
B6			
B7			
B8~B12 *1	Reservado		
B13	Modo Modbus	(0) : Modo RTU	(1) : Modo ASCII
B14~B15*1	Reservado		

Fonte: WEG AUTOMAÇÃO. TPW-03 CONTROLADOR PROGRAMÁVEL: Manual de Programação, 2009.

Para o protocolo MODBUS RTU é, conforme o guia de referência, definido de acordo com o *frame* apresentado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Frame de comunicação.



Fonte: WEG AUTOMAÇÃO. TPW-03 CONTROLADOR PROGRAMÁVEL: Manual de Programação, 2009.

Uma definição coerente para a parametrização da comunicação MODBUS RTU é dada por:

- Comprimento de 8 bits;
- Sem paridade;
- 2 Stop bits;
- Baud rate: 19200;

Deve-se observar que a verificação de paridade é realizada através do CRC do protocolo MODBUS que considera a inserção de até 4 bits no frame. Para este CLP WEG os

bits B8~B12, B14 e B15 devem ser zerados, por definição. O bit B13 tem o valor 0, tendo em vista que utiliza-se o modo RTU e não ASCII (B13 = 1).

Tais características correspondem ao *string* 0000000010001001, segundo a Tabela 2, que equivale ao número 137 em decimal. Assim, a instrução MOV deve mover a constante K137 para o registrador D8321 no momento em que o CLP for energizado, promovendo a comunicação entre o Sistema Supervisório e o equipamento em questão. A instrução de entrada referente ao comando de pulso é M8002.

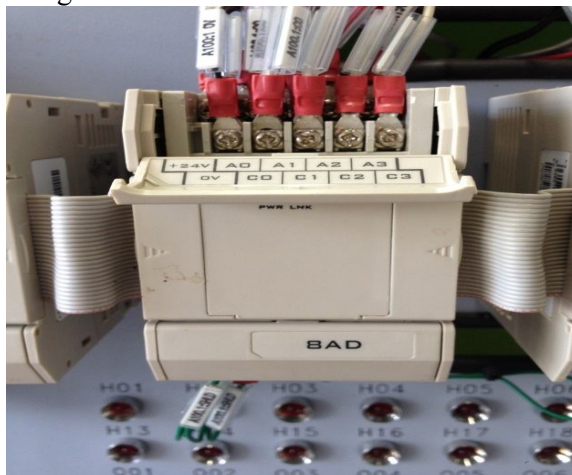
A etapa referente à programação do CLP para realização da conversão do sinal proveniente da fonte de tensão consiste na movimentação do valor presente no registrador do canal AI3 do módulo de conversão 8AD (D8438) para o registrador referente ao canal AO2 do módulo de conversão 2DA (D8382), fazendo-se o uso da função MOV.

Esta mesma função é utilizada para parametrizar o endereço de escravo do Controlador Lógico Programável na rede com o valor 1, tendo em vista que a comunicação por meio do protocolo Modbus Serial permite apenas um escravo. O registrador destinado ao endereçamento do CLP como escravo na rede é o D8121. a função MOV move, portanto, a constante K1 para esse registrador.

Os módulos de conversão possuem a capacidade de operar com sinais de tensão (0 – 10 V) ou corrente (4 – 20 mA), tanto para entrada quanto saída, fazendo-se o uso dos conectores destinados a cada tipo de sinal nos canais de conversão que se deseja ocupar na aplicação do sistema. No processo em questão, utilizou-se apenas sinais de tensão.

As Figuras 3.6 e 3.7 mostram as conexões físicas dos canais de conversão utilizados em ambos os conversores.

Figura 3.6 – Canal de conversão do módulo 8AD.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.7 – Canal de conversão do módulo 2DA.



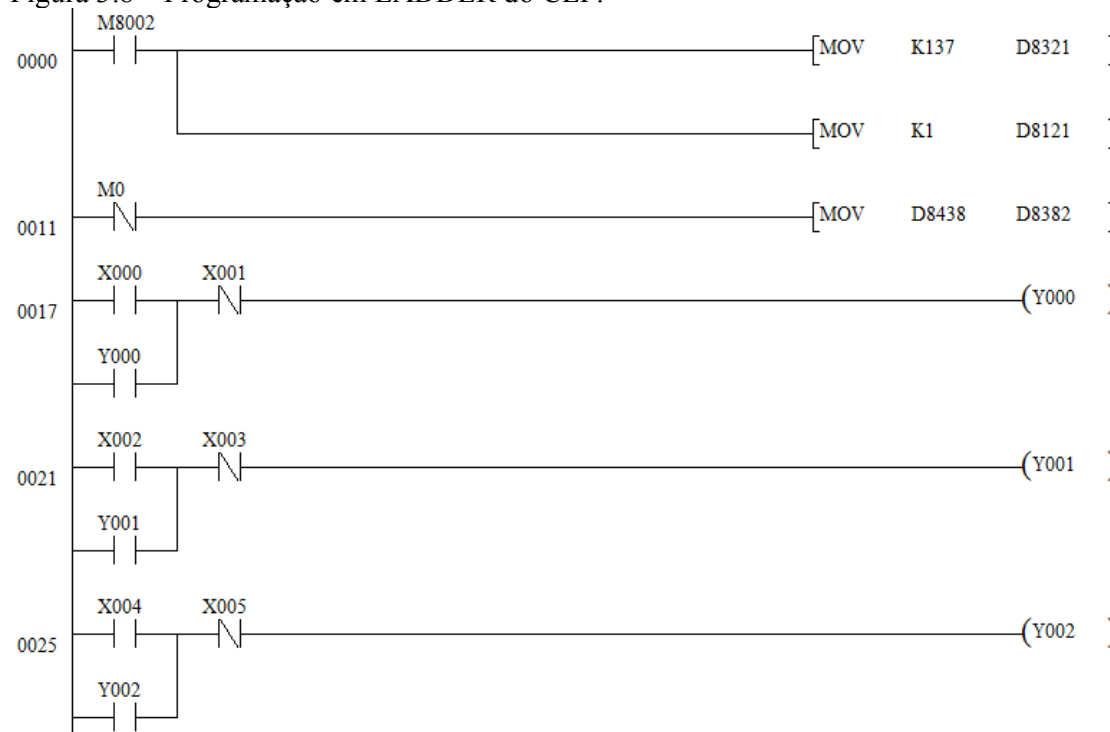
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tendo declarado os módulos de conversão e configurado a porta de comunicação RS232, implementa-se no CLP, então, a rotina de acionamento dos contatos do inversor de frequência responsáveis pelo controle das ações do motor de girar, frear e inverter o sentido de rotação. Para isso utiliza-se três contatos do inversor: 18 (Habilita Geral); 16 (Horário/Anti-Horário) e 15 (Gira/Para). O primeiro é responsável pela função de habilitar/desabilitar os outros dois contatos, o segundo promove a inversão do sentido de rotação do motor e o terceiro comanda as funções de girar ou parar o motor.

