



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

IGOR PINHEIRO HENRIQUES DE ARAÚJO

**CONTROLE DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA POWERFLEX 525**

Recife  
2023

IGOR PINHEIRO HENRIQUES DE ARAÚJO

**CONTROLE DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA POWERFLEX 525**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa

Recife  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Araújo, Igor Pinheiro Henriques de.  
Controle do inversor de frequência PowerFlex 525 / Igor Pinheiro  
Henriques de Araújo. - Recife, 2023.  
68 p. : il., tab.

Orientador(a): Douglas Contente Pimentel Barbosa  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e  
Automação - Bacharelado, 2023.

1. Inversor de Frequência Variável. 2. Motor. 3. CLP. 4. Modbus. I.  
Barbosa, Douglas Contente Pimentel. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

IGOR PINHEIRO HENRIQUES DE ARAÚJO

**CONTROLE DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA POWERFLEX 525**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 28/09/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Márcio Rodrigo Santos de Carvalho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Gustavo Medeiros de Souza Azevedo (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a minha família e amigos pelo apoio que me fez chegar onde hoje eu me encontro. Dedico também a todos os professores que contribuíram a minha graduação, compartilhando muito conhecimento e experiência.

## RESUMO

Em meio a um mercado cada vez mais competitivo, as indústrias se veem com a necessidade de investir na melhoria de seus processos. Considerando esse problema, o trabalho proposto apresenta o desenvolvimento de um sistema para controle e supervisão do inversor de frequência variável PowerFlex 525 controlado pelo Controlador Lógico Programável (CLP) Micro Logix 1100, ambos fabricados pela Rockwell Automation. Adicionalmente, foi desenvolvido uma Interface Homem-Máquina (IHM) para o controle e supervisão através do terminal PanelView 800 2711R-T4T, fabricado pela Rockwell Automation. A integração do inversor de frequência e do CLP foi feito usando o protocolo de comunicação Modbus Unidade Terminal Remota (Modbus RTU) através do meio físico RS-485. Através desse sistema, foi possível controlar o motor e observar os dados operacionais do inversor a partir do terminal gráfico em tempo real. Este trabalho também fornecerá uma base para os docentes trabalharem com o inversor de frequência em aula, assim, contribuindo para a formação dos demais estudantes.

**Palavras-chave:** Inversor de Frequência Variável; Motor; CLP; Modbus.

## **ABSTRACT**

Amidst an increasingly competitive market, industries find themselves with the need to invest in improving their processes. Considering this problem, the proposed work presents the development of a system to control and supervise the PowerFlex 525 variable frequency drive controlled by the Micro Logix 1100 Programmable Logic Controller (PLC), both manufactured by Rockwell Automation. Additionally, a Human-Machine Interface (HMI) was developed for control and supervision via the PanelView 800 2711R-T4T terminal, manufactured by Rockwell Automation. The integration of the frequency inverter and the PLC was done through the Modbus Remote Terminal Unit (RTU) communication protocol over RS-485 bus. Using this system, it was possible to control the motor and observe the inverter's operating data from the graphics terminal in real time. This work will also provide a basis for teachers to work with the frequency inverter in class, thus contributing to the education of other students.

**Keywords:** Variable Frequency Drive; Motor; PLC; Modbus.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte de um motor de indução trifásico .....	17
Figura 2 – Conversor de frequência variável.....	18
Figura 3 – Lógica OR implementada em Linguagem de Diagrama <i>Ladder</i> .....	19
Figura 4 – Organização do Protocolo Modbus. ....	20
Figura 5 – <i>Frame</i> da mensagem Modbus serial RTU.....	22
Figura 6 – Pinos da porta mini DIN de 8 pinos fêmea do CLP Micro Logix 1100.....	24
Figura 7 – Pinos da porta RJ45 fêmea do inversor de frequência variável PowerFlex 525 .....	25
Figura 8 – Cabo conversor de mini DIN de 8 pinos macho para DB9 fêmea .....	26
Figura 9 – Cabo conversor de DB9 macho para RJ45 macho .....	26
Figura 10 – Pinos dos conectores mini DIN de 8 pinos macho (esquerda) e DB9 fêmea (direita) .....	27
Figura 11 - Pinos dos conectores DB9 macho (esquerda) e RJ45 macho (direita)...	28
Figura 12 – Cabos conectados em série .....	31
Figura 13 – Parâmetros para rede serial/DSI .....	32
Figura 14 – Definições do bit de controle do motor .....	35
Figura 15 – Controle da frequência de referência .....	36
Figura 16 – Valores operacionais do inversor .....	37
Figura 17 – Definições dos bits de status lógico .....	38
Figura 18 - – Códigos de erro do inversor (parte 1) .....	39
Figura 19 – Códigos de erro do inversor (parte 2).....	40
Figura 20 – Configuração do canal 0 de comunicação do CLP.....	41
Figura 21 – Trecho 1 do código <i>Ladder</i> que controla o envio e o recebimento de dados .....	42
Figura 22 – Trecho 2 do código <i>Ladder</i> que controla o envio e o recebimento de dados .....	43
Figura 23 – Trecho do código que controla o motor .....	44
Figura 24 – Escrita no endereço de controle do motor.....	45
Figura 25 – Trecho do código <i>Ladder</i> que controla a frequência de referência .....	46
Figura 26 – Escrita no endereço de controle da frequência de referência .....	46
Figura 27 – Trecho do código <i>Ladder</i> que lê os valores operacionais .....	47
Figura 28 – Leitura dos endereços dos valores operacionais .....	48
Figura 29 – Trecho do código <i>Ladder</i> que lê o status lógico.....	49
Figura 30 – Leitura do endereço do status lógico.....	50
Figura 31 – Trecho do código <i>Ladder</i> que lê o código de erro .....	51
Figura 32 – Leitura do endereço do código de erro.....	51
Figura 33 – Trecho do código <i>Ladder</i> que faz a conversão Hz - RPM.....	52
Figura 34 – <i>Tags</i> usadas pela IHM .....	54
Figura 35 – Terminal gráfico PanelView 800 2711R-T4T.....	55
Figura 36 – Tela Principal.....	56
Figura 37 – Tela Controle.....	56
Figura 38 – Tela Monitoramento .....	57
Figura 39 – Tela Gráfico.....	58
Figura 40 – Tela Erro .....	58
Figura 41 – Motor elétrico trifásico indutivo .....	59
Figura 42 – Placa de identificação do motor WEG .....	60

Figura 43 – Placa de identificação do inversor de frequência variável PowerFlex 525 .....	61
Figura 44 – Sistema de controle e supervisão .....	63
Figura 45 – Terminal na Tela Monitoramento Figura 49 .....	63
Figura 46 – Terminal na Tela Gráfico .....	64
Figura 47 – Tacômetro TD-813 da Instrutherm .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos códigos de função.....	23
Tabela 2 – Conexão entre os pinos dos conectores da Figura 10 .....	27
Tabela 3 – Conexão entre os pinos dos conectores da Figura 11 .....	28
Tabela 4 - Conexão entre os pinos dos conectores das extremidades ao conectar os cabos da Figura 8 e da Figura 9.....	29
Tabela 5 – Conexão nova entre os pinos dos conectores da Figura 11.....	30
Tabela 6 – Nova conexão entre os pinos dos conectores das extremidades ao conectar os cabos da Figura 8 e da Figura 9 .....	31
Tabela 7 – Configuração dos parâmetros para comunicação .....	33
Tabela 8 – Configuração dos parâmetros para o motor .....	62
Tabela 9 – Comparação entre o <i>setpoint</i> e a velocidade de rotação real do motor ..	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CRC	<i>Cyclical Redundancy Checking</i>
FBs	<i>Functional Blocks</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
nc	<i>No Connection</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SVC	<i>Sensorless Vetorial Control</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	Geral.....	15
1.1.2	Específicos .....	15
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO .....	16
2.2	INVERSOR DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL .....	17
2.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	18
2.4	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MODBUS .....	19
2.4.1	Modbus RTU .....	21
2.4.2	RS-485 .....	23
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....</b>	<b>24</b>
3.1	REDE SERIAL MODBUS RS-485 .....	24
3.2	CONFIGURAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL POWERFLEX 525.....	32
3.2.1	Endereços dos Registradores .....	33
3.2.1.1	<i>Endereço dos registradores de controle do motor.....</i>	<i>34</i>
3.2.1.2	<i>Endereço dos registradores de controle da frequência de referência.....</i>	<i>35</i>
3.2.1.3	<i>Endereço dos registradores de monitoramento de valores operacionais .....</i>	<i>36</i>
3.2.1.4	<i>Endereço dos registradores de monitoramento de status lógico .....</i>	<i>37</i>
3.2.1.5	<i>Endereço dos registradores de monitoramento de código de erro .....</i>	<i>38</i>
3.3	CONFIGURAÇÃO DO CLP .....	40
3.4	PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	41
3.4.1	Controle do envio e recebimento de dados .....	41
3.4.2	Escrita no endereço de controle do motor .....	43
3.4.3	Escrita no endereço de controle da frequência de referência.....	45
3.4.4	Leitura dos endereços dos valores operacionais.....	47
3.4.5	Leitura do endereço do status lógico .....	48
3.4.6	Leitura do endereço do código de erro .....	50
3.4.7	Conversão Hz – RPM .....	52
3.5	CONFIGURAÇÃO DA IHM.....	53
3.6	TELAS DA IHM.....	53
3.6.1	Tela Principal.....	55
3.6.2	Tela Controle .....	56
3.6.3	Tela Monitoramento.....	57
3.6.4	Tela gráfico.....	57
3.6.5	Tela Erro.....	58

3.7	MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO .....	59
3.8	RESULTADOS .....	62
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias no Brasil respondem por quase 40% da energia elétrica consumida no país. Os motores elétricos dessas indústrias consomem 26% da energia elétrica consumida no país. Analisando esses dados, nota-se que os motores elétricos compõem 65% da energia elétrica consumida pelas indústrias. Os motores elétricos de corrente alternada (CA), quando comparados aos motores de corrente contínua (CC), são mais robustos, precisando de menos manutenção, além de serem mais baratos e leves. Por causa desses e outros fatores, os motores CA de indução correspondem a 95% do número total de motores instalados nos setores industrial, rural, comercial e residencial.

Inversores de frequência são equipamentos capazes de controlar a velocidade e o torque de um motor. Esse controle permite os motores funcionarem em condições desejadas, abaixo da condição nominal que ocorreria caso ligada diretamente a rede elétrica. A possibilidade de funcionamento em condições desejadas flexibiliza a aplicabilidade do motor.

Em meio a um mercado cada vez mais competitivo, as indústrias se veem com a necessidade de investir na melhoria de seus processos para diminuir custos e melhorar a qualidade de seus produtos. O controle dos inversores de frequência permite: um consumo de potência do motor menor do que a potência máxima caso estivesse funcionando em condição nominal, assim, reduzindo o consumo de energia; uma diminuição de choques mecânicos na partida do motor, assim, reduzindo os custos com manutenção; um aumento na precisão do processo, aumentando a qualidade; a automatização, diminuindo custos e melhorando a produção.

Diante desse cenário, este trabalho irá apresentar um sistema de controle e supervisão para o inversor de frequência variável PowerFlex 525, e assim, controlar a velocidade de um motor de indução trifásico. Além das vantagens já citadas, a implementação do sistema de controle e supervisão do inversor de frequência dará mais uma oportunidade de pôr em prática o conhecimento dos três níveis inferiores da pirâmide de automação adquiridos em sala. O uso didático desse trabalho se evidencia pela possibilidade de recriar o experimento em laboratório, possibilitando aos estudantes expandirem sua experiência prática.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral e os objetivos específicos estão descritos adiante.

### **1.1.1 Geral**

Desenvolver um sistema de controle e supervisão, no qual, usaremos o CLP Micro Logix 1100 para, através do protocolo de comunicação Modbus RTU, escrever as configurações de parâmetros e ler os valores operacionais na memória do inversor de frequência variável PowerFlex 525, assim, permitindo o controle de velocidade de um motor de indução trifásico.

### **1.1.2 Específicos**

Os objetivos específicos desse projeto são:

- Programar o CLP em Ladder;
- Desenvolver telas para o sistema de controle e aquisição de dados (SCADA);
- Integrar os dispositivos;
- Controlar e supervisionar o sistema através de um supervisor.

## **1.2 Organização do Trabalho**

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1 foi apresentado a motivação e os objetivos para a elaboração desse trabalho. No Capítulo 2 tem-se a fundamentação teórica de todo sistema: o motor de indução trifásico, o inversor de frequência variável, o CLP e o protocolo de comunicação Modbus. No Capítulo 3 tem-se o desenvolvimento do trabalho dividido em etapas. No Capítulo 4 tem-se a conclusão do trabalho e as propostas de continuação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo expõe a fundamentação teórica usada para a construção do presente trabalho, introduzindo conhecimentos sobre motores elétricos trifásicos, inversores de frequência variáveis, controladores lógicos programáveis e protocolo de comunicação Modbus.

