



**UNIVERSIDADE  
SÃO FRANCISCO**

**Curso de Engenharia Elétrica**

**CONTROLE DE SERVOMOTOR**

**Marcelo Moreto**

Itatiba – São Paulo – Brasil

Dezembro de 2007



**UNIVERSIDADE  
SÃO FRANCISCO**

**Curso de Engenharia Elétrica**

## **CONTROLE DE SERVOMOTOR**

**Marcelo Moreto**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade São Francisco de Itatiba, sob a orientação do Prof. Marcus Vinicius Ataide, como exigência para a conclusão do curso.

**Orientador:** Prof. Marcus Vinicius Ataide

Itatiba – São Paulo – Brasil

Dezembro de 2007

# **Controle de Servomotor**

**Marcelo Moreto**

Monografia defendida e aprovada em 10 de dezembro de 2007 pela **Banca Examinadora** assim constituída:

---

**Prof Eng. Marcus Vinicius Ataide (Orientador)**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

---

**Prof Eng. Josemar dos Santos(Membro Interno)**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

---

**Prof Eng. Carlos Rodrigo Davelli (Membro Interno)**

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre confiaram em mim e que nunca me deixaram desistir dos meus sonhos, agradeço também aos meus amigos que sempre tentaram levantar minha moral quando eu estava mau, agradeço ao meu colegas de faculdade que sempre quando precisava deles eles estavam prontos para me atender, agradeço principalmente ao meu professor e orientador Marcus Vinicius Ataide pois sem ele esse trabalho não chegaria ao seu final, e por fim agradeço a Deus que me deu força a cada dia para continuar a viver.

## **Sumário**

Lista de Siglas.....	6
Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	8
Resumo.....	9
<b>1 Introdução</b> .....	10
<b>2 Revisão Bibliográfica</b> .....	12
2.1 Controle.....	12
2.1.1 Sistema de Controle de Malha Aberta.....	12
2.1.2 Sistema de Controle de Malha Fechada.....	13
2.2 Conceitos de Servomotor.....	14
2.3 Características do Servomotor.....	14
2.4 Funcionamento do Servomotor.....	15
2.5 Sensores do Servomotor.....	15
2.5.1 Resolver.....	15
2.5.2 Encoder Incremental.....	16
2.5.3 Encoder Absoluto.....	17
2.5.4 Sensor Hall .....	18
2.5.5 Tacogerador .....	18
2.6 Tecnologia Profibus.....	19
<b>3 Materiais e Métodos</b> .....	22
3.1 Materiais .....	22
3.2 Métodos de Montagem.....	23
3.2.1 Montagem do Driver e Servomotor.....	23
3.2.2 Parametrização do Servomotor .....	23
3.2.3 Parametrização do Driver .....	24
3.2.4 Configuração do CLP .....	26
3.2.5 Programação do CLP .....	27
<b>4 Resultados</b> .....	30
<b>5 Conclusão</b> .....	31
<b>6 Referencia Bibliográfica</b> .....	32
<b>7 Anexos</b> .....	33
7.1 Anexo I – Servomotor CC.....	33
7.2 Anexo II – Servomotor Brushless .....	38
7.3 Anexo III – Arquivo GSD .....	40
7.4 Anexo IV – Programa CLP .....	44

## LISTA DE SIGLAS

TTL – Transistor Transistor Logic  
I – Corrente  
B – Densidade de Fluxo magnético  
CC – Corrente Contínua  
AC – Corrente Alternada  
L – Indutor  
V – Velocidade  
F – Força  
CLP – Controlador Lógico Programável  
IHM – Interface Homem Máquina  
CNC – Comando Numérico Computadorizado  
WorldFIP – Protocolo da Instrumentação da Fábrica do Mundo  
I/O – Input / Output  
Bit – Binary Digit  
Byte – oito bits  
PWM - *Pulse Width Modulation* - Modulação por Largura de Pulso

## **Lista de Figuras**

Figura 1 Sistema de controle malha aberta.....	12
Figura 2 Sistema de controle malha fechada .....	13

Figura 3 Resolver .....	16
Figura 4 Componentes de um encoder incremental.....	16
Figura 5 Sinais de um encoder incremental.....	17
Figura 6 Disco encoder absoluto.....	17
Figura 7 Comando completo .....	23
Figura 8 Parâmetros do Servomotor .....	24
Figura 9 Status do Driver.....	25
Figura 10 Configuração ProfiBus DP .....	26
Figura 11 Configuração do CLP.....	27
Figura 12 Arquivo GSD .....	27
Figura 13 Programa do CLP.....	28
Figura 14 Tela da IHM .....	29
Figura 15 Servomotor DC.....	33
Figura 16 Teoria de Faraday.....	33
Figura 17 Teoria de Faraday 2.....	33
Figura 18 Campo Magnético.....	34
Figura 19 Campo magnético 2.....	35
Figura 20 Onda de uma bobina.....	36
Figura 21 Servomotor de CC.....	37
Figura 22 Rotor e estator.....	38
Figura 23 Servomotor Brushless.....	38

## Lista de Tabelas

Tabela 1 IEC 61158-2 e o modelo OSI.....	19
Tabela 2 Modelo de referência OSI.....	20

MORETO, Marcelo. **CONTROLE DE SERVOMOTOR**. 2007. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica - Universidade São Francisco Campos de Itatiba.

## **RESUMO**

As informações presentes nesta monografia visam detalhar como funciona o comando de um driver monitorando velocidade e posição de um servo motor Brushless via Profibus DP, possibilitando assim, um amplo entendimento dessa tecnologia que vem inovando o ramo da automação industrial. Profibus DP é uma rede de transmissão de dados entre dispositivos de um determinado sistema de produção, entre duas áreas distintas. Neste trabalho de conclusão de curso, procurou-se apresentar um detalhamento teórico sobre a tecnologia Servo Motor e Driver, além de demonstrar os benefícios que essa nova tecnologia pode proporcionar, podendo citar como exemplo em máquinas comando numérico lógico (CNC), Linha de produção entre outras. Esta aplicação vem sendo usada em vários setores industriais e vem sendo desenvolvido um estudo para que essa tecnologia seja empregada no ramo automotivo, pólos petroquímicos entre outros.

## **1-. Introdução**

Desde o começo dos tempos, o homem foi aproveitando tudo o que a natureza colocou ao seu redor. Assim, para facilitar e agilizar seu trabalho, empregou diversas espécies animais como burros, cavalos, bois e outros. A competitividade do mercado evoluiu e exigiu o aumento da produtividade, obrigando a substituição de animais por máquinas e comandos.

Nos tempos atuais, esta competitividade está ainda maior e com tendências assustadoras. Alta produtividade, capacidade de se trabalhar com estoques reduzidos, rapidez e qualidade são os quesitos básicos para a permanência de uma empresa no mercado.

Atualmente, a automação é o resultado de necessidades, idéias e trabalhos. Contudo, nos tempos atuais, houve total integração nas áreas de engenharia, o que resultou nos mais diversos projetos de sistemas para infinitos tipos de aplicações, utilizando modernas tecnologias de altíssima qualidade e que nos dão alta precisão nos mais variados processos. Como exemplo, na área de movimento linear temos as guias lineares, fusos de esferas e patins de esferas com precisões elevadíssimas, na área de eletrônica existem driver controladores, inversores de frequência, servomotores com *encoders* de alta precisão e equipamentos com elevada capacidade de sobrecarga e dinâmica. Na área de comando existem controlador lógico programável (CLP's) modernos com alta capacidade de processamento, interfaces de visualização gráfica e *softwares* modernos que integram todos estes sistemas em um só programa.

O protótipo de um controle de servomotor usa todas estas tecnologias para executar funções pré-determinadas, garantindo toda precisão, dinâmica, rapidez que o sistema automatizado necessita. Este projeto é constituído por uma leve base de perfil de alumínio que sustenta uma o driver, o servomotor, o CLP e as IHMs a qual executa movimentos rotativos conforme comando de posição e velocidade com *encoders* de alta precisão.

O servomotor é acionado por um controlador que garantem a posição desejada através de uma malha fechada de posição. Nele, contém a interface ProfiBus DP de comunicação com CLP.

De maneira simples, essa tecnologia se baseia na conexão dos elementos que compõe um sistema de automação através de um cabeamento comum, formando uma rede de dispositivos, que podem ser acessados individualmente, utilizando mensagens padronizadas por um protocolo. Com essa tecnologia pode ser conseguida uma grande redução no trabalho de demonstração, versatilidade na especificação de topologias de ligação (possibilitando redundância, por exemplo), facilidade de instalação física do sistema, entre outras. Isso gera, conseqüentemente, a diminuição dos custos devido a diminuição da

quantidade de cabos, placas de saídas e entradas de CLPs além de viabilizar as implantações e facilitar a manutenção em relação a sistemas convencionais.

Outra vantagem encontrada é o alto grau de proteção da informação, ou seja diminuição dos ruídos, quedas de tensão e aumento da velocidade de comunicação entre o transmissor e receptor.

## **2 – Revisão Bibliográfica**

### **2.1 – Controle**

Nos servomotores a palavra controle é uma característica fundamental antes de desenvolver um projeto, independente se sua aplicação.

Existem dois tipos básicos de controle: malha aberta ou malha fechada.

### 2.1.1 - Sistema de controle de malha aberta

São aqueles sistemas em que a saída não tem nenhum efeito sobre a ação de controle. Em outras palavras, em um sistema de controle de malha aberta a saída não é medida nem realimentada para comparação com a entrada de referência. (OGATA, 2001)

No sistema de controle em malha aberta (figura 1) o comando de entrada é processado para acionar o motor e atingir a posição desejada. O sistema não monitora a posição durante o percurso, portanto não existe nenhuma ação corretiva se a posição atingida for diferente da posição desejada. Em consequência, a precisão do sistema depende de uma calibração. Na presença de perturbações, o sistema de controle não desempenhará a tarefa desejada. Na prática, este tipo de controle pode ser usado somente se não houver distúrbios internos ou externos. (OGATA, 2001)

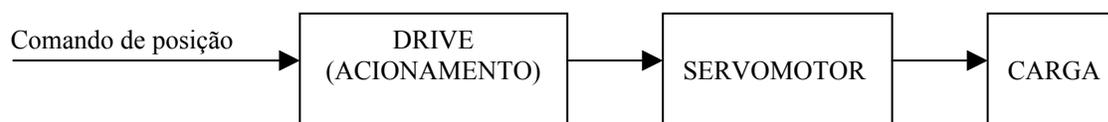


Figura 1 - Sistema de controle de malha aberta

Os sistemas de malha aberta geralmente utilizam motores de passo devido às limitações de precisão e potência. Este sistema de controle praticamente não é utilizado em máquinas ferramenta onde se exige alta precisão.