No que se refere às conexões dos fios do Inversor de Frequência com o CLP, deve-se conectar a referência de tensão do inversor (contato 13: +24 Vcc) ao contato comum das saídas do CLP e as saídas Y0, Y1 e Y2 deste aos contatos 18, 16 e 15 do inversor. Tais ligações proporcionam o comando das atividades do motor de indução por meio do CLP, dentro dos parâmetros programados no inversor. Os terminais U, V e W do motor devem ser conectados aos de mesma nomenclatura no inversor, independente do tipo de fechamento (estrela ou triângulo).

O acionamento dos comandos “Habilita Geral”, “Horário/Anti-Horário” e “Gira/Para” do Inversor de Frequência por meio do CLP, referentes às ações do motor, é feito pela lógica de programação das bobinas Y0, Y1 e Y2, respectivamente, que são habilitadas e desabilitadas pelos contatos de entrada de X0 à X5, concluindo-se, assim, a programação do Controlador Lógico Programável.

Figura 3.8 – Programação em LADDER do CLP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na parametrização do Inversor de Frequência é necessário configurar qual canal de entrada analógica servirá de referência para o controle da velocidade do motor, além do indicar qual o tipo do sinal de entrada (tensão ou corrente), a função do sinal recebido por aquele canal e se o controle é realizado local ou remotamente.

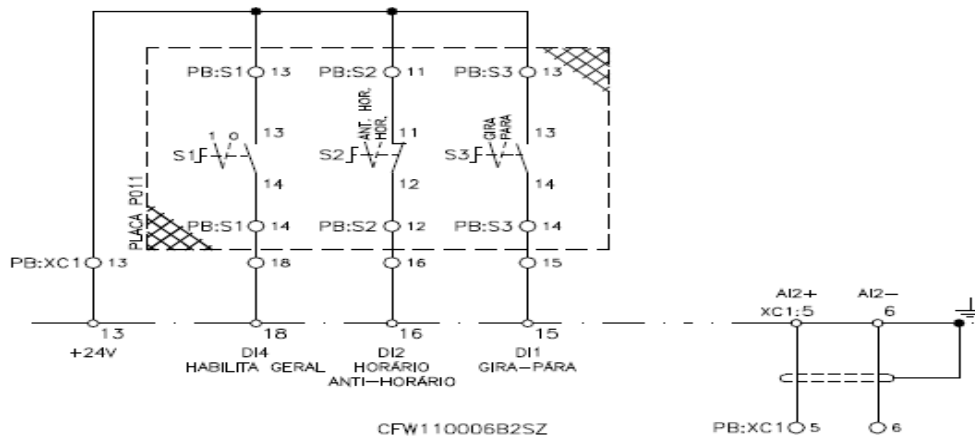
Através do menu “Entradas Analógicas”, acessado pelo grupo “Configuração I/O” ou diretamente pelo “Grupo de Parâmetros”, é possível indicar qual entrada analógica servirá de referência para o Inversor. O parâmetro P0019 seleciona a entrada AI2 como referência, sendo um parâmetro somente de leitura do valor contido nesse canal.

Para atribuir a função da entrada AI2 como sendo uma referência de velocidade, faz-se necessária a edição do parâmetro P0236 (Função do Sinal AI2) para o valor 0. Para configurar a entrada AI2 como sinal entre 0 – 10 V deve-se acessar o parâmetro P0238 escolher o valor 0. O mesmo deve ser feito com o parâmetro P0230 (Zona Morta das Entradas Analógicas), fazendo com que AI2 tenha a velocidade mínima de acordo com P0133 (Velocidade Mínima) e a velocidade máxima programada em P0134 (Velocidade Máxima). Dessa forma, as tensões de 0 - 10 V fazem o motor variar entre as velocidades mínima e máxima, relacionando 0 V à menor delas e 10 V à maior.



A Figura 3.9 mostra o diagrama de comando da ligação a ser realizada para que as funções descritas sejam desempenhadas pelo motor, bem como os contatos referentes à entrada analógica AI2. Na montagem deste projeto as botoeiras S1, S2 e S3 foram substituídas pelas saídas Y0, Y1 e Y2 do CLP, respectivamente.