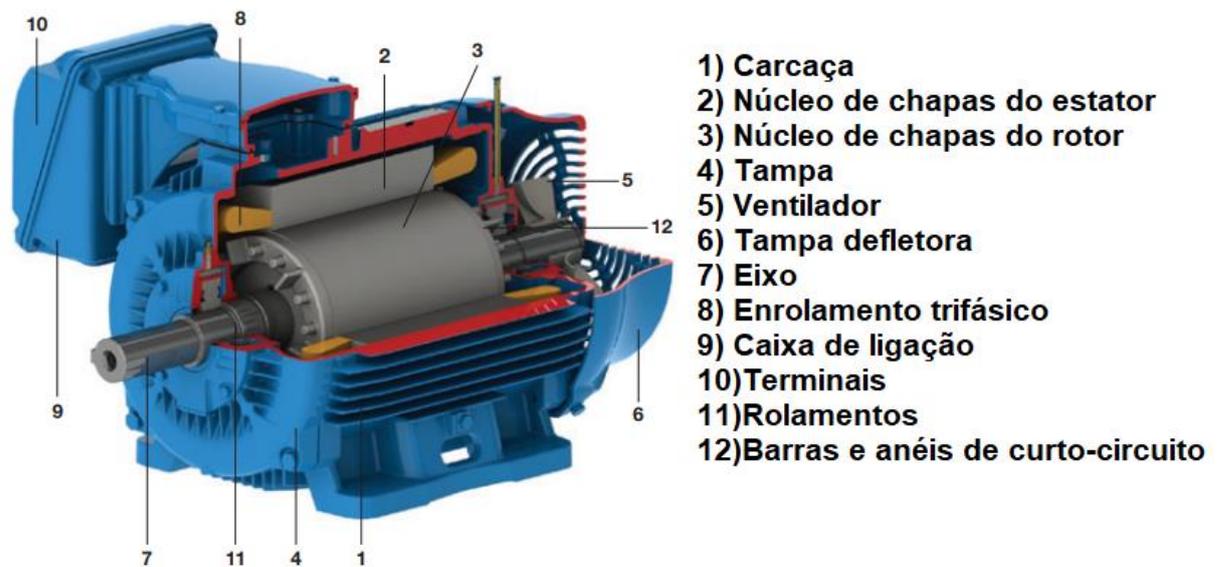
### 2.1 Motor Elétrico Trifásico

Os motores elétricos são equipamentos que transformam energia elétrica em energia mecânica e podem ser subdivididos em motores CC e CA a depender se o motor usa energia elétrica CA ou CC como alimentação.

Os motores CA são classificados em síncronos e de indução. Os motores síncronos são aqueles cuja corrente do rotor é fornecida por uma fonte de potência CC separada através de contatos rotativos. Enquanto os motores de indução são aqueles cuja corrente do rotor é induzida magneticamente em seus enrolamentos sem a necessidade de uma conexão física de fios. Os rotores dos motores de indução podem ser do tipo bobinado ou do tipo gaiola de esquilo. O rotor bobinado é composto por enrolamentos polifásicos semelhantes aos do estator, mas com seus terminais conectados a anéis deslizantes. Enquanto o rotor gaiola de esquilo é composto por barras condutoras curto-circuitadas por anéis condutores nas extremidades.

Esses motores CA também são classificados em motores monofásicos ou trifásicos. Em motores trifásicos como o da Figura 1, as correntes trifásicas percorrendo pelo enrolamento trifásico do estator gerarão um campo magnético girante de intensidade constante que induzirá um conjugado no rotor devido ao campo magnético induzido nele, fazendo o rotor girar para alinhar seu campo magnético com o do estator. Já nos motores monofásicos, como o campo magnético pulsa ao invés de girar, não há um conjugado de partida. Portanto, os motores monofásicos precisam de um método externo de gerar um conjugado de partida, após o qual o rotor começar a girar e um conjugado induzido será produzido.

Figura 1 - Corte de um motor de indução trifásico



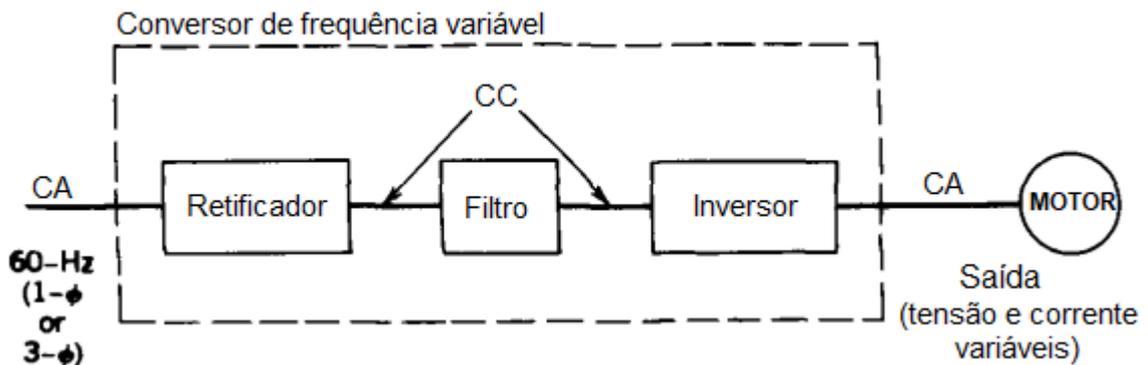
Fonte: Adaptado de

## 2.2 Inversor de Frequência Variável

Os motores trifásicos CA de indução podem funcionar com sua velocidade diretamente proporcional à frequência da tensão de alimentação do motor. Isso ocorre, pois a velocidade síncrona é diretamente proporcional à frequência da tensão de alimentação do motor.

De modo geral, os inversores de frequência variáveis, também conhecidos como conversores de frequência variáveis, são compostos de 3 etapas como vistas na Figura 2. Na primeira etapa, a tensão CA provida pela rede passa por um retificador, controlado ou não, que converte essa onda de tensão para uma tensão CC com ondulações CA. Na segunda etapa, há um filtro para diminuir a variação da onda pulsante gerada pelo retificador. Na última etapa, um circuito inversor chaveia a tensão CC para formar uma onda de tensão CA com a frequência desejada para a alimentação do motor. Apesar da onda gerada não ser senoidal, sua forma é adequada para um motor.

Figura 2 – Conversor de frequência variável.



Fonte: Adaptado de

### 2.3 Controlador Lógico Programável

O controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo eletrônico digital desenvolvido para uso em ambiente industrial. Possui memória programável usada para guardar instruções que implementam funções específicas, assim, controlando processos e máquinas através de entradas e saídas (I/Os), sejam elas analógicas ou digitais.

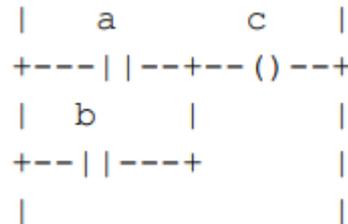
Os componentes principais de um CLP são: Fonte de alimentação; Unidade central de processamento (CPU); Memória; Interface para entrada de sinais digitais e analógicos; Interface para saída de sinais digitais e analógicos; Interface de comunicação.

O programa a ser usado no CLP para controle é composto por “funções” e “blocos funcionais” (FBs). As “funções” são blocos de programação que cumprem tarefas específicas, sejam elas padrão (ex.: ADD) ou definidas pelo usuário. Os FBs são blocos que controlam tarefas específicas, mas que diferentemente das funções, armazenam estados passados. Devido a sua estrutura, com uma interface bem definida e conteúdo escondido, as “funções” e os “blocos funcionais” podem ser chamados inúmeras vezes.

A linguagem de programação pode ser considerada textual quando é usado Lista de Instruções ou Texto Estruturado. A linguagem de programação também pode ser considerada gráfica se é usado Diagrama *Ladder* ou Diagrama de Blocos Funcionais.

A linguagem de Diagrama *Ladder* baseia-se na representação da lógica de relés e contadores como observado na Figura 3.

Figura 3 – Lógica OR implementada em Linguagem de Diagrama *Ladder*



Fonte: Adaptado de

## 2.4 Protocolo de Comunicação Modbus

As redes de comunicação são organizadas como pilhas de camadas encapsuladas, no qual, cada camada oferece determinados serviços as camadas superiores sem revelar os detalhes de seu funcionamento interno. O protocolo é um conjunto de regras convencionadas para controlar o formato e o significado das mensagens trocadas entre entidades pares na mesma camada de uma rede, assim, permitindo a comunicação entre elas.

O Modelo de Referência para Interconexão de Sistemas Abertos (Modelo OSI) é um modelo de referência desenvolvido pela Organização Internacional de Normalização (ISO) para padronizar os protocolos de comunicação. O modelo define a função de cada camada da rede sem especificar protocolos e serviços. As 7 camadas definidas pelo modelo, em ordem crescente, são as camadas física, de enlace, de rede, de transporte, de sessão, de apresentação e de aplicação.

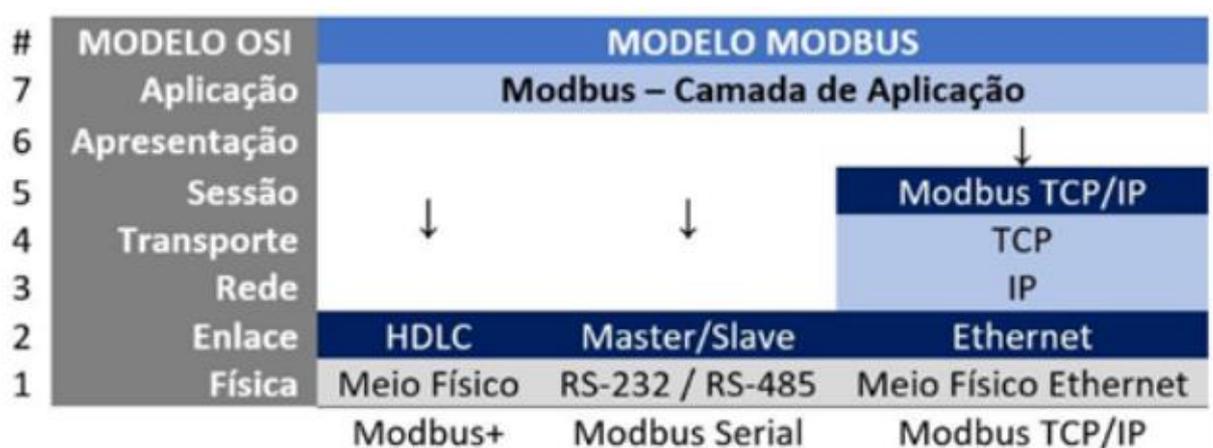
O protocolo de comunicação Modbus permite que um dispositivo leia e escreva dados na memória de outro dispositivo. A interação entre os dispositivos é definida pelo modelo de interação cliente/servidor. O cliente forma uma conexão com o servidor, faz uma requisição de serviço, como leitura ou escrita de dados, e recebe a resposta do servidor. Portanto, o servidor apenas troca dados quando seu serviço é requisitado.

O protocolo Modbus é um protocolo de mensagem da camada de aplicação (camada 7 do modelo OSI). A camada de aplicação do protocolo define os serviços que podem ser requisitados pelo cliente, além de definir como o servidor deve agir e responder ao serviço requisitado. Enquanto as camadas inferiores variam a depender do modo de transmissão, o qual pode ser:

- Modbus Serial Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informação (ASCII): dados codificados e transmitidos como caracteres ASCII;
- Modbus Serial RTU: codificados no formato binário;
- Modbus Protocolo de Controle de Transmissão (TCP): codificados no formato binário.

Essas versões do protocolo Modbus podem ser enviadas usando alguns meios físicos. Tanto o Modbus ASCII quanto o RTU usam redes seriais que podem se basear no RS-232 ou no RS-485. Já o Modbus TCP/*Internet Protocol* (IP) envia os dados usando o protocolo TCP/IP através do meio físico ETHERNET. A organização do protocolo Modbus descrita pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Organização do Protocolo Modbus.



Fonte: Adaptado de.

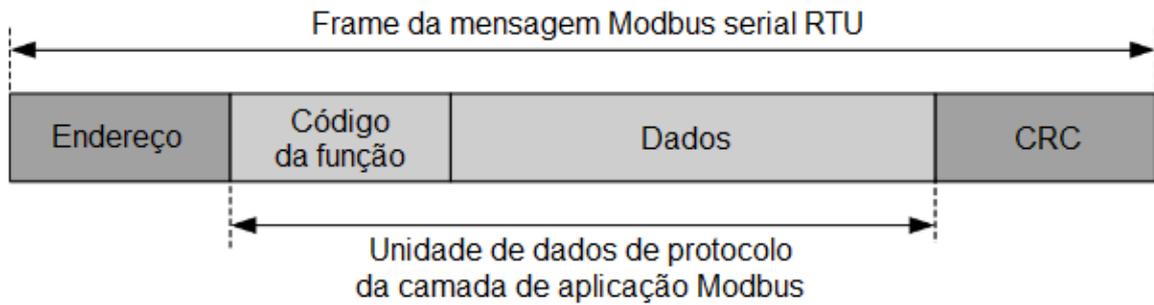
### 2.4.1 Modbus RTU

Uma rede serial Modbus usa um meio físico compartilhado pelos dispositivos da rede. Devido a essa característica de compartilhamento do meio, usa-se o modelo de

interação mestre/escravo para regular o acesso a esse meio. Nesse modelo, só há um cliente, o mestre, e os demais dispositivos, os servidores, são os escravos. O mestre regula o meio já que só o mestre inicia a comunicação entre os dispositivos e uma nova comunicação só pode ser iniciada quando a anterior é finalizada.