### 2.1.2 - Sistema de controle de malha fechada

No sistema de controle em malha fechada, o controle utiliza sensores para realimentar as variáveis a controlar, como posição, velocidade e torque. Neste sistema, o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal do *feedback*, é introduzido no controlador de modo a reduzir o erro a trazer a saída do sistema a um valor desejado. Na figura 2 é mostrado o diagrama de blocos de um sistema de em malha fechada. (FITZGERALD,1978)

Na figura 2, temos 3 malhas de controle, posição, velocidade e torque, o comando numérico envia a posição e velocidade desejada do processo para o acionamento que irá informar ao regulador de corrente a corrente necessária para poder fornecer o torque necessário para carga acoplada. (FITZGERALD,1978)

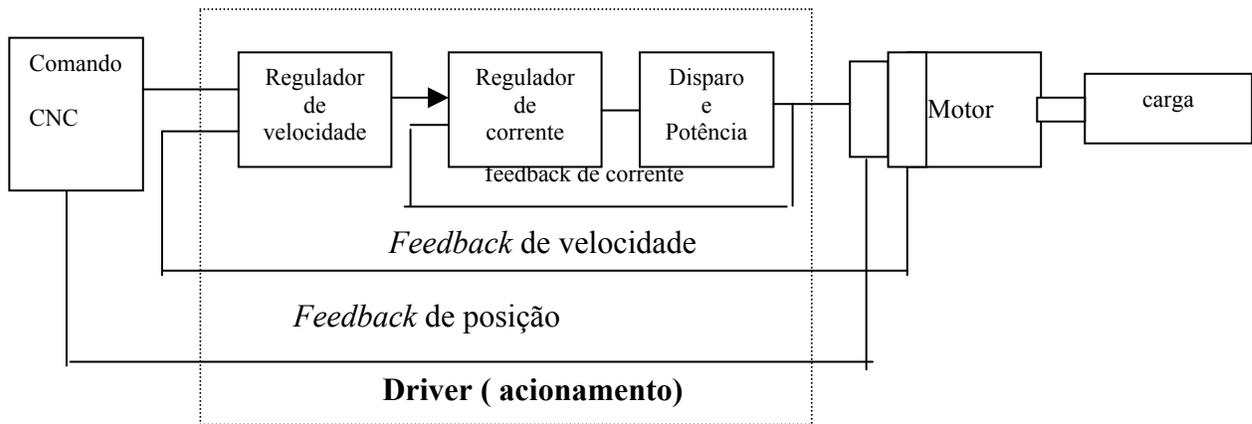


Figura 2 - Sistema de malha fechada

Para o sistema ter condições de controlar as variáveis: posição, velocidade e torque, existem sensores na malha de realimentação que envia qualquer informação de algum distúrbio na malha de controle, em servo sistema podemos encontrar como sensores de corrente *shunts* para a realimentação de corrente, para a posição e velocidade: resolver ou encoder ou ainda tacogenerador, dependendo o tipo do acionamento do servomotor, ou seja, se é analógico ou digital. (FITZGERALD,1978)

## 2.2 – Conceito de Servomotor

O servomotor é uma máquina síncrona composta por uma parte fixa (o estator) e outra móvel (rotor). O estator é bobinado como no motor elétrico convencional, porém, apesar de utilizar alimentação trifásica, não pode ser ligado diretamente à rede, pois utiliza uma bobinagem especialmente confeccionada para proporcionar alta dinâmica ao sistema. O rotor é composto por ímãs permanentes dispostos linearmente sobre o mesmo e com um gerador de sinais chamado resolver instalado para fornecer sinais de velocidade e posição. (INDRAMAT, 1997)

Existem 2 tipos de servomotores, corrente contínua (CC) e Brushless. As características e funcionamento destes servomotores são descritas nos anexos I e II.

### **2.3 - Características do servomotor**

As características exigidas de um servomotor entre outras são: dinâmica, controle de rotação, torque constante e precisão de posicionamento. (*INDRAMAT, 1997*)

As características nos servomotores são o torque constante em larga faixa de rotação (aproximadamente 4500rpm), uma larga faixa de controle da rotação e variação (1:3000) e alta capacidade de sobrecarga ( $3 \times M_o$ ). Estas características são facilmente obtidas através do modo de controle driver. (*INDRAMAT, 1997*)

O torque máximo é  $3 \times M_o$  do motor. Em função da potência do servoconversor utilizado, o torque máximo que se pode alcançar também poderá ser menor. (*INDRAMAT, 1997*)

Os servomotores devem possuir momento de inércia da massa do rotor, menor do que em relação aos motores assíncronos trifásicos, devido às grandes solicitações de dinâmica. (*INDRAMAT, 1997*)

Um dos artificios mais utilizados são os cortes transversais no rotor, através destes cortes é reduzida a massa de inércia do rotor. (*INDRAMAT, 1997*)

### **2.4 – Funcionamento do Servomotor**

Os servomotores são máquinas síncronas, compostas de seis pólos no estator, de alimentação trifásica, ímãs permanentes terras-raras dispostos linearmente sobre a face do rotor e um sensor analógico chamado feedback para realimentação de posicionamento e velocidade. (*FANUC, 1998*)

Sua alimentação, apesar de trifásica, não pode ser efetuada através da rede convencional, pois possui um bobinamento totalmente especial, confeccionado para proporcionar uma alta dinâmica ao motor através de um fluxo eletromagnético totalmente

diferente do proporcionado pela rede. Este fluxo eletromagnético só pode ser fornecido pelo servoconversor. (FANUC,1998)

Outro ponto é a seqüência de fase adotada, pois se as mesmas estiverem invertidas causa falha no driver, pois como o servomotor trabalha em malha fechada, quando driver detecta uma incompatibilidade entre os sinais do campo girante do servomotor com os sinais gerados pelo feedback. (FANUC,1998)

## 2.5 – Sensores do Servomotor

Os servomotores possuem um sistema de sensoriamento de fase/ângulo, necessário inicialmente para comutação do servomotor e após aperfeiçoamentos controle de velocidade, posição, torque entre outros. (FANUC,1998)

Existem vários tipos de sensores sendo eles digitais ou analógicos.

### 2.5.1 - Resolver

O resolver é similar a um transformador com um enrolamento primário e dois enrolamentos secundário o numero efetivo de proporção por voltas e polaridade entre o enrolamento primário e secundário variam dependendo do ângulo do eixo, esta combinação é chamada de transformador rotativo ou angular. O resolver é enrolado com dois enrolamento secundário defasados de 90 graus montado no estator, estes enrolamento geram os sinais de seno e cosseno, o enrolamento primário esta localizado no eixo do resolver e é denominado rotor. Quando o eixo gira o rotor gera uma tensão com freqüência constante que é induzida para o secundário que são denominados sinais de seno e cosseno. A amplitude destes sinais será de acordo com a posição do eixo. (INDRAMAT, 1997)

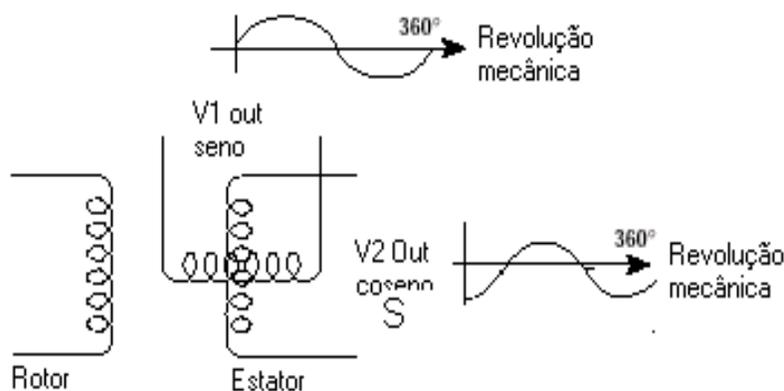


Figura 3 - Resolver

### 2.5.2 - Encoder Incremental

O encoder incremental gera três sinais de saída. Estes sinais são gerados a partir de um disco graduado com varias divisões, este números de divisões que irá determinar o número de pulsos por revolução, um dos lado do disco tem uma fonte de luz e no lado oposto há três detectores, o disco é montado sobre um eixo, enquanto a fonte de luz e os detectores são estacionário, quando o eixo gira, atravessa o feixe de luz que gera sinais denominado A , B e Z que chamamos de canal A, canal B e zero ou referência (Z) que enviará um sinal por revolução. Estes sinais podem ser senoidais ou quadrado, dependendo do tipo de encoder. (INDRAMAT, 1997)

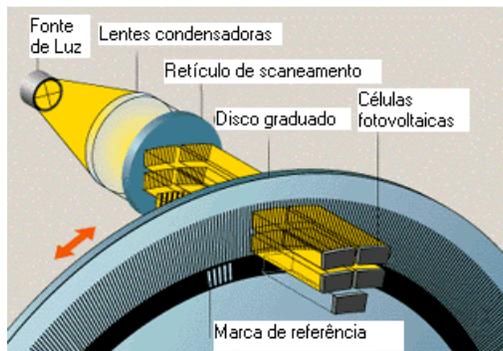
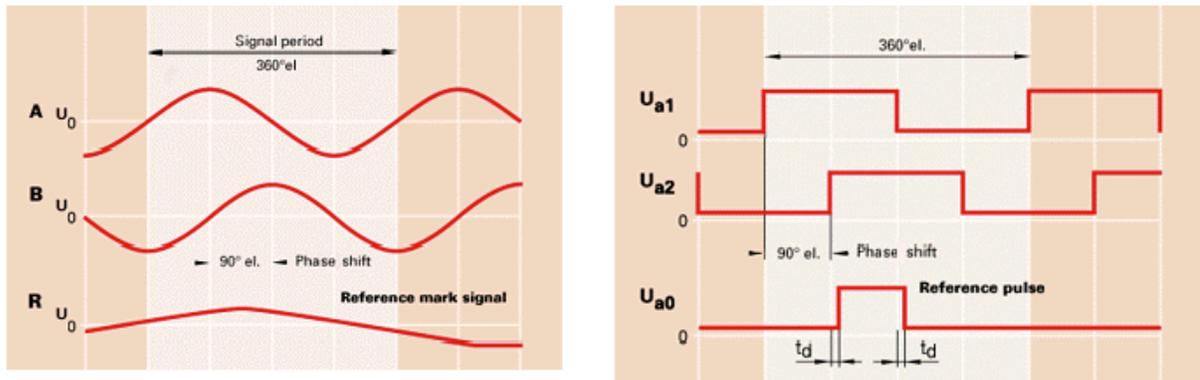