Figura 3.9 – Diagrama elétrico dos comandos do inversor.



Fonte: WEG AUTOMAÇÃO. KIT DE CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTORES CA: Manual Do Professor, 2009.

A montagem dos equipamentos envolvidos no processo é mostrada na Figura 3.10.

Figura 3.10 – Montagem do sistema desenvolvido.

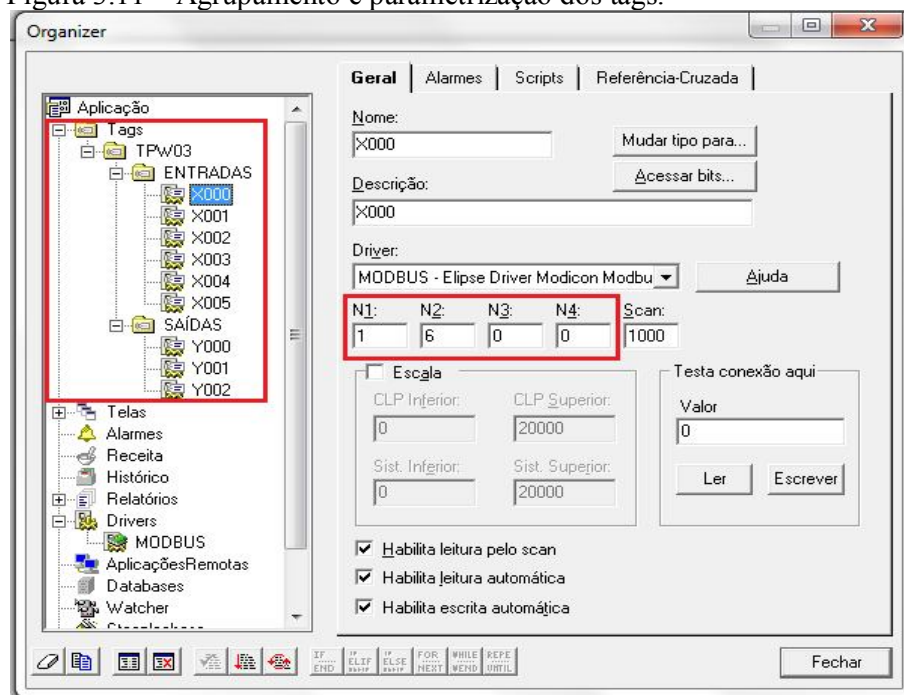


Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o monitoramento e controle das ações desempenhadas no processo pelo motor trifásico de indução, desenvolveu-se um Sistema Supervisório no software Elipse SCADA. Para tanto, adicionou-se o driver mestre da rede Modicon Modbus, fornecido pela Modicon Inc., configurando seus parâmetros de comunicação como foi descrito no Capítulo 2. O operando utilizado de leitura e escrita foi o de número 6, tanto para entrada quanto para saída nos tags, por se tratar de um operando do tipo bit, editado com os seguintes parâmetros: 01 para leitura (leitura do status da bobina) e 15 para escrita (forçar múltiplas bobinas).

Os tags utilizados foram divididos em dois grupos: ENTRADAS e SAÍDAS. No primeiro grupo estão alocados os tags referentes às funções de acionamento e desligamento das bobinas, endereçados às entradas X0 à X5. Já no segundo grupo estão os tags relacionados às bobinas referentes às saídas de Y0, Y1 e Y2.

Figura 3.11 – Agrupamento e parametrização dos tags.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os tags de comunicação com as entradas e saídas do CLP são configurados da seguinte maneira: o espaço N1 é editado com o endereço do escravo, que tem o valor 1 nesta aplicação; o parâmetro N2 destina-se ao operando relativo ao tag; N3 não é utilizado, permanecendo com o valor 0; o endereço Modbus dos registradores referentes aos contatos de entrada (X0~X5), bobinas (Y0~Y2) e conversão AD/DA é colocado no espaço N4.



Para saber qual o endereço Modbus de cada elemento de entrada e saída faz-se o uso de uma tabela de endereços do equipamento fornecida pela WEG. Ao se colocar o nome do elemento é retornado o endereço Modbus do mesmo, como mostrado na Figura 3.13.

Figura 3.12 – Endereços Modbus.

## Endereços Modbus TPW-03

Variável do TPW-03

Y002

Saída Digital

Y0 ~ Y377 - Endereçamento Octal

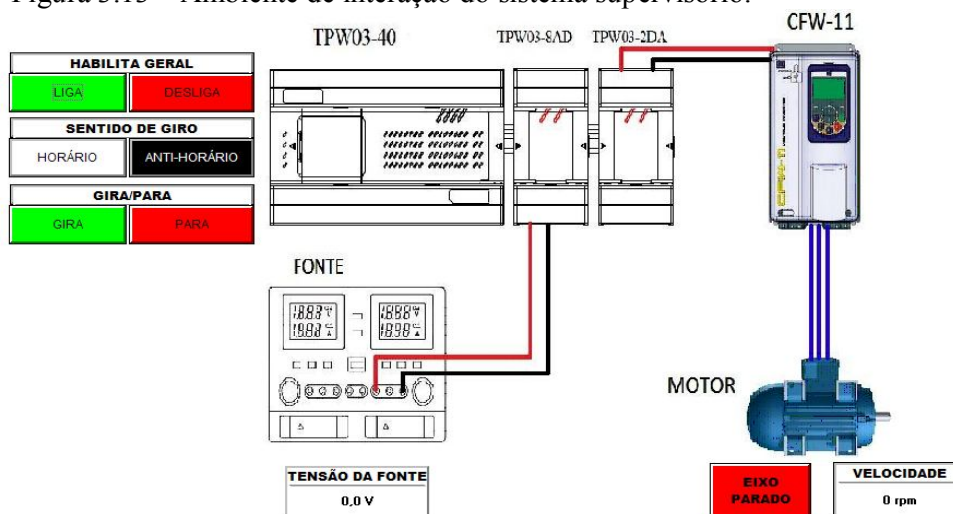
Endereço Modbus

B258

Fonte: Elaborada pelo autor.