No Modbus RTU, cada byte da mensagem para a comunicação entre os dispositivos é transmitido através de 1 caractere de 11 bits. O *frame* da mensagem transmitida (Figura 5) é composto por:

- 1 byte de endereçamento do escravo: o mestre preenche o endereço do escravo que quer se comunicar, enquanto o escravo preenche seu endereço para identificar o escravo que está respondendo. O valor 0 é usado para broadcast e do valor 1 ao 247 é usado para identificar os escravos. Ou seja, o número de escravos é limitado a 247.
- 1 byte do código da função: código da função solicitada ao escravo pelo mestre.
- 0 a 252 bytes de dados: parâmetros adicionais a função usada. Como os dados a serem escritos ou lidos.
- 2 bytes de verificação cíclica de redundância (CRC): campo de verificação de erro.

Figura 5 – *Frame* da mensagem Modbus serial RTU

Fonte: Adaptado de

Como a transmissão de dados no modo RTU é feita de forma assíncrona, o tempo entre o envio de cada caractere do frame deve ter até 1,5 vezes o tempo de um caractere e o tempo de envio entre cada frame deve ser maior que 3,5 vezes o tempo de um caractere para não haver erros na identificação do começo e do fim dos frames recebidos.

O Modbus define uma lista de funções que podem ser requisitadas pelo cliente ao servidor. Algumas dessas funções estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos códigos de função

<b>Código da função</b>	<b>Descrição</b>
2	Leitura de bloco de bits em entradas discretas
1	Leitura de bloco de bits em <i>coils</i> (saídas discretas)
5	Escrita em um único bit em <i>coils</i> (saídas discretas)
15	Escrita em bloco de bits em <i>coils</i> (saídas discretas)
4	Leitura de bloco de registradores <i>input</i>
3	Leitura de bloco de registradores <i>holding</i>
6	Escrita em um único registrador <i>holding</i>
16	Escrita em bloco de registradores <i>holding</i>
23	Combina ler e escrever em registradores <i>holding</i> numa única transação.

Fonte: Próprio autor.

#### **2.4.2 RS-485**

O padrão RS-485 ou EIA-485 especifica as características elétricas da camada física em sistemas de comunicação serial, mas sem definir ou especificar um protocolo.

O padrão define o uso de 2 linhas de sinal (A e B) e uma referência ao solo (C). No envio de um sinal binário, o terminal A deve ser negativo em relação ao terminal B para um sinal binário 1. Já para o envio de um sinal binário 0, o terminal A deve ser positivo em relação ao terminal B. A diferença de tensão entre os terminais A e B durante o envio de um sinal binário não deve ser menor que 1,5 V, mas sem ultrapassar 6,0 V.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

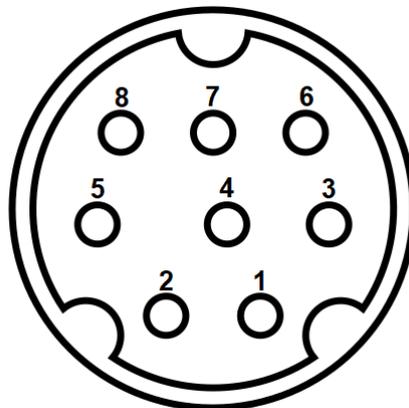
Este capítulo documenta a construção do presente trabalho, o qual foi dividido em:

- Construção da rede serial Modbus RS-485 para comunicação entre o CLP e o inversor de frequência variável (Tópico 3.1);
- Configuração do inversor de frequência variável (Tópico 3.2) e do CLP (Tópico 3.3);
- Desenvolvimento do código *Ladder* para o CLP (Tópico 3.4);
- Configuração da IHM (Tópico 3.4.7) e suas telas (Tópico 3.6);
- Conexão do motor ao inversor e testes para verificar o funcionamento do sistema (Tópico 3.7).

#### 3.1 Rede Serial Modbus RS-485

O CLP Micro Logix 1100 possui uma porta mini DIN de 8 pinos fêmea usada para conectar a uma rede serial Modbus RS-485. Com base na porta supracitada que está demonstrada na Figura 6, o CLP usa o pino 1 como terminal da linha de sinal B e o pino 8 como terminal da linha de sinal A.

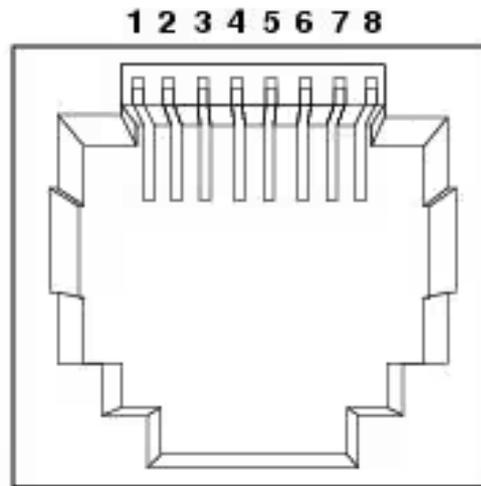
Figura 6 – Pinos da porta mini DIN de 8 pinos fêmea do CLP Micro Logix 1100



Fonte: Adaptado de

Já o inversor de frequência variável PowerFlex 525 possui uma porta RJ45 fêmea para conectar a uma rede serial Modbus RS-485. Com base na porta supracitada que está demonstrada na Figura 7, esse inversor de frequência variável usa o pino 4 como terminal da linha de sinal B e o pino 5 como terminal da linha de sinal A. Os demais pinos, que não sejam os pinos 4 e 5, não devem ser conectados.

Figura 7 – Pinos da porta RJ45 fêmea do inversor de frequência variável PowerFlex 525



Fonte: Adaptado de

Não está disponível em laboratório um cabo conversor de mini DIN de 8 pinos macho para RJ45 macho, contudo, há um cabo conversor de mini DIN de 8 pinos macho para DB9 fêmea (Figura 8), bem como o cabo conversor de DB9 macho para RJ45 macho (Figura 9). Esses dois cabos podem ser conectados em série para conectar o CLP ao inversor de frequência variável, no entanto, é necessário saber se a pinagem desses cabos permitirá a conexão entre os equipamentos através de uma rede serial Modbus RS-485.

Figura 8 – Cabo conversor de mini DIN de 8 pinos macho para DB9 fêmea



Fonte: Próprio autor.

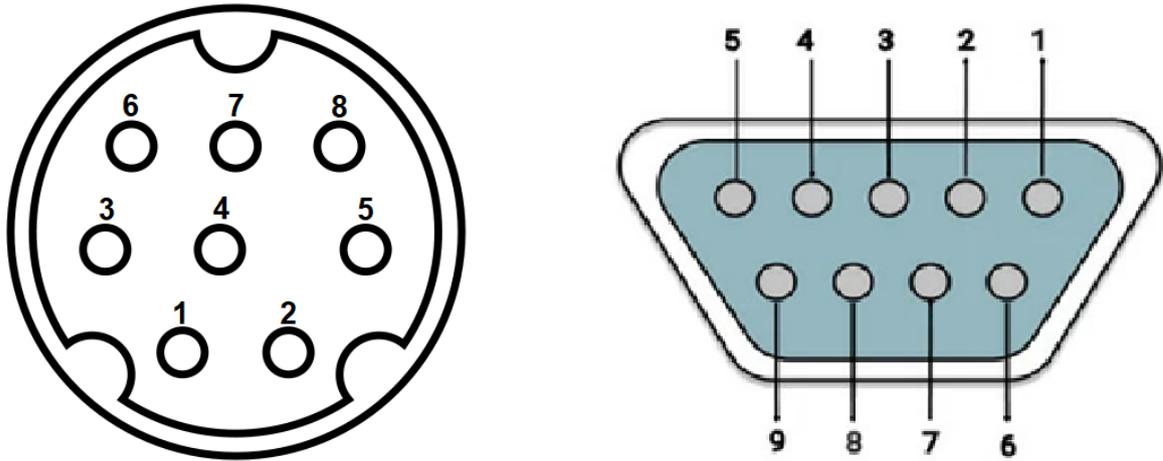
Figura 9 – Cabo conversor de DB9 macho para RJ45 macho



Fonte: Próprio autor.

O cabo apresentado na Figura 8 possui os seguintes conectores apresentados na Figura 10 e a conexão entre os pinos desses conectores se encontram na Tabela 2. As conexões mostradas nessa tabela foram mapeadas através de uma medição de continuidade entre os pinos utilizando um multímetro.

Figura 10 – Pinos dos conectores mini DIN de 8 pinos macho (esquerda) e DB9 fêmea (direita)



Fonte: Adaptado de (esquerda) e (direita)

Tabela 2 – Conexão entre os pinos dos conectores da Figura 10

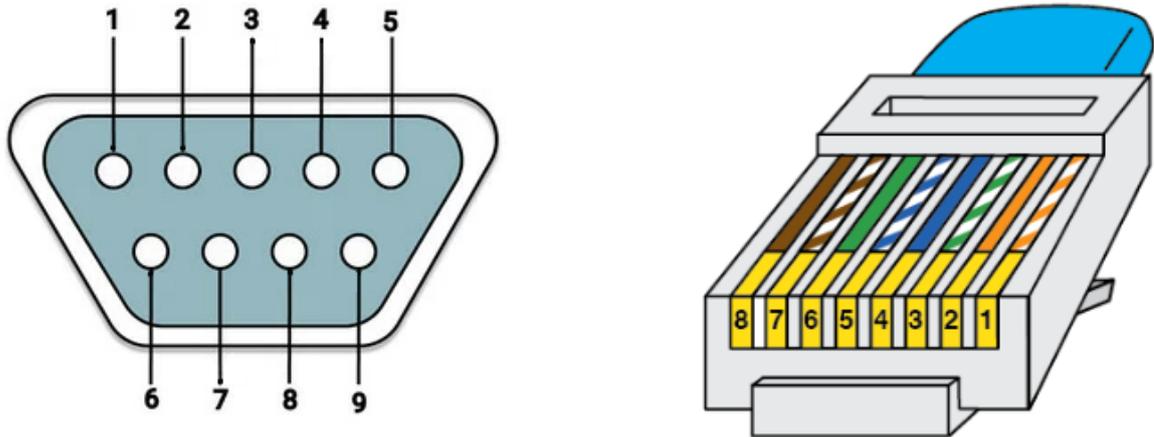
mini DIN de 8 pinos macho	DB9 macho
Shield	←-----→ 5
1	←-----→ 3
2 nc	1 nc
3 nc	4 nc
4	←-----→ 2
5 nc	6 nc
6 nc	7 nc
7 nc	8 nc
8	←-----→ Shield
	9 nc

Fonte: Próprio autor.

Já o cabo apresentado na Figura 9 possui os seguintes conectores apresentados na Figura 11 e a conexão entre os pinos desses conectores se encontram na Tabela

3. As conexões dessa tabela foram mapeadas através de uma medição de continuidade entre os pinos utilizando um multímetro.

Figura 11 - Pinos dos conectores DB9 macho (esquerda) e RJ45 macho (direita)



Fonte: Adaptado de (esquerda) e (direita)

Tabela 3 – Conexão entre os pinos dos conectores da Figura 11

DB9 fêmea	RJ45
1 nc	1 nc
2 nc	2 nc
3 ←-----→	3
4 ←-----→	4
5 ←-----→	5
6 ←-----→	6
7 ←-----→	7
8 ←-----→	8
9 nc	

Fonte: Próprio autor.

Ao conectar ambos os cabos (Figura 8 e Figura 9) em série, a conexão entre os pinos dos conectores das extremidades pode ser encontrada na Tabela 4. Como a pinagem desses cabos não permite a conexão entre os equipamentos através de uma rede serial Modbus RS-485, se faz necessário uma alteração nos cabos.

Tabela 4 - Conexão entre os pinos dos conectores das extremidades ao conectar os cabos da Figura 8 e da Figura 9

<b>mini DIN de 8 pinos macho</b>	<b>RJ45</b>
Shield	←-----→ 5
1	←-----→ 3
2 nc	1 nc
3 nc	2 nc
4 nc	4 nc
5 nc	6 nc
6 nc	7 nc
7 nc	8 nc
8 nc	
9 nc	

Fonte: Próprio autor.

Como o cabo conversor de mini DIN de 8 pinos macho para DB9 fêmea (Figura 8) é o cabo original que veio junto com a bancada educacional, foi decidido manter sua pinagem. Portanto, o cabo conversor de DB9 macho para RJ45 macho (Figura 9) precisou ter a conexão entre seus pinos alteradas para a presente na Tabela 5.

