



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – FAET  
CURSO: ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
DISCIPLINA: MONOGRAFIA ACADÊMICA  
PROFESSOR ORIENTADOR: JOSÉ JULIMÁ BEZERRA JÚNIOR

## CONTROLE DE VELOCIDADE EM MOTOR CA TRIFÁSICO UTILIZANDO CONTROLE PID DO CLP

FLÁVIO MEIRELES FERREIRA  
REGISTRO ACADÊMICO: 2013488/2

Brasília - 2007



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – FAET  
CURSO: ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
DISCIPLINA: MONOGRAFIA ACADÊMICA  
PROFESSOR ORIENTADOR: JOSÉ JULIMÁ BEZERRA JÚNIOR

## CONTROLE DE VELOCIDADE EM MOTOR CA TRIFÁSICO UTILIZANDO CONTROLE PID DO CLP

FLÁVIO MEIRELES FERREIRA  
REGISTRO ACADÊMICO: 2013488/2

Monografia apresentada como requisito para conclusão  
do curso de Engenharia da Computação no UniCEUB –  
Centro Universitário de Brasília.

Brasília - 2007



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – FAET  
CURSO: ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
DISCIPLINA: MONOGRAFIA ACADÊMICA  
PROFESSOR ORIENTADOR: JOSÉ JULIMÁ BEZERRA JÚNIOR

### MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

<b>3.2.1. MEMBROS DA BANCA</b>	<b>ASSINATURA</b>
<b>1. PROFESSOR<sup>(a)</sup> ORIENTADOR<sup>(a)</sup></b> Prof. <sup>(a)</sup> : MC José Julimá Bezerra Júnior	
<b>2. PROFESSOR<sup>(a)</sup> CONVIDADO<sup>(a)</sup></b> Prof <sup>(a)</sup> .: MC Cláudio Penedo	
<b>3. PROFESSOR<sup>(a)</sup> CONVIDADO<sup>(a)</sup></b> Prof <sup>(a)</sup> .: MC Aderlon	
MENÇÃO FINAL::	

Brasília - 2007

## DEDICATÓRIA

Ao meu Deus Forte,  
Príncipe da Paz,  
meu Senhor Jesus que pela sua infinita misericórdia  
me deu força para a realização deste sonho.

A minha família,  
meu pai,  
minha mãe e minha irmã  
por me darem forças  
nos momentos difíceis de minha jornada.

À memória de minha avó Mirtes  
que sempre acreditou nessa vitória.

Aos meus amigos  
que sempre me apoiaram e que também  
compartilharam comigo desse sonho  
que está sendo realizado

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meu Senhor Jesus  
pelo amor derramado por mim na Cruz  
e pela proteção que a cada dia é revelada.  
A Ele dedico toda honra, glória, força e poder.

Eu consagro toda essa vitória  
ao meu eterno e único Senhor Jesus.

Obrigado especial aos meus pais  
Antônio Cândido Ferreira e Elenice Meireles Ferreira  
por serem as pessoas nas quais eu contei  
e conto cada dia de minha vida  
e que por isso venho lutando para honrá-los  
da melhor maneira possível.

Obrigado a minha irmã querida Daniela Meireles,  
que sempre demonstrou ser realmente  
uma companheira em tudo em minha vida.

Obrigado aos meus amigos Eliezer Garcia e Ana Paula Forte,  
por me ajudarem em momentos  
que realmente somente os grandes amigos podem valer.

Obrigado especial  
ao meu orientador de projeto Julimá Bezerra.

*“Você não sabe o quanto  
eu caminhei  
Pra chegar até aqui  
Percorri milhas e milhas  
antes de dormir  
Eu não cochilei  
Os mais belos montes  
escalei  
Nas noites escuras de  
frio chorei, ei , ei  
ei ei ei..uu..  
A Vida ensina e o tempo  
traz o tom  
Pra nascer uma canção  
Com a fé do dia-a-dia  
Encontrar solução...”*

*(Toni Garrido- Lazão- Da Gama- Bino Farias)*

*“Ai ai... Tenho sofrido.”*

*(Flávio Meireles Ferreira)*

*“A felicidade está dentro de nós.”*

*(Claudio Penedo)*

## RESUMO

Esse trabalho foi desenvolvido como projeto de conclusão do curso, de Engenharia da Computação. Em síntese, o projeto trata-se de um controle de velocidade de um motor trifásico através da temperatura, monitorado on-line pelo micro computador, onde o operador ou usuário irá determinar uma temperatura de trabalho e o sistema irá atingir esse valor utilizando um controle automático em Malha Fechada usando PLC com a instrução de controle PID.

**Palavras-chave:** Automação Industrial, Controlador Lógico Programável (PLC), Controle de Velocidade, Motor Corrente Alternada (CA), Temperatura, Proporcional Integral e Derivativo (PID).

## **ABSTRACT**

This work was developed as project of conclusion of the course, of Engineering of the Computation. In synthesis, the project is about a control of speed of an three-phase engine through the temperature, monitored on-line for the computer, where the operator or user will go to determine a temperature of work and the system will go to reach this value using an automatic control in Closed Mesh using PLC with the instruction of control PID.

**Keywords:** Industrial automation, PLC, Control of Speed, Engine CA, Temperature, PID.

# SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABELAS.....	IX
ÍNDICE DE EQUAÇÕES .....	X
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XI
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1.MOTIVAÇÃO .....	02
1.2.OBJETIVOS .....	03
1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	03
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA .....	03
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>04</b>
2.1 CLP .....	04
2.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA CFW09 .....	29
2.3 SUPERVISÓRIO IN TOUCH.....	32
2.4 SENSOR DE TEMPERATURA PT100.....	43
2.5 MOTORES ELÉTRICOS.....	50
<b>3. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>59</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
ANEXOS .....	67
APÊNDICES .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 DIAGRAMA DO PROJETO.....	02
FIGURA 2.1 VISÃO GERAL CPU 5/04 UTILIZADA NO PROJETO.....	08
FIGURA 2.2 COMPONENTES TÍPICOS DE HARDWARE .....	09
FIGURA 2.3 FORMATO DA INSTRUÇÃO XIC .....	10
FIGURA 2.4 FORMATO DA INSTRUÇÃO XIO. ....	11
FIGURA 2.5 FORMATO DA INSTRUÇÃO OTE.....	12
FIGURA 2.6 FORMATO DA INSTRUÇÃO JSR.....	13
FIGURA 2.7 CONVERSÃO DE ESCALA .....	14
FIGURA 2.8 FORMATO DA INSTRUÇÃO PID.....	15
FIGURA 2.9 EXEMPLO DE CONTROLE PID.....	16
FIGURA 2.10 ENDEREÇOS TÍPICOS DA INSTRUÇÃO PID.....	18
FIGURA 2.11 TELAS DE INSTRUÇÃO DOS DADOS NA INTRUÇÃO PID .....	19
FIGURA 2.12 JANELA DE SOFTWARE RSLOGIX500-VALORES TÍPICOS .....	23
FIGURA 2.13 GRÁFICO DE ZONA MORTA .....	25
FIGURA 2.14 DIAGRAMA EM BLOCO DO INVERSOR DE FREQUENCIA.....	30
FIGURA 2.15 RSLINX / DDE.....	36
FIGURA 2.16 CRIANDO ACCESS NAMES .....	37
FIGURA 2.17 CONFIGURAÇÃO DA BASE DE DADOS DO APLICATIVO .....	38
FIGURA 2.18 CRIANDO TIPO DE VARIÁVEL.....	38
FIGURA 2.19 CONSTRUINDO UMA ANIMAÇÃO.....	39
FIGURA 2.20 CRIANDO SCRIPTS.....	42
FIGURA 2.21 CRIANDO PROTOCOLO DDE .....	43
FIGURA 2.22 CRIANDO PROTOCOLO DDE .....	43
FIGURA 2.23 ISOLANTE DE VIDRO .....	46
FIGURA 2.24 ISOLANTE DE CERÂMICA.....	47
FIGURA 2.25 BULBO DE RESISTÊNCIA TIPO BAINHA.....	48
FIGURA 2.26 UNIVERSO TECNOLÓGICO DE MOTORES ELÉTRICOS .....	51
FIGURA 2.27 TRIÂNGULO DE POTÊNCIA PARA CARGA INDUTIVA .....	55
FIGURA 2.28 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	56
FIGURA 2.29 SISTEMA TRIFÁSICO.....	57
FIGURA 3.30 VISÃO GERAL .....	59
FIGURA 3.31 RSLOGIX500 .....	60
FIGURA 3.32 RSLINX .....	60
FIGURA 3.33 INTOUCH.....	61
FIGURA 3.34 CONFIGURANDO DRIVER RS232.....	61
FIGURA 3.35 MONTAGEM ELÉTRICA.....	62
FIGURA 3.36 JANELA DE COMANDO E VISUALIZAÇÃO .....	63
FIGURA 3.37 CRIANDO OS ACCESS NAMES .....	64
FIGURA 3.38 AJUSTES DO PID.....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 LÓGICA DA INSTRUÇÃO XIC .....	11
TABELA 2.2 LÓGICA DA INSTRUÇÃO XIO.....	12
TABELA 2.3 CONSTANTES DE GANHO PADRÃO (ISA) .....	17
TABELA 2.4 SELEÇÃO DE LIMITE DE SAÍDA CV .....	22
TABELA 2.5 TABELA DE VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA.....	49

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 2.1 SAÍDA PID .....	16
EQUAÇÃO 2.2 EQUAÇÃO CALLENDAR-VAN DUSEN.....	44
EQUAÇÃO 2.3 EQUAÇÃO CALLENDAR-VAN DUSEN.....	45
EQUAÇÃO 2.4 EQUAÇÃO CALLENDAR-VAN DUSEN.....	45
EQUAÇÃO 2.5 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC.....	52
EQUAÇÃO 2.6 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC.....	52
EQUAÇÃO 2.7 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC.....	52
EQUAÇÃO 2.8 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA EM CA. ....	53
EQUAÇÃO 2.9 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA EM CA. ....	53
EQUAÇÃO 2.10 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA CARGAS RESISTIVAS.....	53
EQUAÇÃO 2.11 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA CARGAS REATIVAS... ..	54
EQUAÇÃO 2.12 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA CARGAS REATIVAS... ..	54
EQUAÇÃO 2.13 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA ATIVA.....	55
EQUAÇÃO 2.14 EQUAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS

**CLP** – Controlador Lógico Programado

**PT100** – Sensor de temperatura

**RS Logix 500** – Software utilizado pelo CLP

**RS Linx** – Driver de comunicação utilizado pelo CLP

**In Touch** – Software para criação do supervisor

**PID** – Instrução de controle Proporcional Integral e Derivativo utilizado no CLP

**PV** – Variável de Processo

**CV** – Variável de Controle

**DDE** – Dynamic Data Exchange (Protocolo de comunicação que permite recebimento e envio de dados entre aplicação Windows)

**DNAEE** - Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica

**PWM** – Pulse-width modulation (Modulação por largura de pulso)

**SDCD** – Sistema Digital de Controle Distribuído

**RPM** – Rotação por minuto

**CA** – Corrente Alternada

**CC** – Corrente Contínua

**Vdc** – Tensão Contínua

**CPU** – Unidade Central de Processamento

**E/S ou I/O** – Entradas e saídas discretas utilizadas no CLP

**WEG** – Fabricante brasileira de motores elétricos

**DIN-IEC** – Norma Regulamentadora - International Electrotechnical Commission

**ASTM** - (Sociedade Americana para Materiais e Testes)

**CFW09** – Modelo de Inversor de Frequência WEG

**ITS-90** - The International Temperature Scale of 1990 was adopted by the International Committee of Weights and Measures at its meeting in 1989, in accordance with the request embodied in Resolution 7 of the 18<sup>th</sup> General Conference of Weights and Measures of 1987. This scale supersedes the International Practical Temperature Scale of 1968 (amended edition of 1975) and the 1976 Provisional 0.5 K to 30 K Temperature Scale.

**RS232** – Interface Serial de Comunicação.

**V/f** – Relação Tensão / Frequência (Modo Escalar)

**Windowmaker** - Ambiente de desenvolvimento para criação de janelas gráficas de animações para aplicações Windows

**Windowview** - Ambiente de desenvolvimento para visualização de janelas gráficas de animações criadas no Windowmaker, para aplicações Windows.

**EGA** - Enhanced Graphics Adapter.

**VGA** - Video Graphics Array.

**PC** – Computador pessoal

**RTD** - Resistance Temperature Detectors

**SNMP** - Simple Network Management Protocol (serviço Encaminhamento e acesso remoto num ambiente de protocolo de gestão de rede simples)

**BOOTP** - (Bootstrap Protocol) protocolo que permite a configuração automática de parâmetros de rede, porém sem a capacidade de alocar dinamicamente estes parâmetros, como faz o DHCP.

**DHCP** - (Dynamic Host Configuration Protocol) protocolo de serviço TCP/IP que oferece configuração dinâmica de terminais, com concessão de endereços IP de host e outros parâmetros de configuração para clientes de rede. Este protocolo é o sucessor do BOOTP que, embora mais simples, tornou-se limitado para as exigências atuais.

**TCP** (Transmission Control Protocol) protocolo sob os quais assenta o núcleo da Internet nos dias de hoje.

**TCP/IP** - Transmission Control Protocol / Internet Protocol como muitos outros modelos de protocolos - pode ser visto como um grupo de camadas, em que cada uma resolve um grupo de problemas da transmissão de dados, fornecendo um serviço bem definido para os protocolos da camada superior.

**LADDER** – Linguagem de programação de CLP baseado na lógica de Relés.

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

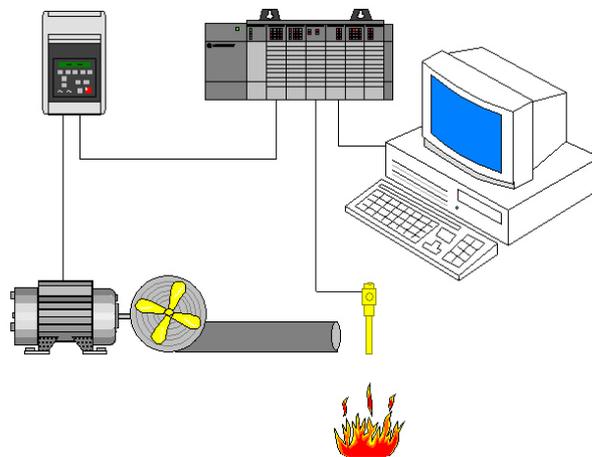
Quando se fala em Controle automático, necessariamente subentende-se uma medição e comparação entre uma informação que o controlador recebe. Uma vez recebida essa informação o sistema de controle compara com um valor preestabelecido chamado Set Point. O Controlador automático verifica a diferença entre ambos e age de maneira a diminuir essa diferença. Como se vê o Controle é um ciclo fechado o que vem a constituir o conceito fundamental que se pode chamar de Malha Fechada ou, em inglês Closed Loop.

O conceito de automação impõe-se, cada vez mais, nas empresas preocupadas em melhorar a sua produtividade, reduzindo ao mesmo tempo os custos. Convém notar que, quanto mais um processo se encontrar automatizado, maiores serão os benefícios da automação na regularidade da qualidade de um produto, na economia de energia, passando pela flexibilidade e segurança de funcionamento e, conseqüentemente, pela melhoria da produtividade.

“Estamos na era da automação. A primeira revolução industrial foi caracterizada pela substituição do trabalho manual por máquinas motrizes, ou seja, a mecanização. A automação é a introdução da mecanização não só desses trabalhos, mas também dos trabalhos mentais.” [SIGHIERI, Luciano / AKIYOSHI, Nishinari].

Na automação o dispositivo ou sistema automatizado sempre irá fazer uma análise do resultado final do trabalho com o objetivo inicial. Toda essa análise e troca de informação chama-se realimentação ou feedback. Essa ação de comparar as informações com o objetivo desejado pode gerar uma diferença positiva ou negativa, no qual, a função da automação é corrigir essa diferença para zero ou próxima de zero. [SIGHIERI, Luciano / AKIYOSHI, Nishinari].

Diante da visão sobre automação citada acima, este projeto propõe um controle de velocidade em um motor trifásico CA em Malha Fechada onde o operador ou usuário determinará uma temperatura de trabalho e o sistema atingirá esse valor usando o controle PID do CLP por meio de um sensor de temperatura e um Inversor de Freqüência. A fonte de calor será uma resistência elétrica, conforme figura 1.1.



**Figura 1.1 – Diagrama do Projeto**

A figura 1.1 mostra a visão geral do projeto, ou seja, um computador pessoal conectado através de um cabo serial RS232 a um Controlador Lógico Programável (PLC) onde o mesmo encontra-se interligado com um sensor de temperatura PT100 e um Inversor de Frequência este por sua vez está conectado a um motor de Corrente Alternada trifásico de 0,5 cv e na ponta do eixo deste motor encontra-se um ventilador. A fonte de calor utilizada é uma resistência elétrica 250 W. O CLP irá através de seu bloco de controle PID controlar toda a Malha Fechada do sistema.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

A automação industrial no cenário nacional e internacional está exigindo Engenheiros da Computação cada vez mais preparados para o mercado de trabalho.

Diante dessa exigência de mercado, o projeto de Controle de Velocidade de um Motor CA utilizando controle PID do CLP mostrará um pouco do que os Engenheiros da Computação podem desenvolver na área de automação.

As principais motivações para o desenvolvimento deste trabalho foram: a crescente exigência de mercado, um desafio pessoal, por ser um projeto inovador no UniCEUB, a utilização do projeto pela Votorantim Cimentos Brasil para treinamento e desenvolvimento de profissionais da área de automação e por ser um assunto ainda pouco explorado academicamente no UniCEUB.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo do projeto é utilizar a automação industrial para obter resultados cada vez mais rápidos, com custo baixo, aperfeiçoar processos, garantir resultados precisos com confiabilidade e qualidade do produto final.

O projeto visa utilizar técnicas de controle em Malha Fechada para obter um processo totalmente automatizado em tempo real através do Supervisório In Touch, onde o sistema atingirá o valor de temperatura determinado pelo operador ou usuário, utilizando um controle automático em Malha Fechada com a instrução de controle PID do CLP (Controlador Lógico Programável).

## **1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA**

O projeto foi baseado em consultas a livros de automação industrial, apostilas de treinamentos de equipamentos industriais de automação e sites da Internet. Tendo como base estas pesquisas o projeto tem finalidade teórica e prática.

## **1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA**

A monografia está dividida em quatro capítulos distintos:

O Capítulo 1 é ordenado por: motivação, objetivos e metodologia para o desenvolvimento do projeto.

O Capítulo 2 é composto pelo referencial teórico com as definições e aplicações das tecnologias utilizadas no projeto.

O Capítulo 3 atribui ao desenvolvimento do projeto, descrevendo desde a montagem física do hardware até os start-up do projeto.

O Capítulo 4 é apresentado o final do projeto abordando possíveis implementações para melhorias e utilizações.

## CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

O CLP (Controlador Lógico Programável) é responsável pelo processamento da informação gerada pelo elemento sensor de temperatura.

O programa é baseado em diagramas de impressão de relés elétricos. Contém instruções que direcionam o controle da aplicação. Com o programa já no controlador, inicia-se um ciclo de operação com o controlador no modo Run. O ciclo de operação do controlador consiste em uma série de operações seqüenciais e repetidas, que podem ser alteradas pelo seu programa. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

O chassi armazena o controlador e os módulos de E/S. A fonte de alimentação localiza-se no lado esquerdo do chassi. Todos os componentes se deslizam facilmente para dentro do chassi ao longo das guias. Não é necessário o uso de ferramentas para inserir ou remover o controlador ou os módulos de E/S. Podem ser conectados em um PLC modelo SLC500 até três chassis (30 ranhuras de E/S). [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Existem quatro tamanhos de chassis: 4 ranhuras, 7 ranhuras, 10 ranhuras e 13 ranhuras. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Tamanho de memória - A memória do controlador de estrutura modular SLC 500 pode ser configurada tanto para armazenamento de dados quanto para armazenamento de programa. O tamanho da memória varia de 1K a 64K. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Pontos de E/S - O controlador SLC 5/01 suporta o endereçamento de até 3940 E/S. Os controladores SLC 5/02, SLC 5/03, SLC 5/04 e SLC 5/05 suportam um endereçamento de 4096 E/S. Os controladores de estrutura modular SLC 500 são suportados por mais de 60 módulos de E/S diferentes, incluindo E/S digital, E/S analógica e E/S inteligente.

Performance - Os controladores de estrutura modular SLC 500 são projetados tendo em vista o rendimento. O tempo de varredura do programa, para uma mistura típica de instruções, varia de 0,9 ms/k a 8,0 ms/k, dependendo do controlador. O tempo de varredura da E/S varia de 0,25 ms a 2,6 ms, dependendo do controlador.

Suporte de Instrução Avançada – O número de instruções disponíveis depende do tipo de controlador. Consulte a tabela abaixo para verificar os tipos de instruções oferecidos pelo controlador de estrutura modular SLC 500.

Os controladores SLC 500 suportam vários tipos de comunicação. As seções a seguir descrevem as conexões físicas disponíveis e as opções de protocolo utilizadas pelos controladores SLC 500. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

O canal Ethernet (10Base-T) oferece:

- Taxa de comunicação de 10 Mbps
- Conector ISO/IEC 8802-3STD 802.3 (RJ45) para mídia 10Base-T
- Protocolo de comunicação TCP/IP
- Isolamento incorporado
- canal Data Highway Plus (DH+) oferece:
  - Taxas de comunicação de 57,6K, 115,2K e 230,4K baud
  - Comprimento máximo da rede de 3.048 metros (10.000 pés) a 57,6K baud
  - Conexão do cabo Belden 9463 entre os nós (ligação serial)
  - Isolamento incorporado
- canal DH-485 oferece:
  - Taxas de comunicação configuráveis de até 19,2K baud
  - Isolamento elétrico através do acoplador de rede 1747-AIC ou 1761-NET-AIC
  - Comprimento máximo da rede de 1.219 metros (4.000 pés)
  - Especificações elétricas de RS-485
  - Conexão do cabo Belden 9842 ou Belden 3106A entre os nós (ligação serial)
- O canal RS-232 oferece:
  - Taxas de comunicação de até 19,2K baud (38,4K baud no SLC 5/05)
  - Distância máxima entre os dispositivos de 15,24 metros (50 pés)
  - Especificações elétricas de RS-232C (EIA-232)
  - Suporte a modem
  - Isolamento incorporado

O canal RS-232 foi o escolhido para utilização no projeto.