A fim de tornar o ambiente de controle e monitoração mais amigável e inteligível adicionou-se objetos de tela à interface de interação do software Elipse SCADA, tais como imagens dos equipamentos, botões e displays, conforme mostrado na Figura 3.14.

Figura 3.13 – Ambiente de interação do sistema supervisório.



Fonte: Elaborada pelo autor.

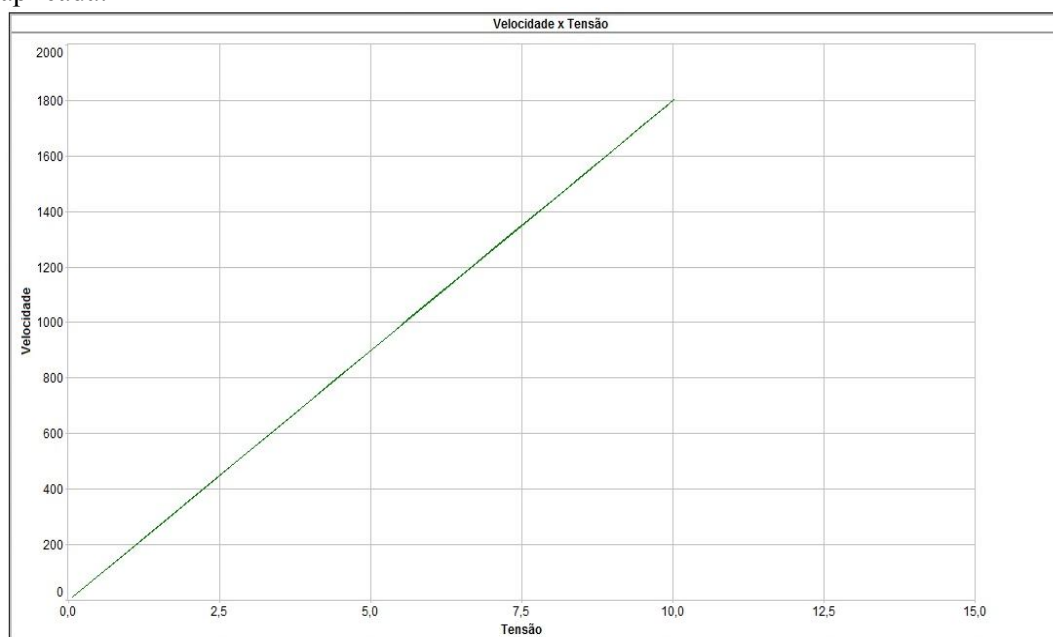
Os botões e displays são referenciados de acordo com os tags das funções aos quais se destinam. Dessa forma, os botões “Liga” e “Desliga” da função “Habilita Geral” têm referências cruzadas com os tags de entrada X000 e X001, respectivamente; os botões “Horário” e “Anti-Horário” da função “Sentido de Giro” são referenciados para editar os

valores dos tags X002 e X003, nessa ordem; os botões “Gira” e “Para” da função “Gira-Para” são conectados aos tags X004 e X005; a indicação de “Eixo Parado” (ou “Eixo Girando”, quando este assim age) está conectada ao tag referente à bobina Y002; a função “Tensão da Fonte” tem seu tag referente ao endereço do registrador do módulo de conversão 8AD (Figura 3.6); e a função “Velocidade” é referenciada a um tag de expressão que converte o valor da tensão presente no registrador em um sinal de velocidade através da multiplicação do tag da função de tensão pela constante 180, tendo em vista que a conversão se dá através de uma função linear.

Dessa forma, é feito o acionamento das funções do inversor de frequência através dos botões da interface e, ao fazer variar a tensão na fonte entre 0 ~ 10 V, a velocidade do eixo do motor varia entre 0 ~ 1800 rpm. Os valores de tensão da fonte e velocidade do motor são fornecidos ao usuário, bem como o status da operação do motor em duas qualificações: “Eixo Girando” e “Eixo Parado”.

A montagem e comunicação dos elementos do sistema descrito foram utilizados para a realização de ensaios com a finalidade de verificar a dinâmica do processo. Para isso a velocidade do campo do estator do motor foi incrementada como função da tensão proveniente entre 0 ~ 10 V do conversor A/D do CLP, obtendo-se o gráfico de Velocidade x Tensão apresentado na Figura 3.14.

Figura 3.14 – Variação da velocidade do motor em função da tensão aplicada.