Tabela 5 – Conexão nova entre os pinos dos conectores da Figura 11

<b>DB9 fêmea</b>	<b>RJ45</b>
Shield	←-----→ 5
1 nc	1 nc
2 nc	2 nc
3	←-----→ 4
4	←-----→ 3
5 nc	
6	←-----→ 6
7	←-----→ 7
8	←-----→ 8
9 nc	

Fonte: Próprio autor.

Ao conectar ambos os cabos (Figura 8 e Figura 9) em série, obtêm-se o cabo mostrado na Figura 12. A nova conexão entre os pinos dos conectores das extremidades desse cabo (Figura 12) pode ser encontrada na Tabela 6. Ao usar esse cabo (Figura 12) para conectar o CLP ao inversor de frequência variável, as linhas de sinal A e B foram estabelecidas entre si.

Tabela 6 – Nova conexão entre os pinos dos conectores das extremidades ao conectar os cabos da Figura 8 e da Figura 9

<b>mini DIN de 8 pinos macho</b>	<b>RJ45</b>	
Shield nc	1 nc	
1	←-----→ 4	Linha de sinal B
2 nc	2 nc	
3 nc	3 nc	
4 nc	6 nc	
5 nc	7 nc	
6 nc	8 nc	
7 nc		
8	←-----→ 5	Linha de sinal A
9 nc		

Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Cabos conectados em série



Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Configuração do inversor de frequência variável PowerFlex 525

O inversor de frequência variável PowerFlex 525 suporta o protocolo Modbus no modo RTU usando uma rede RS-485. Os parâmetros do inversor de frequência variável foram configurados de acordo com a Tabela 7, a qual foi baseada nos parâmetros configuráveis para uma rede serial/DSI (Figura 13) retirados do Manual de Usuário e Guia Rápido do inversor.

Figura 13 – Parâmetros para rede serial/DSI

#### Configurando parâmetros para rede DSI

Parâmetro	Descrição
P046 [Start Source 1]	Defina como 3 "Serial/DSI" se a partida for controlada a partir da rede.
P047 [Ref. vel 1]	Defina como 3 "Serial/DSI" se a referência da velocidade for controlada a partir da rede.
C123 [Taxa dados RS485]	Configura a taxa de dados para a Porta RS485 (DSI). Todos os nós na rede devem ser configurados com a mesma taxa de dados.
C124 [Ender. nó RS485]	Configura o endereço do nó para o inversor na rede. Cada dispositivo na rede requer um único endereço de nó.
C125 [Comm Loss Action]	Seleciona a resposta do inversor para problemas de comunicação.
C126 [Tempo perdacomun]	Configura o tempo pelo qual o inversor permanecerá em perda de comunicação antes que o inversor implemente C125 [Comm Loss Action].
C127 [Comm Format]	Configura o modo de transmissão, os bits de dados, bits de paridade e de parada para a porta RS485 (DSI). Todos os nós na rede devem ser configurados igualmente.
C128 [Comm Write Mode]	Defina como 0 "Save" ao programar o inversor. Defina como 1 "RAM somente" para gravar somente na memória volátil.

Fonte: retirado de

Tabela 7 – Configuração dos parâmetros para comunicação

<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>	<b>Configuração</b>	<b>Descrição da Configuração</b>
C121	Modo de gravação	0	Salvar a configuração
C122	Comando logico	0	Velocidade
C123	Taxa de dados na porta RS-485	3	9600 bits/s
C124	Endereço Modbus do nó RS-485	1	1
C125	Ação perda de comunicação	0	Falha
C126	Tempo perda de comunicação	5	5,0s
C127	Formato RS-485	1	Modbus RTU (8-e-1): Modo: RTU Bits de dados: 8bits Paridade: par Bits de parada: 1bit
P046	Fonte partida 1	3	Serial/DS
P047	Frequência de referência 1	3	Serial/DS

Fonte: Adaptado de .

### **3.2.1 Endereços dos Registradores**

O inversor de frequência variável PowerFlex 525 suporta apenas os códigos de função Modbus 3, 6 e 16, os quais podem ser descritos como leitura de bloco de registradores holding, escrita em um único registrador holding e escrita em bloco de registradores holding respectivamente.

A depender do dispositivo Modbus, os registradores podem ser numerados iniciando-se do 0 ou 1. Devido ao mestre modbus (CLP Micro Logix 1100) utilizado,

os endereços dos registradores do inversor de frequência variável precisam ser compensados por +1.

### 3.2.1.1 Endereço dos registradores de controle do motor

De acordo com a Figura 14, desejando-se ligar o motor rotacionando para frente (sentido direto), podemos subdividir esse comando em ligar e rotacionar para frente. O sentido de rotação frente pode ser alterado trocando as fases da alimentação. Para ligar, deve-se colocar o bit 1 do registrador  $8192_{10}$  em 1, enquanto, para rotacioná-lo para frente, deve-se colocar o bit 4 do mesmo registrador em 1. Portanto, para ligar o motor rotacionando para frente, deve-se escrever  $0000\ 0000\ 0001\ 0010_2 = 18_{10}$  no endereço  $8192 + 1 = 8193$  (endereço de controle do motor).

De acordo com a Figura 14, desejando-se ligar o motor rotacionando em reverso (sentido inverso), podemos subdividir esse comando em ligar e rotacionar em reverso. Para ligar, deve-se colocar o bit 1 do registrador  $8192_{10}$  em 1, enquanto, para rotacioná-lo em reverso, deve-se colocar o bit 5 do mesmo registrador em 1. Portanto, para ligar o motor rotacionando em reverso, deve-se escrever  $0000\ 0000\ 0010\ 0010_2 = 34_{10}$  no endereço  $8192 + 1 = 8193$  (endereço de controle do motor).

De acordo com a Figura 14, desejando-se parar o motor, deve-se colocar o bit 0 do registrador  $8192_{10}$  em 1. Portanto, para parar o motor, deve-se escrever  $0000\ 0000\ 0000\ 0001_2 = 1_{10}$  no endereço  $8192 + 1 = 8193$  (endereço de controle do motor).

De acordo com a Figura 14, desejando-se remover falhas do inversor de frequência variável, deve-se colocar o bit 3 do registrador  $8192_{10}$  em 1. Portanto, para remover falhas do inversor de frequência variável, deve-se escrever  $0000\ 0000\ 0000\ 1000_2 = 8_{10}$  no endereço  $8192 + 1 = 8193$  (endereço de controle do motor).

Figura 14 – Definições do bit de controle do motor

**Definições do bit de velocidade**

<b>Comando lógico comum – C122 = 0 “Velocidade”</b>			
<b>Endereço (Decimal)</b>	<b>Bit(s)</b>	<b>Descrição</b>	
2000H (8192)	0	1 = Parada, 0 = Não parada	
	1	1 = Iniciar, 0 = Não iniciar	
	2	1 = Jog, 0 = Não jog	
	3	1 = Remover falhas, 0 = Não remover falhas	
	5, 4	00	Sem Comando
		01	Comando para frente
		10	Comando reverso
		11	Sem Comando
	6	1 = Forçar controle do teclado, 0 = Não forçar controle do teclado	
	7	1 = Incremento MOP, 0 = Não incremento	
	9, 8	00	Sem Comando
		01	Habilitação Taxa Acel. 1
		10	Habilitação Taxa Acel. 2
		11	Taxa Acel. Espera Seleccionada
	11, 10	00	Sem Comando
01		Habilitação Taxa Desacel. 1	
10		Habilitação Taxa Desacel. 2	
11		Taxa Desacel. Espera Seleccionada	
14, 13, 12	000	Sem Comando	
	001	Saída Freq. = P047 [Ref. vel 1]	
	010	Saída Freq. = P049 [Ref. vel 2]	
	011	Saída Freq. = P051 [Ref. vel 3]	
	100	A410 [Freq pré-config0]	
	101	A411 [Freq pré-config1]	
	110	A412 [Freq pré-config2]	
	111	A413 [Freq pré-config3]	
15	1 = Decremento MOP, 0 = Não decremento		

Fonte: retirado de

**3.2.1.2 Endereço dos registradores de controle da frequência de referência**

De acordo com a Figura 15, desejando-se controlar a velocidade de rotação do motor, deve-se escrever a frequência em múltiplo de 0,01 Hz no registrador 8193<sub>10</sub>,

ou seja, no endereço  $8193 + 1 = 8194$  (endereço de controle da frequência de referência).

Figura 15 – Controle da frequência de referência

**Comando de frequência de comun.**

Referência	
Endereço (Decimal)	Descrição
2001H (8193)	Usado para módulos internos de comun. para controlar a referência do inversor. Em unidades de 0,01 Hz.

Fonte: retirado de

### 3.2.1.3 Endereço dos registradores de monitoramento de valores operacionais

De acordo com a Figura 16, desejando-se ler a frequência de referência do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8450_{10}$ , ou seja, no endereço  $8450 + 1 = 8451$  (endereço dos valores operacionais).

De acordo com a Figura 16, desejando-se ler a frequência de saída do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8451_{10}$ , ou seja, no endereço  $8451 + 1 = 8452$  (endereço dos valores operacionais).

De acordo com a Figura 16, desejando-se ler a corrente de saída do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8452_{10}$ , ou seja, no endereço  $8452 + 1 = 8453$  (endereço dos valores operacionais).

De acordo com a Figura 16, desejando-se ler a tensão do barramento CC do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8453_{10}$ , ou seja, no endereço  $8453 + 1 = 8454$  (endereço dos valores operacionais).

De acordo com a Figura 16, desejando-se ler a tensão de saída do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8454_{10}$ , ou seja, no endereço  $8454 + 1 = 8455$  (endereço dos valores operacionais).

Figura 16 – Valores operacionais do inversor

**Valores operacionais do inversor**

Referência	
Endereço (Decimal)	Descrição
2102H (8450)	Comando de frequência (xxx.xx Hz)
2103H (8451)	Frequência de saída (xxx.xx Hz)
2104H (8452)	Corrente de saída (xxx.xx A)
2105H (8453)	Tensão do BARRAMENTO CC (xxxV)
2106H (8454)	Tensão de saída (xxx.xV)

Fonte: retirado de

### 3.2.1.4 Endereço dos registradores de monitoramento de status lógico

De acordo com a Figura 17, desejando-se ler o status lógico do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8448_{10}$ , ou seja, no endereço  $8448 + 1 = 8449$  (endereço do status lógico).

Figura 17 – Definições dos bits de status lógico

**Definições do bit de velocidade**

<b>Status lógico com – C122 = 0 “Velocidade”</b>		
<b>Endereço (Decimal)</b>	<b>Bit(s)</b>	<b>Descrição</b>
2100H (8448)	0	1 = Pronto, 0 = Não pronto
	1	1 = Ativo (Operando), 0 = Não Ativo
	2	1 = Com para frente, 0 = Com reverso
	3	1 = Rotacionando para frente, 0 = Rotacionando reverso
	4	1 = Acelerando, 0 = Não acelerando
	5	1 = Desacelerando, 0 = Não desacelerando
	6	Não Usado
	7	1 = Falhou, 0 = Não falhou
	8	1 = Em Referência, 0 = Não em referência
	9	1 = Freq principal controlada por comun. ativa
	10	1 = Com de operação controlado por comun. ativa
	11	1 = Parâmetros foram travados
	12	Status entrada digital 1
	13	Status entrada digital 2
	14	Status entrada digital 3
15	Status entrada digital 4	

Fonte: retirado de

### 3.2.1.5 Endereço dos registradores de monitoramento de código de erro

De acordo com a Figura 18 e a Figura 19, desejando-se ler o código de erro do inversor de frequência variável, deve-se ler o registrador  $8449_{10}$ , ou seja, no endereço  $8449 + 1 = 8450$  (endereço do código de erro).

Figura 18 - -- Códigos de erro do inversor (parte 1)

**Códigos de erro do inversor**

<b>Status lógico</b>		
<b>Endereço (Decimal)</b>	<b>Valor (decimal)</b>	<b>Descrição</b>
2101H (8449)	0	Sem Falha
	2	Entr Auxiliar
	3	Prd Energia
	4	Subtensão
	5	Sobretensão
	6	Motor Travado
	7	Sobrecar motor
	8	AltaTemp Aquec
	9	AltaTemp Módulo de Controle
	12	Sobrecorr HW (300%)
	13	Falta à terra
	15	Prd Carga
	21	Perda Fase Saída
	29	Perda Entr Anal
	33	Tent Rein Autom
	38	Fase U a Terra
	39	Fase V a Terra
	40	Fase W a Terra
	41	Fase UV Curto
	42	Fase UW Curto
	43	Fase VW Curto
	48	Parâm Padrão
	59	Segurança Aberta
	63	Sobrecorr Software
	64	Sobrecar Invers
	70	Falha Unidade Pot
	71	Perda de rede DSI
	72	Perda de rede cartão opcional
	73	Perda de rede adaptador EtherNet/IP incorporado
	80	Falha Ajust Autom
	81	Perda de comunicação DSI
	82	Perda de comunicação cartão opcional
	83	Perda de comunicação adaptador EtherNet/IP incorporado
	91	Perda Encoder
	94	Perda Função
	100	Erro Parâm Chksum
	101	Armazenamento externo
	105	Erro de Conexão Módulo de Controle
	106	C-P Incompat
	107	C-P Desconh
	109	Diferença C-P
	110	Membrana Teclado
111	Segur Hardware	
114	Falha do microprocessador	
122	Falha Placa E/S	

Fonte: retirado de

Figura 19 – Códigos de erro do inversor (parte 2)

**Códigos de erro do inversor**

<b>Status lógico</b>		
<b>Endereço (Decimal)</b>	<b>Valor (decimal)</b>	<b>Descrição</b>
2101H (8449)	125	É necessária uma atualização de flash
	126	Erro não recuperável
	127	É necessária uma atualização de flash DSI

Fonte: retirado de

**3.3 Configuração do CLP**

O CLP foi configurado como um mestre Modbus RTU, de modo que o CLP regule o acesso do inversor de frequência variável (escravo) ao meio. Como pode ser observado na Figura 20, o canal 0 de comunicação do CLP foi configurado como um Modbus RTU (8-e-1). Essa configuração é igual ao do inversor de frequência variável (Tabela 7) para permitir comunicação entre os dispositivos.