Figura 4 - Componentes de um encoder incremental



Sinal senoidal

Sinal quadrado (TTL)

Figura 5 - Sinais de saída de um encoder incremental

### 2.5.3 - Encoder absoluto

O encoder absoluto fornece a posição do eixo dentro de um revolução de 360 graus ( single turn ) ou através de combinação de engrenagem ampliando para 4096 voltas por revolução (multi-turn). O disco deste tipo de encoder possui códigos que irá determinar a posição específica do eixo. O encoder absoluto possui também uma memória que armazena a posição atual do eixo, mesmo depois desligado. (INDRAMAT, 1997)

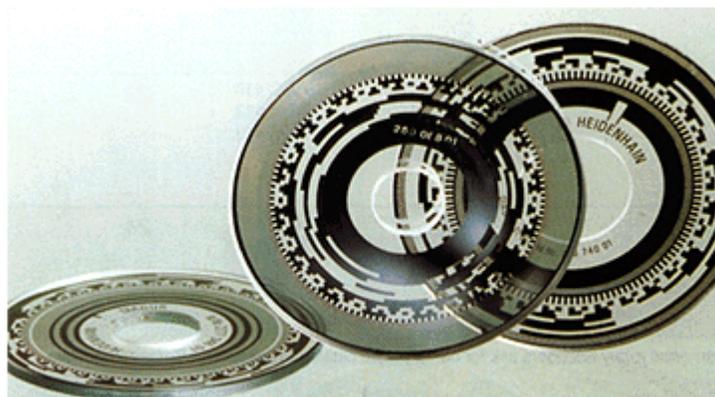


Figura 6 - Disco encoder absoluto

### 2.5.4 - Sensor Hall

Nos motores com comutador eletrônico a indicação da posição do rotor é feita através de sensores Hall. O sensor Hall consiste de um semicondutor percorrido longitudinalmente por uma corrente  $I$  sob um campo magnético  $B$ , isto resulta uma diferença de potencial. O sensor Hall fornecem uma tensão polarizada em função do campo e da corrente. Nos servomotores analógicos , além de gerar sinais depois de tratados para indicação da posição do rotor, gera também sinal de valor real de velocidade. (INDRAMAT, 1997)

### 2.5.5 – Tacogerador

O tacogerador é um transdutor que tem por função converter o sinal mecânico de rotação do motor em sinal elétrico de tensão, para servir de realimentação para o regulador de velocidade. (*INDRAMAT, 1997*)

## **2.6 - Tecnologia ProfiBus**

O ProfiBus é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, onde a interface entre eles permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial. Esse padrão é garantido segundo as normas EN 50170 e EN 50254. Desde janeiro de 2000, o ProfiBus foi firmemente estabelecido com a IEC 61158, ao lado de mais sete outros fieldbus. A IEC 61158 está dividida em sete partes, nas quais estão as especificações segundo o modelo OSI. Nessa versão houve a expansão que incluiu o DPV-2. Mundialmente, os usuários podem agora se referenciar a um padrão internacional de protocolo, cujo desenvolvimento procurou e procura a redução de custos, flexibilidade,

confiança, orientação ao futuro, atendimento as mais diversas aplicações, interoperabilidade e múltiplos fornecedores. (LAGO,2005)

Tabela 2.1 - IEC 61158-2 e o modelo OSI

Documento IEC 61158	Conteúdos	Camada OSI
IEC 61158-1	Introdução	
IEC 61158-2	Especificação da camada física e definição de serviço.	1
IEC 61158-3	Definição do link de dados.	2
IEC 61158-4	Especificação do protocolo de link de dados.	2
IEC 61158-5	Definição de serviço da camada de aplicação.	7
IEC 61158-6	Especificação de protocolo da camada de aplicação.	7

Tabela 2.2 - Modelo de referência OSI

Sender	Receiver	Designation and function of the layers	
7	7	Application layer	Interface to application program with application oriented commands (read, write)
6	6	Presentation layer	Representation (coding) of data for analysis and interpretation in the next layer
5	5	Session layer	Establishing and clearing temporary station connections; synchronization of communicating processes
4	4	Transport layer	Controlling data transmission for layer 5 (transport errors, break down into packets)
3	3	Network layer	Establishing and clearing connections, avoiding network congestion
2	2	Data-link layer	Description of bus access protocol (Medium Access Control,

			MAC) including data security
1	1	Physical layer	Definition of the medium (hardware), coding and speed of the data transmission
Transmission medium			

O Profibus pode trafegar tanto por um meio elétrico como por um meio óptico. No caso do meio ser elétrico, este precisa obedecer o padrão RS485. No caso do meio óptico, a fibra pode ser plástica ou de vidro. As vantagens em se utilizar o meio óptico é que devido ao seu comprimento de onda, possui uma alta imunidade a ruídos. (HERMINI, 2005)

É comum utilizar-se como protocolo cooperante o padrão ethernet industrial. Utilizando uma placa “Gate Away” que é encarregada de ser o “tradutor” entre os dois protocolos, é possível que ocorra a integração dos dados do nível de processo (chão de fábrica) com o nível gerencial. (HERMINI, 2005)

O ProfiBus pode ser usado tanto em aplicações com transmissão de dados em alta velocidade como em tarefas complexas e extensas de comunicação. (HERMINI, 2005)

Através de seu contínuo esforço de desenvolvimento tecnológico, o ProfiBus é o sistema de comunicação industrial mais bem preparado para o futuro. A Organização de Usuários ProfiBus está atualmente trabalhando na implementação de novos conceitos universais. (HERMINI, 2005)

As versões mais modernas do Profibus como o FMS e o PA podem se utilizar do conceito *Token Pass* para aumentar a capacidade de comunicação e desempenho. Pode-se ter desse modo, mais de um “PC Manager” que se alternam no cargo de master da rede conforme a necessidade do processo. (HERMINI, 2005)

A rede Profibus divide-se em três categorias.

### 2.6.1- Profibus FMS

Profibus FMS (*Field Message Specification*) é a rede Profibus desenvolvida para sistemas de comunicação de maior complexidade (com maior taxa de transmissão de dados) entre o campo e as células de nível. Através desta rede podem-se configurar alguns aspectos como: variáveis, programas e faixa de calibração. (INDRAMAT, 1997)

### 2.6.2 - Profibus PA

O Profibus PA (*Process Automation*) integra as funções do Profibus FMS e oferece também operações seguras. Esta é a versão mais moderna do Profibus. Uma característica interessante deste protocolo é que os dados podem trafegar pela mesma linha física da alimentação DC (*Direct Current*), o que economiza tempo de instalação e cabos. Sua performance é semelhante ao DP. (*INDRAMAT, 1997*)

A característica de transmissão intrínseca segura, faz do Profibus PA uma ótima opção para ambientes classificados, ou seja, ambientes onde existe o perigo de explosão caso ocorra uma faísca elétrica devido à atmosfera estar possivelmente carregada com alguma substância explosiva, como por exemplo numa petroquímica. (*INDRAMAT, 1997*)

### **2.6.3 - Profibus DP**

No Profibus DP (*Decentrallised Periphery*) tem-se a função de integrar o nível de automação com o nível de campo ou processo o qual é formado por sensores e atuadores.

Possui-se um rápido ciclo de comunicação para pequenos volumes de dados, fazendo-se a união entre os componentes do sistema de I/O distribuído e outros dispositivos de campo com o nível de CLP e outros dispositivos de programação. (*INDRAMAT, 1997*)

## **3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 – Materiais**

No desenvolvimento desse projeto foram usados os seguintes materiais:

- Controlador Lógico Programável (CLP) Indralogic L40 da linha Rexroth (Bosch);
- Servo motor da linha Rexroth (MSM030B-0300-NN-C0-CC0);
- Servo acionamento da linha Rexroth (DKC10.3-008-3-MGP-01 VRS);
- IHM VCP11 da linha Rexroth (Bosch);
- Fonte chaveada 24Vcc de 5 A;
- Estrutura de Alumínio.

O programa usado para o CLP foi um específico para o CLP da Bosch conhecido como Indralogic, com ele pode-se escolher o jeito que mais agrada a cada um para programá-lo.

O programa usado no driver é o DriveTop 16V14, este software é para programar todos os parâmetros do motor, posição, velocidade, torque e etc. No DriveTop é feita a configuração da comunicação Profibus entre outros meios de comunicação industrial.

No programa do CLP podemos escolher programá-los em:

- Texto Estruturado (ST) textuais;
- Lista de Instruções (IL) textuais;
- Diagrama de Blocos Funcionais (FBD) gráficos;
- Diagrama Ladder (LD) gráficos;
- Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC) gráficas.

### **3.2 – Método de montagem**

Segue abaixo detalhes da montagem do servomotor o driver e CLP e a programação.

#### **3.2.1 – Montagem do Driver e servomotor**

A alimentação do driver é 220Vca monofásico, e uma alimentação de 24vcc. O driver é composto por 2 cabos, sendo eles de potência e feedback, fora a alimentação. A comunicação com o CLP é via Profibus DP e a comunicação entre o CLP e a IHM é Ethernet. A figura 7 mostra o kit montado e pronto para funcionar.