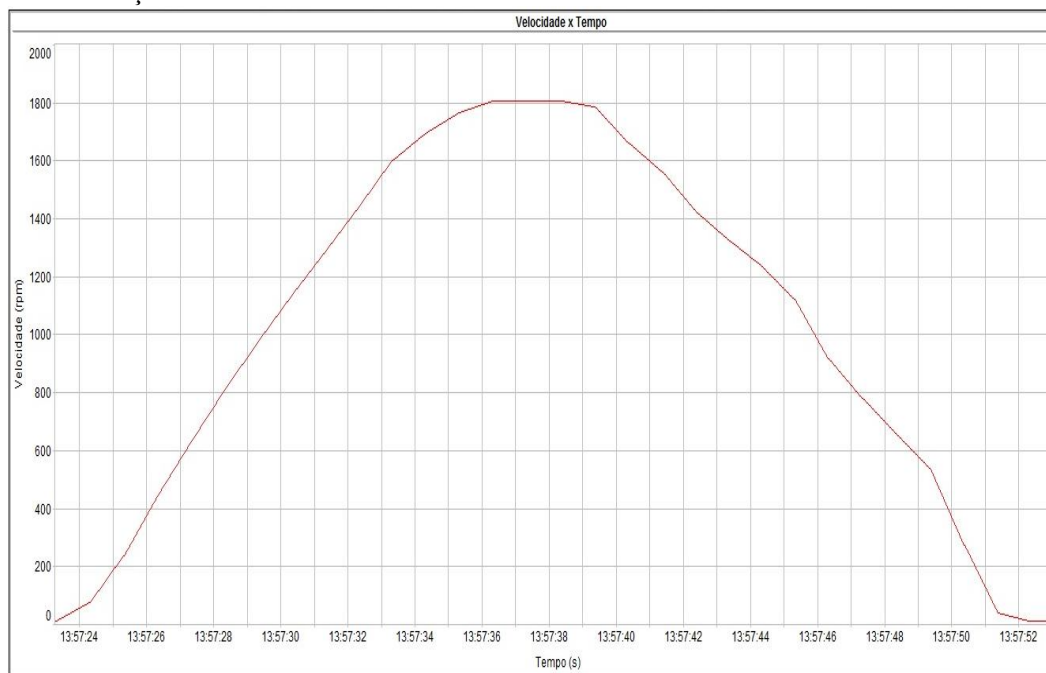


Fonte: Elaborada pelo autor.

O comportamento da velocidade do motor em relação à tensão aplicada pela fonte é linear, tendo em vista que o gráfico Velocidade x Tensão adquirido se trata de uma reta crescente. Nota-se que para uma tensão próxima a 0 V a velocidade do campo do estator é praticamente zero, já para a tensão máxima, 10 V, o campo do estator do motor atinge o valor nominal da velocidade síncrona de 1800 rpm. A velocidade do rotor é próxima à velocidade do campo do estator, haja visto que deve-se levar em consideração o fator de escorregamento do motor. Segundo o catálogo do equipamento, a velocidade máxima atingida é de 1755 rpm, o que torna o resultado da análise bastante próximo das especificações do fabricante.

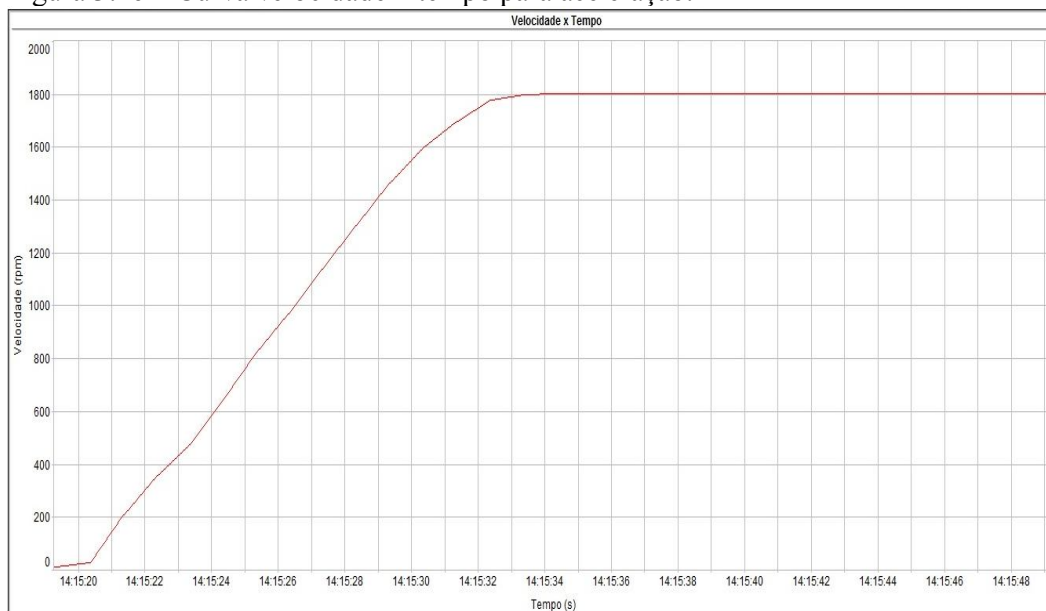
Com a linearidade comprovada entre a velocidade do eixo do motor e a tensão aplicada novos experimentos foram realizados com o objetivo de observar o seu comportamento em relação ao tempo. As Figuras 3.15, 3.16 e 3.17 apresentam curvas de aceleração e desaceleração do motor entre as velocidades máxima e mínima.

Figura 3.15 – Curva velocidade x tempo para aceleração seguida de desaceleração.