Figura 20 – Configuração do canal 0 de comunicação do CLP

Channel Configuration

General Channel 0 Channel 1

Driver: Modbus RTU Master

Baud: 9600

Parity: EVEN

Stop Bits: 1

Data Bits: 8

Protocol Control

Control Line: No Handshaking (485 Network)

InterChar.Timeout (x1 ms): 0

Pre Transmit Delay (x1 ms): 0

Fonte: Próprio autor.

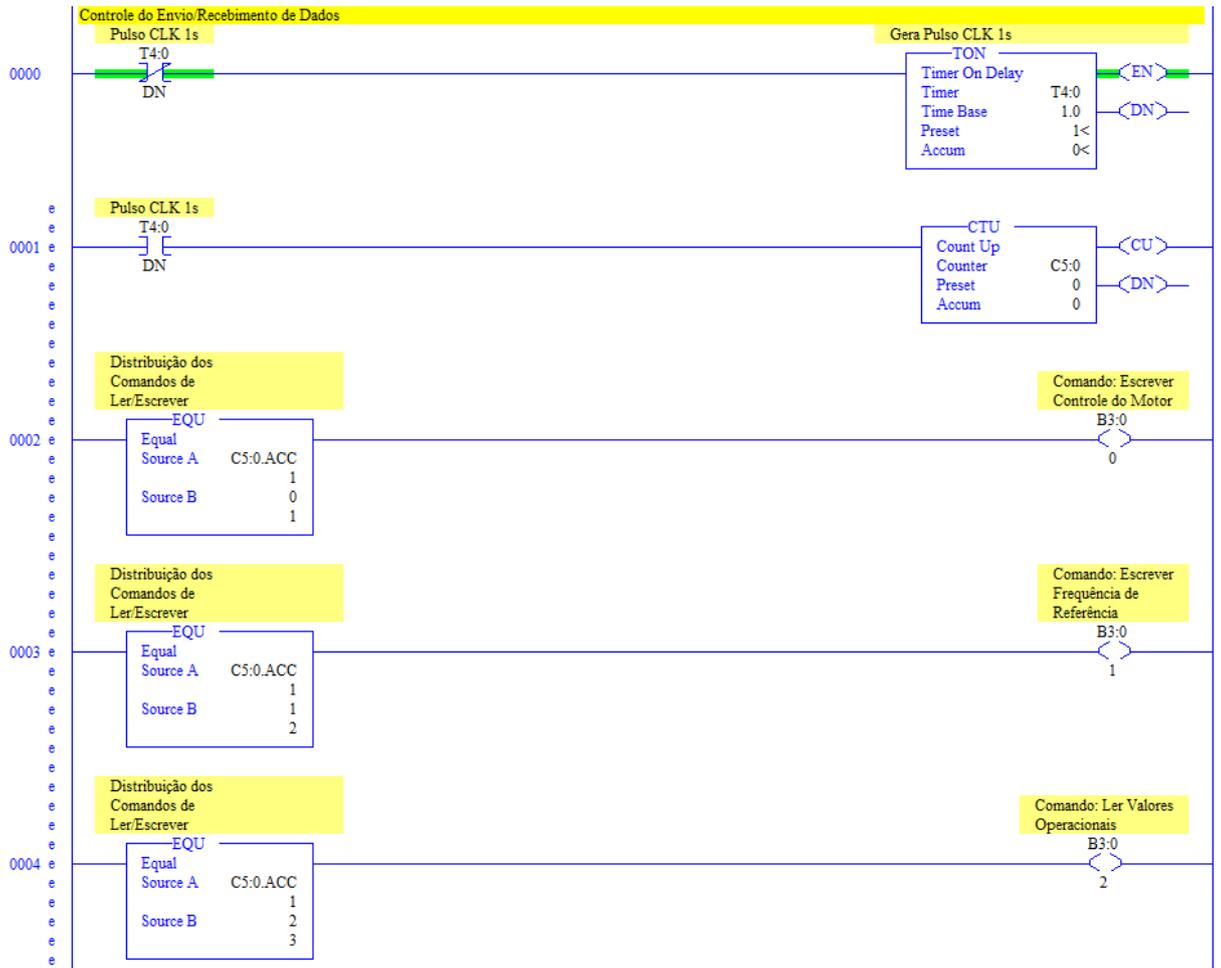
### 3.4 Programação do CLP

O processo de comunicação entre o CLP e o inversor de frequência variável foi subdividido em “Controle do envio e recebimento de dados”, “Escrita no endereço de controle do motor”, “Escrita no endereço de controle da frequência de referência”, “Leitura dos endereços dos valores operacionais”, “Leitura do endereço do status lógico” e “Leitura do endereço do código de erro”.

#### 3.4.1 Controle do envio e recebimento de dados

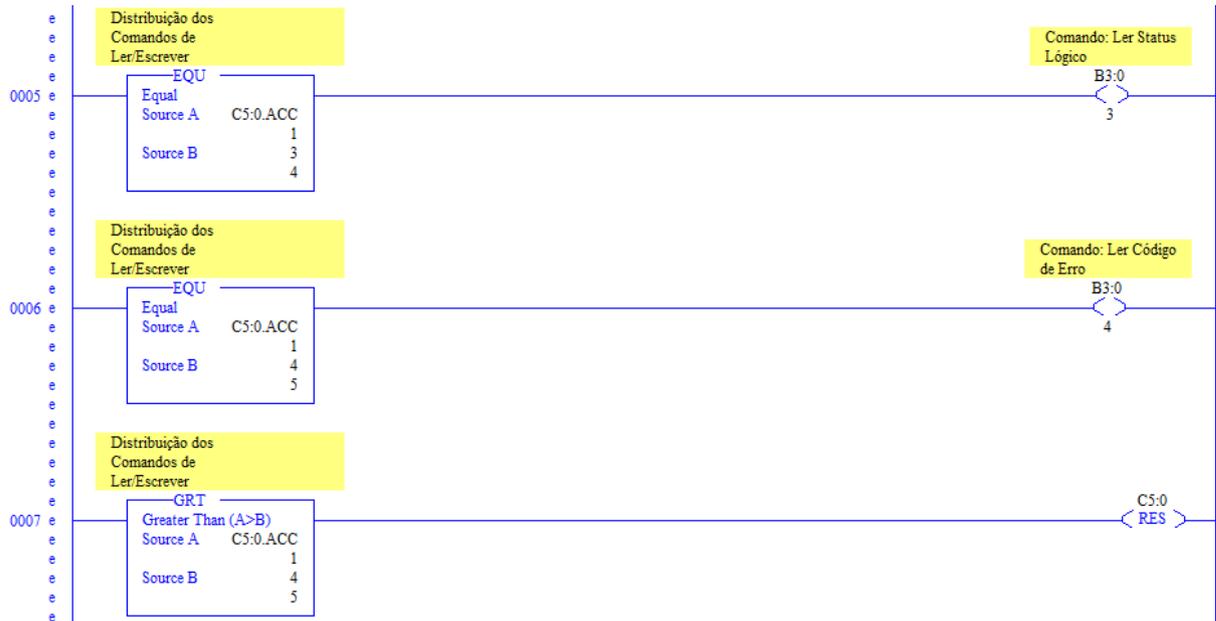
Neste trecho (Figura 21 e Figura 22), é definida a taxa de comunicação entre o CLP e o inversor de frequência variável, no qual a taxa é definida pelo inverso do número de comunicações sem falhas por segundo.

Figura 21 – Trecho 1 do código *Ladder* que controla o envio e o recebimento de dados



Fonte: Próprio autor.

Figura 22 – Trecho 2 do código *Ladder* que controla o envio e o recebimento de dados

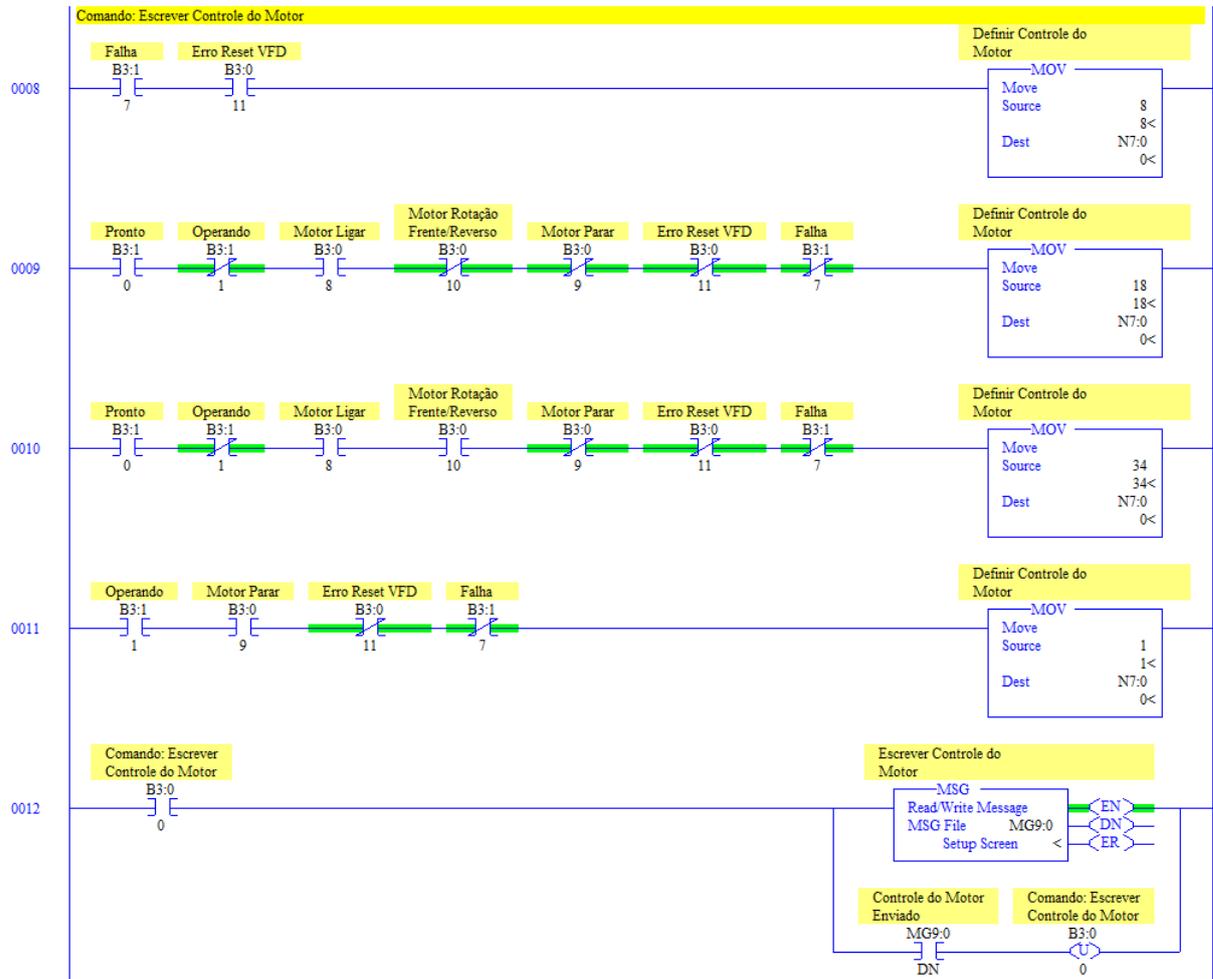


Fonte: Próprio autor.

### 3.4.2 Escrita no endereço de controle do motor

Neste trecho (Figura 23), o controle do motor é enviado do CLP ao inversor de frequência variável. O bloco de mensagem (Figura 24) é configurado para enviar um dado de 16 bits pelo canal 0 do CLP. O controle do motor gravado em N7:1 do CLP é escrito no endereço 8193 (Seção 3.2.1.1) do inversor de frequência variável.