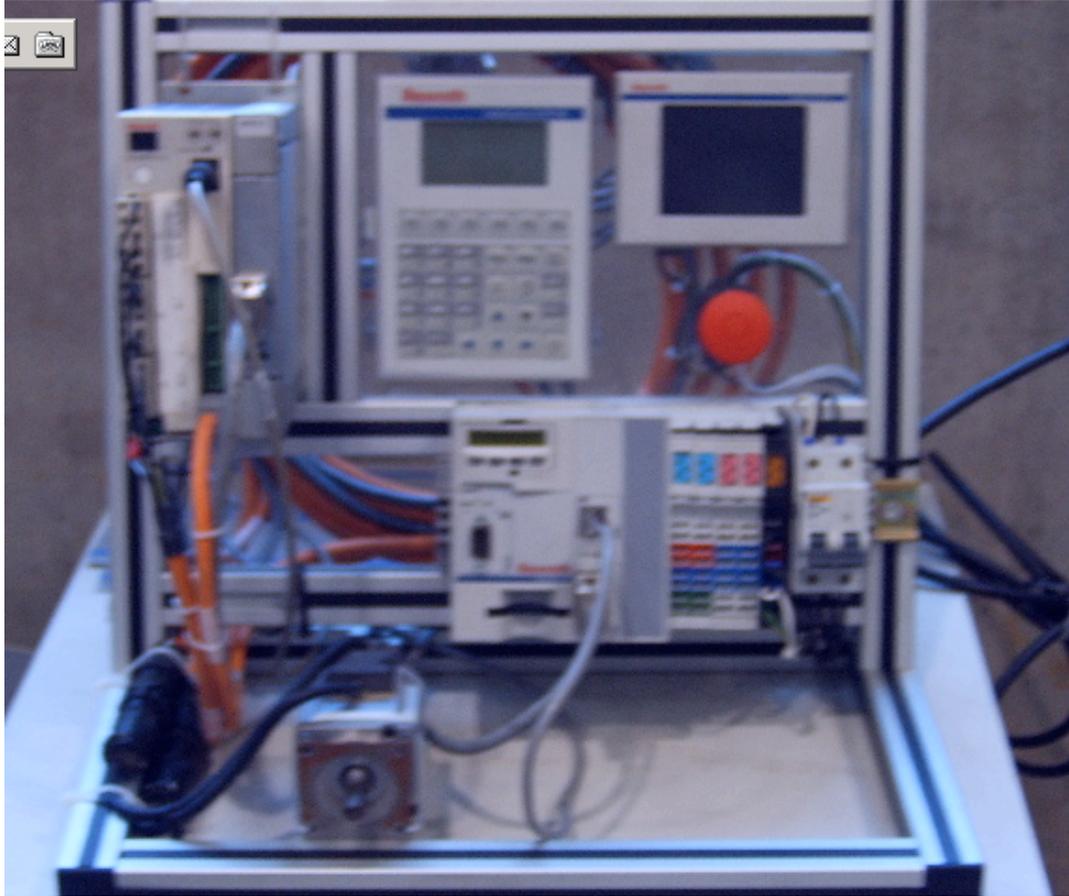


Figura 7 – Controle Servomotor

### 3.2.2 – Parametrização do servomotor

Para um melhor desempenho do servomotor, todos os seus parâmetros de corrente, momento de inércia, tensão de estator, velocidade máxima entre outros deve estar conforme solicitação do fabricante do motor ou parâmetros da máquina.

Todas as vezes que um servomotor é aberto, sendo ele para uma manutenção preventiva ou por um manutenção que danificou alguma peça interna do servomotor, o mesmo tem que ser parametrizado e após a parametrização uma comutação de fase com feedback.

A figura 8 apresenta a parametrização do servomotor

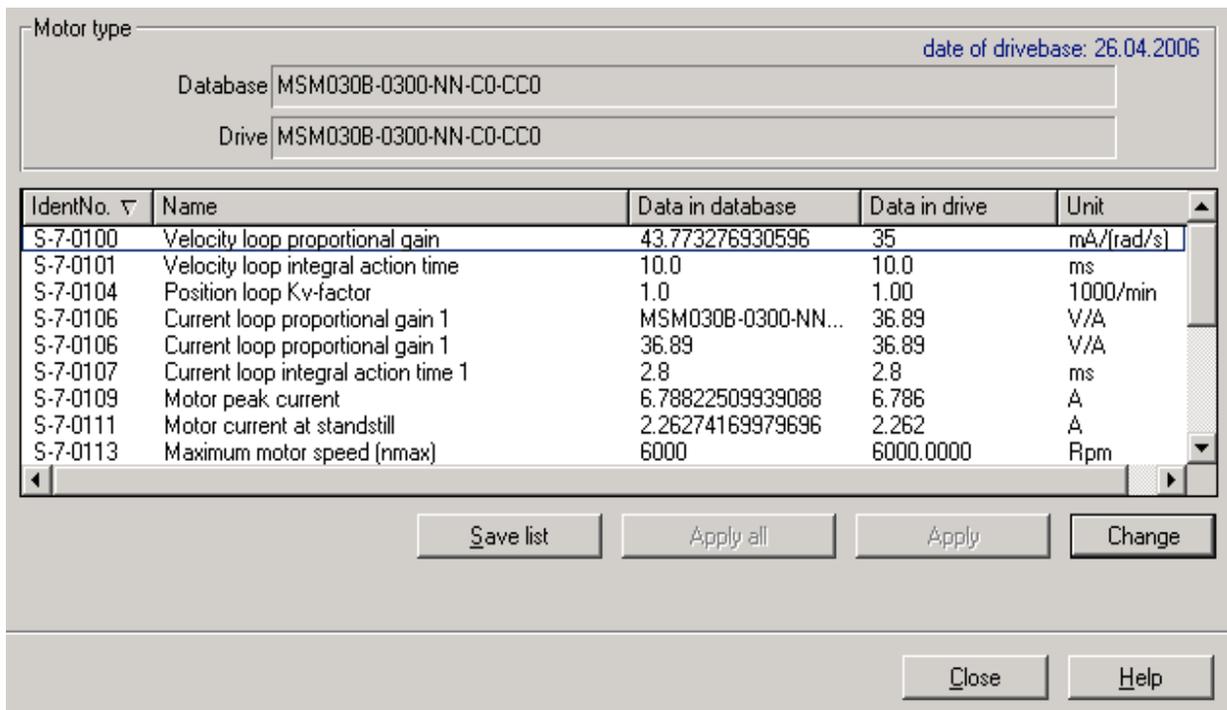


Figura 8 - Parâmetros do Servomotor

### 3.2.3 – Parametrização do Driver

O driver também tem seus parâmetros e configurações.

Após a parametrização do servomotor, vem a configuração do driver. Neste projeto o driver será configurado para receber uma velocidade e posição via comunicação ProfiBus com o CLP. Estes parâmetros de velocidade (s-0-0091) e posição (s-0-0258) são recebidos pelo driver e processados para alcançar seus objetivos.

No driver é feita a configuração de alguns valores fixos como velocidade de JOG, posição de referenciamento e etc.

Na tela do Driver Status, é possível visualizar todos os valores possíveis, mensagem de erro, velocidades de comando e de feedback, posição de comando e de feedback, e todos os status do driver, como se o servomotor está referenciado ou não, ou se está em movimento ou parado na posição desejada. (figura 8) Nesta tela é possível visualizar até a corrente que o driver está fornecendo para o servomotor, o consumo em porcentagem do uso do resistor de bleeder quando o motor está fazendo uma frenagem ou reversão entre outros parâmetros necessários para o funcionamento de conjunto driver e servomotor.

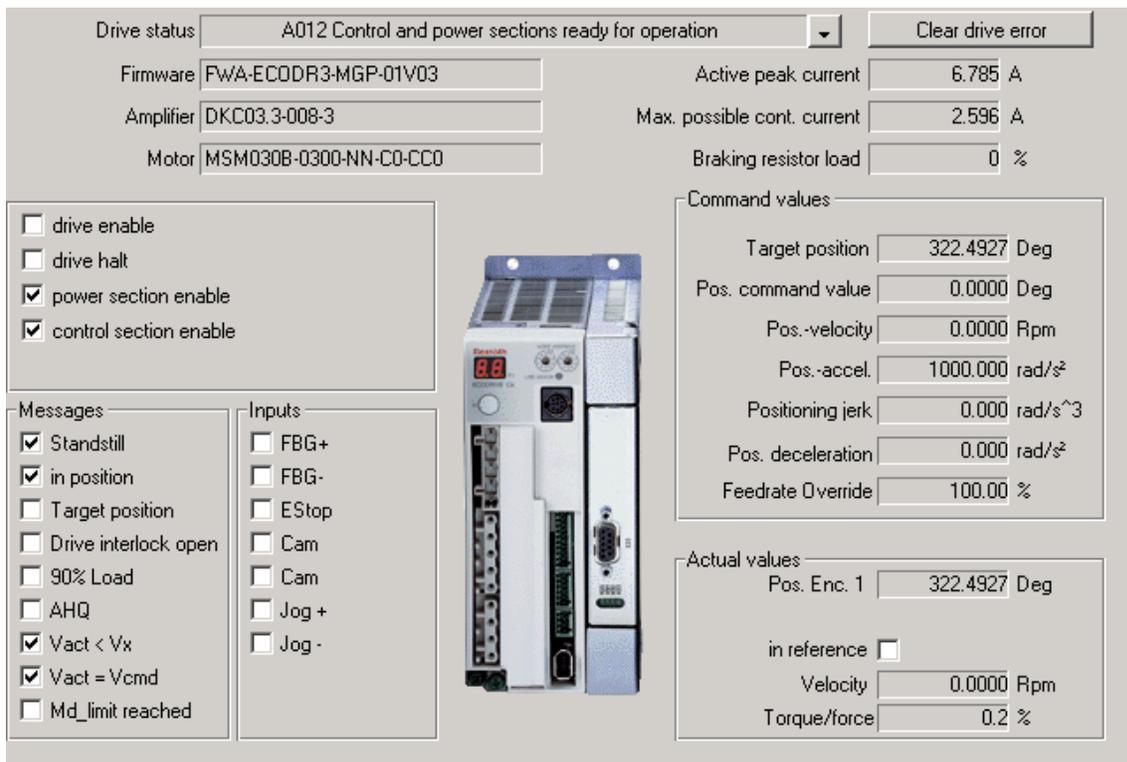


Figura 9 - Status do Driver

Outra configuração importante é a configuração da comunicação Profibus, pois é necessário saber quais são os parâmetros de entrada e saída e quais os bit de controle e status para configurar quantas words de entrada e saída.