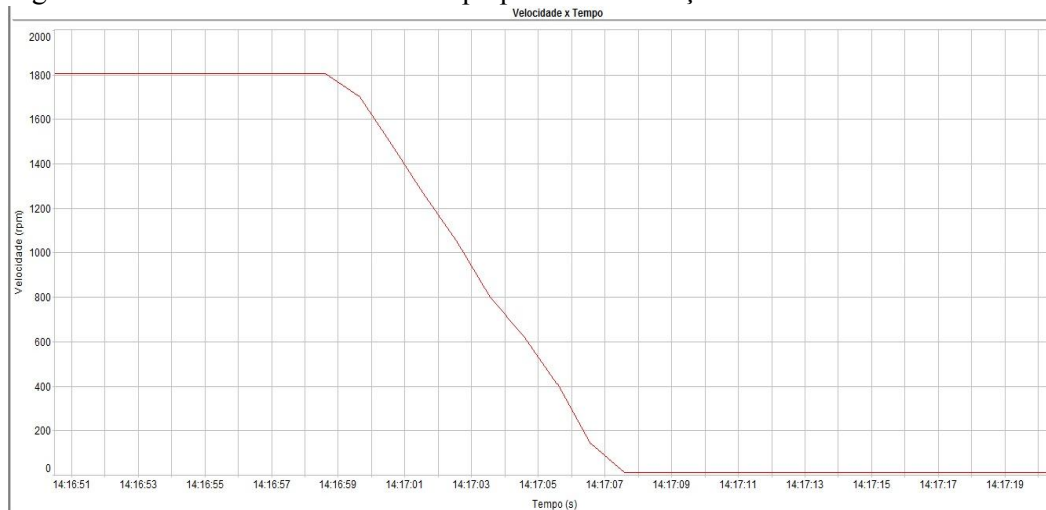
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.16 – Curva velocidade x tempo para aceleração.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.17 – Curva velocidade x tempo para desaceleração.

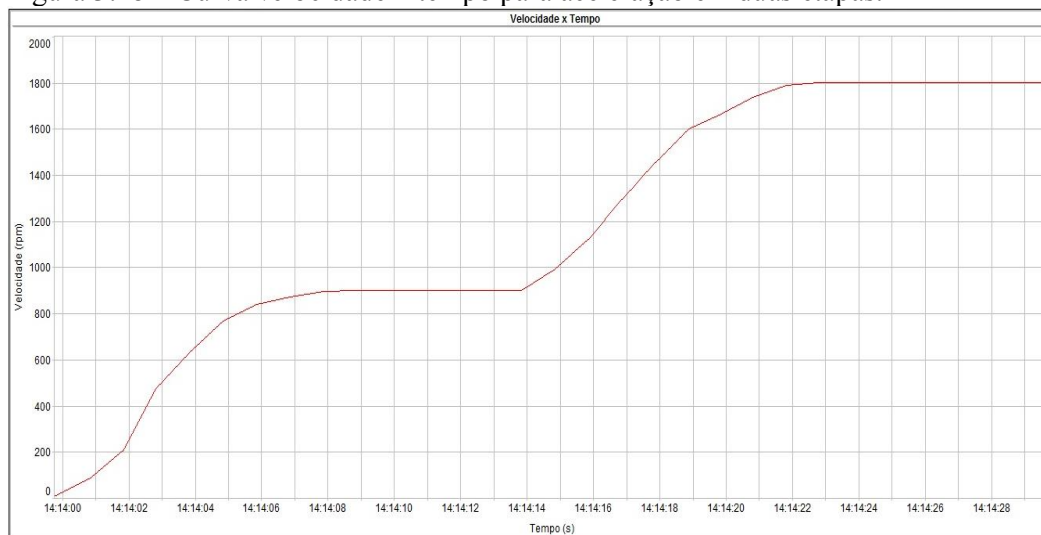


Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se notar que os tempos de aceleração e desaceleração do motor são muito próximos (em torno de 12 segundos), característica que é evidenciada pelos formatos parecidos das curvas de inclinação positiva e negativa da velocidade na Figura 3.15. Isso se deve ao fato de que no inversor de frequência os parâmetros da programação dos tempos de aceleração à velocidade máxima e parada serem editados com valores iguais.

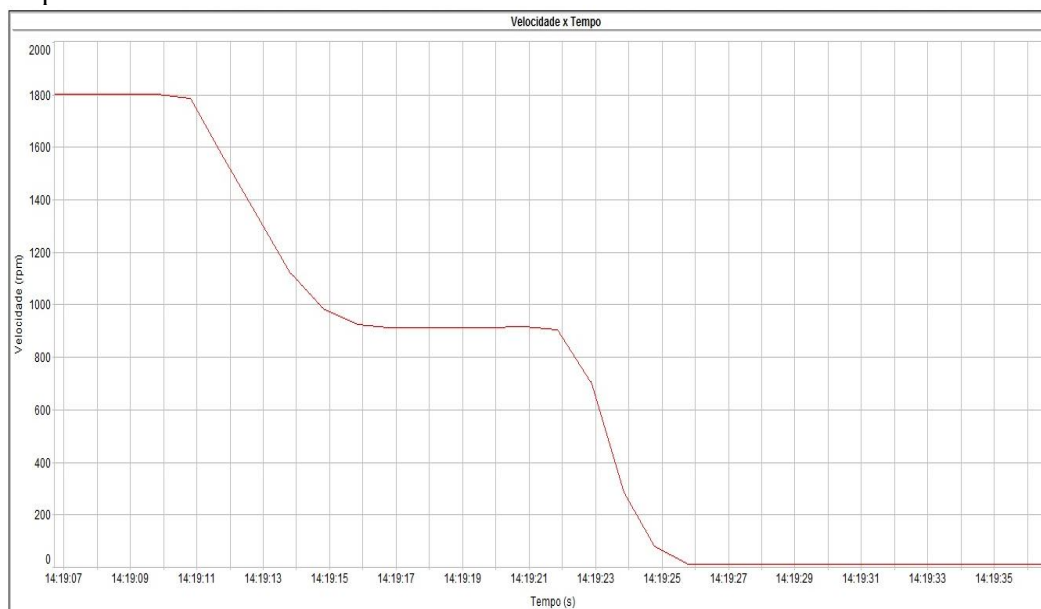
As Figuras 3.18 e 3.19 mostram os gráficos gerados a partir da aceleração e desaceleração do motor em duas etapas, respectivamente.