Figura 23 – Trecho do código que controla o motor



Fonte: Próprio autor.

Figura 24 – Escrita no endereço de controle do motor

The screenshot shows a configuration window for a Modbus message. The title bar reads "MSG - MG9:0: (1 Elements)". The "General" tab is active. The configuration is as follows:

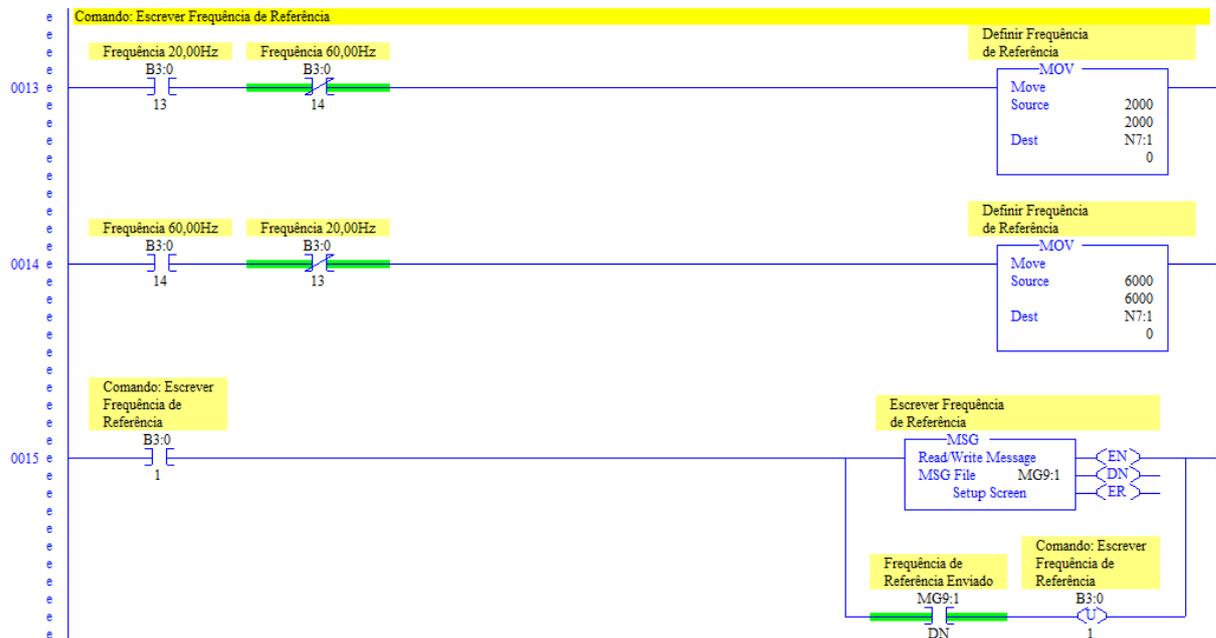
- This Controller:**
  - Channel: 0 (Integral)
  - Modbus Command: 06 Write Single Register (4xxxxx)
  - Data Table Address: N7:0
  - Size in Elements: 1
  - Data: 16 Bit
- Target Device:**
  - Message Timeout: 2
  - MB Data Address (1-65536): 8193
  - Local Bridge Addr (dec): 1
  - Modbus Address: 48193
  - Remote Station Address (dec): 0
  - Remote Bridge Link ID: 0
- Control Bits:**
  - Ignore if timed out (TO): 0
  - Awaiting Execution (EW): 0
  - Error (ER): 0
  - Message done (DN): 0
  - Message Transmitting (ST): 0
  - Message Enabled (EN): 1
- Error:**
  - Error Code(Hex): 0
- Error Description:**
  - No errors

Fonte: Próprio autor.

### 3.4.3 Escrita no endereço de controle da frequência de referência

Neste trecho (Figura 25), a frequência de referência é enviada do CLP ao inversor de frequência variável. O bloco de mensagem (

Figura 26) é configurado para enviar um dado de 16 bits pelo canal 0 do CLP. A frequência de referência gravada em N7:2 do CLP é escrito no endereço 8194 (Seção 3.2.1.2) do inversor de frequência variável.

Figura 25 – Trecho do código *Ladder* que controla a frequência de referência

Fonte: Próprio autor.

Figura 26 – Escrita no endereço de controle da frequência de referência

The screenshot shows the configuration window for the MSG instruction. The settings are as follows:

- General:**
  - This Controller:
    - Channel: 0 (Integral)
    - Modbus Command: 06 Write Single Register (4xxxxx)
    - Data Table Address: N7:1
    - Size in Elements: 1
    - Data: 16 Bit
  - Target Device:
    - Message Timeout: 2
    - MB Data Address (1-65536): 8194
    - Local Bridge Addr (dec): 1
    - Modbus Address: 48194
    - Remote Station Address (dec): 0
    - Remote Bridge Link ID: 0
  - Error Description: No errors
- Control Bits:**
  - Ignore if timed out (TO): 0
  - Awaiting Execution (EW): 0
  - Error (ER): 0
  - Message done (DN): 0
  - Message Transmitting (ST): 0
  - Message Enabled (EN): 1
- Error:**
  - Error Code(Hex): 0

Fonte: Próprio autor.



Figura 28 – Leitura dos endereços dos valores operacionais

**MSG - MG9:2 : (1 Elements)**

**General**

**This Controller**

Channel:

Modbus Command:

Data Table Address:

Size in Elements:  Data:

**Target Device**

Message Timeout :

MB Data Address (1-65536):

Local Bridge Addr (dec):

Modbus Address:

Remote Station Address (dec):

Remote Bridge Link ID:

**Control Bits**

Ignore if timed out (TO):

Awaiting Execution (EW):

Error (ER):

Message done (DN):

Message Transmitting (ST):

Message Enabled (EN):

**Error**

Error Code(Hex): 0

**Error Description**

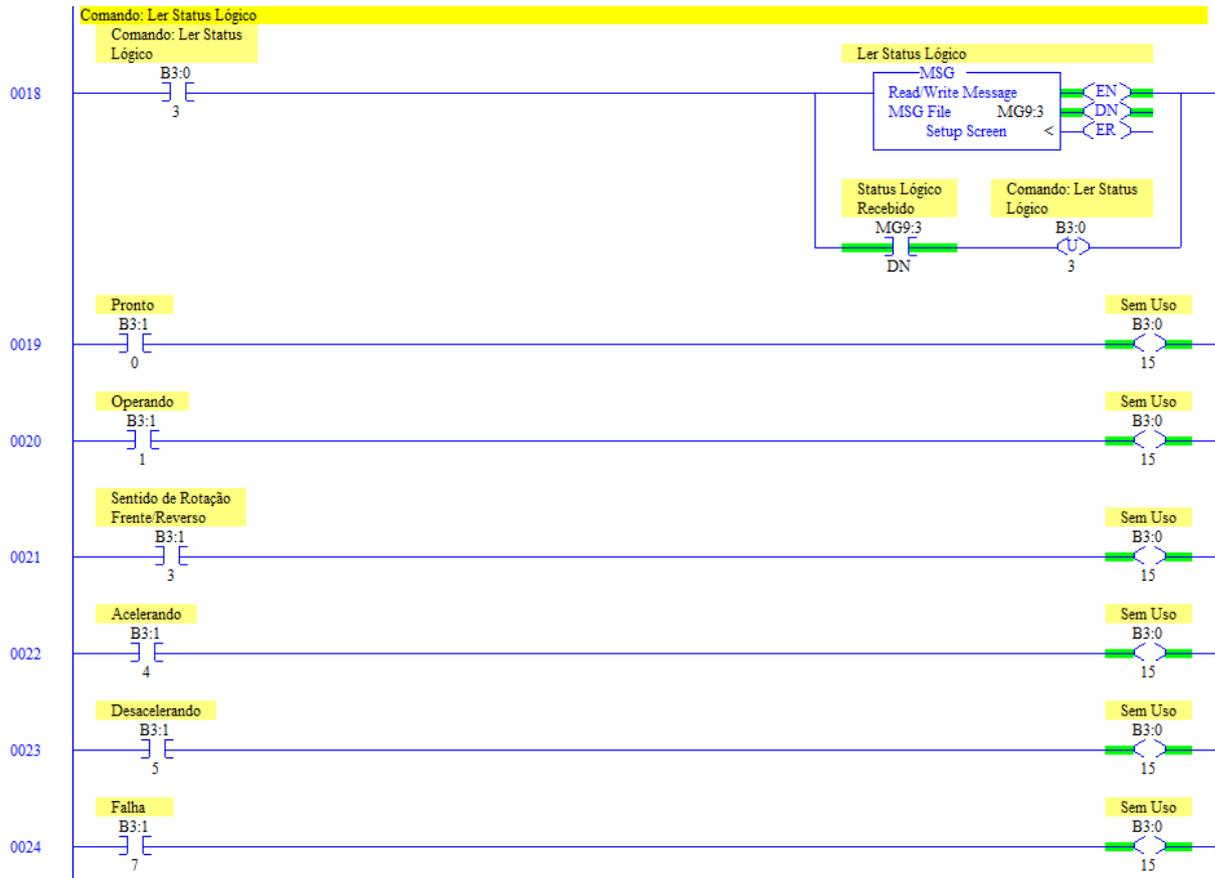
No errors

Fonte: Próprio autor.

### 3.4.5 Leitura do endereço do status lógico

Neste trecho (Figura 29), o status lógico é enviado do inversor de frequência variável ao CLP. O bloco de mensagem (Figura 30) é configurado para receber um dado de 16 bits pelo canal 0 do CLP. O status lógico lido no endereço 8449 (Seção 3.2.1.4) do inversor de frequência variável é gravado em B1:3 do CLP.

Figura 29 – Trecho do código *Ladder* que lê o status lógico



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 – Leitura do endereço do status lógico

MSG - Rung #2:18 - MG9:3

**General**

**This Controller**

Channel:

Modbus Command:

Data Table Address:

Size in Elements:  Data:

**Target Device**

Message Timeout :

MB Data Address (1-65536):

Local Bridge Addr (dec):

Modbus Address:

Remote Station Address (dec):

Remote Bridge Link ID:

**Control Bits**

Ignore if timed out (TO):

Awaiting Execution (EW):

Error (ER):

Message done (DN):

Message Transmitting (ST):

Message Enabled (EN):

**Error**

Error Code(Hex): 0

**Error Description**

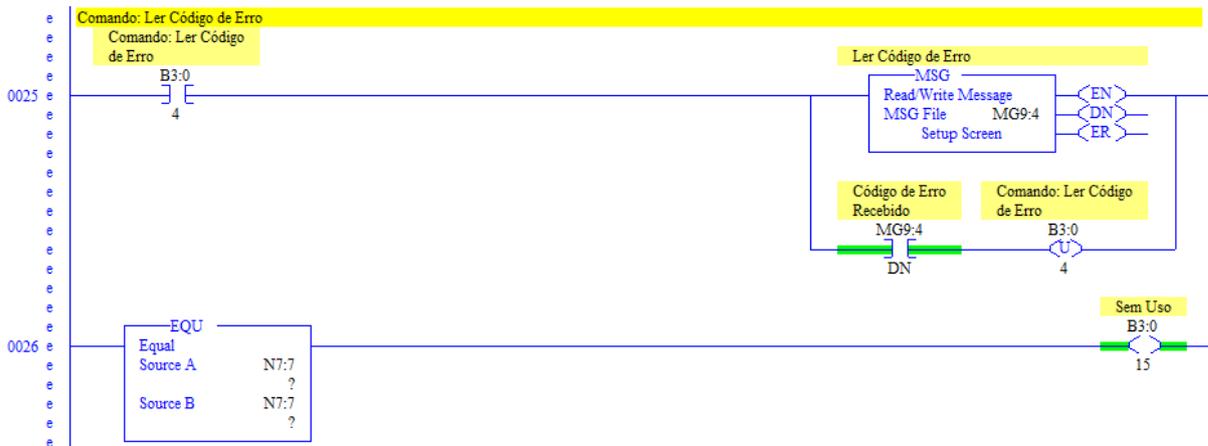
No errors

Fonte: Próprio autor.

### 3.4.6 Leitura do endereço do código de erro

Neste trecho (Figura 31), o código de erro é enviado do inversor de frequência variável ao CLP. O bloco de mensagem (Figura 32) é configurado para receber um dado de 16 bits pelo canal 0 do CLP. O código de erro lido no endereço 8450 (Seção 3.2.1.5) do inversor de frequência variável é gravado em N7:8 do CLP.

Figura 31 – Trecho do código *Ladder* que lê o código de erro



Fonte: Próprio autor.

Figura 32 – Leitura do endereço do código de erro

Fonte: Próprio autor.

### 3.4.7 Conversão Hz – RPM

Neste trecho (Figura 33), a velocidade de rotação definida na IHM em RPM é convertida para frequência em Hz que é a medida de controle do inversor de frequência variável. Além disso, as frequências de saída e referência em Hz, vindas do inversor, são convertidas para velocidades de rotação em RPM para projeção no gráfico da IHM. Como o motor elétrico trifásico não tem carga acoplada ao eixo, pode-se assumir que a relação entre a frequência de alimentação e a velocidade de rotação do eixo assumem uma relação diretamente proporcional.