Neste projeto foi usado três parâmetros de entrada (velocidade, posição e controle) e três parâmetros de saída (velocidade, posição e status). Cada parâmetro de velocidade ou posição sendo eles de entrada ou saída é necessário 2 words para transmissão de dados, então nós vamos usar 5 words de entrada e 5 words de saída.

A figura 10 mostra a tela de configuração do Profibus.

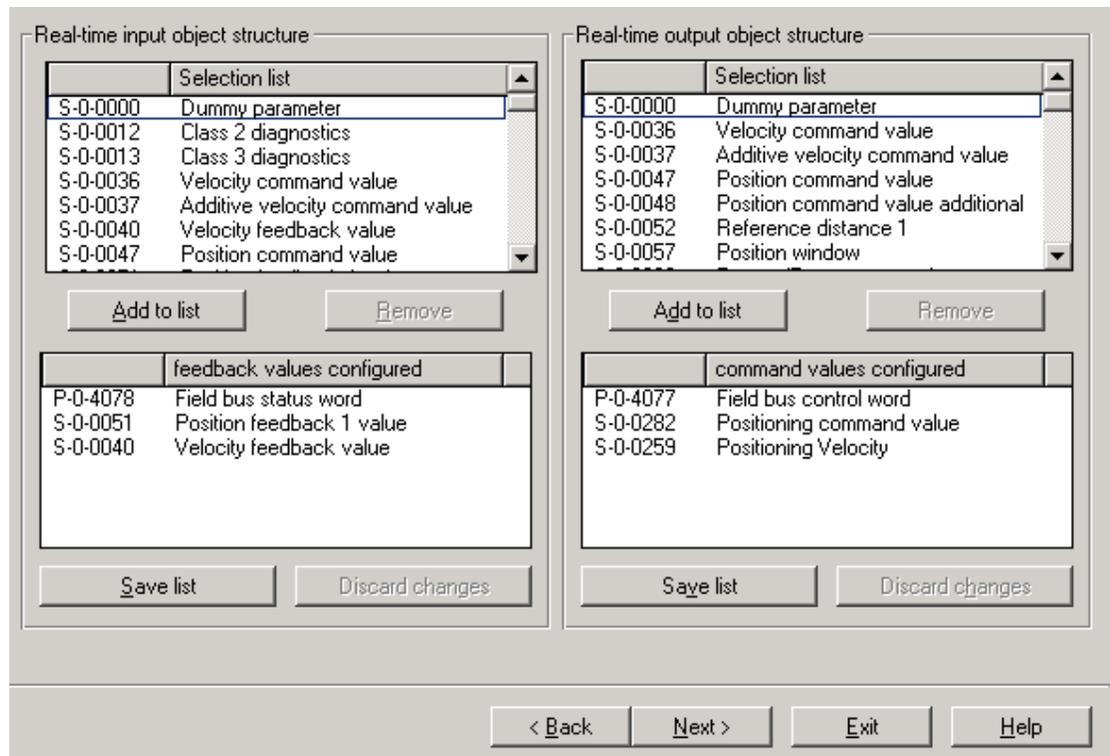


Figura 10 - Configuração ProfiBus

### 3.2.4 Configuração do CLP

Para obter uma comunicação Profibus DP com o driver, é necessário configurar o CLP com o número de words de entrada e saída configurado no driver. No driver foi configurado 5 words de entrada e 5 words de saída.

O software para configuração do CLP é o IndraLogic, nele será feita toda a programação de controle de posição e velocidade do driver, a configuração da comunicação em rede Profibus DP com o driver e o programa da Interface Homem Máquina (IHM).

A figura 11 mostra a configuração do CLP para comunicação Profibus DP

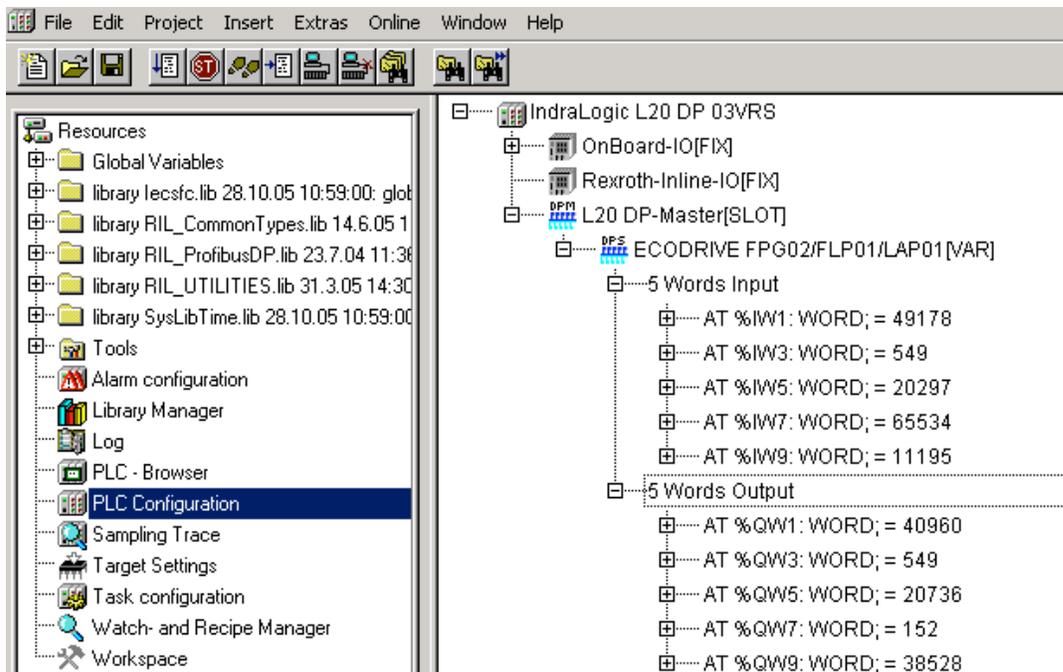


Figura 11 - Configuração CLP

Após a configuração do CLP, tem que descarregar o arquivo GSD do driver para o CLP. Neste arquivo GSD existe todos os protocolos de comunicação entre o driver e o CLP. A figura 12 mostra a tela desta configuração do GSD. No anexo III segue o arquivo do GSD.

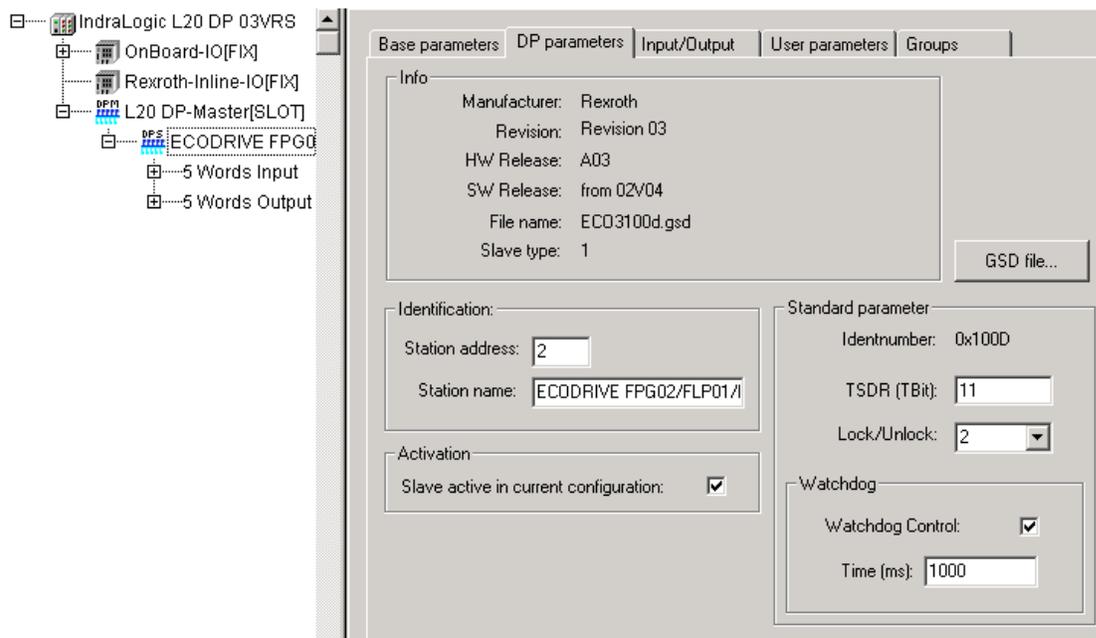


Figura 12 - Arquivo GSD

### 3.2.5 - Programação do CLP

Neste caso optou-se em programá-lo no Texto Estruturado e no Diagrama de Blocos.

Texto Estruturado é uma linguagem de alto nível com sintaxe similar ao Pascal (ISSO 7185), desenvolvida especificamente para controle industrial usada para descrever o comportamento de:

- Funções
- Blocos Funcionais
- Programas
- Passos, ações e transições de linguagem SFC

É uma linguagem de fácil assimilação para os desenvolvedores de software em geral. Permite uma fácil interpretação do programa por usar identificadoras de fácil entendimento, associado e comentários. É particularmente muito útil para o desenvolvimento de cálculos aritméticos complexos.(*NOF, 1997*)

Diagrama em Blocos Funcionais é a linguagem gráfica baseada nos diagramas de circuitos, que representa blocos interconectados destacando o fluxo de sinais entre os elementos. É usada para descrever os comportamentos de:

- Funções
- Blocos Funcionais
- Programas
- Passos, ações e transições em SFC

Para o controle do servomotor via Profibus, foi feito um programa no CLP que recebe, envia e processa todos os comandos de Status e Controle do driver.

A figura 13 apresenta um fluxograma do programa para controlar o servomotor

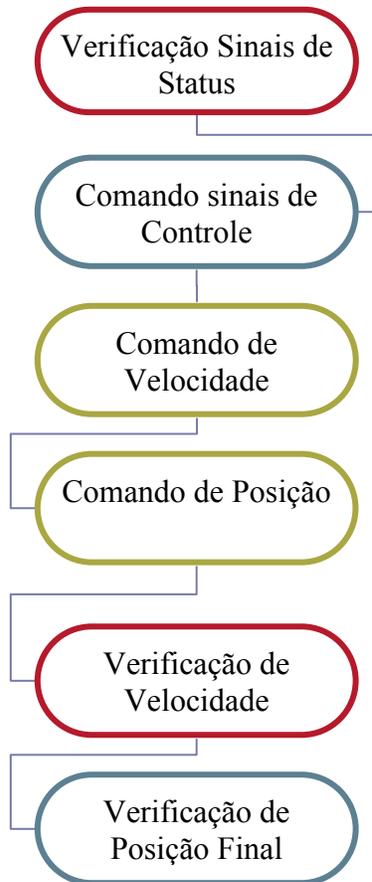


Figura 13 – Fluxograma da programação

Todos os bits das words de entrada e saída da comunicação ProfiBus esta nos sinais de *status* ou controle.