Protocolo TCP/IP Ethernet - O padrão Ethernet, utilizando o protocolo TCP/IP, é utilizado como a rede principal em muitos escritórios e prédios industriais. A Ethernet é uma rede local que oferece comunicação entre vários dispositivos a 10 Mbps. Essa rede possui as mesmas características que as redes DH+ ou DH-485, mais:

- suporte SNMP para gerenciamento da rede Ethernet
- configuração dinâmica opcional dos endereços IP utilizando um utilitário BOOTP
- taxa de dados da Ethernet no SLC 5/05 até 40 vezes mais rápida que as mensagens DH+ no SLC 5/04
- capacidade de transmitir arquivos de dados inteiros do SLC 5/05
- número muito maior de nós em uma única rede, comparando-se às redes DH-485 (32) e DH+ (64)

Protocolo Data Highway Plus (DH+) - O protocolo Data Highway Plus é utilizado pelos controladores CLP-5 e SLC 5/04. Esse protocolo é similar ao DH-485, porém possui o recurso de suportar até 64 dispositivos (nós) e operar com taxas de comunicação (baud) mais rápidas. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Protocolo DH-485 - Os controladores SLC 500 possuem um canal DH-485 que suporta a rede de comunicação DH-485. Essa rede é um protocolo multi-mestre, de passagem de bastão (token) capaz de suportar até 32 dispositivos (nós). Esse protocolo permite:

- monitorar dados e status do controlador, juntamente com o carregamento e descarregamento de programas de qualquer dispositivo na rede
- que os controladores SLC troquem dados (comunicação peer-to-peer)
- que os dispositivos de interface de operação na rede acessem dados de qualquer controlador SLC na rede

Protocolo DF1 Full-Duplex - O protocolo DF1 Full-Duplex (também chamado de protocolo ponto a ponto DF1) permite que dois dispositivos se comuniquem ao mesmo tempo. Esse protocolo permite:

- transmissão de informações através de modems (dial-up, linha dedicada, rádio ou conexões diretas de cabos)
- comunicação entre os produtos Rockwell Automation e produtos de terceiros

Protocolo DF1 Half-Duplex (Mestre e Escravo) - O protocolo DF1 Half-Duplex oferece uma rede multiponto mestre/múltiplos escravos capaz de suportar até 255 dispositivos (nós). Esse protocolo também proporciona suporte à modem e é ideal para

aplicações SCADA (Controle Supervisório e Aquisição de Dados) devido à capacidade da rede. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Protocolo ASCII - O protocolo ASCII oferece conexão a outros dispositivos ASCII, tais como leitores de código de barras, balanças, impressoras seriais e outros dispositivos inteligentes. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

Protocolo TCP/IP Ethernet - O padrão Ethernet, utilizando o protocolo TCP/IP, é utilizado como a rede principal em muitos escritórios e prédios industriais. A Ethernet é uma rede local que oferece comunicação entre vários dispositivos a 10 Mbps. Essa rede possui as mesmas características que as redes DH+ ou DH-485, mais:

O Controlador SLC 5/04 possui as seguintes características:

- memória de programa de 16K, 32K ou 64K
- desempenho de alta velocidade - típico de 0,90 ms/K
- controle de até 4096 pontos de entrada e saída
- programação on-line (inclui edição de runtime)
- canal DH+ incorporado, suportando:

- comunicação de alta velocidade (57,6K, 115,2K e 230,4K baud)

- capacidade de trocar mensagens com os controladores SLC 500, CLP-2, CLP-5 e

CLP-5/250

- canal RS-232 incorporado, suportando:

- DF1 Full-Duplex para comunicação ponto a ponto; remotamente através de um modem ou conexão direta aos dispositivos de interface de operação ou programação. (Utilize um cabo 1747-CP3 para a conexão direta.)

- DF1 Half-Duplex Mestre/Escravo para comunicação tipo SCADA (ponto a multiponto)

- DH- 485 (Utilize uma 1761-NET-AIC com um cabo 1747-CP3 para a conexão à rede DH-485.).

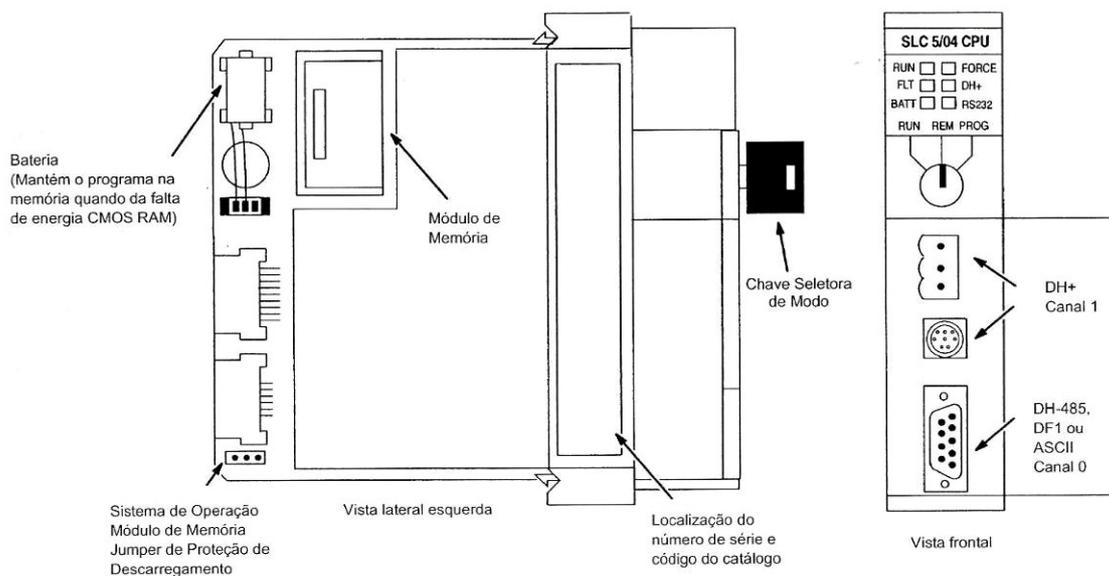
- E/S ASCII para a conexão a outros dispositivos ASCII, tais como leitores de código de barras, impressoras seriais e balanças

- relógio/calendário em tempo real incorporado
- Interrupção Temporizada Seleccionável (STI) de 1 ms
- Interrupção de Entrada Discreta (DII) de 0,50 ms
- capacidades matemáticas avançadas - trigonometria, PID, exponencial,

ponto flutuante e instrução compute

- endereçamento indireto
- o flash PROM oferece atualizações de firmware sem trocar fisicamente os EPROMs
- módulo de memória flash EPROM opcional
- chave seletora de modo - RUN, REMote, PROGram (remove falhas)
- RAM alimentada por bateria
- instruções adicionais, como por exemplo as instruções swap e scale comparâmetros (SLC 5/04 OS401 ou posterior)
- listagem multiponto (SLC 5/04 OS401 ou posterior)
- certificações UL, CSA e CE

A figura 2.1 apresenta alguns componentes de hardware dos controladores SLC 5/04 (1747-L541, 1747-L542 ou 1747-L543).

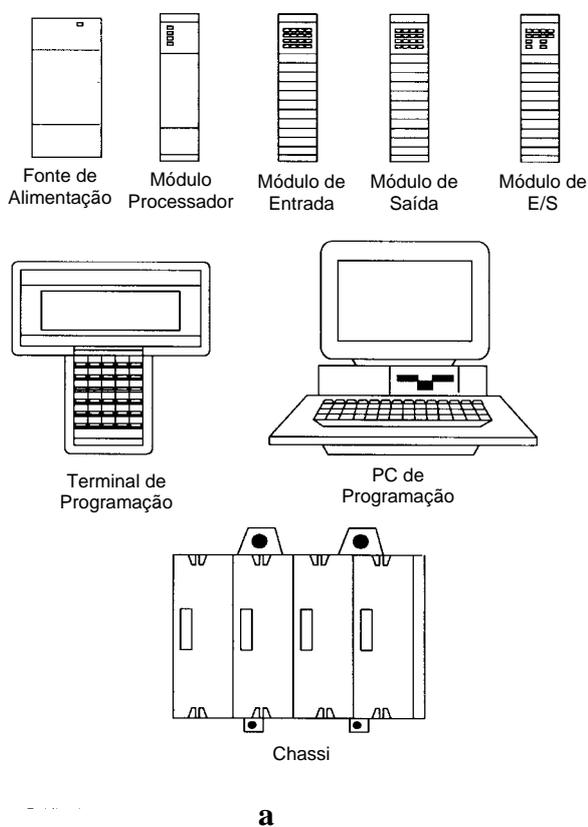


**Figura 2.1 Visão geral CPU 5/04 utilizada no projeto**

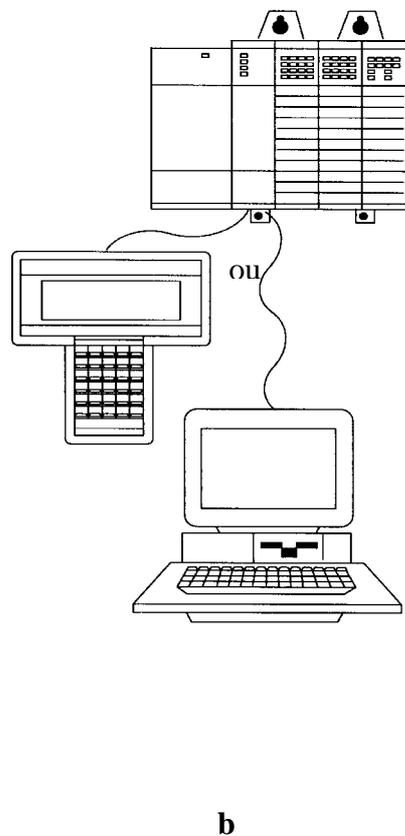
Fonte: Rockwell Automation, **Manual de Instalação e Operação SLC500**, p.10. Rockwell, Janeiro 1998.

O controlador de estrutura modular básico consiste de um chassi, fonte de alimentação, processador (CPU), Entrada/Saída (Módulos E/S) e uma interface de programação para programar e monitorar. A figura 2.2 mostra os componentes típicos de hardware para o controlador de estrutura modular. [ROCKWELL AUTOMATION, 1998]

### Componentes de hardware de estrutura modular



### Controlador de estrutura modular



**Figura 2.2 a,b - Componentes típicos de hardware para o controlador de estrutura modular.**  
 Fonte: Rockwell Automation, **Manual de Instalação e Operação SLC500**, p.02.Rockwell, Janeiro 1998.

As instruções de Bit utilizadas são as seguintes:

- Examinar se Energizado (XIC)
- Examinar se Desenergizado (XIO)
- Energizar Saída (OTE)

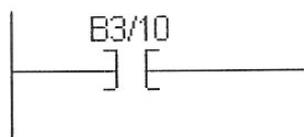
Essas instruções são utilizadas em um único bit de dado, o qual pode ser endereçado sempre que necessário. Durante a operação, o controlador pode energizar ou desenergizar o bit, baseado na continuidade lógica das linhas do programa de aplicação.

Instruções “Examinar”:

- Examinar se Energizado (XIC)
- Examinar se Desenergizado (XIO)

Essas instruções permitem que o controlador verifique o estado energizado / desenergizado de um endereço específico de bit na memória. "Um "ou "Zero", armazenando no endereço do bit, pode representar o estado real energizado de um único dispositivo de E/S. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Examinar se Energizado (X I C)



**Figura 2.3- Formato da Instrução X I C**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.02.Rockwell, Agosto 1999.

Quando um dispositivo de entrada fecha seu circuito, o terminal de entrada conectado ao mesmo indica um estado energizado, o qual é refletido no bit correspondente do arquivo de entrada. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

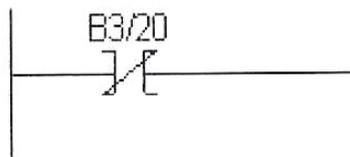
Quando o controlador localiza uma instrução com o mesmo endereço, ele determina que o dispositivo de entrada esteja energizado (1), ou fechado, e ajusta a lógica da instrução para verdadeira. Quando o dispositivo de entrada não mais fecha seu circuito, o controlador verifica que o bit está desenergizado (0) e ajusta a lógica dessa instrução para falsa. (tabela 2.1) [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Tabela 2.1 – Lógica da instrução XIC**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.02.Rockwell, Agosto 1999.

<b>Estado do Bit</b>	<b>Instrução XIC</b>
0	Falsa
1	Verdadeira

### **Examinar se Desenergizado (X IO)**



**Figura 2.4 - Formato da Instrução X I O**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.02.Rockwell, Agosto 1999.

Quando um dispositivo de entrada não é acionado, o terminal de entrada conectado a ele indica um estado desenergizado, o qual é refletido no bit correspondente do arquivo de entrada. Ao localizar uma instrução XIO com o mesmo endereço, o controlador determina que a entrada está desenergizada ( 0 ) e ajusta a lógica da instrução para verdadeira. Quando o dispositivo é acionado, o controlador ajusta a lógica dessa instrução para falsa (tabela 2.2). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

### Tabela 2.2 - Lógica da Instrução XIO

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.03.Rockwell, Agosto 1999.

Estado do Bit	Instrução XIO
0	Verdadeira
1	Falsa

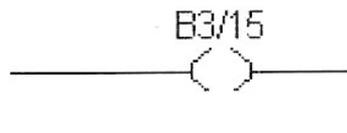
### Instruções Energizar / Desenergizar Saída

As instruções Energizar / Desenergizar Saída são empregadas para energizar ou desenergizar um bit específico.

A instrução usada no projeto foi:

- Energizar Saída (OTE)

### Energizar Saída (OTE)



**Figura 2.5 - Formato da Instrução OTE**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.03.Rockwell, Agosto 1999.

O estado terminal de saída é indicado através de um bit específico do arquivo de saída. Ao ser estabelecida uma lógica verdadeira na linha de programa que contém a instrução OTE, o controlador energiza o respectivo bit em (I), fazendo com que o terminal de saída seja energizado e o dispositivo de saída conectado a este terminal seja acionado. Caso essa lógica verdadeira não seja estabelecida, o controlador desenergiza o bit, em (O), a instrução OTE é desabilitada e o dispositivo de saída associado é desenergizado.

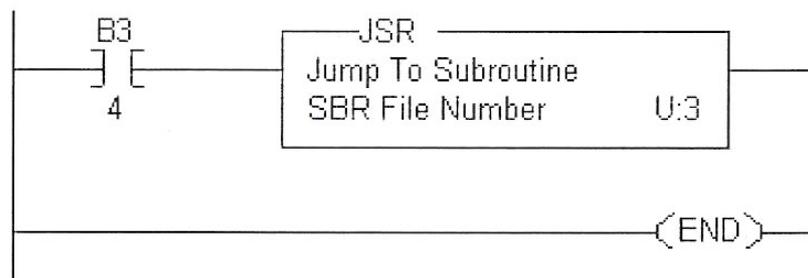
A instrução OTE é não-retentiva e a mesma é desabilitada quando:

- Controlador for alterado para o modo Operação ou Teste, ou quando a alimentação do chassi é restaurada;

- Ocorrer um erro grave no Sistema de Controle;

Deve-se observar que uma instrução OTE habilitada em uma área de sub-rotina permanecerá habilitada até que haja uma nova varredura na área de sub-rotina.

Salto para Sub-rotina (JSR)



**Figura 2.6 - Formato da Instrução JSR**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.10-02.Rockwell, Agosto 1999.

Quando a condição da linha é verdadeira, o controlador salta para a instrução de sub-rotina (SBR) no início do arquivo e reassume a execução a partir daí.

Não é possível saltar para qualquer parte de uma sub-rotina a não ser para a primeira instrução do arquivo. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Cada sub-rotina deve ter seu próprio arquivo, identificado por um número (3-255).

LAD 2 – PRINCIPAL: Foi criado os jumpers para sub-rotina e conversão de escalas de entradas/saídas analógicas.

O motivo dessa conversão é que o CLP trabalha com valores de 0 a 16383 (para entradas/saídas de corrente de 4 a 20 mA) e -2000 a 8700 para entradas de resistência RTD (PT100).

Essa conversão foi necessária para leitura das faixas de medições de 0 a 3600 RPM, de 0 a 400°C e 0 a 3A. Conforme figura 2.7.

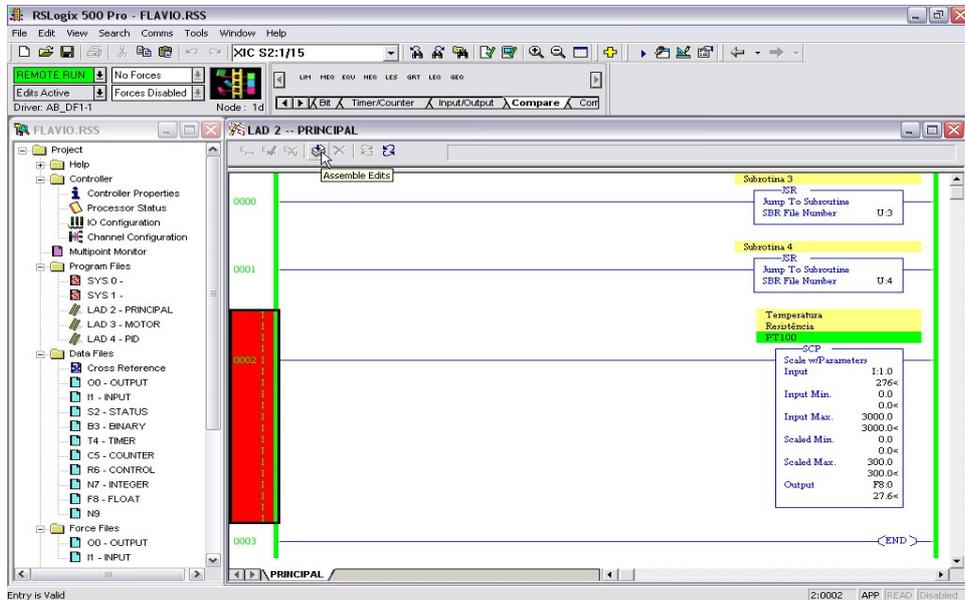


Figura 2.7 – Conversão de Escala

Com os Controladores de estrutura de E/S fixa e SLC500 – 5/0 I pode-se aninhar até quatro níveis de sub-rotinas. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Com os Controladores MicroLogix, SLC500 – 5/02, 5/03, 5/04 e 5/05 é possível aninhar até oito níveis de sub-rotinas. No caso da utilização de uma sub-rotina ST, sub-rotina de interrupção disparada por evento de E/S ou rotina de falha do usuário, pode-se aninhar até três níveis de cada sub-rotina. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Parâmetros da Instrução SCP :

- **Input** Valor a ser escalonado. Um endereço de programa ( 16 bits ou 32 bits ).
- **Input Min.** Valor mínimo de entrada ( será o menor valor da faixa 3. Um endereço de programa ( 16 bits ou 32 bits ).
- **Input Máx.** Valor máximo de entrada ( será o maior valor da faixa ). Um endereço de programa ( 16 bits ou 32 bits ).
- **Scaled Min.** Valor mínimo de escala ( relacionado com o menor valor da faixa ). Um endereço de programa ( 16 bits ou 32 bits ).
- **Scaled Máx.** Valor máximo de escala ( relacionado com o maior valor da faixa ). Um endereço de programa ( 16 bits ou 32 bits ).
- **Output** Resultado da instrução. Um endereço de programa (16 bits ou 32 bits). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

## Instrução PID

A instrução PID é utilizada somente com os Controladores de Estrutura Modular SLC-5/02; 5/03; 5/04 e 5/05 e o seu formato está ilustrado na figura 2.8. Conceito de PID.



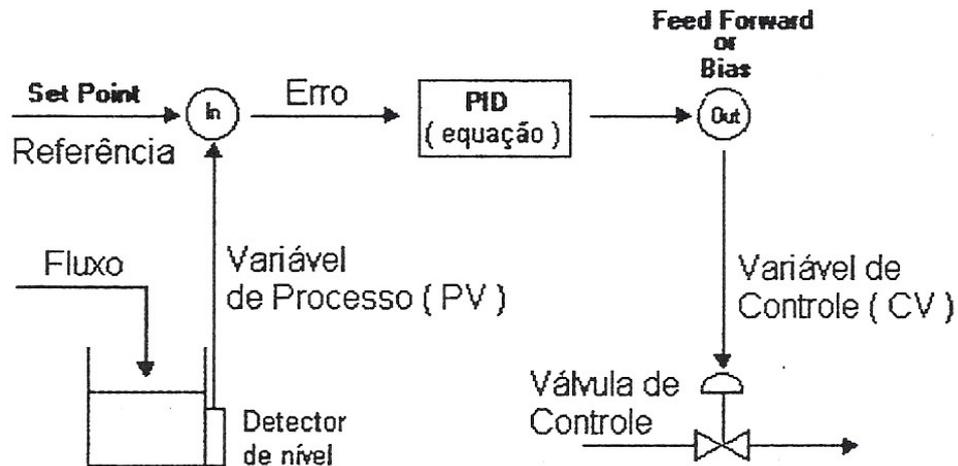
Figura 2.8 - Formato da Instrução PID

Esta instrução de saída controla propriedades físicas, tais como temperatura, pressão, nível ou fluxo. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

A instrução PID ( Proporcional, Integral e Derivativa ), normalmente controla uma malha fechada utilizando as entradas de um módulo de entrada analógica e fornecendo uma saída para um módulo de saída analógica. Para controle de temperatura, pode-se converter a saída analógica em uma saída ON/OFF proporcional ao tempo para acionar um aquecedor ou resfriador. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

A instrução PID pode ser operada no modo temporizado (Timed Mode) ou no modo STI. No modo temporizado, a instrução atualiza a sua saída periodicamente em um intervalo de tempo selecionado pelo usuário. No modo STI, a instrução deverá ser colocada dentro de uma sub-rotina de interrupção STI. A saída será, então, atualizada sempre que a sub-rotina STI for varrida. O tempo de atualização deve ser igual à velocidade em que a linha PID é executada. Uma diferença entre a velocidade de execução da instrução PID e o tempo entre as amostras degradará a precisão dos cálculos PID.