Figura 3.18 – Curva velocidade x tempo para aceleração em duas etapas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.19 – Curva velocidade x tempo para desaceleração em duas etapas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Cada degrau é referente à resposta em velocidade devido à variação da tensão de entrada incrementada (no caso de aceleração) ou decrementada (para desaceleração) em 5 V. Percebe-se que em 5 V o motor opera com metade da velocidade máxima e que as dinâmicas tanto para o caso de aceleração quanto frenagem são similares, reforçando o fato de existir linearidade no processo, o que facilita sua operação.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de acionamento, controle e supervisão de uma planta do Laboratório de Máquinas Elétricas do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). A planta consiste em um motor de indução trifásico acionado por um inversor de frequência e controlado por um Controlador Lógico Programável WEG TPW 03 40HR-A.

O desenvolvimento do sistema envolveu a implantação de uma rede de comunicação de dados padrão industrial entre os equipamentos utilizados no projeto, ou seja, entre computador supervisor, CLP e inversor.

O comando remoto de ações tais como partir, parar, acelerar, desacelerar, monitorando a velocidade do motor tornou a interação entre o operador e a máquina mais amigável, pela utilização da Interface Homem-Máquina (IHM) desenvolvida na tela do software de sistema supervisor Elipse SCADA. A IHM apresenta os elementos gráficos, assim como cada componente da aplicação e os sinais analógicos e digitais necessários para o correto funcionamento da planta.

Os equipamentos empregados no desenvolvimento do projeto foram apresentados no Capítulo 2 assim como os elementos e recursos do supervisor Elipse SCADA utilizado. Na escolha deste supervisor foi considerado o fato de ser um dos mais utilizados na indústria brasileira, o que torna este trabalho relevante para formação adquirida no decorrer do curso de Engenharia Elétrica. Além disso, a programação do CLP foi realizada na linguagem *Ladder*, podendo ser facilmente transcrito para Controladores de outros fabricantes.

A implantação dos conceitos abordados neste trabalho numa indústria pode proporcionar a utilização de energia elétrica de maneira mais eficiente, tendo em vista que as perdas são minimizadas se comparado a processos comandados através de equipamentos cujos princípios funcionamento são eletromecânicos. Dispositivos eletromecânicos demandam, ainda, manutenção periódica com frequência mais elevada que os elementos eletronicamente controlados, além de estarem mais susceptíveis a desgastes dos contatos, necessitando de troca de equipamento e, dessa forma, interrompendo a produção.

A comunicação entre os equipamentos utilizados e o supervisor (IHM) desenvolvido no Elipse SCADA foi implementado utilizando o protocolo Modbus RTU Serial. A implementação foi conduzida com sucesso, evitando eventos inconsistentes

eliminando ocorrências que interfiram nos comandos das ações do processo, assim como na aquisição de dados por parte do sistema supervisório. Com isto, pôde-se controlar e monitorar com bastante precisão as operações do motor de indução.

## REFERÊNCIAS

- ADUR, Michel; MURINELI, Miguel; CUSTÓDIO JÚNIOR, Nilson. **Eletrônica de Potência: Inversor de Frequência Trifásico**. 2011. Trabalho de apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina Eletrônica de Potência, Engenharia de Controle e Automação, Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2011.
- BEECHER, Henry Ward. **Introduction to PLC Programming and Implementation: from relay logic to PLC logic**. 2. ed. Industrial Text & Video Company, Marietta, 1999.
- BISHOP, Robert H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2002.
- CAPELLI, A. **Inversores de Frequência**. Revista Mecatrônica Atual nº2. Fevereiro de 2002.
- CAPELLI, A. **Inversores de Frequência Vetorial**. Revista Saber Eletrônica nº377. Fevereiro de 2001.
- CASTRO, Gleston F. de. **Inversor de Frequência: Conceitos e Técnicas de aplicação**. Tecnauf, Botucatu, 2007.
- COELHO, Marcelo S. **Apostila de Sistemas Supervisórios**. Instituto Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, Cubatão, 2009. 6 v.
- CORREIA, Wilkley Bezerra. **Controlador preditivo GPC com restrições implementado em um compressor de ar**. 2010. 141 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- ELIPSE SOFTWARE. **ELIPSE SCADA: Manual De Utilização**, 2010.
- FERREIRA JÚNIOR, Milton Gontijo. **Controle de um inversor de frequência via CLP**. 2012. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- FUENTES, Rodrigo C. **Apostila de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- GUIMARÃES, Felipe de Azevedo. **Controladores PID auto-ajustável e nebuloso aplicados em plantas industriais**. 2007. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- GROSMAN, Carlos Alberto. **Diagnóstico de Falhas e Alarmes em Sistemas Supervisórios e Controladores Lógicos Programáveis**. Revista Mecatrônica Atual nº 19, Nov/Dez De 2009.
- JESUS, Eduardo Frigini de. **Desenvolvimento de um software supervisor para o teste de carga da oficina de locomotivas de Tubarão da CVRD**. 2005. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2005.