Para o funcionamento do servomotor, é necessário saber se o driver está com falha ou não, se está com potência. Após esta análise, passa o driver para automático, libera “torque AH”, verifica se acende o led “servo com torque” está acesso e libera “servo AF”.

## 4 – Resultados

O controle de servomotor utilizando CLP's com comunicação serial ProfiBus DP, mostrou-se eficiente e cabível de implementação. Como a comunicação de campo ProfiBus está cada dia mais sendo utilizada na industria, o trabalho reforça ainda mais sua aplicabilidade.

A figura 14 mostra que o servomotor está pronto para receber os sinais de posição e velocidade e executar o comando desejado.

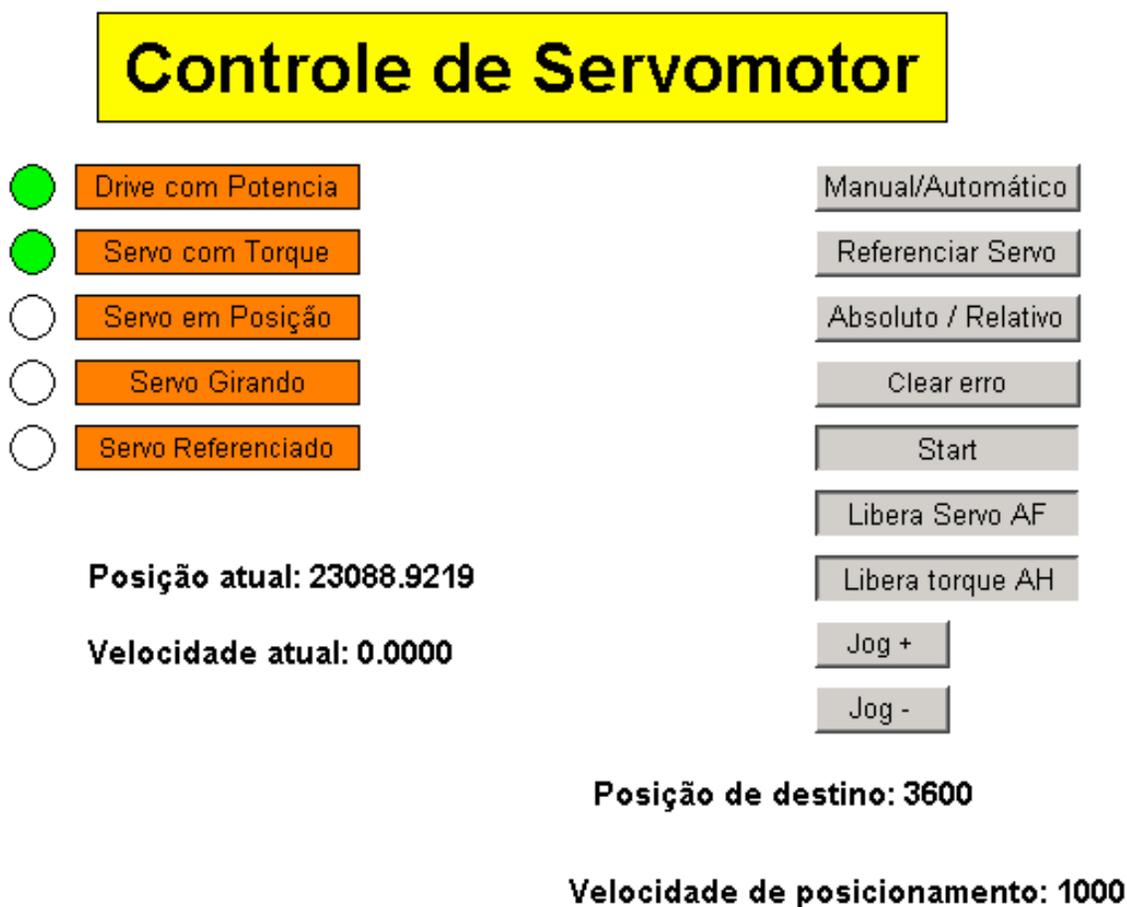


Figura 14 - Tela da IHM

## 5 - CONCLUSÃO

Os servomotores vêm ganhando seu mercado dia a dia em diversos tipos de aplicações e meios de controle.

Esta monografia implementou uma comunicação de servomotor controlado por um CLP via ProfiBus e este CLP sendo monitorado e comandado por uma IHM via comunicação Ethernet.

O controle de servomotor utilizando CLP's com comunicação serial ProfiBus DP, mostrou-se eficiente e cabível de implementação. Como a comunicação de campo ProfiBus está cada dia mais sendo utilizada na industria, o trabalho reforça ainda mais sua aplicabilidade.

Os conceitos de controle de servomotores e de redes de comunicação de campo foram primordiais para a realização deste estudo, enfatizando a importância destes temas para a formação de um engenheiro.

## **6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Manual Técnico. FANUC – Servo Motor – 1998

Manual Técnico. INDRAMAT GmbH Bgm.-Dr.-Nebel-Str.2. D-97816 Lohr Dept. ECD(RR/JR) 1997 ed 1.

NOF, S. Y., *Industrial Assembly*, Chapman & Hall, 1 ed., Lonres, 1997

HERMINI, Helder Anibal. *Redes de Comunicação em Automação Industrial*. Unicamp, Campinas. Disponível em: [www.fem.unicamp.br/~hermini/ES746/Aula\\_09.ppt](http://www.fem.unicamp.br/~hermini/ES746/Aula_09.ppt). Acesso em: 19 set. 2005.

LAGO, Claudio Eduardo Storti. *Protocolo Profibus*. Computer Sorcerer. Disponível em: <http://www.computersorcerer.com/files/profibus.pdf#search='fieldbus%20profibus'> Acesso em: 19 set. 2005.

LOPEZ, Ricardo Aldabo, *Sistemas de Redes para Controle e Automação*. 1. ed. São Paulo: Book Express, 2000.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., Charles;KUSKO, Alexander. *Maquinas eletricas*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975-1978. 623 p.

MALVINO, Albert Paul. *Eletrônica*. 2. ed. São Paulo:McGraw-Hill, 1987. 2 v.

## Anexo I – Servomotor de CC

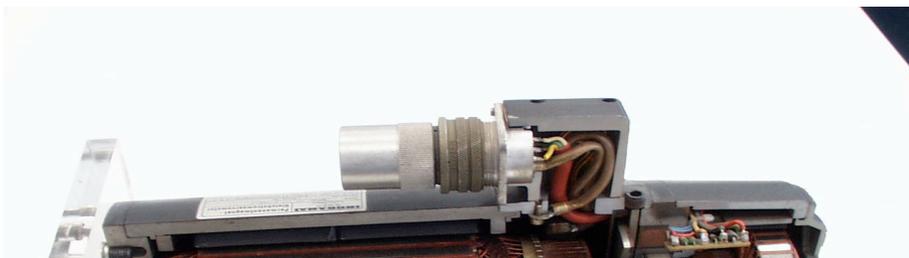
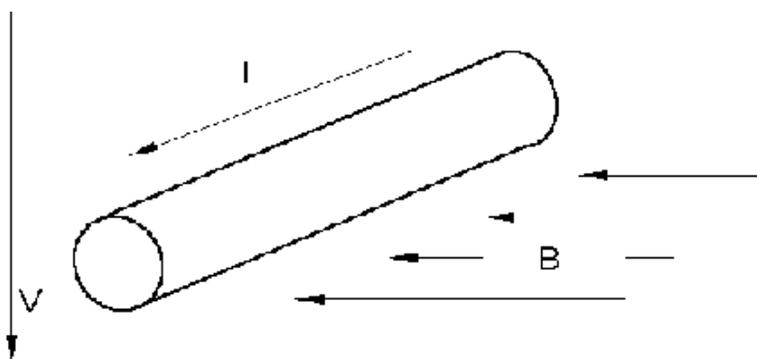


Figura 15 - Servomotor de corrente contínua

Como a máquina de corrente contínua é uma máquina reversível, isto é, pode trabalhar tanto como motor quanto como gerador, vamos analisar inicialmente o funcionamento do gerador de CC. (MALVINO, 1987)

Faraday descobriu em 1831 que se um condutor fosse movimentado dentro de um campo magnético, iria aparecer entre seus terminais uma tensão elétrica. A esta tensão ele chamou de “induzida”, e ocorria apenas quando havia um movimento relativo entre o condutor e o campo magnético. Se  $\mathbf{B}$  é a densidade de fluxo magnético e o conduto  $\mathbf{L}$  é movido através deste campo com uma velocidade  $\mathbf{V}$ , então a força eletromotriz será :



$$E = \mathbf{B} \times \mathbf{V}$$

Figura 16 - Lei de Faraday

Se o condutor  $\mathbf{L}$  é parte de um circuito elétrico com resistência  $\mathbf{R}$ , Então a força eletromotriz gerada irá produzir uma corrente tal que: (MALVINO, 1987)

$$\mathbf{I} = \mathbf{E} / \mathbf{R} = \mathbf{B} \times \mathbf{V} / \mathbf{R}$$

A lei de Faraday , também diz se um condutor de comprimento  $L$  percorrida por uma corrente  $I$  e colocada dentro de um campo magnético  $B$ , será criada uma força  $F$  tal que:

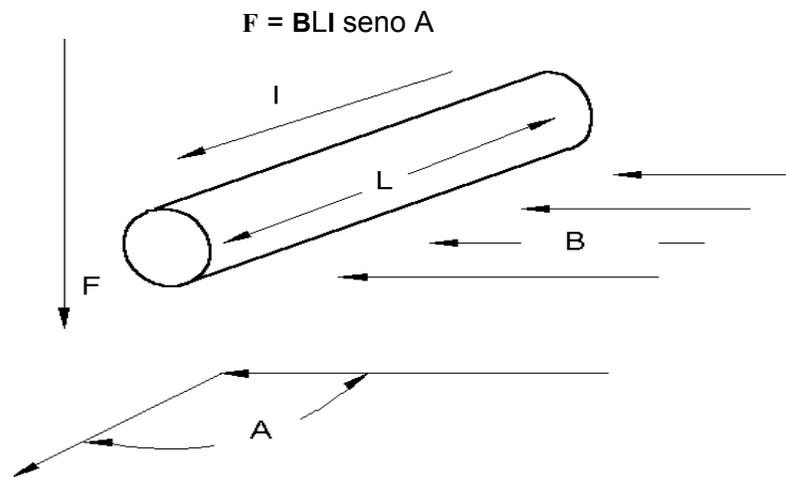


Figura 17 – Teoria de Faraday

Onde  $A$  é o ângulo entre  $B$  e  $I$  . A força  $F$  é o vetor perpendicular de ambos vetores  $B$  e  $I$ .