O controle PID de malha fechada mantém a variável de processo em um valor de referência (setpoint) desejado. A figura 2.9 apresenta um exemplo de velocidade de fluxo/nível de fluido. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]



**Figura 2.9 – Exemplo de Controle PID**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-02.Rockwell, Agosto 1999.

A equação PID controla o processo, enviando um sinal de saída à válvula de controle. Quanto maior for o erro entre a referência e a variável de processo, maior é o sinal de saída e vice-versa. Se necessário, pode-se somar um valor à saída de controle, representando um desvio (feedforward ou bias). Assim, o cálculo PID direciona a variável de processo para que alcance um valor em torno do valor de referência (valor desejado).

Equação PID

A instrução PID utiliza a seguinte equação:

$$\text{Saída} = Kc [ E(t) + 1/Ti. \int E(t).dt + Td. D(PV(t))/dt ] + \text{BIAS}$$

(2.1)

**Equação 2.1 - Saída PID**

As constantes de ganho padrão estão apresentadas na tabela 2.3.

**Tabela 2.3 – Constantes de Ganho Padrão (ISA)**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-02.Rockwell, Agosto 1999.

Termo	Faixa ( Baixa para Alta 0	Referência
Ganho do Controlador ( Kc)	0,1 a 25,5 ( sem unidade )	Proporcional
Rearme ( Ti )	25,5 a 0,1 ( minutos por repetição )	Integral
Taxa ( Td )	0,01 a 2,55 ( minutos )	Derivativo

O termo derivativo (velocidade) suaviza a resposta através da utilização de um filtro Passa Baixa. A frequência de corte do filtro é 16 vezes maior que a frequência de canto (corner frequency) do termo derivativo. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

#### Parâmetros da Instrução PID

A instrução PID é normalmente posicionada em uma linha sempre verdadeira. Quando a linha é falsa, a saída permanece no seu último valor.

Durante a programação, deve-se introduzir os endereços do Bloco de Controle e Variável de Processo depois de colocar a instrução PID em uma linha:

Control Block – arquivo que armazena os dados necessários para operar a instrução. O comprimento do arquivo do Bloco de Controle é fixo em 23 palavras. O endereço do Bloco de Controle deve ser introduzido como um endereço de arquivo do tipo inteiro N[ ]. Por exemplo, ao introduzir N7:2, os elementos de N7:2 a N7:24 serão alocados automaticamente. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

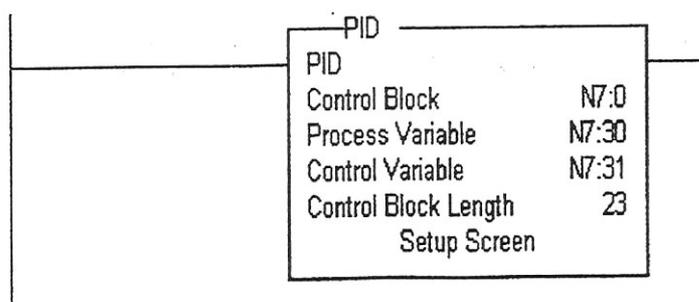
Não se deve escrever endereços do bloco de controle em outras instruções do programa. (Ao reutilizar um bloco de dado que foi anteriormente alocado para algum outro uso, deve-se primeiro zerar os dados). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Process Variable (PV) – endereço de elemento que armazena o valor da entrada do processo. Este endereço pode ser o endereço da palavra da entrada analógica onde o valor da entrada A/D está armazenado. Este valor pode ser também um valor inteiro quando se deseja trabalhar com o valor de entrada em escala na faixa de 0-16383.

Control Variable (CV) – endereço de elemento que armazena a saída da instrução PID. A faixa do valor de saída é de 0 a 16383, sendo que 16383 é 100% do valor. Este é

normalmente um valor inteiro, de forma que pode-se colocar em escala a faixa de saída PID para a faixa analógica específica, necessária na aplicação.

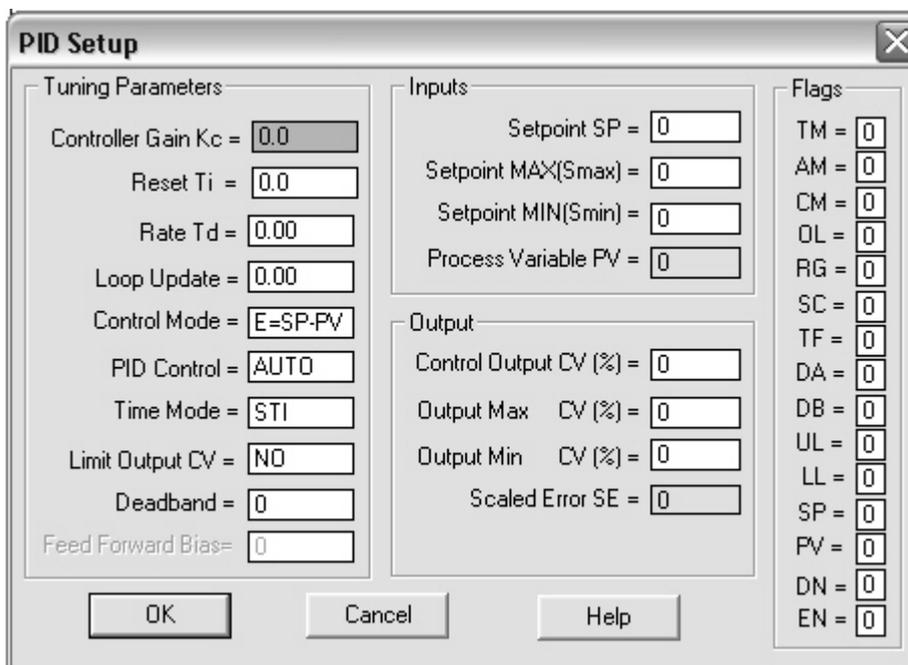
A figura 2.10 ilustra a instrução PID com endereços típicos para os seus parâmetros:



**Figura 2.10 – Endereços Típicos da Instrução PID**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-03.Rockwell, Agosto 1999.

Após a introdução dos endereços do Bloco de Controle, Variável do Processo e Variável de Controle, o software **RSLogix 500**, como exemplo, exibe a seguinte janela de setup (figura 2.11) [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]



**Figura 2.11 – Telas de Introdução dos Dados na instrução PID**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-04.Rockwell, Agosto 1999.

Parâmetros da instrução PID que devem ser introduzidos:

**.auto / manual** (palavra 0, bit 1) – permite selecionar entre os modos automático ou manual. AUTO indica que a instrução PID está controlando a saída e MANUAL indica que o usuário, através de uma estação de Controle manual ou de programa de aplicação, está controlando o valor da saída. Quando do ajuste, recomenda-se que as alterações sejam feitas no modo MANUAL, passando, a seguir ao modo AUTO. O limite de Saída é aplicado no modo MANUAL. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.mode** ( palavra 0, bit 0 ) – permite selecionar entre os modos TIMED ou STI. O modo TIMED indica que a instrução PID atualiza a sua saída no intervalo de tempo especificado no parâmetro de atualização da malha. O modo STI indica que a instrução PID atualiza a sua saída todas as vezes que ela é varrida. Ao selecionar o modo STI, a instrução PID deverá ser programada em uma subrotina de interrupção STI e essa subrotina deverá Ter um intervalo de tempo igual ao ajuste do parâmetro de atualização de malha (loop update) da instrução PID. Ajuste o período STI na palavra S:11. Por

exemplo, se o tempo de atualização da malha contém o valor 10 (100 ms), então o intervalo de tempo STI também deverá ser igual a 100 ms.

**.control** ( palavra 0, bit 2 ) – permite selecionar a ação de controle ( $E=SP - PV$  ) ou ( $E=PV - SP$  ). A ação direta ( $E=PV-SP$ ) fará com que a saída CV aumente quando a entrada PV for maior do que a referência SP (por exemplo, uma aplicação de resfriamento). A ação reversa ( $E=SP-PV$ ) fará com que a saída CV aumente quando a entrada PV for menor que a referência SP (por exemplo, uma aplicação de aquecimento).  
**.setpoint SP** ( palavra 2 ) – Este é o ponto de controle desejado da variável de processo. Deve-se introduzir o valor desejado e pressionar a tecla (ENTER). Pode-se alterar este valor através de instruções do programa de aplicação ou através de um supervisor. Deve-se escrever o valor na terceira palavra do bloco de controle (por exemplo, escrever o valor em N7:4 se o bloco de controle for N7:2). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Sem escala, a faixa desse valor é de 0-16383. Caso contrário, a faixa é de escala mínima (palavra 8) à escala máxima ( palavra 7 ). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.scaled process PV** ( palavra 14 ) – somente para exibição e monitoração. Este é o valor da variável de processo em escala (entrada analógica). Sem escala, a faixa deste valor é de 0 a 16383. Caso contrário, a faixa está entre a escala mínima (palavra 8) e a escala máxima ( palavra 7 ). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.scaled error** (palavra 15) – Somente para exibição e monitoração. Este é o erro em escala, conforme selecionado pelo parâmetro de modo de controle. Quando não existe escala, a faixa é de - 16383 a 16383. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.deadband DB** ( palavra 9 ) – Introduzir um valor que não seja negativo. A zona morta permite selecionar uma faixa acima e abaixo da referência (SP). A zona morta é introduzida no cruzamento zero da variável de Processo (PU) e de referência (SP). Isto significa que a zona morta é efetiva somente depois que a variável de processo (PV) entrar na zona morta e passar pela referência (SP). Faixa de 0-valor máximo em escala, ou de 0 a 16383, quando não há escala. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.output CV** ( palavra 16 ) – Este é o valor de saída calculado pelo algoritmo PID. Ao selecionar o modo AUTO, este parâmetro será só para exibição. Porém, ao selecionar o modo MANUAL, deve-se introduzir a porcentagem de saída desejada. Faixa de 0-100%.

**.coop update** ( palavra 13 ) – Este é o intervalo de tempo entre os cálculos PID. A entrada é realizada em intervalo de 0,01 segundos. Normalmente, deve-se introduzir um tempo de atualização de malha cinco ou dez vezes mais rápido do que o período natural da carga ( determinado pelo ajuste dos parâmetros de Reset e Rate em zero e, a seguir, aumentando o ganho até que a saída comece a oscilar ). Quando no modo STI, este valor deve ser igual ao valor do intervalo de tempo S:11. Faixa introduzida de 1-255.

**.gain Kc** ( palavra 3 ) – Este é o ganho proporcional ( 0,1 a 25,5 ). Normalmente este ganho deve ser ajustado na metade do valor necessário para fazer com que a saída oscile quando os termos dos parâmetros Reset e Rate estão ajustados em zero. Faixa introduzida: 1-255. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.reset Ti** ( palavra 4 ) – Este é o ganho integral ( 0,1 a 25,5 minutos por repetição ). Normalmente, o tempo de rearme é ajustado igual ao período natural medido na calibração do ganho. Faixa introduzida de 255-1. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.rate Td** ( palavra 5 ) – Este é o termo derivativo. A faixa de ajuste é 0,01 a 2,55 minutos. Normalmente, este valor é ajustado para 1/8 do tempo do ganho integral. Faixa introduzida: 1-255. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.min scaled Smin** ( palavra 8 } – Se o valor de referência é usado em unidades de engenharia, então este valor corresponde ao valor de referência em unidades de engenharia quando a entrada de controle é zero. Faixa 0-16383 (ver nota abaixo).

**.max scaled Smax** ( palavra 7 ) – Se o valor de referência é usado em unidades de engenharia, então este parâmetro corresponde ao valor da referência em unidades de engenharia quando a entrada de controle é 16383. Faixa de 0-16383.

**Nota:** A escala Smin – Smax permite introduzir a referência em unidades de engenharia. A zona morta e o erro também serão exibidos em unidades de engenharia. A

variável de Processo PV ainda será esperada dentro da faixa de 0-16383, ou seja, Smin-Smax permite um cálculo PID com resolução máxima. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.output CV limit** ( palavra 0, bit 3 ) – permite selecionar entre YES ou NO.

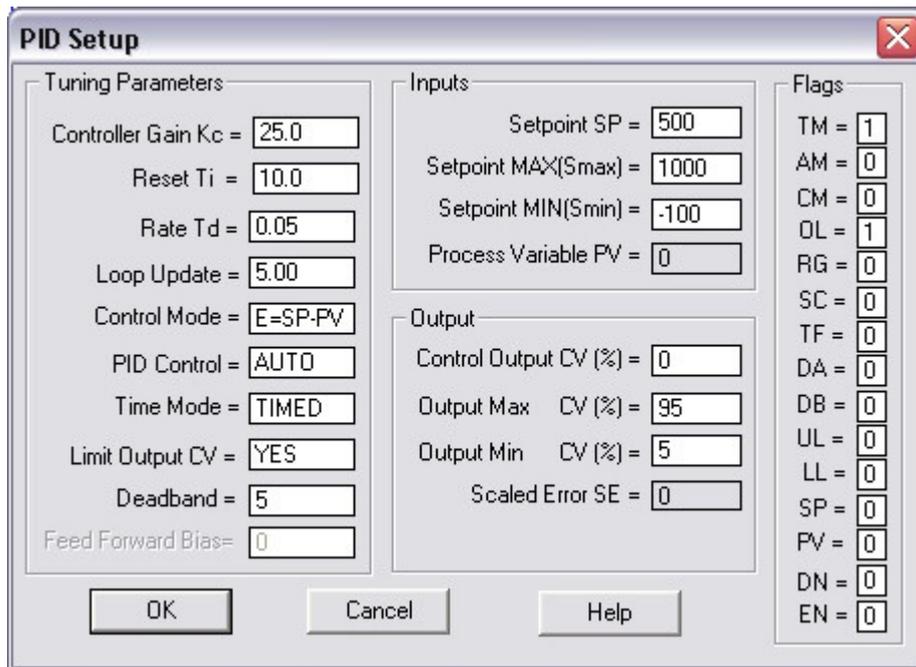
Ao selecionar **YES**, a saída é limitada pelos valores mínimo e máximo (tabela 2.6).

**Tabela 2.4 – Seleção de Limite de Saída CV**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-07.Rockwell, Agosto 1999.

Saída CV	YES (1) Limite de Saída CV Selecionado	NO (0) Limite de Saída CV Não selecionado
Mínimo	O valor introduzido será a porcentagem de saída mínima que a variável de controle (CV) irá obter.  Se CV cair abaixo deste valor mínimo, ocorrerá o seguinte: -CV será ajustado de acordo com o valor introduzido, e - o bit de limite inferior do alarme de saída será energizado.	O valor introduzido irá determinar quando o alarme de saída, bit de limite inferior, é energizado.  Se CV cair abaixo deste valor mínimo, ocorrerá o seguinte: - o bit de limite inferior do alarme de saída será energizado.
máximo	O valor introduzido será a porcentagem de saída máxima que a variável de controle (CV) irá obter.  Se CV exceder este valor máximo, ocorrerá o seguinte: .CV será ajustado de acordo com o valor introduzido, e . o bit de limite inferior do alarme de saída será energizado.	O valor introduzido irá determinar quando o alarme de saída, bit de limite superior, é energizado.  Se CV exceder este valor máximo, ocorrerá o seguinte: . o bit de limite superior do alarme de saída será energizado.

Como exemplo, temos a janela de Setup do software **RSLogix 500**, ilustrando os valores típicos dos parâmetros PID na coluna da esquerda.



**Figura 2.12 – Janela do software RSLogix500 com valores típicos**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-07.Rockwell, Agosto 1999.

### Flags da Instrução PID

**.time mode bit TM** ( palavra 0, bit 0) – Este bit especifica o modo de operação da instrução PID. É energizado quando o modo TIMED está sendo utilizado. Quando desenergizado indica que o modo STI está sendo utilizado. Este bit pode ser energizado ou desenergizado através de instruções do programa de aplicação, ou através de um sistema supervisorio. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.auto / manual bit AM** ( palavra 0, bit 1 ) – Este bit especifica a operação automática quando está desenergizado e a operação manual quando energizado. Pode ser energizado ou desenergizado através de instruções do programa de aplicação ou através de um sistema supervisorio. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.control mode bit CM** ( palavra 0, bit 2 ) – Este bit é desenergizado se o controle for reverso (  $E=SP-PV$  ) e é energizado se o controle for direto (  $E=PV-SP$  ). Este bit pode ser energizado ou desenergizado através de instruções do programa de aplicação ou através de um sistema supervisorio. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.output limiting enabled bit OL** ( palavra 0, bit 3 ) – Este bit é energizado quando for selecionada a característica para limitar a variável de controle CV. Este bit pode ser energizado ou desenergizado através de instruções do programa de aplicação ou através de um sistema supervisorio. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.scale setpoint flag SC** ( palavra 0, bit 5 ) – Este bit é desenergizado quando for especificado o valor da escala de referência. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.loop update time too fast TF** ( palavra 0, bit 6)– Este bit é energizado pelo algoritmo PID se o tempo de atualização da malha especificado não puder ser alcançado pelo programa fornecido ( devido a limitações do tempo de varredura ). Se este bit for energizado, deve-se tentar corrigir o problema através da atualização da malha PID em uma velocidade mais lenta ou programando a instrução PID em uma rotina de interrupção STI. Os ganhos de Reset e Rate estarão errados se a instrução operar com este bit energizado. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**.DB, set when error is in DB** ( palavra 0, bit 8 ) – Este bit é energizado quando a variável de Processo está dentro da faixa de zona morta ( deadband ).

**.output alarm, upper limit UL** ( palavra 0, bit 9) – Este bit é energizado quando a saída de controle CV calculada exceder o limite superior de CV.

**.output alarm, lower limit LL** ( palavra 0, bit 10) – Este bit é energizado quando a saída de controle CV calculada for menor que o limite inferior de CV.

**.setpoint out of range SP** ( palavra 0, bit 11 ) – Este bit é energizado quando a referência ( SP ) exceder o valor máximo da escala ou for inferior ao valor mínimo da escala. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

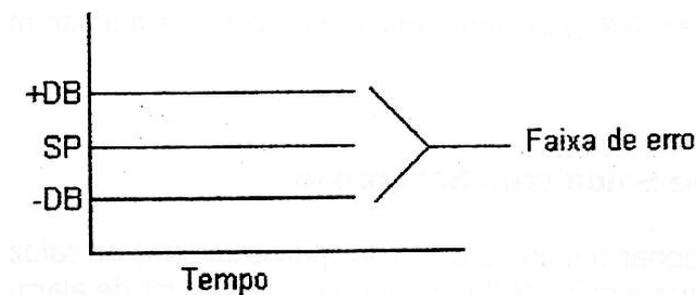
**.process var out of range PV** ( palavra 0, bit 12 ) – Este bit é energizado quando a variável de processo sem escala exceder 16383 ou for inferior a zero.

**.PID done DN** (palavra 0, bit 13 ) – Este bit é energizado durante as varreduras onde o algoritmo PID é computado. (É computado na velocidade de atualização da malha).

**.PID enabled EN** (palavra 0, bit 15) – Este bit é energizado enquanto a linha da instrução PID estiver habilitada. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

#### Zona Morta com Cruzamento-Zero (DB)

O controle de zona morta permite que se selecione uma faixa de erro acima e abaixo da referência (SP), onde a saída não é alterada enquanto o erro permanecer dentro desta faixa (figura 2.13). Isto permite controlar o quanto a variável de processo se aproxima da referência, sem que a saída seja alterada. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]



**Figura 2.13 – Gráfico de Zona Morta**

Fonte: Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, p.11-13.Rockwell, Agosto 1999.

Cruzamento-zero é o controle da zona morta que permite à instrução utilizar o erro para controle, desde o momento em que a variável de processo (PV) cruza a zona morta até quando cruza a referência. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Toda vez que PV cruzar a referência (cruzamento do erro por zero e mudança do sinal do erro) e durante o tempo que o PV permanece na zona morta, a instrução considera o valor do erro igual a zero. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

A seleção da zona morta é feita introduzindo-se um valor na palavra de armazenamento da zona morta (palavra 9) no bloco de controle. A zona morta se estende acima e abaixo da referência (SP) através do valor inserido. Inserindo-se um valor zero, esta característica é inibida. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Caso se escolha a entrada em escala, a zona morta possuirá as mesmas unidades de escala que a referência. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

No modo manual, o algoritmo PID não calcula o valor da variável de controle.

Esse valor é utilizado como entrada, de forma a eliminar uma variação acentuada no sinal, quando da transferência do controle manual para o automático.

No modo manual, a programação permite introduzir um novo valor CV de 0 a 100%. Este valor é convertido em um número de 0 a 16383 e escrito no endereço da variável de controle. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Ao utilizar um módulo de saída analógica para este endereço, deve-se salvar (compilar) o programa com a opção de proteção do arquivo ajustada para nenhuma (File protection=none). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Isto permite que se escreva na tabela de dados de saída.

Caso não execute a operação de salvar, não será possível ajustar o nível da saída no modo manual. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Se o programa de aplicação ajustar o nível de saída manual, o programa deve ser projetado para escrever o endereço CV quando no modo manual.

Deve-se observar que este número está na faixa de 0 a 16383, e não de 0 a 100. Ao escrever a porcentagem CV (palavra 16) no programa de aplicação, o modo manual não tem nenhum efeito. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Os ajustes do PID requerem conhecimento de controle de processo. Recomenda-se obter treinamento sobre os métodos e teoria de controle de processo.

