



Curso de Engenharia Elétrica

ACIONAMENTO DE SERVOMECANISMO

Tiago Donizete de Moraes

Itatiba

2011



Curso de Engenharia Elétrica

ACIONAMENTO DE SERVOMECANISMO

Tiago Donizete de Moraes

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, sob a orientação do Profº André Renato Bakalereskis, como exigência para conclusão do curso.

Itatiba

2011

MORAES, Tiago Donizete, Acionamento de Servomecanismo. Itatiba – SP, 2011. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica, defendido e aprovado na Universidade São Francisco em 05 de Dezembro de 2011.

Michel Douglas Silva

Examinador

Renato Franco de Camargo

Examinador

André Renato Bakalereskis

Orientador

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho à minha esposa Talita que durante o curso sempre esteve ao meu lado dividindo as dificuldades e celebrando as conquistas.

Dedico também aos meus pais que sempre me incentivaram e me fortaleceram em todos os momentos, acreditando em mim e no meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me presenteou com a vida, com uma perfeita saúde, com uma família maravilhosa e com os melhores amigos que poderia ter, e a Mãe Rainha por me iluminar, proteger e guiar todos os meus passos.

Aos meus pais, que muitas vezes deixaram de realizar seus sonhos, para que eu pudesse realizar os meus, e ao meu irmão por estar ao meu lado.

Aos amigos, que ao longo dos anos compartilharam comigo todos os momentos, agora concluímos mais uma etapa juntos.

Aos colegas de classe por todas as noites que passamos juntos, acreditando que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Ao Professor André e todos os professores que no decorrer do curso de Engenharia Elétrica, através da troca de conhecimentos não somente ensinaram, mas me fizeram aprender.

EPÍGRAFE

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o estudo da aplicação de sistemas servocontrolados, detalhando os componentes deste sistema. Além da realização de uma análise prática de operação de servomotores.

As informações contidas nesta monografia mostram as características importantes do motor, como torque e velocidade de operação como funciona o comando de um drive de controle de velocidade, posição ou torque de um servomotor, exibe ajustes de ganhos da malha de controle e os resultados obtidos após estes ajustes. Possibilitando assim, um melhor entendimento dessa tecnologia que vem inovando o ramo da automação industrial.

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.

Palavras-chave: SERVOMOTOR, CONTROLE.

ABSTRACT

This work aims to study the application of servo systems, detailing the components of this system. Besides the realization of a practical analysis of servo operation.

The Information contained in this monograph show the important characteristics of the engine torque and speed of operation and how the command of a drive speed control, position or torque of a servomotor, displays settings of the control loop gains and the results obtained after these adjustments. Thus enabling a better understanding of this technology.

In this work, completion of course, we tried to present a detailed theoretical study on the technology Servo Motor and Driver, as well as demonstrate the benefits that new technology can provide.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Servomecanismo	15
2.2 Definições das características de um motor	15
2.2.1 Torque	15
2.2.2 Velocidade de rotação.....	16
2.2.3 Potência	16
2.2.4 Inércia	16
2.2.5 Aceleração/Desaceleração	17
2.3 Características gerais de um servomotor	17
2.3.1 Características da transmissão mecânica	18
2.4 Tipos de Servomotor	19
2.5 Sistemas de controle.....	21
2.5.1 Controle em malha aberta.....	21
2.5.2 Controle em malha fechada	22
2.6 Sensores.....	23
2.6.1 Encoders.....	23
2.6.1.1 Encoder incremental	24
2.6.1.2 Encoder absoluto	25
2.6.2 Resolver.....	25

2.6.3	Sensor de efeito HALL	26
2.6.4	Tacogerador.....	26
2.7	Tipos de funcionamento de controladores.....	27
2.8	Funções do controle de movimento.....	29
2.8.1	Controle de torque	29
2.8.2	Controle de velocidade.....	30
2.8.3	Controle de posicionamento.....	30
2.9	Comunicação	31
2.9.1	Níveis de informação	31
2.9.2	Topologia de Redes	32
2.9.3	Protocolo SSCNET	35
2.9.4	Melsecret G.....	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1	Materiais	36
3.1.1	Falhas Comuns.....	37
3.2	Métodos e melhorias.....	38
3.2.1	Erro de Bateria.....	38
3.2.2	Falha de encoder	39
3.2.2.1	O aquecimento.....	39
3.2.2.2	Ajustes manuais dos parâmetros do servoconversor	41
3.2.2.3	Análise de outro modelo de servomotor	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5	CONCLUSÃO	48
6	BIBLIOGRÁFIA	49

LISTA DE SIGLAS

T = torque

Td = torque dinâmico

F = força

d = distância

n = rotação

f = frequência

p = número de pólos do motor

P = potência do motor

J = joule (unidade de medida)