Para fazer alguma coisa mais útil com esta força gerada é necessário mais do que uma bobina transportando corrente no campo magnético. A figura 10 ilustra uma bobina percorrida por uma corrente  $I$  em um campo magnético estático de um fluxo de densidade.

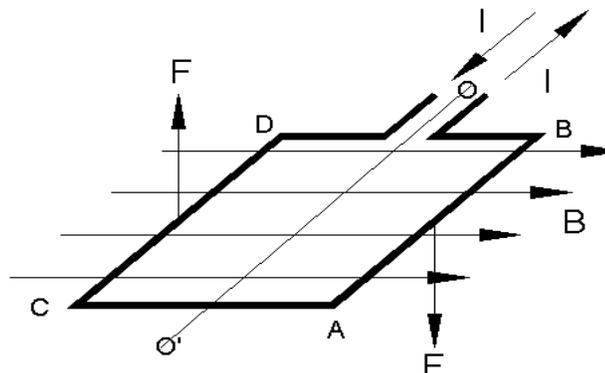


Figura 18 – Campo Magnético 2

Assumindo que a bobina esta montada em um eixo rotacional  $O-O'$  . (MALVINO,1987)

A interação da corrente  $I$  n o segmento  $AB$  da bobina irá criar uma força  $F$  mostrada no desenho abaixo.

A interação da corrente  $I$  no segmento  $CD$  no mesmo campo magnético  $B$  irá gerar uma força  $F$ . (MALVINO,1987)

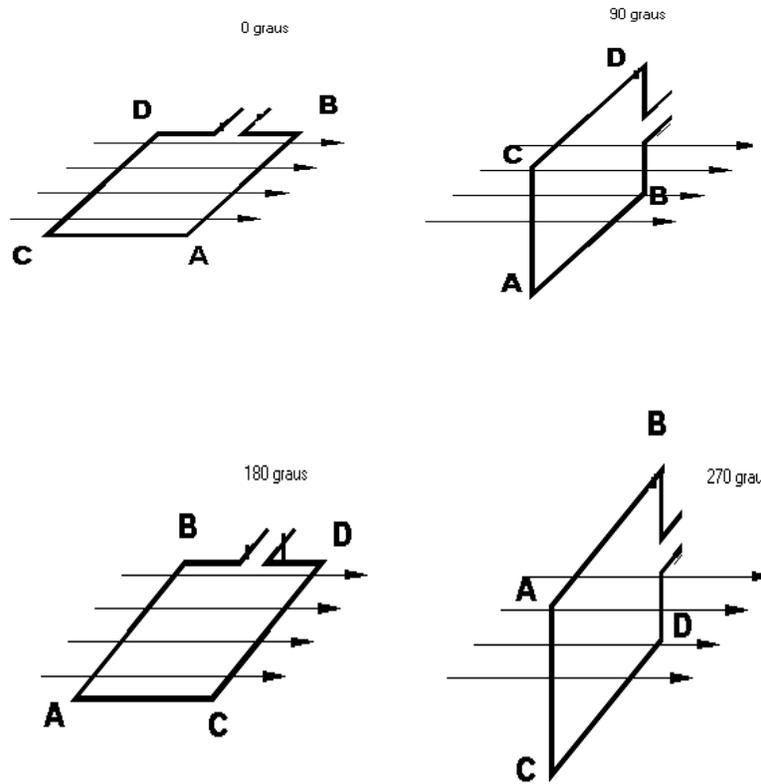
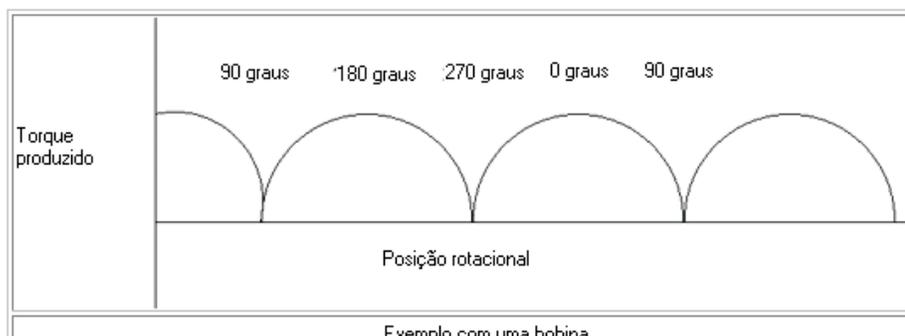


Figura 19 – Campo Magnético

Desde que a direção de corrente em  $CD$  seja oposta a direção de corrente em  $AB$ , a força resultante são oposta em direção . Note que a corrente no segmento  $AC$  é paralelo ao campo magnético e a força surgida neste segmento deve ser nula. A bobina da figura 11 irá girar sobre o eixo  $O-O'$  90 graus e parar, com a bobina orientada verticalmente ( segmento  $AC$  perpendicular ao campo magnético ) se o fluxo de corrente for invertida a bobina vai girar 180 graus e novamente parar . Assim o desenho da figura 12 representa o natural de uma bobina giratória. (MALVINO,1987)

Se esta bobina for girada com uma velocidade constante dentro do campo



magnético irá gerar uma tensão senoidal conforme a figura abaixo. (MALVINO,1987)

Figura 20 – Onda de uma bobina

Um modo de se diminuir a ondulação na tensão de saída é aumentar o número de bobinas e segmentos de espiras. A figura abaixo ilustra este fenômeno. (MALVINO,1987)

Se ao invés de produzirmos um movimento mecânico na espira que está imersa num campo magnético, fornecermos a ela uma corrente, haverá a criação de uma força magnetomotriz que tenderá a movimentá-la. (MALVINO,1987)

Desta forma, se alimentarmos a bobina da armadura de um motor CC, que tenha um campo magnético constante produzido por imã permanente, proporcionaremos um movimento de rotação no rotor. (MALVINO,1987)

A rotação é proporcional à tensão aplicada nos terminais da armadura (que se encontra no rotor) e a corrente exigida por ela é proporcional ao torque requerido pelo motor. (MALVINO,1987)

Esse tipo de servomotor foi utilizado por muito tempo na indústria de máquinas devido a facilidade de efetuar seu controle. Este tipo de equipamento sempre teve alguns problemas de aplicação que foram sendo contornados devido a falta de outra opção para efetuar o controle de velocidade e posição nas máquinas. Os principais problemas destes servomotores são: (FITZGERALD, 1978)

a) Presença de escovas e coletor - O desgaste das escovas acarreta uma parada periódica da máquina (pelo menos semestralmente) para efetuar sua troca. Muitas vezes é necessário também dar uma revisão no coletor e após sucessivas ocorrências ele fica inutilizado. (FITZGERALD, 1978)

b) Grau de proteção - Como o enrolamento da armadura fica no rotor, e eventualmente este tem que ser refrigerado, dificilmente obtém-se um grau de proteção maior que IP44. (FITZGERALD, 1978)

c) Momento de inércia do rotor - O rotor do servomotor CC é pesado devido ao volume de cobre usado em seu enrolamento. Isso faz com que o seu momento de inércia seja alto, exigindo uma grande quantidade de corrente do conversor para o servomotor partir. (FITZGERALD, 1978)

d) Rotação máxima - A comutação mecânica entre escovas e coletor limita a rotação máxima do servomotor, pois acima de um certo valor, começa a ficar mais difícil o fornecimento de corrente para o rotor. (FITZGERALD, 1978)

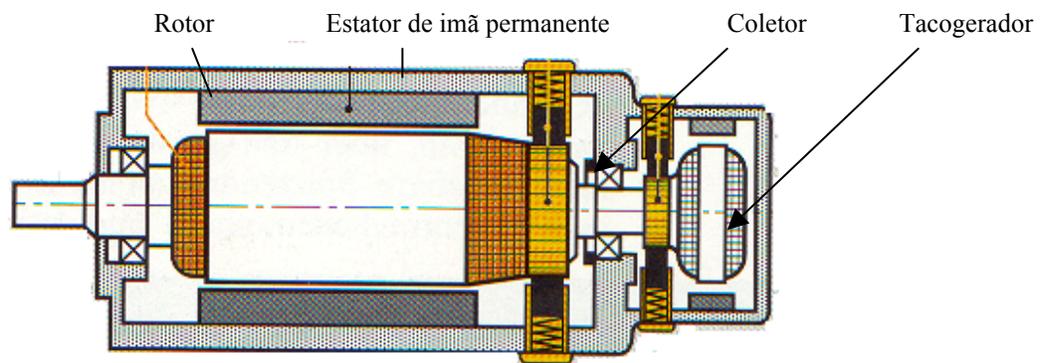


Figura 21 - Servomotor de CC

## Anexo II - SERVOMOTOR BRUSHLESS

O servomotor brushless tem o mesmo princípio de funcionamento do servomotor CC. Em sua construção, porém, inverte-se as posições do campo magnético e do circuito de armadura. (FITZGERALD, 1978)

O campo magnético agora é obtido através de ímãs permanentes montados no rotor, enquanto o enrolamento da armadura está no estator. (FITZGERALD, 1978)