Há uma série de técnicas que podem ser utilizadas para sintonizar uma malha PID.

O método de sintonizar um PID, apresentado a seguir é geral e é limitado ao lidar com os distúrbios de carga. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Importante:**

Este método requer que a instrução PID controle uma aplicação não-crítica em termos de segurança pessoal e danos ao equipamento. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

O seguinte método requer alguns cálculos. Proceda conforme descrito nas etapas a seguir:

**Etapa 1** – Crie o programa de aplicação. Certifique-se de que a entrada analógica esteja devidamente em escala para a faixa da variável de processo (PV) e que a variável de controle (CV) também esteja em escala para a saída analógica.

**Etapa 2** – Conecte o equipamento de controle do processo aos módulos de saída. Descarregue o programa no controlador, o qual deve permanecer no modo programação.

**ATENÇÃO:** Assegure-se que todas as possibilidades de movimento de máquina foram consideradas no que se refere à segurança pessoal e danos ao equipamento. É possível que a saída CV possa oscilar de 0 a 100% durante a programação.

**Etapa 3** – Introduza os seguintes valores: O valor de referência inicial (SP), um rearme  $T_i$  de 0, uma velocidade  $T_d$  de 0, um ganho  $K_c$  de 1 e uma atualização de malha de 5. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Ajustar o modo PID para STI ou Timed, através do programa de aplicação. Se STI for selecionado, assegure-se que o tempo de atualização da malha seja igual ao intervalo de tempo STI. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Introduza os ajustes opcionais necessários ( limite de saída, alarme de saída, escala  $S_{max} - S_{min}$ , feedforward ). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 4** – Faça um gráfico de CV, PV, entrada analógica ou saída analógica e suas variações com o tempo em relação ao valor de referência (SP)

**Etapa 5** – Coloque a instrução PID no modo MANUAL e passe o controlador para o modo de Operação. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 6** – Ao monitorar o PID, ajuste o processo manualmente escrevendo o valor da porcentagem CV. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 7** – Ao perceber que o processo está sob controle manualmente, coloque a instrução no modo AUTO. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 8** – Ajuste o ganho enquanto observa a relação da saída com a referência durante um tempo. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

Observe que os ajustes do ganho interrompem o processo ao alterar os valores. Para evitar esta interrupção, passe para o modo manual antes de fazer as alterações do ganho e depois volte novamente para o modo automático. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 9** – Ao notar que o processo está oscilando acima e abaixo da referência de uma maneira par, marque o tempo de um ciclo, isto é, obtenha o período natural do processo. Marque o valor do ganho e retorne ao modo MANUAL ( pare o controlador, se necessário). [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 10** – Ajuste o tempo de atualização da malha ( e o intervalo de tempo STI se utilizado ) para um valor de 5 a 10 vezes mais rápido do que o período natural.

Se o tempo do ciclo for de 20 segundos, por exemplo, e o tempo desejado de atualização da malha for de 10 vezes mais rápido do que a velocidade natural, ajuste o tempo de atualização da malha para 200, o que resultará em uma velocidade de 2 segundos. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 11** – Ajuste o valor do ganho  $K_c$  para a metade do ganho necessário para obter o período natural do processo. Por exemplo, se o valor do ganho marcado na etapa 9 for 80, ajuste o ganho para 40. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 12** – Ajuste o tempo de rearme  $T_i$  de acordo com o período natural. Se o período natural for de 20 segundos, como no exemplo descrito, deve-se ajustar o termo de rearme para 3 ( 0,3 minutos por repetição, aproximadamente 20 segundos ).

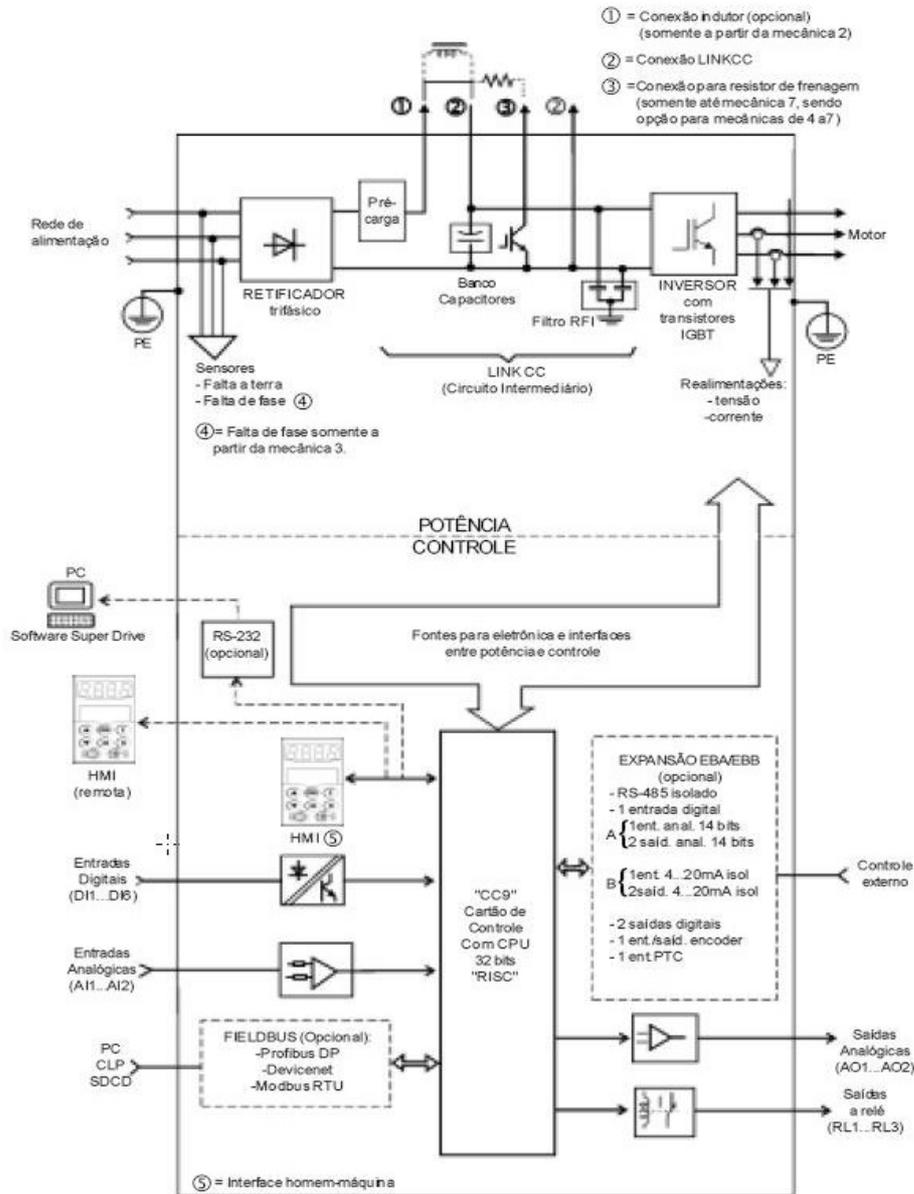
**Etapa 13** – Ajuste a velocidade Td de acordo com um valor de 1/8 do termo de rearme. No exemplo apresentado, o valor 0 será utilizado para fornecer um termo de velocidade de 0,04 minutos por repetição. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 14** – Coloque o controlador no modo AUTO. Se o processo for ideal, a programação PID estará completa. [ROCKWELL AUTOMATION, 1999]

**Etapa 15** – Para realizar os demais ajustes, coloque a instrução PID no modo MANUAL, realize o ajuste e coloque a instrução novamente no modo AUTO.

## **2.2 Inversor de Frequência CFW 09**

Para compreendermos o funcionamento de um Inversor de Frequência, é necessário, entender a função de cada diagrama em bloco que o constitui conforme figura 2.14. O Inversor de Frequência é ligado na rede, podendo ser monofásica ou trifásica. No projeto foi utilizado um Inversor monofásico. Em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência variável, diferente de 60 Hz da rede. Para isso, o Inversor tem como primeiro estágio, um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua, após isso a um segundo estágio capaz de realizar o inverso, ou seja, converter de CC para CA (conversor), e com a frequência desejada pela carga.



**Figura 2.14 – Diagrama em Bloco do Inversor de Frequência**  
**Fonte: WEG, Inversor CFW09 – Manual Inversor Frequência Software 1.9X,p.27**  
 2005.

Em termos de acionamentos de motores, devemos nos atentar para duas grandezas físicas que representam o estado do motor: Torque e Velocidade. Para controlar o fluxo de energia devemos, portanto, controlar estas grandezas. Com a ferramenta Inversor de Frequência essas duas grandezas são controladas. Quando o acionamento de velocidade opera no modo controle de torque ou no modo de controle de velocidade, ambos são determinados pela carga.

Desejo de igualar o excelente desempenho do motor C.C como rápida resposta de torque e precisão de velocidade, conciliando; a robustez, baixo custo e baixa manutenção

dos motores C.A, proporcionou a crescente utilização do Inversor de Frequência em acionamentos com motores C.A.

No projeto foi utilizado um Inversor de Frequência com a tecnologia de Controle Escalar, onde as variáveis de controle são: tensão e frequência. É utilizado um modulador PWM, no qual o mesmo simula e fornece para a carga um sinal senoidal.

Neste controle a carga determina o nível de torque. Diferente do acionamento C.C., as técnicas de controle C.A. usam parâmetros gerados fora do motor, controlando variáveis como Tensão e Frequência. Referência de tensão e frequência é criada dentro de um modulador que simula um sinal de onda senoidal C.A. e alimenta os enrolamentos do estator do motor.

A técnica conhecida por “Pulse Width Modulation (PWM)”, utiliza uma ponte à diodos após a rede e a tensão C.C. do circuito intermediário é mantida constante. Com isso o Inversor controla o motor na forma de trem de pulso PWM definindo ambas (Tensão e Frequência).

Definitivamente, este método não utiliza dispositivo de realimentação de posição ou velocidade do eixo do motor. Sem este dispositivo de realimentação, o acionamento é chamado de circuito em “Malha Aberta”.

As grandes vantagens são: o baixo custo e a não utilização de dispositivo de realimentação. O Inversor de Frequência CFW-09 utilizado no projeto é um equipamento de alta performance, o qual permite o controle de velocidade e torque de motores de indução trifásicos. A característica central deste equipamento é a tecnologia de Controle Escalar (V/f). [WEG, 2006]

Com base nessa tecnologia e o motor utilizado o Inversor CFW09 utilizado foi parametrizado conforme tabela de parâmetros do APÊNDICE I.

## 2.3 Supervisório In Touch

Todo processo será monitorado On-Line na tela do micro computador e para obtermos o monitoramento desejado utilizamos a ferramenta In Touch que é um pacote de software usado para criar interfaces homem-máquina baseadas em plataformas PC.

O In Touch utiliza o Microsoft Windows, versão 3.0 ou superior como ambiente de trabalho. O pacote consiste de dois elementos principais: o Windowmaker e o Windowview.[VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

O Windowmaker é o ambiente de desenvolvimento, que fornece todas as funções necessárias para a criação e edição de janelas com animações e botões para a conexão com sistemas de Entradas e Saídas Industriais e outras aplicações Windows. O Windowview é o ambiente de supervisão, usado para a visualização da janela gráfica criadas de supervisão, usado para a visualização das janelas criadas com o Windowmaker.

O InTouch roda em qualquer microcomputador IBM-PC ou compatível, no ambiente Microsoft Windows 3.0 ou superior, no modo Standard ou 386 Enhanced. Para melhor performance, recomenda-se o uso de um 386 com clock de 33 MHz ou mais, com pelo menos 4 Mbytes de memória. Se outros programas rodarem simultaneamente é recomendável o uso de mais memória. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

A Chave de Hardware habilita o funcionamento de vários programas do pacote. A finalidade desta chave é evitar a cópia ilegal e uso sem licença em outros computadores. Para utilizar o InTouch é necessário que esta chave de hardware esteja conectada à porta paralela do microcomputador. Esta chave também limita o número de Tag's que podem ser criados dentro de uma aplicação. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

As principais características do InTouch são listadas a seguir:

Supervisão e controle

- a. Gerador de interface Homem-Máquina para Supervisão, controle, monitoração e operação.
- b. Ambiente de desenvolvimento e operação dirigido para menus point-and-click e fill-in-the-blanks.
- c. Roda em ambiente multitarefas Microsoft Windows, IRMX, Windows NT e qualquer Sistema operacional com suporte Microsoft Windows.
- d. Interface Gráfica padrão Windows.
- e. Opera em IBM PC 386, 486, Pentium ou qualquer outro compatível.

f. Resolução gráfica padrão EGA, VGA, Super VGA, 8514 ou qualquer outra suportada pelo Windows.

g. Teclado, mouse, trackball, touch screen, light pen ou qualquer outro dispositivo compatível com Windows.

h. Suporte completo ao DDE Dynamic Data Exchange para troca de dados em tempo real com outros aplicativos Windows, tais como: Excel, Lotus for Windows, Access, etc. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

#### Desenho e Edição de Telas

a. Retângulo, polígono, botão 3D sombreado, círculo, elipse, linha, poli-linha, tendência de tempo real, tendência histórica, lista de alarmes, texto e importação/exportação de bitmaps. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

b. Poderosas ferramentas de edição gráfica para ajustes, sobreposição, espaçamento, rotação, inversão, duplicação eliminação, cópia, inserção, grade, undo, etc.

c. WIZARDS, objetos inteligentes pré-configurados para agilizar o desenvolvimento de aplicações.

d. Importações de desenhos de outras aplicações.

#### Tendência Histórica e Real

a. Número limitado de gráficos de tendências por tela ou por aplicação.

b. Exibição de até 4 penas por vez em um gráfico de tendências real ou histórica.

c. Troca de pena em tempo de execução.

d. Capacidade de expansão, compressão e centralização.

[VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## Janelas e Animação

- a. Número ilimitado de janelas em três tipos: troca, sobreposição e mensagens ao operador. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]
- b. Diferentes ligações de animações podem ser combinadas para produzir um conjunto ilimitado de efeitos de animação gráfica: entradas discretas, analógicas e alfanuméricas, deslocamento horizontal e vertical, botões on/off, botões de ação; botões para mostrar/esconder janelas; animação de cor de linha, cor de preenchimento e cor de texto; animação de altura e largura do objeto, animação de posição horizontal e vertical, animação de tamanho, percentual de preenchimento, visibilidade, saída discreta, analógica e alfanumérica, rotação, blink.
- c. Não há limite para o número de animações aplicadas a um objeto.

## Alarmes

- a. Não há limite para o número de alarmes.
- b. Possui 999 de prioridade e 8 níveis de agrupamento, cada um com até 166 subgrupos.
- c. Suporta alarmes de níveis muito alto, alto, baixo e muito baixo, taxa de mudança, desvio máximo e mínimo.
- d. Alarmes podem ser gravados em disco, mostrados em tela e impressos, com formato configuráveis.
- e. Seleção por grupo e/ou prioridade para exibição de histórico ou resumo de alarmes e reconhecimento. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## Relatórios e Cálculos

- a. Módulos de relatórios permitem a criação de relatórios de alarmes, eventos. Produção, monitoração, manutenção, etc. Os relatórios podem conter: valores mais recentes de variáveis do processo, valores armazenados e agregados (totais, médias) e exceções (alarme, máximo, mínimo).
- b. Emissão sob demanda ou automática, por horário e/ou evento.  
[VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## Banco de Dados

- a. Banco de dados de tempos real suporta valores discretos, inteiros, reais e strings, sendo que o número total de valores é limitado somente pela memória disponível.
- b. Definições do banco de dados podem ser importadas/exportadas de planilhas eletrônicas, outro banco de dados ou editores.
- c. Bancos de dados históricos armazenam dados de até 10 anos.

## Servidores DDE de E/S

- a. Comunicação eficiente com CLP'S através do Fast DDE.
- b. Otimização da leitura: somente são lidos valores que mudam na tela, valores de alarmes, valores gravados. Historicamente e valores usados em lógicas de background, reduzindo em média 50% do volume de comunicação.
- c. Drivers para os principais CLP'S, Single Loops, Multi Loops, Balanças e SDCD'S do mercado. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## Comunicação em Rede

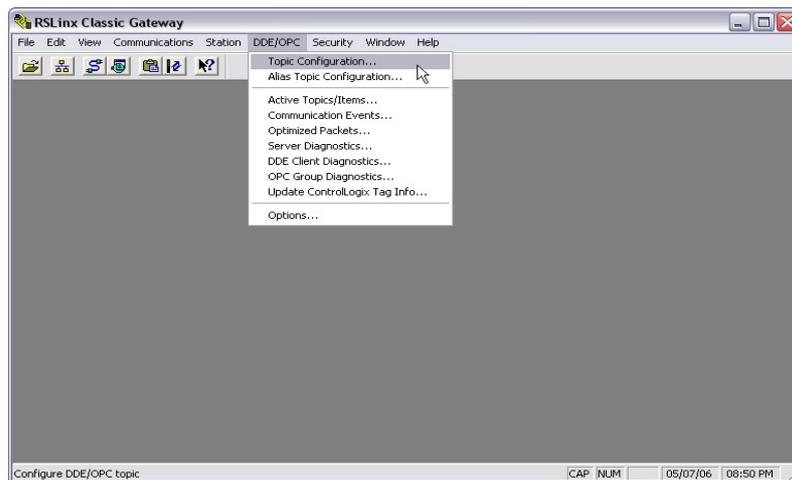
- a. Troca de dados em tempo real com outra estação InTouch ou com aplicativos Windows, rodando em outra máquina.
- b. DDE suportado sobre qualquer rede compatível com NetBIOS.  
[VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## Outras Características

- Proteção através de senhas e operações condicionais.
- Facilidade de ajuda on-line.
- Documentação impressa completa da tela e do banco de dados.
- Inicia, controla e envia comandos para outros aplicativos a partir do InTouch.

## Identificando os CLP's da aplicação

O InTouch comunica-se com o CLP através de um software chamado Driver de Comunicação (RSLinx) figura 2.15. É um software que basicamente captura os dados do CLP e envia para o InTouch, ou vice versa. Para cada tipo de comunicação e para cada modelo de CLP existe uma driver de comunicação. Este driver pode fazer a comunicação entre um ou mais CLP'S, o que é determinado na configuração do sistema.

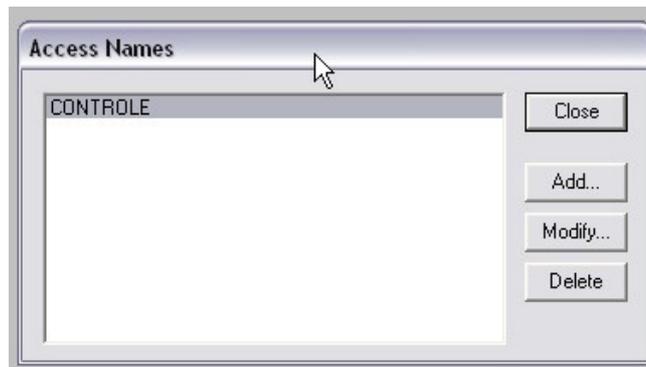


**Figura 2.15 – RSLinx / DDE (Dynamic Data Exchange)**

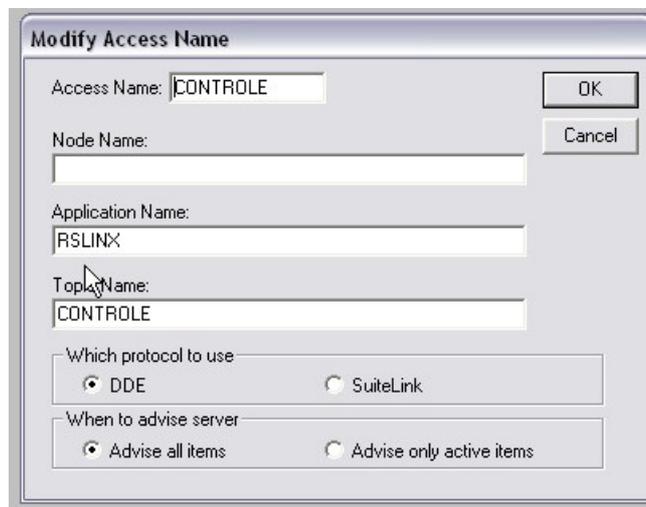
O campo “DDE Tópico Name” referente ao driver de comunicação equivale ao “DDE Access Name” do InTouch e é específico para cada CLP da aplicação. Assim para definirmos, no InTouch, a qual CPU um determinado equipamento pertence é necessário configurar o seu “DDE Access Name”.

Para criar ou modificar o DDE Access Name no InTouch, no menu Special, escolha a opção DDE Access Name conforme a figura 2.16 (a) e (b) define os nomes de acordo com as CPU'S da aplicação.

Desta maneira o projeto conterá DDE Access Name igual a “CONTROLE”.