AC = corrente alternada

DC = corrente contínua

SC = sistema de controle

SP = valor programado (*set point*)

PV = valor medido (*Process Value*)

P = proporcional

I = integral

D = derivativo

CLP (PLC) = controlador lógico programável

IHM = interface homem maquina

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Sistema servo acionado	21
FIGURA 2: Sistema de controle em malha aberta	22
FIGURA 3: Sistema de controle em malha fechada.....	23
FIGURA 4: Encoder.....	24
FIGURA 5: Encoder incremental x absoluto.....	25
FIGURA 6: Resolver	26
FIGURA 7: Controle ON-OFF	27
FIGURA 8: Controle ON-OFF com histerese	27
FIGURA 9: Controle PWM	28
FIGURA 10: Gráfico de controle P,PI,PD e PID	29
FIGURA 11: Malha de controle posição/velocidade/torque	30
FIGURA 12: Níveis de informação.....	31
FIGURA 13: Topologias de redes	33
FIGURA 14: Taxa de transferência Melsecnet G	35
FIGURA 15: Software de programação e acompanhamento do servoconversor	37
FIGURA 16: Desabilitando a bateria.....	38
FIGURA 17: Termografia servomotores.....	39
FIGURA 18: Torque x Temperatura	40
FIGURA 19: Seleção de modo de ajuste de parâmetros.....	41
FIGURA 20: Gráfico de desempenho do motor antes de ajuste dos parâmetros	42
FIGURA 21: Visualização do parâmetro do momento de inercia.....	42
FIGURA 22: Datasheet do motor	43
FIGURA 23: Gráfico de desempenho do motor após os ajustes dos parâmetros.....	44
FIGURA 24: Gráfico comparativo entre modelos de servomotores	46
FIGURA25: Comparativo entre os gráficos antes e depois dos ajustes	47

dos parâmetros

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Fórmulas da inércia da transmissão mecânica	18
TABELA 2: Análise entre vantagens e desvantagens de cada tipo de servomotor	20
TABELA 3: Comparativo entre níveis de informação	32
TABELA 4: Comparativo entre topologias de rede.....	34
TABELA 5: Parâmetros alterados no drive.....	43
TABELA 6: Comparativo de modelos diferentes de servomotores.....	45

1 INTRODUÇÃO

O estudo do emprego de servomotores vem desde a Segunda Guerra Mundial, quando buscavam evolução em tudo que era feito. Nesse processo de melhoria estava diretamente relacionado o aumento da demanda industrial, e conseqüentemente a melhoria das máquinas até então utilizadas. A melhor forma encontrada foi fazer o *Retrofitting* das mesmas utilizando servomotores, os quais são muito utilizados nesse sentido de melhoria, devido a sua dinâmica, controle e precisão.

O Servomotor é um dispositivo eletromecânico que possui uma parte fixa (estator) e outra parte móvel (rotor), como muitas outras máquinas síncronas. O estator possui bastante semelhança ao de uma máquina elétrica convencional, porém com restrições quanto à alimentação. O rotor é composto por ímãs permanentes, os quais são posicionados alinhadamente sobre o rotor e com o controlador ou gerador de sinais, resolver ou encoder.

Os servomotores possuem uma grande aplicabilidade e funcionalidade, que se estendem desde o setor da robótica de pequeno porte até as indústrias e seus dispositivos automáticos.

A precisão do controle do movimento é monitorado através da resposta de um encoder, operando assim como um controle em malha fechada, garantindo a posição, velocidade ou torque desejado.

O servo acionamento é o resultado da automação industrial, pois além da tecnologia eletromagnética empregada na construção desse tipo de motor, com ímãs especiais e da eletrônica de potência envolvida no drive de controle, o qual pode ser programado e/ou monitorado via software por um técnico, trabalha diretamente ligado a uma rede de automação composta por mais drivers e controladores lógicos programáveis (CLP) que gerenciam a operação. Além de estarem interligados a uma IHM, facilitando possíveis alterações e monitoramentos pela operação.

Esta comunicação entre os dispositivos e componentes é realizada através de protocolos específicos do ambiente industrial, os quais através do desenvolvimento tecnológico permite um alto grau de confiabilidade da informação transmitida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Servomecanismo

Servomecanismos são definidos como sistemas de controle destinados a um posicionamento que muda imprevisivelmente a posição de um objeto físico que se quer controlar. Quando o valor de destino (posicionamento, velocidade) é programado no programa de entrada do servomecanismo, este detecta o valor presente (posição, velocidade), compara estes valores e executa continuamente controles para reduzir essa diferença. O servomecanismo é composto por um drive de controle, um servomotor e um encoder (MTS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA,2006).