Figura 33 – Trecho do código *Ladder* que faz a conversão Hz - RPM



Fonte: Próprio autor.

### 3.5 Configuração da IHM

O terminal PanelView 800 2711R-T4T foi configurado com o protocolo de comunicação “Ethernet Allen Bradley MicroLogix/ENI” para permitir a comunicação com um CLP MicroLogix pelo meio físico ethernet .

### 3.6 Telas da IHM

As telas foram desenvolvidas no software Connected Components Workbench (CCW) da Rockwell Automation. Para a IHM, foram desenvolvidas uma tela inicial (Tela Principal), uma tela para controle do motor (Tela Controle), uma tela para monitoramento dos valores operacionais (Tela Monitoramento), uma tela para acompanhar em um gráfico as frequências de referência e de saída (Tela Gráfico), assim como uma tela de erro (Tela Erro).

As *tags* usadas pela IHM para ler e escrever dados no CLP podem ser observadas na Figura 34. O protocolo de comunicação usado pela IHM para se comunicar com o CLP é o “Ethernet | Allen-Bradley MicroLogix/ENI”, um protocolo da Rockwell para comunicação com os CLPs da linha MicroLogic através do meio físico Ethernet. O programa com as telas desenvolvidas foi carregado no terminal gráfico PanelView 800 2711R-T4T (Figura 35).

Figura 34 – Tags usadas pela IHM

	Nome do tag ▲	Tipo de dados	Endereço	Controlador	Descrição
	TAG0001	16 bit integer	N7:2	PLC-1	FREQ REF
	TAG0002	16 bit integer	N7:3	PLC-1	FREQ SAIDA
	TAG0003	16 bit integer	N7:4	PLC-1	CORRENTE SAI...
	TAG0004	16 bit integer	N7:5	PLC-1	TENSAO BARR...
	TAG0005	16 bit integer	N7:6	PLC-1	TENSAO SAIDA
	TAG0006	Boolean	B3:0/11	PLC-1	ERRO RESET VFD
	TAG0007	Boolean	B3:0/10	PLC-1	MOTOR ROT FR...
	TAG0009	Boolean	B3:0/9	PLC-1	MOTOR PARAR
	TAG0010	16 bit integer	N7:1	PLC-1	CONTROLE FREQ
	TAG0011	Boolean	B3:0/8	PLC-1	MOTOR LIGAR
	TAG0008	Boolean	B3:1/7	PLC-1	ERRO
	TAG0012	16 bit integer	N7:7	PLC-1	CODIGO DO ER...
	TAG0013	16 bit integer	N7:9	PLC-1	RPM REF
	TAG0014	16 bit integer	N7:8	PLC-1	Controle RPM ...
▶	TAG0015	16 bit integer	N7:10	PLC-1	RPM SAIDA

Fonte: Próprio autor.

Figura 35 – Terminal gráfico PanelView 800 2711R-T4T



Fonte: Próprio autor.

### **3.6.1 Tela Principal**

A tela inicial da IHM (Figura 36) permite o movimento entre as Telas de Controle, Monitoramento e Gráfico.

Figura 36 – Tela Principal



Fonte: Próprio autor.

### 3.6.2 Tela Controle

A tela de controle do motor (Figura 37) permite ligar o motor para um sentido de rotação com uma frequência de referência ou parar o motor. A tela de controle do motor também permite o acesso a Tela de Erro.

Figura 37 – Tela Controle



Fonte: Próprio autor.

### 3.6.3 Tela Monitoramento

A tela de monitoramento dos valores operacionais (Figura 38) permite o acompanhamento de seu funcionamento.

Figura 38 – Tela Monitoramento



Fonte: Próprio autor.

### 3.6.4 Tela gráfico

A tela do gráfico (Figura 39) permite acompanhar as velocidades de rotação de referência e de saída no tempo.

Figura 39 – Tela Gráfico



Fonte: Próprio autor.

### 3.6.5 Tela Erro

A tela de erro (Figura 40) permite acompanhar erros e resetar estes erros.

Figura 40 – Tela Erro

TELA DE GRAFICO

7/26/2023  
12:00:02 PM

Código do Erro:  
0

Remover Erro:  
RESET

Fonte: Próprio autor.

### 3.7 Motor Elétrico Trifásico

O motor elétrico trifásico indutivo gaiola de esquilo (Figura 41) tem suas características elétricas e mecânicas gravadas na placa de identificação do motor WEG da Figura 42. Analisando a placa de identificação do motor, para uma alimentação de 380 V, o motor pode ser ligado tanto em triângulo quanto estrela.

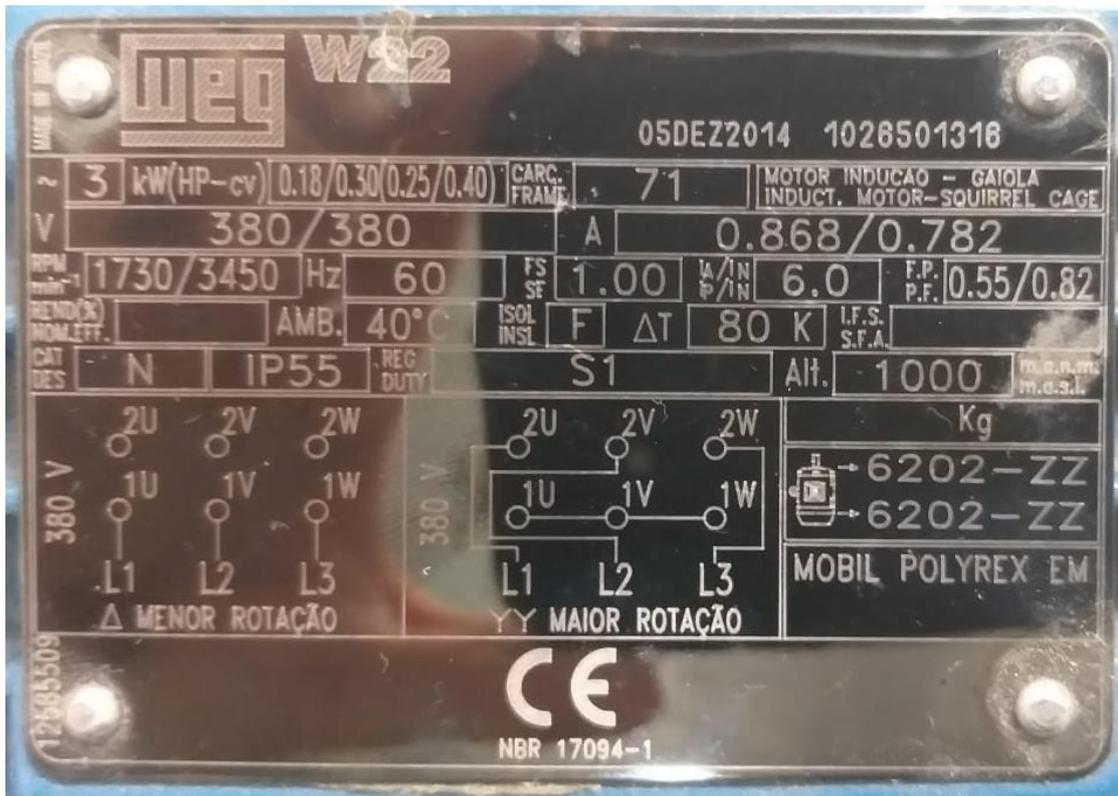
O motor foi ligado em estrela devido a maior faixa de velocidade de rotação. As conexões foram feitas conforme o esquemático na placa de identificação. Os terminais U, V e W do motor foram conectados entre si e os terminais 2U, 2V e 2W foram conectados as saídas U, V e W do inversor de frequência variável, respectivamente.

Figura 41 – Motor elétrico trifásico indutivo



Fonte: Próprio autor.

Figura 42 – Placa de identificação do motor WEG



Fonte: Próprio autor.

Analisando a faixa de funcionamento da saída do inversor de frequência variável na sua placa de identificação (Figura 43), nota-se que os valores de tensão e corrente nominais do motor, 380 V e 0,782 A respectivamente, estão dentro dessa faixa. Além disso, a potência nominal do motor é 0,30 kW, enquanto a potência nominal do inversor é 0,4 kW, e, portanto, mais de 25% maior que o valor nominal do motor. Levando em consideração os pontos citados acima, o inversor está dimensionado corretamente para este motor.

Figura 43 – Placa de identificação do inversor de frequência variável PowerFlex 525

**Cat No. 25B-D1P4N104**

IP20 / UL Open-Type (rated -20°C to 50°C Ambient).  
 IP20 / UL Open-Type with top fan kit installed (rated -20°C to 70°C Ambient).  
 IP30 / NEMA 1/UL Type 1 with top cover and optional conduit box kit installed (rated -20°C to 45°C Ambient). Refer to user manual.

**Power: 0.4kW/0.5HP**

**Input: 3 Phase, 380-480V, 47-63Hz**  
 AC Voltage Range: 323-528

**Output: 3 Phase, 0-500Hz**  
 AC Voltage Range: 0-460  
 Continuous Amps: 1.4  
 60 Sec Ovid Amps: 2.1

SHORT CIRCUIT CURRENT: 100KA  
 POWER TERMINAL WIRE:  
 Use 75°C Cu Wire (Use 90°C Cu Wire if >50°C ambient)  
 0.8 mm<sup>2</sup> - 6.3 mm<sup>2</sup> ( 18-10 AWG )  
 Torque 1.96 Nm ( 17.4 in.-lbs.)

Rockwell Automation, 1201 S 2nd St, Milwaukee, WI 53204, USA

Input current is scaled by motor current.	
OUTPUT	INPUT
1.4	1.9
1.1	1.5
0.9	1.2
0.7	1.0

S/N: 6BD1P4N0W17260158  
 FRN: 5.001  
 生产日期:  
 MFD. IN 2017 ON JUN .29  
 PRODUCT OF CHINA

**SERIES A**

UL US LISTED IND. CONT. EQ. E59272  
 TÜV Rheinland CERTIFIED  
 Functional Safety Type Approved  
 www.tuv.com ID 98309008

CE 0035  
 EAC  
 Ex II (2) GD  
 TÜV 12 ATEX 7199 X

**AB Allen-Bradley**

Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros do inversor de frequência variável foram configurados de acordo com a Tabela 8, a qual foi baseada nos parâmetros configuráveis com os dados nominais do motor que será controlado pelo inversor.

Tabela 8 – Configuração dos parâmetros para o motor

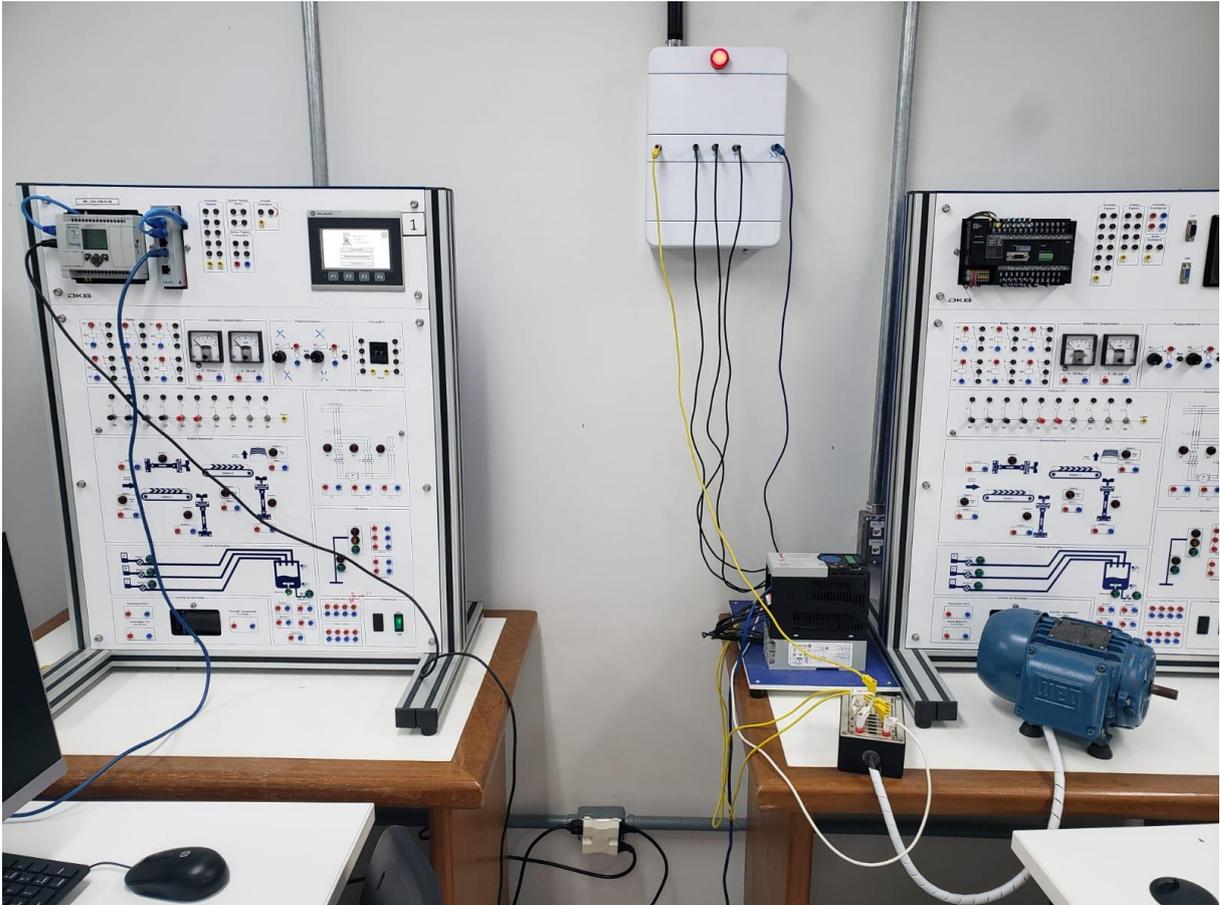
<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>	<b>Configuração</b>	<b>Descrição da Configuração</b>
P031	Tensão nominal	380 V	
P032	Frequência nominal	60 Hz	
P033	Sobrecarga motor	0,7 A	Fator de Serviço: 1.00 O motor não suporta sobrecarga.
P034	Corrente Nominal	0,7 A	
P035	Polos NP Motor	2	O motor tem 2 polos quando ligado em estrela.
P036	RPM PN motor	3450 RPM	
P037	Pot PN motor	0,3 kW	
P039	Modo Desempenho Torque	2 - SVC	Controle vetorial sem sensor (malha de controle aberta).