(a)

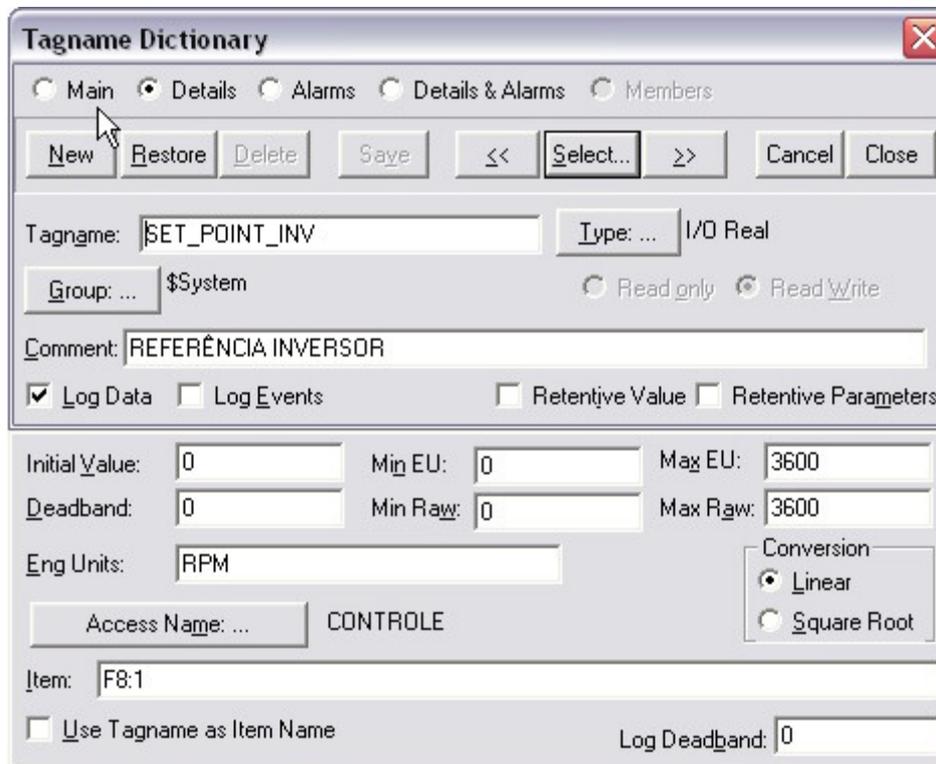


(b)

**Figura 2.16 a,b – Criando Access Names**

### Configurando a Base de Dados

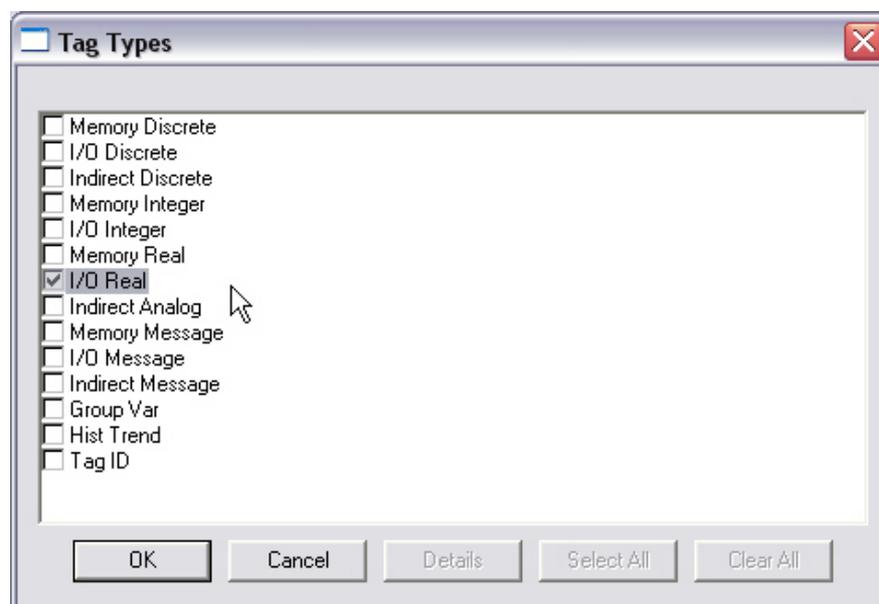
A base de dados contém a relação dos pontos definidos na área de interface. Com estes pontos é que serão feitas as animações das telas sinótico. Quando o programa do CLP é projetado estabelece-se uma faixa de endereços que será a área de interface do CLP com aplicativo. Uma lista com os pontos para animação e seus respectivos endereços é gerada pelo programador e esta lista contém os status, defeitos, etc., dos equipamentos da área a qual o CLP vai controlar. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]



**Figura 2.17 – Configuração da Base de Dados do aplicativo**

Para configurar a base de dados, no menu Special, escolher a opção Tagname Dictionary. A figura 2.17 nos mostra a tela de configuração da Base de Dados do aplicativo. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

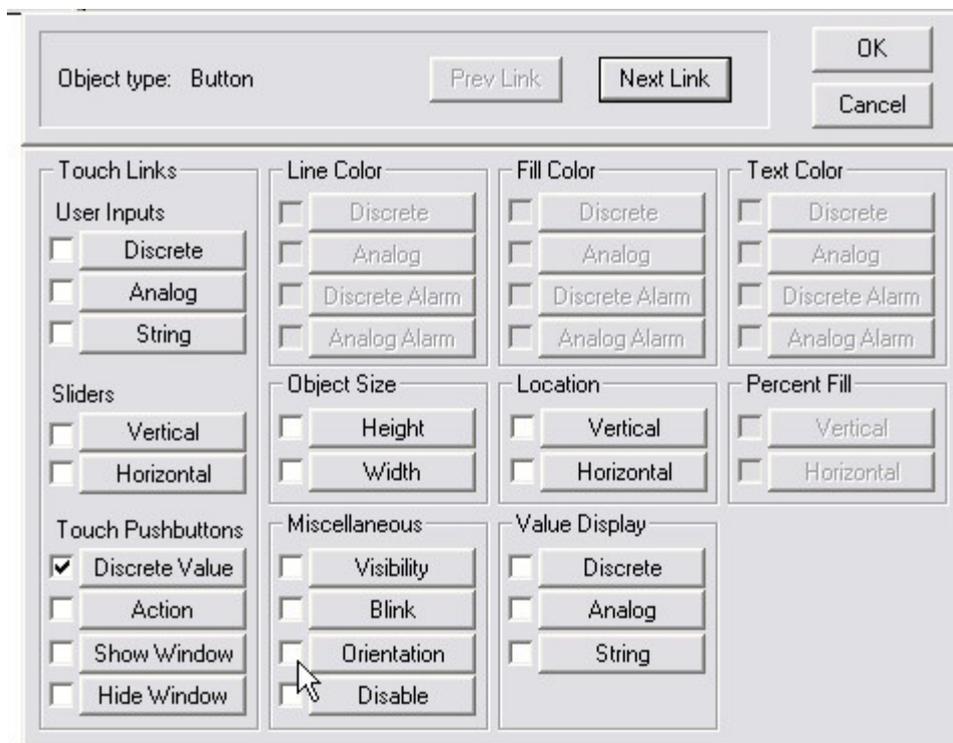
O item Tagname contém o mnemônico, Group é o Grupo de Alarmes define a área na qual o equipamento se encontra e Type é o tipo de variável que o tag representa (discreta, real, mensagem etc.) podendo ser uma variável interna (memória) ou tipo de DDE (que busca dados de outra aplicação). Conforme figura 2.18.



**Figura 2.18 – Criando Tipo de Variável**

O campo Comment é um texto que define o tag, por exemplo: “Referência Inversor”. Este texto será mostrado na tela de alarmes/eventos. Cada tag que for acessado via comunicação DDE possui um endereço definido pelos campos item e DDE Access Name, onde o segundo define o CLP em que o tag será lido/escrito e o primeiro define o endereço dentro deste CLP. A parte de alarmes define o estado (discreta) ou limites (analógicas) dos tags com que o supervisor irá gerar os alarmes. Log Data define a variável será armazenada no arquivo LOG para futuras consultas (histórico), e Log Events define se a variável será armazenada no arquivo ALG. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

O InTouch possui uma variedade de tipos de animações que podem ser associadas a uma objeto. A figura 2.19 nos mostra quais são estas animações.



**Figura 2.19 – Construindo uma animação**

- Entrada de Dados do Operador (User Inputs) – Aplicável a objetos, geralmente botões para entrada de parâmetros como set-points, códigos de acesso, etc. na configuração define-se o tipo de variável que será carregada (discreta, analógicas ou strings). [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

- Entrada de Valores (Sliders) – Define uma animação na qual o operador entra com um dado analógico associado à posição de um cursor. Este cursor pode variar horizontalmente ou verticalmente.

- Ações Associadas a Botões (Touch Pushbuttons) – Pode definir uma ação (script) ou uma entrada de dados discreta. Para uma entrada discreta atribui-se uma ação e a uma variável: set, reset, entrada direta ou reversa, mudança de estado (toggle).

- Variações de Cor (Line Color, Fill Color, Text Color) – Aplicáveis as linhas, objetos sólidos ou textos, alterando cor da linha, preenchimento e cor de texto. Os tipos de variações podem ser:

Discreta – Associa a um tag discreto ou expressão com resultado discreto uma cor específica para cada estado (0 e 1).

Analógica – Associa a uma tag analógico ou expressão com resultado analógico uma cor específica para cada faixa de valor.

Alarmes Discretos – Associa a uma alarme de uma dada variável discreta uma cor específica.

Alarmes Analógicos – Associa a um alarme de uma dada variável analógica uma cor específica para cada faixa de alarme. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

- Variações das Dimensões do Objeto (Object Size) – Varia a altura/largura do objeto de acordo com uma expressão/tag analógica.

- Variação da Posição do Objeto (Location) – De acordo com uma tag ou expressão é associado um deslocamento do objeto, podendo este deslocamento ser:

- da esquerda para direita ou vice versa

- de cima para baixo ou vice versa

- Preenchimento de um Objeto (percent fill) – De acordo com um tag ou expressão é associado um preenchimento que pode ser horizontal ou vertical.

- Animações diversas:

Visibilidade de um Objeto (Visibility): um tag ou expressão fornece um valor discreto de modo a definir a visibilidade do objeto. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

Blink de um Objeto (Blink): Idem à propriedade de visibilidade, porém modificando a propriedade de mudança de cor intermitentemente, de acordo com uma frequência pré definida. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

Rotação de um Objeto (Orientation): define segundo um tag ou expressão, uma orientação, em graus, de um objeto relativo à sua posição original.

Desabilitação de um Objeto (Disable): define se um objeto, geralmente um botão ou uma entrada de dados poderá ser disponibilizado para que o operador tenha acesso.

Mostra de Dados (value display): Mostra um determinado valor ou resultado de uma expressão na tela que pode ser do tipo discreta ou analógica, que é o mais comum ou uma string. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

É importante lembrar que quando maior o número de animações em uma determinada janela maior será o tempo para atualização e conseqüentemente mais lento será a visualização de um evento ocorrido no processo. Deste modo, é importante fazer as telas o quanto mais objetivas possíveis, evitando as animações supérfluas e desnecessárias.

Scripts são pequenas rotinas que o InTouch executa condicionada a algum evento que pode ser alteração de valor de uma variável, pressionamento de uma tecla, abertura de uma janela, etc. Estes scripts são feitos utilizando-se linguagem de alto nível com funções do tipo IF... THEN...ELSE...ENDIF. Estes Scripts também aumentam consideravelmente o tempo de atualização se não forem configurados corretamente.

O InTouch possui 5 tipos básicos de scripts. São eles:

- Application Scripts – São scripts que rodam segundo certos estados da aplicação. Estes estados são: On start-up (que será executado assim que se iniciar a aplicação), While Running (que será executada em quando a aplicação estiver ativa e de acordo com uma frequência pré-determinada) e On ShutDown (que será executado quando a aplicação for finalizada). É importante lembrar que o script While Running deve ser o menor possível para não sobrecarregar a aplicação, uma vez que ele será executado enquanto a aplicação estiver ativa.

- Window Script – idem à Application Scripts porém aplicável a janelas. Seus estados são: On Show, While Showing, On Hide.

- Key Scripts – Scripts associado a uma tecla. Seus estados são: On Key Down, While Down, On Key Up.

- Condition Scripts – Script associado a uma condição específica (expressão). Seus estados são: On True, While True, On False, While False.

- Data Change Scripts – Script associado à mudança de estado ou valor de uma variável qualquer. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

Os scripts são extremamente úteis nas animações de movimento como, por exemplo, simulação de ventiladores funcionando, fazendo a hélice girar, animações de roscas transportadoras, etc. A figura 2.20 mostra um exemplo de script.

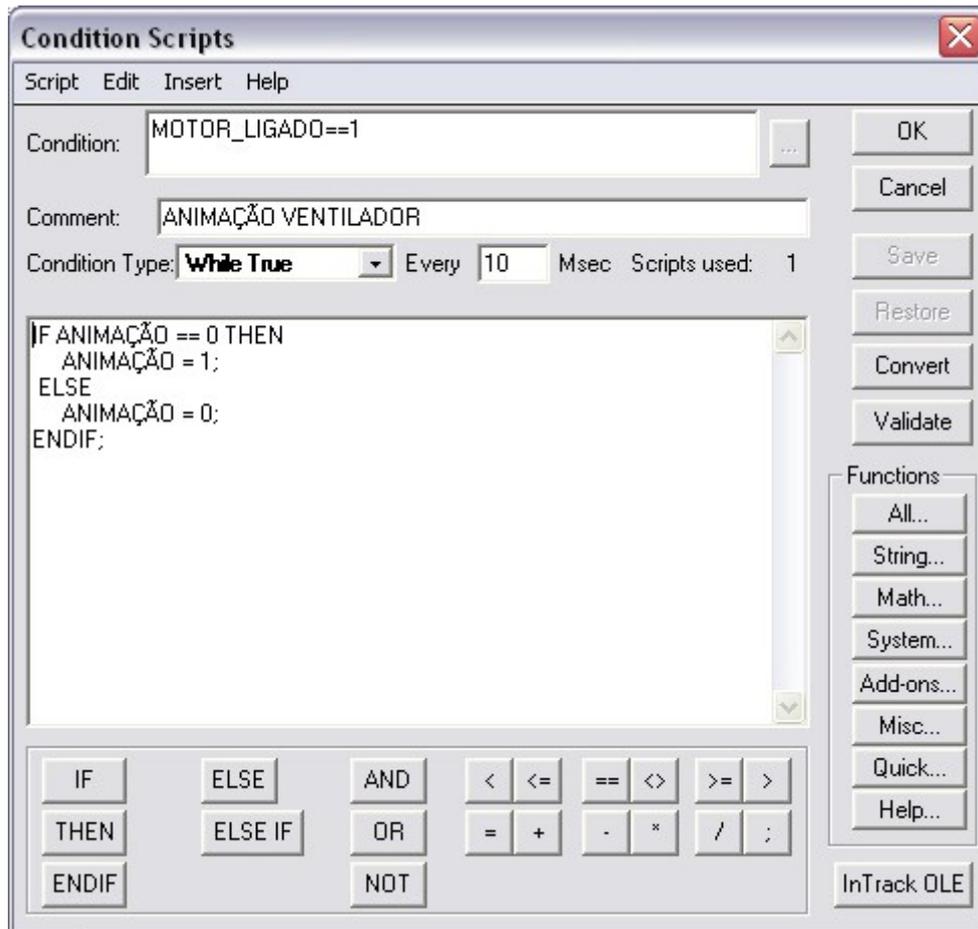


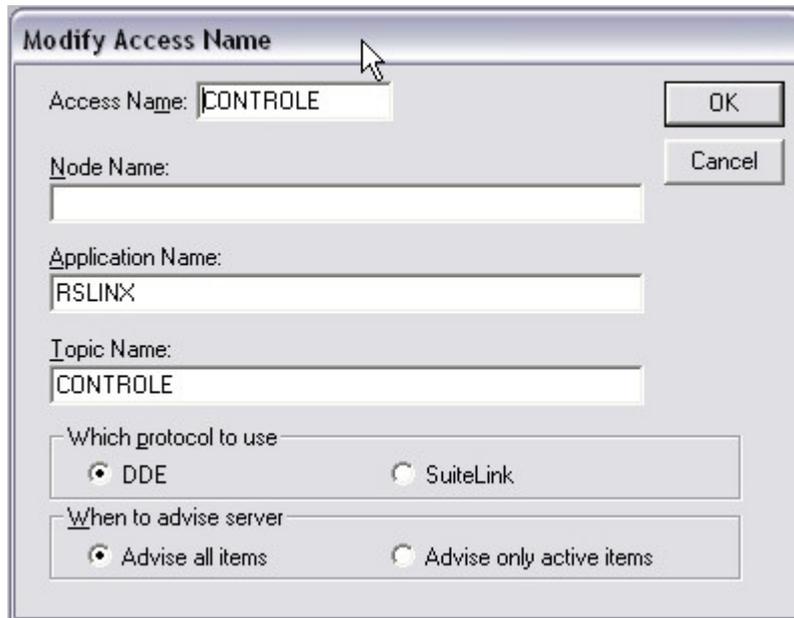
Figura 2.20 – Criando Scripts

DDE = Dynamic Data Exchange

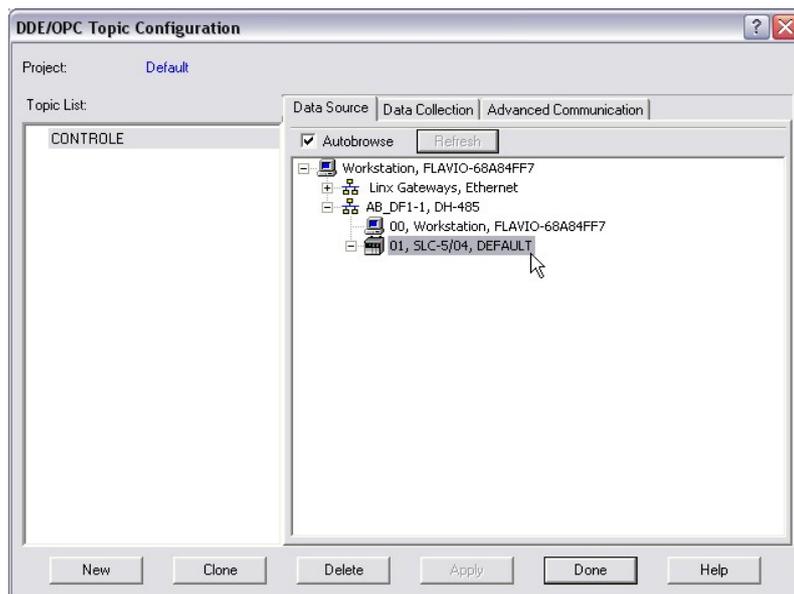
- É um protocolo de comunicação que permite recebimento e envio de dados entre aplicações Windows
- Este protocolo estabelece uma relação cliente-servidor entre as aplicações
- A aplicação servidora fornece os dados e aceita solicitações de qualquer outra aplicação interessada em seus dados
- A aplicação cliente solicita os dados. [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]

## O protocolo DDE

- Node Name: - nó onde está rodando a aplicação
  - se for na mesma máquina, não é necessário configurá-lo
- Application Name: nome do driver de comunicação (RSLinx)
- Topic Name: identifica um CLP específico, associado a uma configuração de rede (RSLinx). [VOTORANTIM CIMENTOS,2005]



**Figura 2.21 – Criando protocolo DDE**



**Figura 2.22 – Criando protocolo DDE**

## 2.4 Sensor de temperatura PT100

As termoresistências, bulbos de resistência, termômetro de resistência ou RTD (Resistance Temperature Detectors) são sensores que se baseiam no princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Elas aumentam a resistência com o aumento da temperatura. Esta termoresistência tem sua curva padronizada conforme norma DIN-IEC 751-1985 e tem como características uma resistência de  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ . Convencionou-se chamá-la de Pt-100, (fios de platina com  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ). Sua faixa de trabalho vai de  $-200$  a  $650^{\circ}\text{C}$ , porém a ITS-90 padronizou seu uso até  $962^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. [SENAI,1999]

As termoresistências, bulbos de resistência, termômetro de resistência ou RTD são sensores que se baseiam no princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Elas aumentam a resistência com o aumento da temperatura.

Seu elemento sensor consiste de uma resistência em forma de fio de platina de alta pureza, de níquel ou de cobre (menos usado) encapsulado num bulbo de cerâmica ou de vidro. [SENAI,1999]

Entre estes materiais, o mais utilizado é a platina, pois apresenta uma ampla escala de temperatura, uma alta resistividade permitindo assim uma maior sensibilidade, um alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura, uma boa linearidade resistência x temperatura e também por ter rigidez e dutibilidade para ser transformada em fios finos, além de ser obtida em forma puríssima. Padronizou-se então a termoresistência de platina. [SENAI,1999]

A equação matemática 2.2 que rege a variação de resistência em função da temperatura chama-se de equação Callendar-Van Dusen:

Para o range de  $-200$  a  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$R_t = R_0 \cdot [1 + At + Bt^2 + Ct^3 \cdot (t - 100)] \quad (2.2)$$

**Equação 2.2 Callendar-Van Dusen**

Para o range de 0 a 850°C:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (2.3)$$

**Equação 2.3 Callendar-Van Dusen**

Onde:

$R_t$  = resistência na temperatura  $R_0$  = resistência a 0°C

$t$  = temperatura °C

A, B e C = coeficientes determinados pela calibração:

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$B = 5,802 \cdot 10^{-7} \text{ (}^\circ\text{C}^{-2}\text{)}$$

$$C = -4,27350 \cdot 10^{-12} \text{ (}^\circ\text{C}^{-4}\text{)}$$

O número que expressa a variação da resistência em função da temperatura é chamado de alfa ( $\alpha$ ) e se relaciona da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} \quad (2.4)$$

**Equação 2.4 Callendar-Van Dusen**

Onde:

$R_{100}$  = resistência a 100°C

$R_0$  = resistência a 0°C

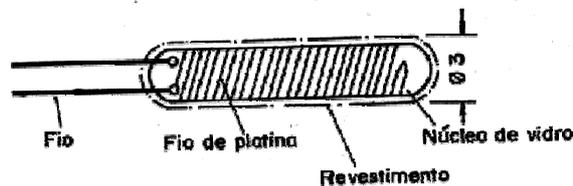
Um valor típico de alfa para  $R_{100} = 138,50 \ \Omega$  é de  $3,850 \cdot 10^{-3} \ \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ , segundo a DIN-IEC 751/85. [SENAI,1999]

### Construção Física do Sensor

O bulbo de resistência se compõe de um filamento, ou resistência de Pt, Cu ou Ni, com diversos revestimentos, de acordo com cada tipo e utilização. As termoresistências de Ni e Cu têm sua isolamento normalmente em esmalte, seda, algodão ou fibra de vidro. Não existe necessidade de proteções mais resistentes à temperatura, pois acima de 300°C o níquel perde suas características de funcionamento como termoresistência e o cobre sofre problemas de oxidação em temperaturas acima de 310°C. [SENAI,1999]

Os sensores de platina, devido a suas características, permitem um funcionamento até temperaturas bem mais elevadas, têm seu encapsulamento normalmente em cerâmica ou vidro. A este sensor são dispensados maiores cuidados de fabricação, pois, apesar do Pt não restringir o limite de temperatura de utilização, quando a mesma é utilizada em temperaturas elevadas, existe o risco de contaminação dos fios. [SENAI,1999]

#### a) Elemento isolante tipo vidro de selagem



**Figura 2.23 Isolante de Vidro**

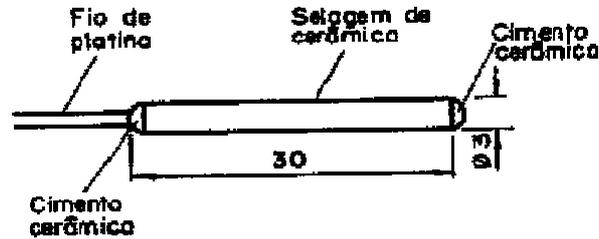
**Fonte:** SENAI, Espírito Santo. **Instrumentação Básica II Vazão, Temperatura e Analítica.** p. 95. Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1999.