KONDRASOVAS, Igor. **Sistemas Supervisórios e Protocolos de Comunicação Industriais**. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/kondrasovas/materiais/5\\_Sistemas\\_Super.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/kondrasovas/materiais/5_Sistemas_Super.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2014, 14:51:35.

LANDER, Cyril W. **Eletrônica Industrial**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1988.

MARTINS, Geomar Machado. **Princípios de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. Santa Maria, ago. 2007. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/desp/geomar/automacao/Apostila\\_032012](http://coral.ufsm.br/desp/geomar/automacao/Apostila_032012)>. Acesso em: 12 nov. 2014, 02:29:37.

LOBOSCO, O. S., DIAS, J. L. C. **Seleção e aplicação de motores elétricos**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995. 1 v.

MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION, 2006. Disponível em: <[http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2014, 10:26:31.

PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes. **Eletrônica: Automação Industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011. 6 v.

PEIXOTO, Eduardo. **Tendências de Mercado para Automação Industrial**. Recife, PE: CICTEC, 2013.

RASHID, Muhammad Harunur. **Power Eletronics: Circuits, devices and applications**. 2. ed. Prntice Hall, New Jersey, 1993.

RODRIGUES, Walmir; LUVIZOTTO JÚNIOR, Edevar. **Inversor de frequência em sistemas de bombeamento**. Unicamp, Campinas, 2002.

SCADABR. **Manual do Software SCADABR**. Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadores. 2010.

SILVA, Ana Paula G. S., SALVADOR, Marcelo. **“O que são sistemas supervisórios?”**. Elipse Software. Porto Alegre. 2004.

SOUZA, Vitor Amadeu. **O Protocolo Modbus**: Cerne, 2011. Disponível em: <<http://www.cerne-tec.com.br/Modbus.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2014, 14:12:29.

VIANNA, William S. **Controlador Lógico Programável**. Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes, abr. 2008. Disponível em: <[http://www.academico.iff.edu.br/uploads/materiais\\_aulas/4966-apost\\_clp\\_iff.pdf](http://www.academico.iff.edu.br/uploads/materiais_aulas/4966-apost_clp_iff.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2014, 17:29:48.

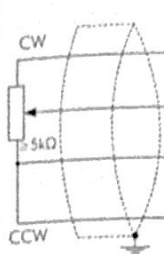
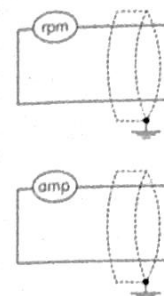
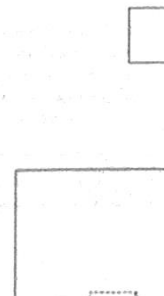
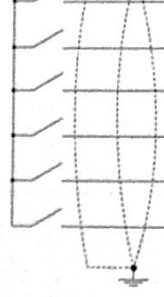
WEG AUTOMAÇÃO. **Inversor de Frequência CFW-11**: Manual de Programação, Jaraguá do Sul, 2012.

WEG AUTOMAÇÃO. **KIT DE CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTORES CA:** Manual Do Professor. Jaraguá do Sul, 2009.

WEG AUTOMAÇÃO. **TPW-03 CONTROLADOR PROGRAMÁVEL:** Manual de Programação, Jaraguá do Sul, 2009.

WONG, Nelson Jue. **Acionamento de motor de indução monofásico PSC com inversor de frequência aplicados a máquinas de lavar roupas domésticas.** 2010, 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

## ANEXO A – FUNÇÕES E CONEXÕES DE XC1

Conector XC1		Função Padrão de Fábrica	Especificações
	1	+REF	Referência positiva para potenciômetro
	2	AI1+	Entrada analógica 1: Referência de velocidade (remoto)
	3	AI1-	
	4	REF-	Referência negativa para potenciômetro
	5	AI2+	Entrada analógica 2: Sem função
	6	AI2-	
	7	AO1	Saída analógica 1: Velocidade
	8	AGND (24 V)	Referência 0 V para saídas analógicas
	9	AO2	Saída analógica 2: Corrente do motor
	10	AGND (24 V)	Referência 0 V para saídas analógicas
	11	DGND+	Referência 0 V da fonte de 24 Vcc
	12	COM	Ponto comum das entradas digitais
	13	24 Vcc	Fonte 24 Vcc
	14	COM	Ponto comum das entradas digitais
	15	DI1	Entrada digital 1: Gira / Para
	16	DI2	Entrada digital 2: Sentido de giro (remoto)
	17	DI3	Entrada digital 3: Sem função
	18	DI4	Entrada digital 4: Sem função
	19	DI5	Entrada digital 5: Jog (remoto)
	20	DI6	Entrada digital 6: 2º. rampa
	21	NF1	Saída digital 1 DO1 (RL1): Sem falha
	22	C1	Saída digital 2 DO2 (RL2): N > N <sub>y</sub> - Velocidade > P0288
	23	NA1	
	24	NF2	
	25	C2	Saída digital 3 DO3 (RL3): N* > N <sub>y</sub> - Referência de velocidade > P0288
	26	NA2	
	27	NF3	
	28	C3	Saída digital 4 DO4 (RL4): Sem falha
	29	NA3	