Fonte: Próprio autor.

### 3.8 Resultados

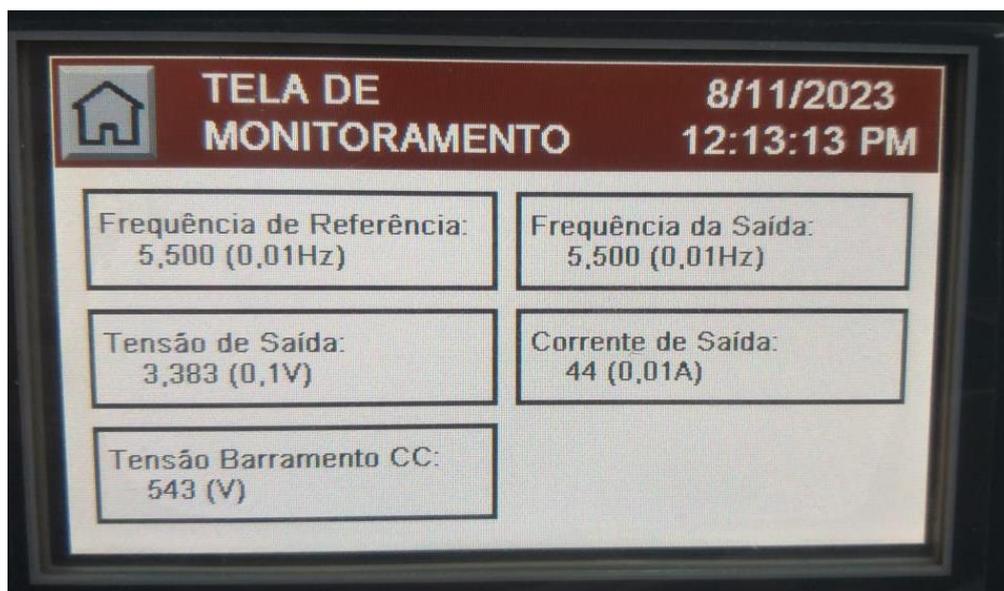
O sistema de controle e supervisão montado, composto pelo motor elétrico trifásico, pelo inversor de frequência variável, pelo CLP e pela IHM, pode ser observado na Figura 44. Ligando o motor no sentido de rotação frente com uma velocidade de referência de 3300 Hz, pode-se observar no terminal gráfico a Tela Monitoramento (Figura 45) e a Tela Gráfico (Figura 46) apresentando os dados obtidos do inversor de frequência variável.

Figura 44 – Sistema de controle e supervisão



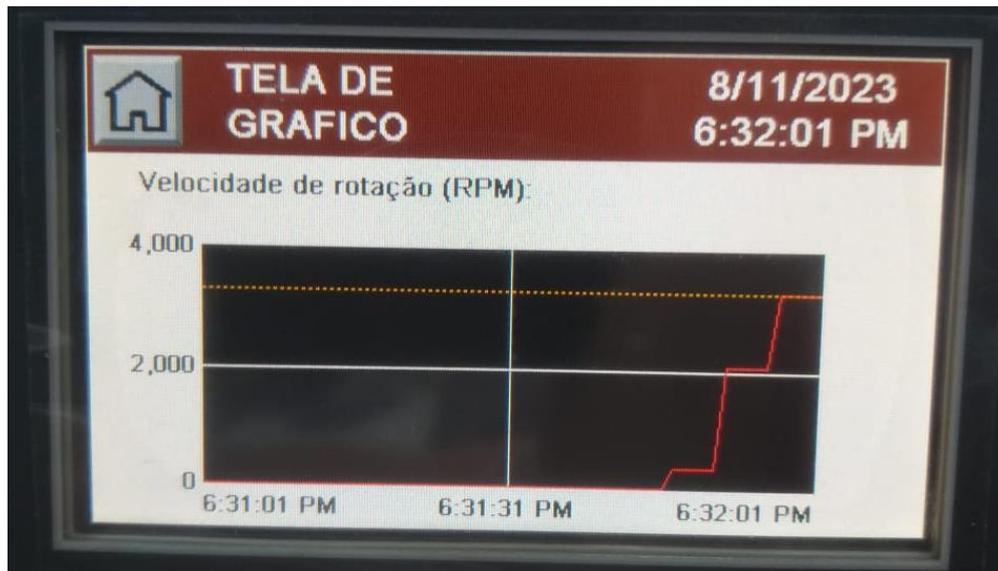
Fonte: Próprio autor.

Figura 45 – Terminal na Tela Monitoramento Figura 49



Fonte: Próprio autor.

Figura 46 – Terminal na Tela Gráfico



Fonte: Próprio autor.

Almejando averiguar o controle de velocidade do inversor, comparou-se a velocidade de rotação de referência do motor inserida na IHM à velocidade real para um motor sem carga. A velocidade real foi obtida usando o tacômetro TD-813 da Instrutherm (Figura 47). Para o cálculo de erro percentual entre a velocidade de referência e a real, foi utilizada a Equação (3-1). Analisando as velocidades para diversos valores de referência na Tabela 9, observa-se que a diferença, em média, foi de 0,3%.

Figura 47 – Tacômetro TD-813 da Instrutherm



Fonte: Próprio autor.

$$Erro(\%) = 100 \frac{|Velocidade_{real} - Velocidade_{Referência}|}{Velocidade_{Referência}} \quad (3-1)$$

Tabela 9 – Comparação entre o *setpoint* e a velocidade de rotação real do motor

<b>Velocidade de Referência</b>	<b>Velocidade Real</b>	<b>Erro (%)</b>
300	295	1,7
600	598	0,3
900	898	0,2
1200	1199	0,1
1500	1501	0,1
1800	1800	0,0
2100	2099	0,0
2400	2404	0,2
2700	2705	0,2
3000	3004	0,1
3300	3305	0,2
3600	3604	0,1

Fonte: Próprio autor.

## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Conclui-se que o sistema de controle e supervisão do motor cumpriu os objetivos propostos. O CLP Micro Logix 1100, através do inversor de frequência variável PowerFlex 525, controla em tempo real o motor. Enquanto a IHM permite que o envio dos comandos de controle e a visualização das informações supervisionadas do sistema sejam feitas com uma interface mais amigável ao usuário.

O inversor de frequência variável PowerFlex 525 demonstrou uma boa precisão de controle da velocidade de rotação do motor elétrico trifásico ao usar um controle vetorial em malha aberta.

Além disso, o sistema projetado permite replicação em sala de aula pelos docentes, assim, contribuindo com a formação dos demais estudantes.

Além do inversor de frequência variável CFW 10 da WEG disponível no departamento, o inversor PowerFlex 525 da Rockwell também está operacional. Portanto, agora pode-se desenvolver um estudo comparativo entre os diferentes inversores de frequência variável.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN-BRADLEY. Inversor Ajustável PowerFlex série 520. **Rockwell Automation**, 2013. Disponível em: <[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001\\_-pt-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-pt-e.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- ALLEN-BRADLEY. Inversor de Frequência PowerFlex série 520 Guia rápido. **Rockwell Automation**, 2017. Disponível em: <[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/520-qs001\\_-pt-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/520-qs001_-pt-e.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- ALLEN-BRADLEY. MicroLogix 1100 Programmable Controllers. **Rockwell Automation**, 2017. Disponível em: <[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- ALLEN-BRADLEY. PanelView 800 HMI Terminals: Catalog Numbers 2711R-T4T, 2711R-T7T, 2711R-T10T. **Rockwell Automation**, 2023. Disponível em: <[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711r-um001\\_-en-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711r-um001_-en-e.pdf)>. Acesso em: Jul 2023.
- CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Maquinas Elétricas**. 5. ed.
- CISCO CONTENT HUB. Cisco Industrial Ethernet 3010 Series Switches. **Cisco Content Hub**, 2019. Disponível em: <[https://content.cisco.com/chapter.sjs?uri=/searchable/chapter/www.cisco.com/content/en/us/td/docs/switches/lan/cisco\\_ie3010/hardware/installation/guide/IE3010\\_hig/higcable.html.xml](https://content.cisco.com/chapter.sjs?uri=/searchable/chapter/www.cisco.com/content/en/us/td/docs/switches/lan/cisco_ie3010/hardware/installation/guide/IE3010_hig/higcable.html.xml)>. Acesso em: junho 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Caderno sobre Ações de Eficiência Energética em Indústrias Brasileiras. **epe**, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-sobre-acoes-de-eficiencia-energetica-em-industrias-brasileiras>>. Acesso em: out. 2022.
- FILHO, Guilherme F. **Motor de Indução**.
- FITZGERALD; KINGSLEY. **Máquinas Elétricas**. 7ª. ed.
- MODBUS ORGANIZATION. MODBUS over Serial Line: Specification and Implementation Guide. **Modbus**, 2006. Disponível em: <[https://www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- MODBUS ORGANIZATION. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION. **Modbus**, 2012. Disponível em: <[https://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- MODICON, INC., INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS. Modicon Modbus Protocol Reference Guide. **Modbus**, 1996. Disponível em: <[https://www.modbus.org/docs/PI\\_MBUS\\_300.pdf](https://www.modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf)>. Acesso em: out. 2022.
- MOHAN, Ned; UNDELAND, Tore M.; ROBBINS, William P. **Power Electronics: Converters, Applications, and Design**. 2. ed.
- NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **IEC 61131-3: Programmable Controllers (PLC), Part 3: Programming languages**.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **IEC 61131-1: Programmable Controllers (PLC), Part 1: General Information.**

RASHID, Muhammad H. **Power Electronics Circuits Devices and Applications.** 3. ed.

SOUSA, Mário D.; PORTUGAL, Paulo. Modbus. In: WILAMOWSKI, Bogdan M.; IRWIN, J D. **The Industrial Electronics Handbook: Industrial communication systems.** [S.l.]: CRC Press, 2017. p. 514-529.

TANENBAUM, Andrew S. **Computer Networks.** 4. ed.

TIA TELECOMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION. TIA/EIA-485 electrical characteristics of generators and receivers for use in balanced multipoint systems. **Mikro Controller**, 1998. Disponível em:

<<https://www.mikrocontroller.net/attachment/428561/eia485.pdf>>. Acesso em: junho 2023.

WAREHOUSE CABLES. RJ45 CONNECTOR PIN-OUT. **Warehouse Cables.** Disponível em: <<https://www.warehousecables.com/ethernet-rj45-pin-out>>. Acesso em: junho 2023.

WEG. Motores eficientes geram economia de energia na indústria. **Globo**, 2019. Disponível em: <<https://valor.globo.com/patrocinado/weg/weg/noticia/2019/12/02/motores-eficientes-geram-economia-de-energia-na-industria.ghtml>>. Acesso em: out. 2022.

WEG. GUIA DE ESPECIFICAÇÃO: MOTORES ELÉTRICOS. **WEG**, 2021. Disponível em: <<https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: nov. 2022.

WEIS, Olga. Serial communication interface. **Virtual Serial Port**, 2006. Disponível em: <<https://www.virtual-serial-port.org/article/what-is-serial-port/rs232-pinout/>>. Acesso em: junho 2023.

WIKIPÉDIA. Ficheiro:MiniDIN-8 Diagram.svg. **Wikipédia**, 2006. Disponível em: <[https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MiniDIN-8\\_Diagram.svg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MiniDIN-8_Diagram.svg)>. Acesso em: junho 2023.