Ao bobinar o fio de platina, devem-se manter, em cada passo, distâncias iguais, como medida de segurança, evitando, assim, quando submetidos a altas temperaturas, contactarem entre si e, por conseguinte, não entrarem em curto-circuito. Outro fator importante em bobinar o fio com distâncias paralelas iguais, é evitar o ruído indutivo. [SENAI,1999]

Por não ter contato direto com o exterior e apresentar ausência de condensação em temperaturas baixas, é utilizado para temperaturas na faixa de -269,15°C a 450°C e funciona como elemento isolante. [SENAI,1999]

Tamanho - O diâmetro varia de 1 mm a 4 mm, e o comprimento, de 10 mm a 40 mm. [SENAI,1999]

#### b) Elemento isolante do tipo cerâmica



**Figura 2.24 Isolante de cerâmica**

**Fonte:** SENAI, Espírito Santo. **Instrumentação Básica II Vazão, Temperatura e Analítica.** p. 95. Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1999.

Neste elemento isolante o fio de platina, após bobinar a cerâmica, é envolto por uma selagem de cerâmica. [SENAI,1999]

Por ser o coeficiente de dilatação da cerâmica muito pequeno em relação à platina, ao bobinar, projetar e fazer a construção com fio de resistência, deve-se levar em consideração a deformação do mesmo, de acordo com a temperatura de utilização. A faixa de utilização do elemento isolante tipo cerâmica é de até 800°C. Tamanho - Diâmetro 1,6 mm a 3 mm, comprimento de 20 mm a 30 mm.

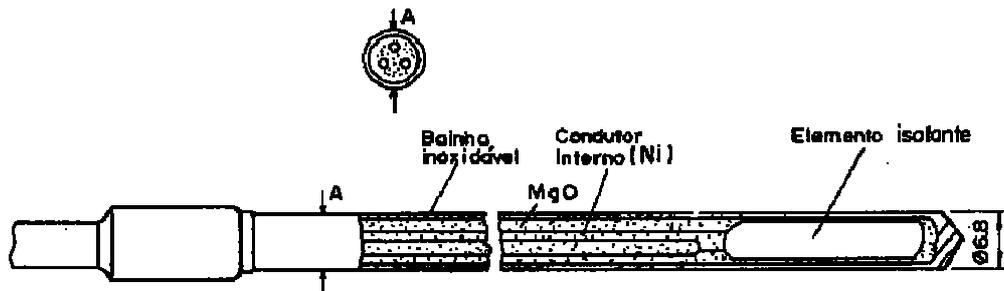
### c) Bulbo de resistência tipo isolamento mineral (Bainha)

Neste tipo de bulbo de resistência, coloca-se o elemento isolante e o condutor interno dentro de um tubo fino de aço inoxidável com óxido de magnésio ou outros elementos, de acordo com a necessidade do processo em síntese. Por não possuir camada de ar dentro do tubo, tem boa precisão na resposta. Tem grande capacidade para suportar oscilação. Por ser dobrável, de fácil manutenção e instalação, é utilizado em lugares de difícil acesso. [SENAI,1999]

O elemento usado como protetor do condutor é de tipo vidro de selagem e cerâmica de selagem. [SENAI,1999]

O bulbo de resistência tipo bainha, é fino e flexível. Seu diâmetro varia de 2,0 mm a 4,0 mm. [SENAI,1999]

A figura 2.25 mostra um bulbo de resistência tipo bainha.



**Figura 2.25 Bulbo de resistência tipo bainha**

Fonte: SENAI, Espírito Santo. **Instrumentação Básica II Vazão, Temperatura e Analítica.** p. 96. Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1999.

#### Bulbo de Resistência Tipo Pt-100 $\Omega$

O sensor utilizado no projeto foi o Pt-100

A termoresistência de platina é a mais usada industrialmente devido a sua grande estabilidade e precisão. Esta termoresistência tem sua curva padronizada conforme norma DIN-IEC 751-1985 e tem como características uma resistência de 100 $\Omega$  a 0°C. [SENAI,1999]

Convencionou-se chamá-la de Pt-100, (fios de platina com 100 $\Omega$  a 0°C).

Sua faixa de trabalho vai de -200 a 650°C, porém a ITS-90 padronizou seu uso até 962°C aproximadamente. [SENAI,1999]

Os limites de erros e outras características das termoresistências são referentes às normas DIN-IEC 751/1985. [SENAI,1999]

A seguir encontra-se uma tabela relacionando a variação de resistência com a temperatura conforme norma DIN seguidos pelos principais fabricantes no Brasil.

Tabela 2.5 – Tabela de variação de resistência

TABELA DE VARIAÇÃO DA RESISTENCIA COM A TEMPERATURA PARA BULBO DE RESISTENCIA (PT 100)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>0</b>	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51	103,90	<b>0</b>
<b>10</b>	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40	107,79	<b>10</b>
<b>20</b>	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,29	111,67	<b>20</b>
<b>30</b>	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15	115,54	<b>30</b>
<b>40</b>	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01	119,40	<b>40</b>
<b>50</b>	119,40	119,78	120,17	120,55	120,94	121,32	121,71	122,09	122,47	122,86	123,24	<b>50</b>
<b>60</b>	123,24	123,63	124,01	124,39	124,78	125,16	125,54	125,93	126,31	126,69	127,08	<b>60</b>
<b>70</b>	127,08	127,46	127,84	128,22	128,61	128,99	129,37	129,75	130,13	130,52	130,90	<b>70</b>
<b>80</b>	130,90	131,28	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,57	133,95	134,33	134,71	<b>80</b>
<b>90</b>	134,71	135,09	135,47	135,85	136,23	136,61	136,99	137,37	137,75	138,13	138,51	<b>90</b>
<b>100</b>	138,51	138,88	139,26	139,64	140,02	140,40	140,78	141,16	141,54	141,91	142,29	<b>100</b>
<b>110</b>	142,29	142,67	143,05	143,43	143,80	144,18	144,56	144,94	145,31	145,69	146,07	<b>110</b>
<b>120</b>	146,07	146,44	146,82	147,20	147,57	147,95	148,33	148,70	149,08	149,46	149,83	<b>120</b>
<b>130</b>	149,83	150,21	150,58	150,96	151,33	151,71	152,08	152,46	152,83	153,21	153,58	<b>130</b>
<b>140</b>	153,58	153,96	154,33	154,73	155,08	155,46	155,83	156,20	156,58	156,95	157,33	<b>140</b>
<b>150</b>	157,33	157,70	158,07	158,45	158,82	159,19	159,56	159,94	160,31	160,68	161,05	<b>150</b>
<b>160</b>	161,05	161,43	161,80	162,17	162,54	162,91	163,29	163,66	164,03	164,40	164,77	<b>160</b>
<b>170</b>	164,77	165,14	165,51	165,89	166,26	166,63	167,00	167,37	167,74	168,11	168,48	<b>170</b>
<b>180</b>	168,48	168,85	169,22	169,59	169,96	170,33	170,70	171,07	171,43	171,80	172,17	<b>180</b>
<b>190</b>	172,17	172,54	172,91	173,28	173,65	174,02	174,38	174,75	175,12	175,49	175,86	<b>190</b>
<b>200</b>	175,86	176,22	176,59	176,96	177,33	177,69	178,06	178,43	178,79	179,16	179,53	<b>200</b>
<b>210</b>	179,53	179,89	180,26	180,63	180,99	181,36	181,72	182,09	182,46	182,82	183,19	<b>210</b>
<b>220</b>	183,19	183,55	183,92	184,28	184,65	185,01	185,38	185,74	186,11	186,47	186,84	<b>220</b>
<b>230</b>	186,84	187,20	187,56	187,93	188,29	188,66	189,02	189,38	189,75	190,11	190,47	<b>230</b>
<b>240</b>	190,47	190,84	191,20	191,56	191,92	192,29	192,65	193,01	193,37	193,74	194,10	<b>240</b>
<b>250</b>	194,10	194,46	194,82	195,18	195,55	195,91	196,27	196,63	196,99	197,35	197,71	<b>250</b>
<b>260</b>	197,71	198,07	198,43	198,79	199,15	199,51	199,87	200,23	200,59	200,95	201,31	<b>260</b>
<b>270</b>	201,31	201,67	202,03	202,39	202,75	203,11	203,47	203,83	204,19	204,55	204,90	<b>270</b>
<b>280</b>	204,90	205,26	205,62	205,98	206,34	206,70	207,05	207,41	207,77	208,13	208,48	<b>280</b>
<b>290</b>	208,48	208,84	209,20	209,56	209,91	210,27	210,63	210,98	211,34	211,70	212,05	<b>290</b>
<b>300</b>	212,05	212,41	212,76	213,12	213,48	213,83	214,19	214,54	214,90	215,25	215,61	<b>300</b>
<b>310</b>	215,61	215,96	216,32	216,67	217,03	217,38	217,74	218,09	218,44	218,80	219,15	<b>310</b>
<b>320</b>	219,15	219,51	219,86	220,21	220,57	220,92	221,27	221,63	221,98	222,33	222,68	<b>320</b>
<b>330</b>	222,68	223,04	223,39	223,74	224,09	224,45	224,80	225,15	225,50	225,85	226,21	<b>330</b>
<b>340</b>	226,21	226,56	226,91	227,26	227,61	227,96	228,31	228,66	229,02	229,37	229,72	<b>340</b>
<b>350</b>	229,72	230,07	230,42	230,77	231,12	231,47	231,82	232,17	232,52	232,87	233,21	<b>350</b>
<b>360</b>	233,21	233,56	233,91	234,26	234,61	234,96	235,31	235,66	236,00	236,35	236,70	<b>360</b>
<b>370</b>	236,70	237,05	237,40	237,74	238,09	238,44	238,79	239,13	239,48	239,83	240,18	<b>370</b>
<b>380</b>	240,18	240,52	240,87	241,22	241,56	241,91	242,26	242,60	242,95	243,29	243,64	<b>380</b>
<b>390</b>	243,64	243,99	244,33	244,68	245,02	245,37	245,71	246,06	246,40	246,75	247,09	<b>390</b>

## 2.5 Motores Elétricos

Motor elétrico é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização da energia elétrica – baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. Os tipos mais comuns de motores elétricos são:

a. Motores de corrente contínua

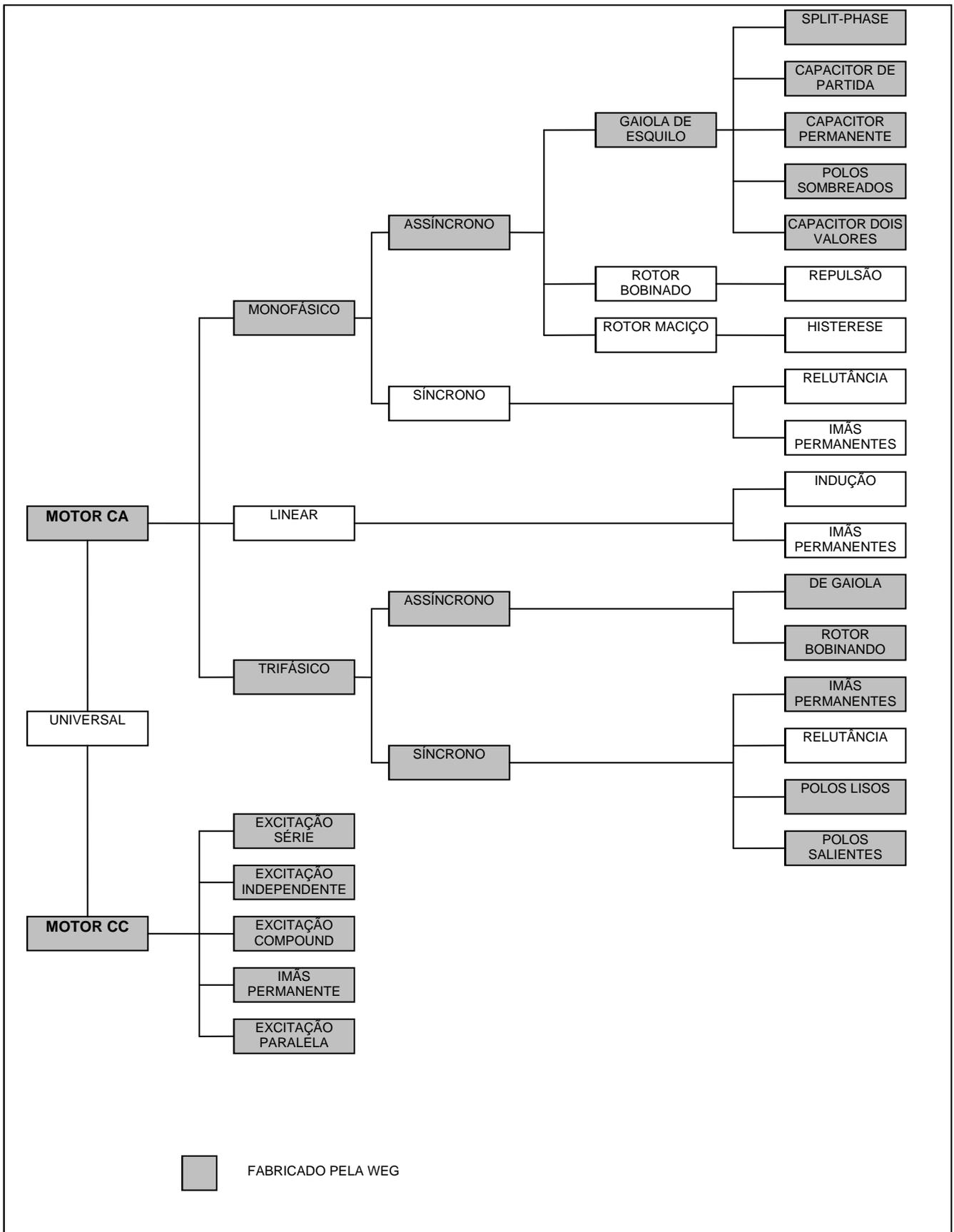
São motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação.

b. Motores de corrente alternada

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são:

- Motor síncrono: funciona com velocidade fixa; utilizado somente para grande potências (devido ao seu alto custo e tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável.

- Motor de indução: funciona normalmente com uma velocidade constante que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devida a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.[WEG,2006]



**Figura 2.26 Universo Tecnológico de Motores elétricos**

Fonte: WEG, **Motores Elétricos**, Linhas de Produtos / Características / Especificação / Instalação / Manutenção.p.D3 2006.

São apresentados a seguir os conceitos de algumas grandezas básicas, cuja compreensão é necessária para melhor acompanhar as explicações das outras partes deste manual. [WEG,2006]

O conjugado (também chamado torque, momento ou binário) é a medida do esforço necessário para girar um eixo. [WEG,2006]

A “potência elétrica”, em circuitos de corrente contínua, pode ser obtida através da relação da tensão (U), corrente (I) e resistência (R) envolvidas no circuito, ou seja:

$$P = U \cdot I \quad (\text{W}) \quad (2.5)$$

**Equação 2.5 Equação de Potência Elétrica em corrente contínua**

ou,

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (\text{W}) \quad (2.6)$$

**Equação 2.6 Equação de Potência Elétrica em corrente contínua**

ou,

$$P = RI^2 \quad (\text{W}) \quad (2.7)$$

**Equação 2.7 Equação de Potência Elétrica em corrente contínua**

Onde: U = tensão em volt  
I = corrente em ampére  
R = resistência em ohm  
P = potência média em watt

## Circuitos de corrente alternada

### a) Resistência

No caso de “resistências”, quanto maior a tensão da rede, maior será a corrente e mais depressa a resistência irá se aquecer. Isto quer dizer que a potência elétrica será maior. A potência elétrica absorvida da rede, no caso de resistência, é calculada multiplicando-se a tensão da rede pela corrente, se a resistência (carga), for monofásica.

$$P = U_f \times I_f \quad (\text{W}) \quad (2.8)$$

#### **Equação 2.8 Equação de Potência Elétrica em Corrente Alternada**

No sistema trifásico a potência em cada fase da carga será  $P_f = U_f \times I_f$ , como se fosse um sistema monofásico independente. A potência total será a soma das potências das três fases, ou seja:

$$P = 3P_f = 3 \times U_f \times I_f \quad (2.9)$$

#### **Equação 2.9 Equação de Potência Elétrica em Corrente Alternada**

Lembrando que o sistema trifásico é ligado em Estrela ou Triângulo, temos as seguintes relações:

$$\text{Ligação Estrela: } U = \sqrt{3} \cdot U_f \quad \text{e} \quad I = I_f$$

$$\text{Ligação Triângulo: } U = U_f \quad \text{e} \quad I = \sqrt{3} \cdot I_f$$

Assim, a potência total, para ambas as ligações, será:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (\text{W}) \quad (2.10)$$

#### **Equação 2.10 Equação de Potência Elétrica em Cargas Resistivas**

OBS.: Esta expressão vale para a carga formada por resistências, onde não há defasagem da corrente. [WEG,2006]

b) *Cargas reativas*

Para as “*cargas reativas*”, ou seja, onde existe defasagem, como é o caso dos motores de indução, esta defasagem tem que ser levada em conta e a expressão fica:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (W) \quad (2.11)$$

**Equação 2.11 Equação de Potência Elétrica em Cargas Reativas**

Onde U e I são, respectivamente, tensão e corrente de linha e  $\cos \varphi$  é o ângulo entre a tensão e corrente de linha e  $\cos \varphi$  é o ângulo entre a tensão e a corrente de fase. [WEG,2006]

A unidade de medida usual para potência elétrica é o watt (W), correspondente a 1 volt x 1 ampère, ou seu múltiplo, o quilowatt = 1.000 watts. Esta unidade também é usada para medida de potência mecânica. [WEG,2006]

A unidade de medida usual para energia elétrica é o quilo-watt-hora (kWh) correspondente à energia fornecida por uma potência de 1kW funcionando durante uma hora – é a unidade que aparece, para cobrança, nas contas de luz. [WEG,2006]

Potência Aparente ( S )

É o resultado da multiplicação da tensão pela corrente ( $S = U \times I$  para sistemas monofásicos e  $S = \sqrt{3} \times U \times I$ , para sistemas trifásicos). Corresponde à potência que existiria se não houvesse defasagem da corrente, ou seja, se a carga fosse formada por resistências. Então,

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (VA) \quad (2.12)$$

**Equação 2.12 Equação de Potência Elétrica em Cargas Reativas**

Evidentemente, para as cargas resistivas,  $\cos \varphi = 1$  e a potência ativa se confunde com a potência aparente. [WEG,2006]

A unidade de medidas para potência aparente é o volt-ampère (VA) ou seu múltiplo, o quilo-volt-ampère (kVA). [WEG,2006]

### Potência Ativa (P)

É a parcela da potência aparente que realiza trabalho, ou seja, que é transformada em energia. [WEG,2006]

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \text{ ( W ) ou } P = S \cdot \underline{\cos\varphi} \text{ ( W )} \quad (2.13)$$

#### Equação 2.13 Equação de Potência Ativa

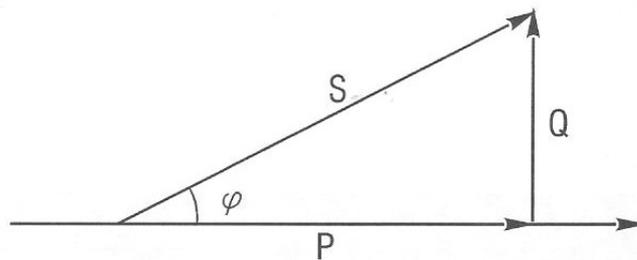
### Potência Reativa (Q)

É a parcela da potência aparente que “não” realiza trabalho. Apenas é transferida e armazenada nos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito. [WEG,2006]

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin\varphi \text{ ( V Ar ) ou } Q = S \cdot \underline{\sin\varphi} \text{ ( VAr )} \quad (2.14)$$

#### Equação 2.14 Equação de Potência Reativa

### Triângulo de potências

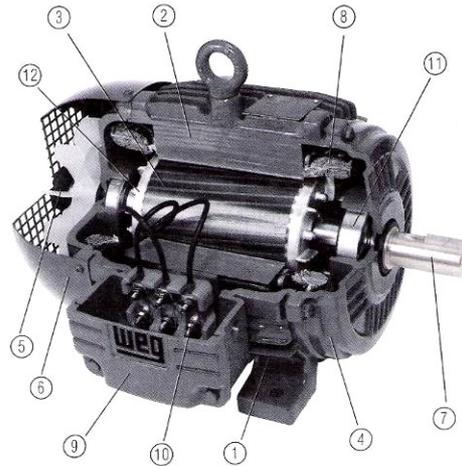


**Figura 2.27 Triângulo de Potência para Carga Indutiva**

**Fonte:** WEG, **Motores Elétricos**, Linhas de Produtos / Características / Especificação / Instalação / Manutenção.p.D5 2006

## Motor de indução trifásico

O motor de indução trifásico (figura 2.29) é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor. [WEG,2006]



**Figura 2.28 Motor de Indução trifásico**

**Fonte:** WEG, **Motores Elétricos**, Linhas de Produtos / Características / Especificação / Instalação / Manutenção.p.D9 2006

### *Estator*

- Carcaça (1) – é a estrutura do conjunto; de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com aletas.
- Núcleo de chapas (2) – as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas no ferro.
- Enrolamento trifásico (8) – três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.