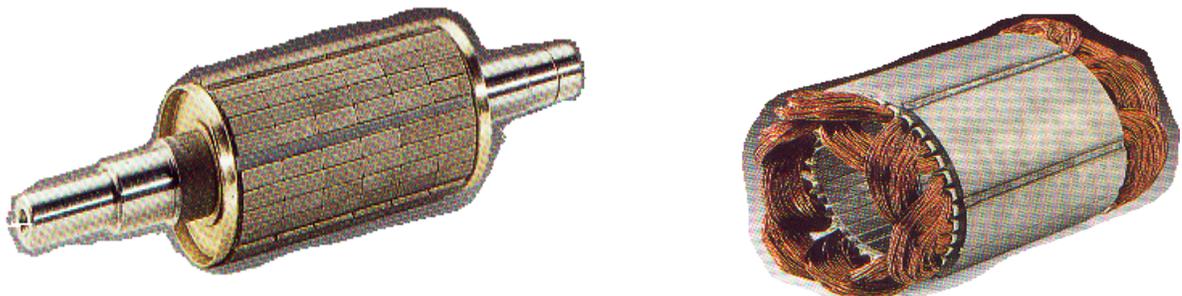


Figura 22 - Rotor e estator

A comutação, que no servomotor CC era feito mecanicamente, ainda continua tendo que ser feita para manter o sentido do torque, e isso é conseguido através de chaveamento eletrônico. A informação de posição do rotor para controlar o chaveamento é dada por um medidor de posição por efeito Hall , resolver ou encoder. (FITZGERALD, 1978)

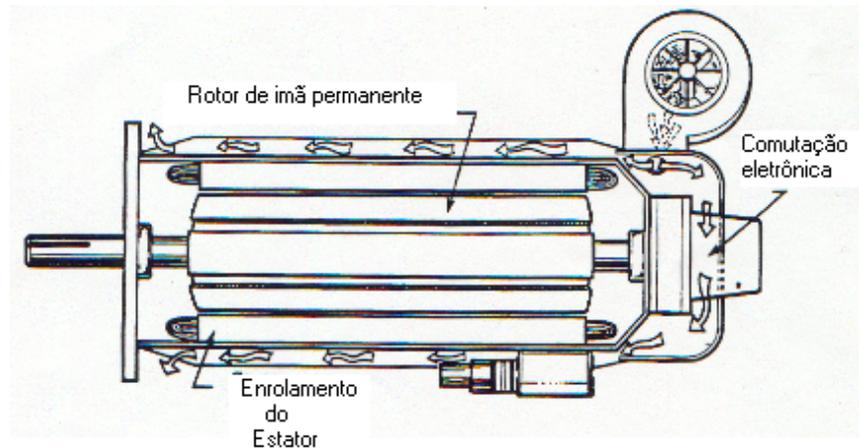


Figura 23 - Servomotor brushless

O servomotor brushless apresenta as seguintes vantagens sobre o servomotor CC:

a) Ausência de escovas e coletor - Isso evita a parada periódica da máquina. Nas situações em que a produtividade é importante, esse é um fator decisivo. (FITZGERALD, 1978)

b) Maior grau de proteção - Como o enrolamento da armadura fica no estator, se eventualmente o servomotor tiver que ser refrigerado, isso será feito externamente, ventilando-se a carcaça. Com isso o motor não tem nenhum rasgo ou furo para entrada ou saída de ar. Chega-se assim a um grau de proteção IP65, e o motor pode receber até jatos d'água. (FITZGERALD, 1978)

c) Menor momento de inércia do rotor - O rotor do servomotor brushless não tem enrolamento. Isso faz com que o seu momento de inércia seja baixo, possibilitando a

partida do servomotor com uma corrente menor que a de um servomotor CC de mesmo torque nominal. (FITZGERALD, 1978)

d) Maior rotação máxima - A comutação eletrônica permite uma maior rotação máxima do servomotor, pois ela só é limitada pela frequência de operação do semicondutor que faz a comutação. (FITZGERALD, 1978)

e) Menor relação peso/potência - Nos servomotores com ímã de samário-cobalto, o seu tamanho é de aproximadamente a metade do de um servomotor CC de mesmo torque. No caso de servomotores com ímã de óxido de ferrite, o seu tamanho é o mesmo de um servomotor CC. (FITZGERALD, 1978)

### Anexo III - Arquivo GSD

```
; Identification
;
; =====
; GSD File for Rexroth ECODRIVE 3.03 FGP02/FLP01/LAP01
; =====
;
;
; =====
; Date: 22.03.1999 Author: VK Version: 2.1
; Date of release: 14.04.1999
; =====
;
```

```
#Profibus_DP
GSD_Revision = 1
Vendor_Name = "Rexroth"
Model_Name = "ECODRIVE FPG02/FLP01/LAP01"
Revision = "Revision 03"
Ident_Number = 0x100D
Protocol_Ident = 0
Station_Type = 0
```

FMS\_supp = 0  
Hardware\_Release = "A03"  
Software\_Release = "from 02V04"

9.6\_supp = 1  
19.2\_supp = 1  
31.25\_supp = 0  
45.45\_supp = 0  
93.75\_supp = 1  
187.5\_supp = 1  
500\_supp = 1  
1.5M\_supp = 1  
3M\_supp = 1  
6M\_supp = 1  
12M\_supp = 1

MaxTsdr\_9.6 = 60  
MaxTsdr\_19.2 = 60  
MaxTsdr\_93.75 = 60  
MaxTsdr\_187.5 = 60  
MaxTsdr\_500 = 100  
MaxTsdr\_1.5M = 150  
MaxTsdr\_3M = 250  
MaxTsdr\_6M = 450  
MaxTsdr\_12M = 800

Redundancy = 0  
Repeater\_Ctrl\_Sig = 1  
24V\_Pins = 0

Implementation\_Type = "SPC4"  
Bitmap\_Device = "IN\_ECO3n"  
Freeze\_Mode\_supp = 0  
Sync\_Mode\_supp = 0  
Auto\_Baud\_supp = 1  
Set\_Slave\_Add\_supp = 0  
Fail\_Safe = 0  
Max\_Diag\_Data\_Len = 6  
Slave\_Family = 1  
User\_Prm\_Data\_Len = 0  
Min\_Slave\_Intervall = 20; \*100us

Modular\_Station = 1  
Max\_Module = 2  
Max\_Input\_Len = 32  
Max\_Output\_Len = 32  
Max\_Data\_Len = 64

```

Modul_Offset      = 0

Module            = "I/O Mode, 1 Word IN" 0xD0
EndModule
Module            = "I/O Mode, 1 Word OUT" 0xE0
EndModule
Module            = "I/O Mode, 2 W IN no consistency" 0x51
EndModule
Module            = "I/O Mode+Parameter Ch, 7 W IN" 0xD6
EndModule
Module            = "I/O Mode+Parameter Ch, 7 W OUT" 0xE6
EndModule

Module            = "DRIVECOM Mode, 6 W IN" 0xD5
EndModule
Module            = "DRIVECOM Mode, 6 W OUT" 0xE5
EndModule
Module            = "DRIVECOM+Parameter Ch, 12 W IN" 0xDB
EndModule
Module            = "DRIVECOM+Parameter Ch, 12 W OUT" 0xEB
EndModule

Module            = "Parameter Channel, 6 W IN" 0xD5
EndModule
Module            = "Parameter Channel, 6 W OUT" 0xE5
EndModule

Module            = "1 Word Input" 0xD0
EndModule
Module            = "2 Words Input" 0xD1
EndModule
Module            = "3 Words Input" 0xD2
EndModule
Module            = "4 Words Input" 0xD3
EndModule
Module            = "5 Words Input" 0xD4
EndModule
Module            = "6 Words Input" 0xD5
EndModule
Module            = "7 Words Input" 0xD6
EndModule
Module            = "8 Words Input" 0xD7
EndModule
Module            = "9 Words Input" 0xD8
EndModule
Module            = "10 Words Input" 0xD9
EndModule

```

Module = "11 Words Input" 0xDA  
EndModule  
Module = "12 Words Input" 0xDB  
EndModule  
Module = "13 Words Input" 0xDC  
EndModule  
Module = "14 Words Input" 0xDD  
EndModule  
Module = "15 Words Input" 0xDE  
EndModule  
Module = "16 Words Input" 0xDF  
EndModule  
  
Module = "1 Word Output" 0xE0  
EndModule  
Module = "2 Words Output" 0xE1  
EndModule  
Module = "3 Words Output" 0xE2  
EndModule  
Module = "4 Words Output" 0xE3  
EndModule  
Module = "5 Words Output" 0xE4  
EndModule  
Module = "6 Words Output" 0xE5  
EndModule  
Module = "7 Words Output" 0xE6  
EndModule  
Module = "8 Words Output" 0xE7  
EndModule  
Module = "9 Words Output" 0xE8  
EndModule  
Module = "10 Words Output" 0xE9  
EndModule  
Module = "11 Words Output" 0xEA  
EndModule  
Module = "12 Words Output" 0xEB  
EndModule  
Module = "13 Words Output" 0xEC  
EndModule  
Module = "14 Words Output" 0xED  
EndModule  
Module = "15 Words Output" 0xEE  
EndModule  
Module = "16 Words Output" 0xEF  
EndModule

## **Anexo IV – Programa do CLP**

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     status AT %IW1:WORD;
0004     control AT %QW1:WORD;
0005     pos_atual: DINT;
0006     repos_atual: REAL;
0007     vel_atual: DINT;
0008     revel_atual: REAL;
0009     pos_cmd: DINT;
0010     vel_cmd: DINT;
0011     lib_ah: BOOL;
0012     lib_rf: BOOL;
0013     auto: BOOL;
0014     jogp: BOOL;
0015     jogm: BOOL;
0016     repos_cmd: REAL;
0017     revel_cmd: REAL;
0018     referenciar: BOOL;
0001 control.13:=lib_ah;
0002 control.15:=lib_rf AND status.15;
0003 control.8:=NOT auto;
0004 control.6:=jogp AND NOT auto;
0005 control.7:=jogm AND NOT auto;
0006 control.2:=referenciar;
0007 pos_atual:=ROL(%ID3,16);
0008 repos_atual:=DINT_TO_REAL(pos_atual)/10000;
0009 vel_atual:=ROL(%ID7,16);
0010 revel_atual:=DINT_TO_REAL(vel_atual)/10000;
0011 pos_cmd:=REAL_TO_DINT(repos_cmd*10000);
0012 %GD3:=ROL(pos_cmd,16);
0013 vel_cmd:=REAL_TO_DINT(revel_cmd*10000);
0014 %GD7:=ROL(vel_cmd,16);
```