### *Rotor*

- Eixo (7) – transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga.
- Núcleo de chapas (3) – as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
- Barras e anéis de curto-circuito (12) – são de alumínio injetado sob pressão numa única peça. [WEG,2006]

Outras partes do motor de indução trifásico:

- Tampa (4)
- Ventilador (5)

- Tampa defletora (6)
- Caixa de ligação (9)
- Rolamentos (11) [WEG,2006]

O foco deste manual é o “motor de gaiola”, cujo rotor é constituído de um conjunto de barras não isoladas e interligadas por anéis de curto-circuito.

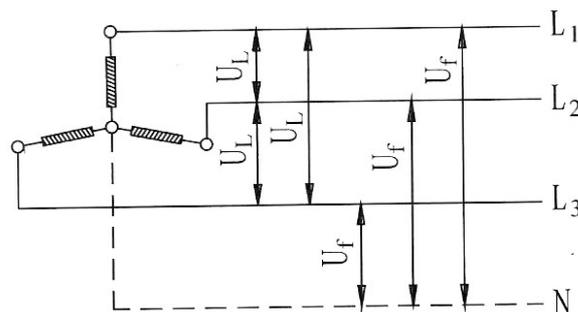
O que caracteriza o motor de indução é que só o estator é ligado à rede de alimentação. O rotor não é alimentado externamente e as correntes que circulam nele, são induzidas eletromagneticamente pelo estator, donde o seu nome de motor de indução. [WEG,2006]

No Brasil, o sistema de alimentação pode ser monofásico ou trifásico. O sistema monofásico é utilizado em serviços domésticos, comerciais e rurais, enquanto o sistema trifásico, em aplicações industriais, ambos em 60Hz. [WEG,2006]

As tensões trifásicas mais usadas nas redes industriais são:

- Baixa tensão: 220V, 380V e 440V
- Média tensão: 2.300 V, 4,160 V e 6.600 V

O sistema trifásico estrela de baixa tensão, consiste de três condutores de fase (L1, L2, L3) e o condutor neutro (N), sendo este, conectado ao ponto estrela do gerador ou secundário dos transformadores (conforme mostra figura 2.29). [WEG,2006]



**Figura 2.29 – Sistema Trifásico**

**Fonte:** WEG, **Motores Elétricos**, Linhas de Produtos / Características / Especificação / Instalação / Manutenção.p.D11 2006

As tensões monofásicas padronizadas no Brasil são as de 127V (conhecida como 110V) e 220V. Os motores monofásicos são ligados à duas fases (tensão de linha U<sub>l</sub>) ou à uma fase e o neutro (tensão de fase U<sub>f</sub>). Assim, a tensão nominal do motor monofásico deverá ser igual à tensão U<sub>f</sub> ou U<sub>l</sub>, do sistema. [WEG,2006]

Quando vários motores monofásicos são conectados ao sistema trifásico (formado por três sistemas monofásicos), deve-se tomar o cuidado para distribuí-los de maneira uniforme, evitando-se assim, desequilíbrio entre as fases. [WEG,2006]

#### Dados do motor utilizado no Projeto

- Motor de indução trifásico assíncrono de gaiola, “WEG”.
- Potência 0.37 KW / 0,5 cv
- Tensão 220 / 380 V
- Corrente 1.87 / 1.08 A
- Fechamento  $\Delta$  / Y
- Velocidade 3410 rpm
- Grau de proteção IP 55
- $\cos\phi$  0.78
- Fator de serviço 1.15

## CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO

O Hardware utilizado para realização do projeto foi um CLP Rockwell SLC500, uma CPU 5/04 com 32 K de memória, um Inversor de Frequência CFW09 – WEG , um motor trifásico – WEG de 0,5 cv, uma fonte de CLP SLC500 1746 P2 Rockwell, um cabo de comunicação RS232, um Módulo de Entrada Analógica 1746-NR4 (RTD) Rockwell, um Módulo de Entrada Analógica 1746-NI4 Rockwell, um Módulo de Saída Analógica 1746-NO4I Rockwell, um Módulo de Entrada Digital 1746-IM16 Rockwell, um Módulo de Saída Digital 1746-OA16 Rockwell, um Módulo de Saída Digital 1746-OX8 Rockwell e um sensor de temperatura PT100 ECIL. Ainda foram utilizados cabos elétricos, Disjuntores, Resistência de 250W e uma madeira de 0,8 x 1 metro para efetuar a montagem.

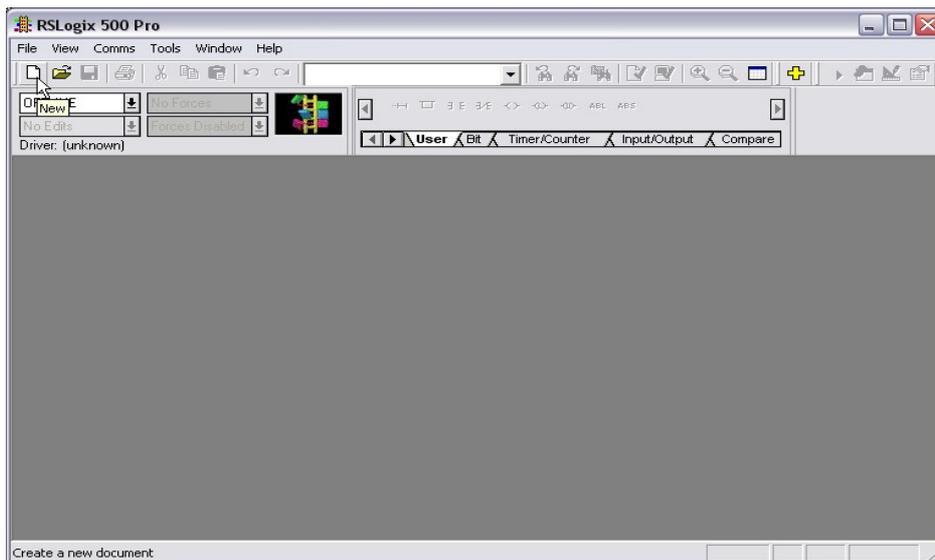
Para confecção do duto de ar foi utilizado um papel mais rígido com o nome de Papel Panamá. Para a função de ventilador, foi utilizada uma Ventoinha de motor de 0,5 cv montada na ponta do eixo do motor.



Figura 3.30– Visão geral

Foram utilizados os softwares: RSLogix500, RSLinx e o InTouch para desenvolver toda parte programação e animação de telas no micro computador. O Windows utilizado foi o XP.

O software RSLogix500 (figura 3.30) foi utilizado para a programação do Controlador Lógico Programável (CLP), onde foi desenvolvido todo diagrama Ladder.



**Figura 3.31– RSLogix500**

O Software de comunicação utilizado foi o RSLinx (figura 3.31), onde foi utilizada a comunicação serial RS232.



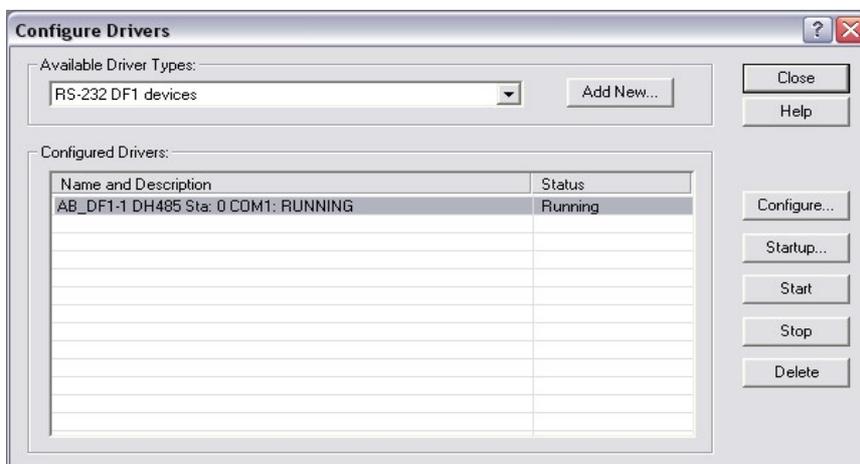
**Figura 3.32– RSLinx**

O Software para a criação das telas do Supervisório foi o InTouch Windowmaker (figura 3.33)



**Figura 3.33– InTouch**

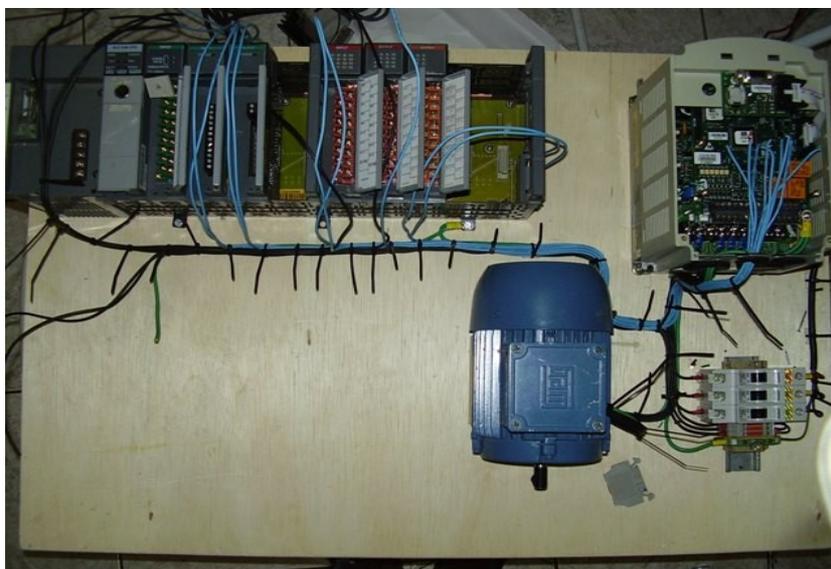
A comunicação entre o CLP e o micro computador é realizada através da interface serial RS-232 (figura 3.34) A figura 2.34 mostra o Driver RS-232 já em execução, ou seja, em Running.



**Figura 3.34– Configurando o Driver RS-232**

A primeira etapa da montagem física do projeto consiste na preparação da madeira na qual foi montado toda estrutura, com fixação do Rack do CLP onde foi instalado a fonte, CPU e cartões. Foram instalados também o Inversor de Frequência, o Motor, a Resistência elétrica e o Sensor de temperatura PT100. Conforme APÊNDICE I.

A segunda etapa foi a montagem elétrica, interligações entre os equipamentos e aterramento de todos equipamentos. Destacando que o Inversor de Frequência, o CLP e a Resistência elétrica, ambos possuem alimentação independente, ou seja, disjuntores individualizados e a parte de aterramento, pois a segurança está em primeiro lugar. Conforme APÊNDICE II e figura 3.35.



**Figura 3.35 – Montagem elétrica**

A terceira etapa do projeto foi a parte de parametrização do Inversor de Frequência.

A quarta etapa foi a programação do CLP e o desenvolvimento do supervisor. A programação do CLP foi desenvolvida em linguagem Ladder conforme APÊNDICE III. Todo o histórico do CLP está no ANEXO I. A programação do CLP está estruturada em três Ladders (arquivos) sendo eles: LAD 2 – PRINCIPAL, LAD 3 – MOTOR E LAD 4 – PID conforme APÊNDICE IV.

Descrevendo cada Ladder criado:

- LAD 2 – PRINCIPAL: foi criado os jumpers para sub-rotina e conversão de escalas de entradas/saídas analógicas. O motivo dessa conversão é que o CLP trabalha com valores de 0 a 16383 (para entradas/saídas de corrente de 4 a 20 mA) e -2000 a 8700 para entradas de resistência RTD (PT100). Essa conversão foi necessária para leitura das faixas de medições de 0 a 3600 RPM, de 0 a 400°C e 0 a 3A.

- LAD 3 – MOTOR: onde foi criado todo comando e intertravamento do Inversor, motor e CLP.

- LAD 4 – PID: onde foi criado o bloco de instrução PID responsável por todo controle da Malha.

Foi criado janela de comando para ligar e desligar o motor, animação das imagens criadas, criação da janela de inserção de valores PID e leitura das variáveis como também gráfico de tendência real (on-line). Conforme figura 3.36.

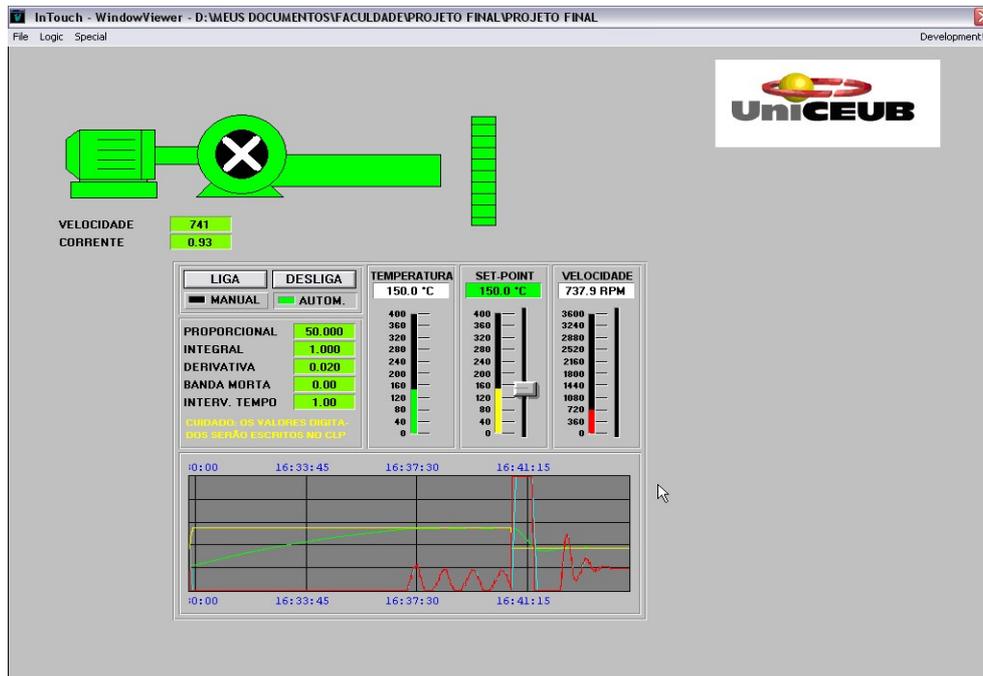


Figura 3.36 - Janela de comando e visualização

Conforme figura 3.37 foram criados todos os Access Names (os nomes a serem lidos pelo Supervisório / RSLinx).

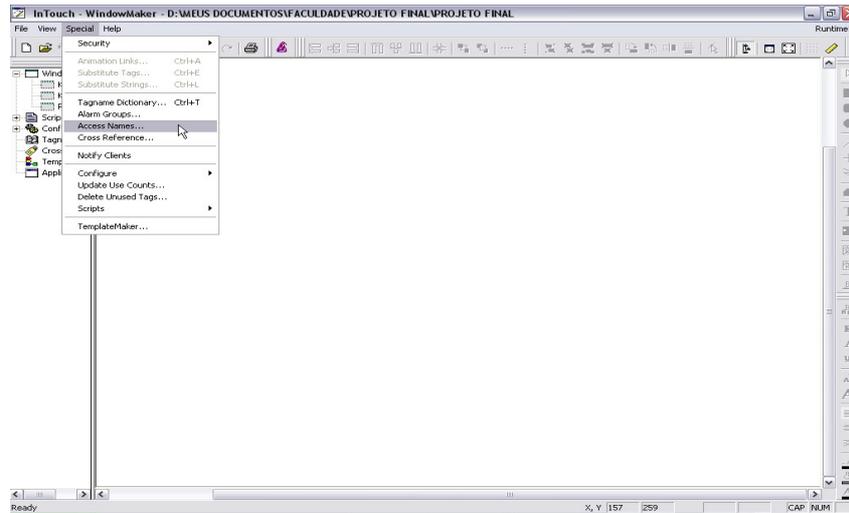


Figura 3.37 - Criando os Access Names

A quinta etapa foi a parte de ajuste e testes da Malha operando em automático conforme APÊNDICE V e Figura 3.38

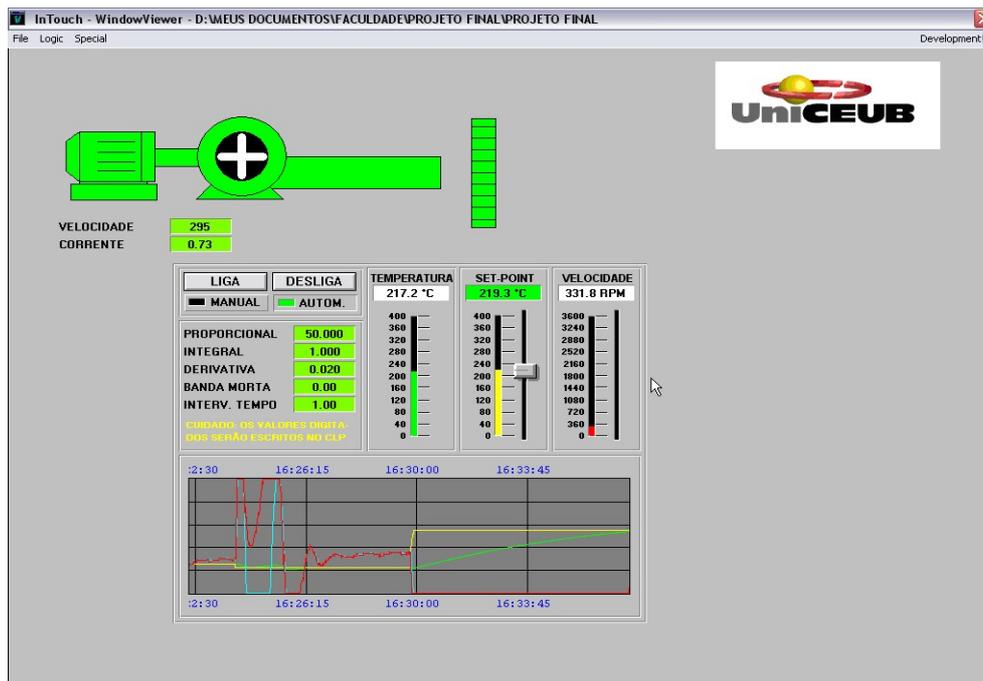


Figura 3.38 - Ajustes do PID

## CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO

O desenvolvimento do projeto foi obtido com êxito em todas as etapas: montagem física e elétrica, parametrização do Inversor, a programação do CLP, o desenvolvimento do supervisor e o ajuste do PID.

Houve dificuldade no ajuste da Malha PID ocasionado pela utilização do procedimento descrito no Manual do CLP. Somente com exaustivos testes é que foi encontrado os valores adequados para o ajuste do PID.

O sistema de controle PID é utilizado amplamente em controles de processos industriais controlados por CLP ou outros tipos de controladores devido à resposta precisa, facilidade de implementação para vários tipos controles: temperatura, pressão, vazão, velocidade, etc.

Portanto, o objetivo de utilizar a automação industrial para obter resultados mais rápidos, com custo baixo, aperfeiçoar processos, garantir resultados precisos com confiabilidade e qualidade do produto final foi alcançado. Destacando que no mercado já existe equipamentos similares com maior capacidade e tecnologia com custo ainda menor.

A utilização de técnicas de controle em Malha Fechada para obter um processo totalmente automatizado em tempo real através do Supervisor In Touch, resultou na obtenção de valores de temperatura determinado pelo operador ou usuário, utilizando um controle automático em Malha Fechada com a instrução de controle PID do CLP (Controlador Lógico Programável).

### **Propostas de trabalhos futuros:**

Como proposta futura para novos projetos sugiro a implementação de um banco de dados para armazenagem de log's de eventos e de gráficos.

Criação de novas telas e aumento de variáveis de controles, criando outros blocos de PID.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CARVALHO, Geraldo. **Maquinas Elétricas - Teoria e Ensaio**. Editora Erica Ltda, 2006 – 1ª edição.
- [17] CHEMTECH [**Home Page**]. 2007. Disponível em: <<http://www.chemtech.com.br/>>. Acesso em: 06 maio 2007.
- [16] ECIL [**Home Page**]. 2007. Disponível em: <<http://www.ecil.com.br/>>. Acesso desde início de 2007.
- [3] ECIL, **Termometria Princípios e Aplicações**. ECIL S/A Produtos e Sistemas de Medição e Controle – Divisão de Temperatura Industrial, 3ª edição 1992.
- [8] In Touch. **Apostila de Configuração / Net DDE**. 2005 - Votorantim Cimentos.
- [9] In Touch. **Manual Técnico**. Votorantim Cimentos | Cimento Rio Branco S/A – Divisão de Manutenção Elétrica, 2005.
- [13] Michigan Technological University [**Home Page**]. 2007. Disponível em: <<http://www.chem.mtu.edu>> <<http://www.chem.mtu.edu/~tbco/cm416/zn.html>>. Acesso em: 06 maio. 2007.
- [12] Rockwell Automation – Centro Treinamento e Performance Rockwell, **Conjunto de Instruções SLC500 Software de Programação**, Rockwell, Agosto 1999.
- [10] Rockwell Automation, **Conjunto de Instruções SLC500 – Programação RSLogix500**. Rockwell, 1998.
- [11] Rockwell Automation, **Manual de Instalação e Operação SLC500**, Rockwell, Janeiro 1998.
- [14] Rockwell Automation [**Home Page**]. 2007. Disponível em: <<http://www.ab.com>>. Acesso desde 2006.
- [7] SENAI, Espírito Santo. **Instrumentação Básica II Vazão, Temperatura e Analítica**. Companhia Siderúrgica de Tubarão, 1999.
- [2] SIGHIERI, Luciano / AKIYOSHI, Nishinari, **Controle Automático de Processos Industriais Instrumentação**. 2ª edição.
- [15] WEG [**Home Page**]. 2006. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso desde 2006.
- [6] WEG, **Inversor CFW09 – Manual Inversor Frequência Software 1.9X**, 2005.
- [5] WEG, **Inversor CFW09 – Manual Inversor Frequência Software 3.7X**, 2006.
- [4] WEG, **Motores Elétricos**, Linhas de Produtos / Características / Especificação / Instalação / Manutenção. 2006.

## ANEXO

### Anexo I – Histórico do CLP

Com o crescimento das necessidades, o homem tem desenvolvido máquinas cada vez mais complexas de serem operadas, quer pela velocidade com que executam suas tarefas, quer pela quantidade de operações simultâneas, quer pela precisão requerida ou pela qualidade do produto.

Isto criou limitações no relacionamento Homem-Máquina, levando o homem a transferir cada vez mais tarefas humanas às máquinas. A necessidade de transferir tarefas humanas às máquinas deu origem aos Controladores Lógico Programáveis.

O controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo eletrônico que controla máquinas e processos. Utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas que incluem controle de energização/desenergização, temporização, contagem, seqüenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados.

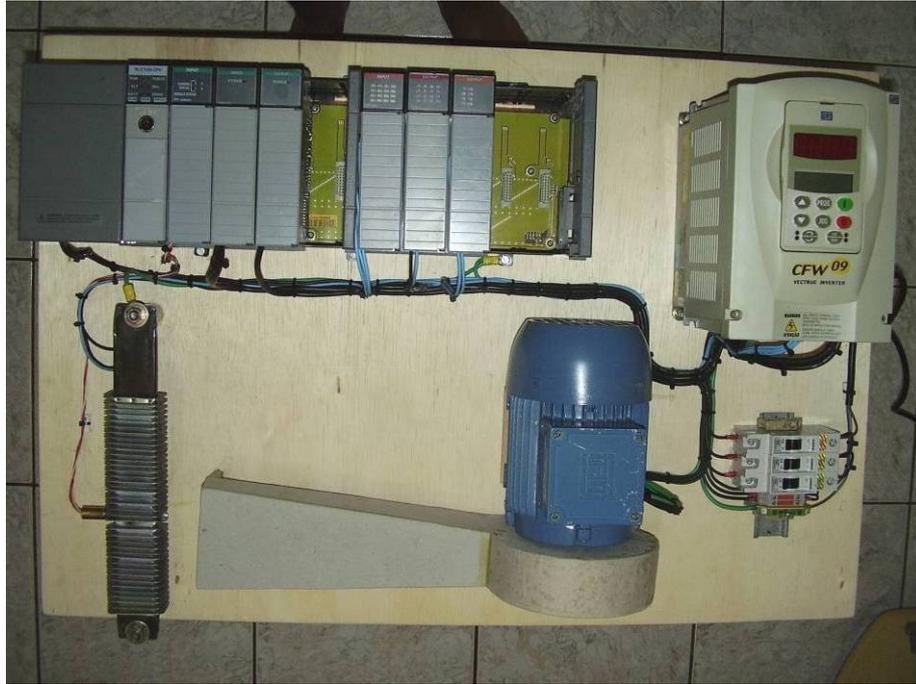
O desenvolvimento dos CLPs começou em 1968 em resposta a uma requisição da Divisão Hidráulica da General Motors. Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia os sentimentos de muitos usuários de comandos a relés, não só da indústria manufatureira. Naquela época, a General Motors freqüentemente passava dias ou semana alterando sistemas de controle baseado em relés, sempre que mudava um modelo de carro ou introduzia modificações na linha de montagem. Para reduzir o custo de instalação decorrente destas alterações, a especificação de controle da GM necessitava de um sistema de estado sólido, com a flexibilidade de um computador, mas que pudesse ser programado e mantido pelos engenheiros e técnicos da fábrica. Também era preciso que suportasse o ar poluído, a vibração, o ruído elétrico e os extremos de umidade e temperatura encontrados normalmente num ambiente industrial.

Os primeiros CLPs foram instalados em 1969, fazendo sucesso quase imediato. Funcionando como substituto de relés, até mesmo estes primeiros CLPs eram mais confiáveis do que sistemas baseados em relés, principalmente devido à robustez de seus componentes de estado sólido quando comparados às peças móveis dos relés eletromecânicos. Os CLPs permitem reduzir os custos materiais de materiais, mão de

obra, instalação e localização de falhas ao reduzir a necessidade de fiação e erros associados. Os CLPs ocupavam menos espaço do que os contadores, temporizadores e outros componentes de controle anteriormente utilizados o qual associados a possibilidade de serem reprogramados permitiram uma maior flexibilidade para trocar os esquemas de controle. Talvez, a razão principal da aceitação dos CLPs pela indústria foi que a linguagem inicial de programação que foi baseada nos diagramas ladder e símbolos elétricos usados normalmente pelos eletricitistas. A maior parte do pessoal de fábrica já estava treinada em lógica ladder, adotando-a rapidamente nos CLPs. Na verdade, a lógica Ladder ainda tem um papel importante na programação e localização de falhas, mesmo com as linguagens mais “avançadas” de programação desenvolvidas posteriormente. **Fonte: [Rockwell Automation do Brasil Maio de 2007]**

# APÊNDICE I

Foto geral do projeto



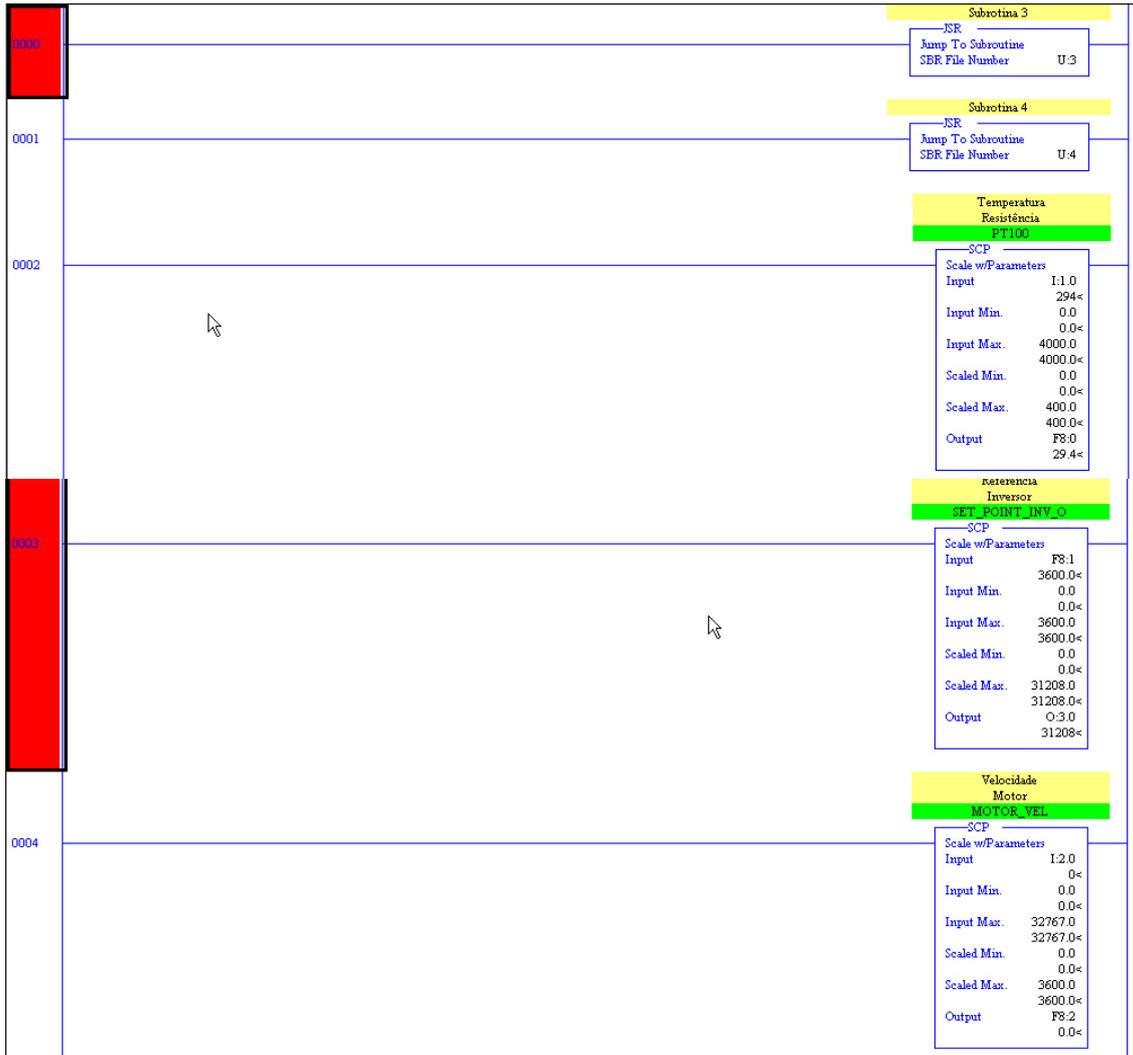
## APÊNDICE II

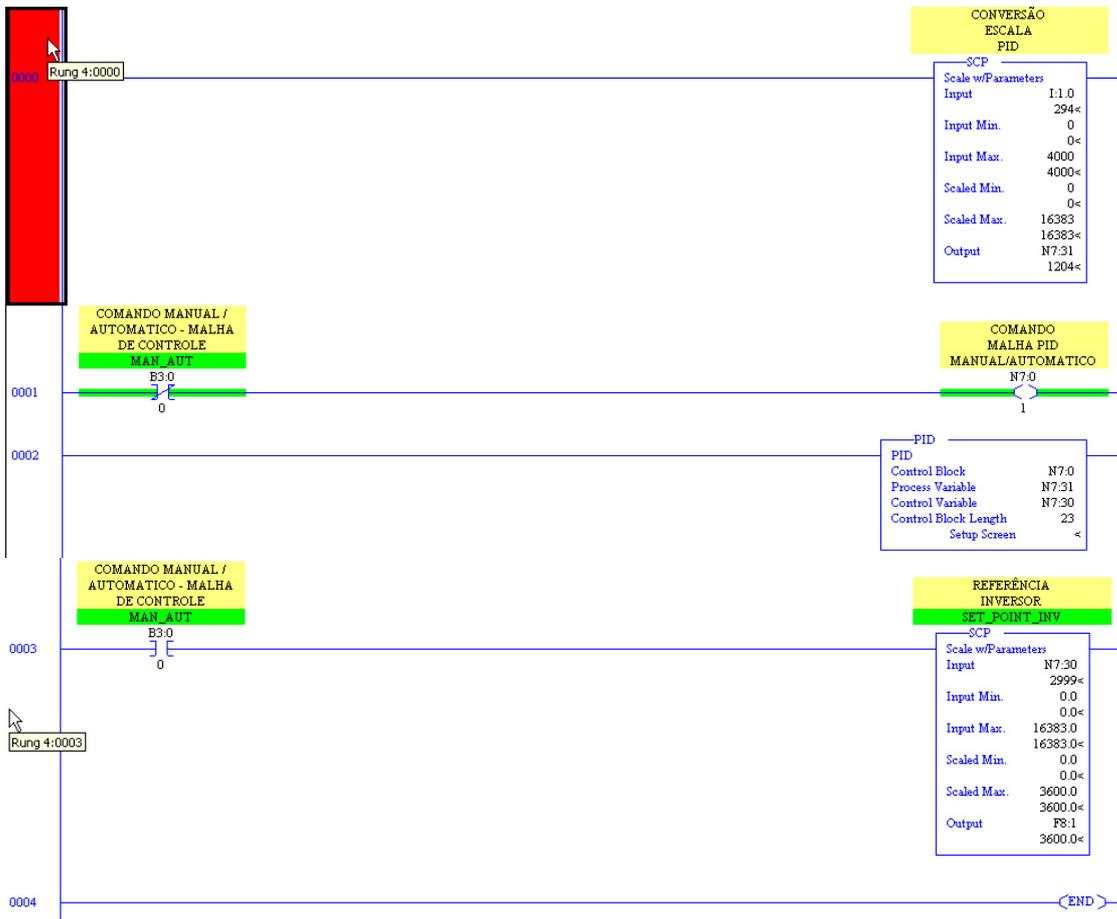
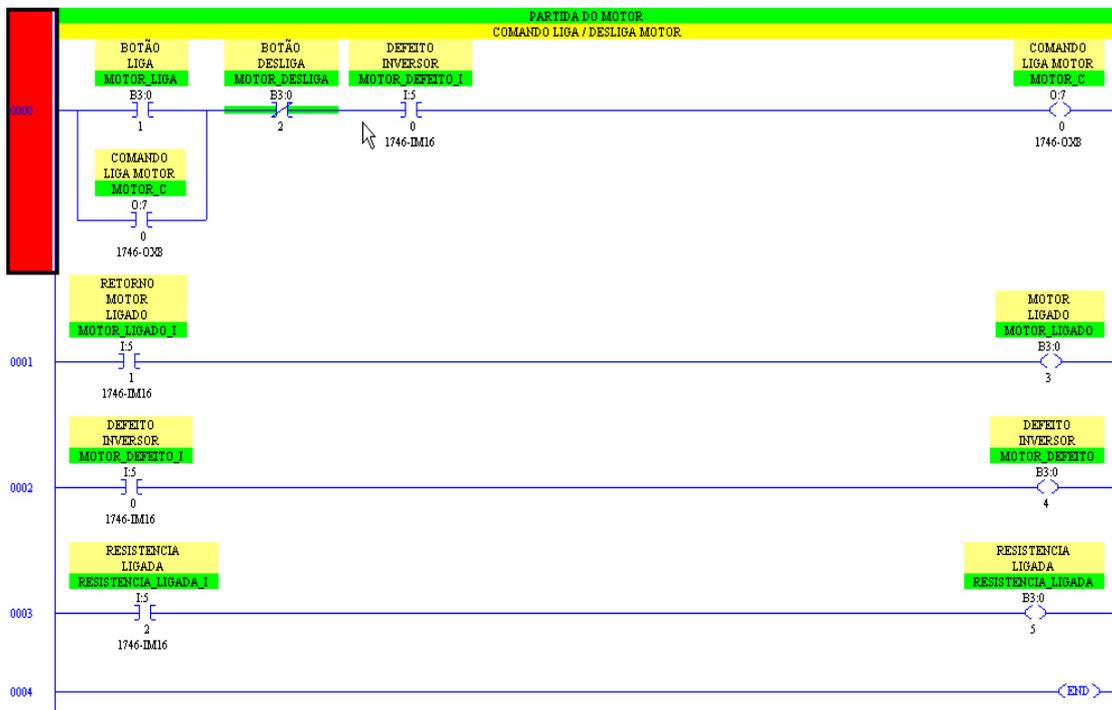
Foto montagem com aterramento.



# APÊNDICE III

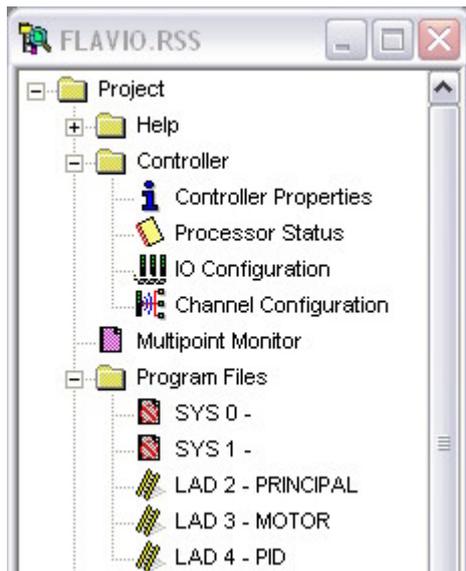
## Diagrama Ladder





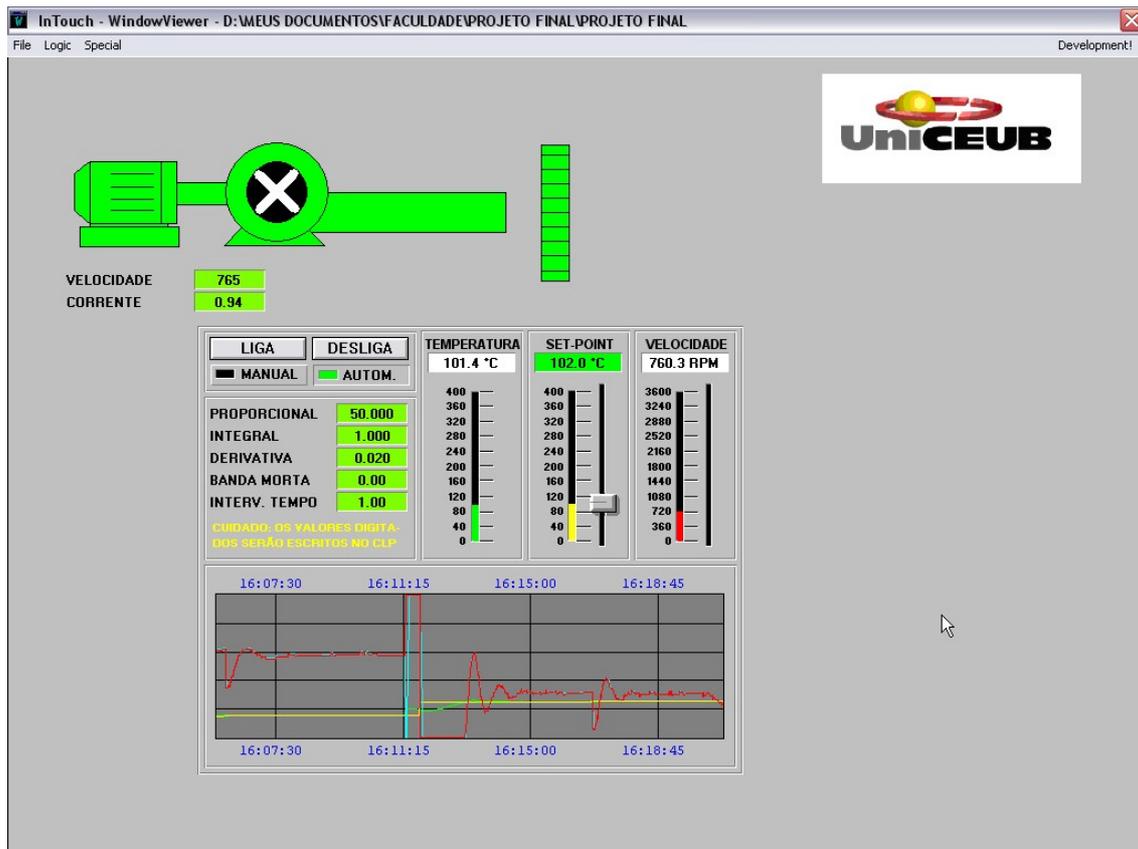
## APÊNDICE IV

### Arquivos Ladder

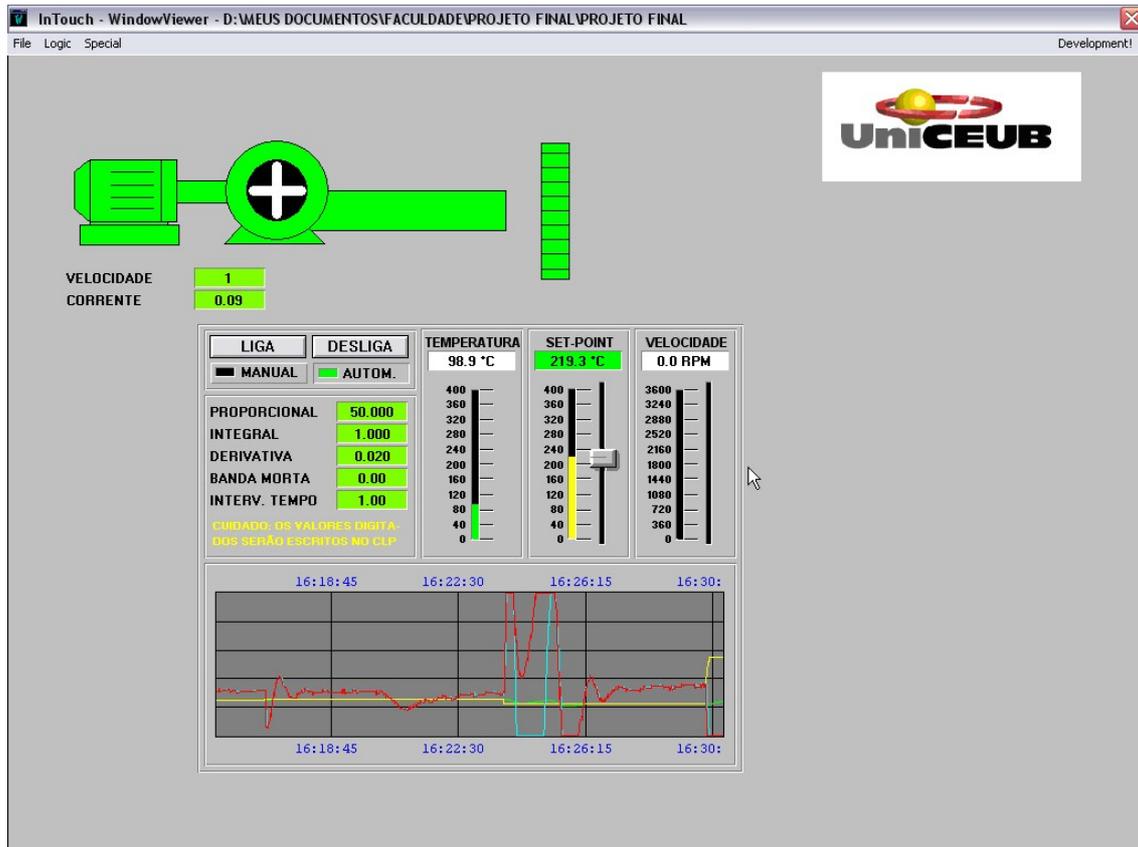


# APÊNDICE V

## Ajuste do PID



# Ajuste do PID



# Ajuste do PID