2.2 Definições das características de um motor

2.2.1 Torque

A medida do esforço necessário para girar o eixo do motor é denominado conjugado (torque). Sua unidade de medida é o newton metro (Nm). O torque é determinado multiplicando-se a força necessária para a execução da tarefa, em newton (N), pela distância a qual a força esta sendo aplicada, em metros.

$$T = F * d$$

Equação 1

2.2.2 Velocidade de rotação

A velocidade de rotação fornece a razão entre o número de rotações de um eixo pelo período de tempo necessário para efetuar este número de rotações. Usualmente a velocidade de rotação é representada pela letra “n”. (WEG, 2005).

$$n(\text{rpm}) = \frac{120 * f(\text{Hz})}{p} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: f = frequência

p = número de pólos do motor

2.2.3 Potência

A potência P é dada pelo produto do torque T pela velocidade de rotação n. Sua unidade de medida é o watt (W) .(WEG, 2005).

$$P = \frac{(2 * \pi)}{60} * n * T \quad \text{Equação 3}$$

2.2.4 Inércia

Inércia é a resistência que uma massa oferece à modificação do seu estado de movimento. Todo corpo que tem massa tem inércia. Uma massa em repouso requer um torque para colocá-la em movimento, assim como uma massa em movimento requer um torque para colocá-la em repouso. O momento de inércia de massa J (kgm²) de um corpo depende da sua massa m(kg) e da distribuição da massa ao redor do eixo de giro, ou seja, da sua geometria. (WEG, 2005).

2.2.5 Aceleração/Desaceleração

O torque T (Nm) necessário para acelerar ou desacelerar uma carga com momento de inércia J da velocidade de rotação n1 para a velocidade n2 em um intervalo de tempo t, em segundos, é o resultado da equação 4 a seguir. Este torque é chamado de torque dinâmico de aceleração/desaceleração (WEG, 2005).

$$T_d = \frac{(2 * \pi)}{60} * J * \frac{(n1 - n2)}{t}$$

Equação 4

O momento de inércia da equação é a soma do momento de inércia do conjunto mecânico, ou seja, motor e carga.

2.3 Características gerais de um servomotor

As características de um motor geralmente estão associadas às propriedades de velocidade x torque que se deseja obter. O servomotor possui vantagens em relação a essas variáveis, pois possui um range maior de velocidade, mantém um torque constante de saída em qualquer faixa de velocidade e possui um torque maior em relação a outros motores. (MTS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA,2006).

As equações a seguir determinam o torque e a velocidade de um servomotor:

$$T = K1 * \Phi * I_a$$

Equação 5

$$N = \frac{V - I_a * Z}{K2 * \Phi}$$

Equação 6

Onde: T = torque

I_a = corrente

V = tensão de entrada

N = velocidade (rotação em m/min)

K1 e K2 são constantes, próprias do motor

Z = impedância do estator

Φ = Fluxo Magnético

2.3.1 Características da transmissão mecânica

A função da transmissão mecânica é adequar os parâmetros operacionais do servomotor, torque, posição, velocidade, aceleração/desaceleração, tornando-os compatíveis com a demanda da carga movida. A transmissão mecânica mais utilizada é o redutor de velocidade com engrenagens, ou por polias e correias. O momento de inércia depende da transmissão utilizada, a tabela1 exhibe diferenças entre tipos de transmissões.

TABELA1: Fórmulas da inércia da transmissão mecânica.

Tipo de transmissão	Equação da inércia equivalente	Nomenclatura
Engrenagens cilíndricas de dentes retos e/ou helicoidais	$J = J_e + J_s * \frac{1}{i^2}$	<p>J_e – Inércia engrenagem de entrada do sistema.</p> <p>J_s – Inércia engrenagem de saída do sistema.</p> <p>J – Inércia do sistema de transmissão</p> <p>i – Relação/razão da transmissão</p>
Pinhão e cremalheira	$J = J_e + (m_{cr} + m_s) * r^2$	<p>m_s – Massa do sistema movido</p> <p>m_{cr} – Massa da cremalheira</p> <p>r – Raio da engrenagem</p> <p>J_e – Inércia da engrenagem</p> <p>J – Inércia do sistema</p>

Sem-fim e coroa	$J = J_e + J_s * \frac{1}{i^2}$	<p>J_e – Inércia do pinhão (sem-fim)</p> <p>J – Inércia do sistema</p> <p>J_s – Inércia da coroa + carga</p> <p>i – Razão da transmissão</p>
Fusos convencionais e de esferas recirculantes	$J = m_s * \frac{p^2}{4 * \pi^2} + m_r * \frac{r^2}{2}$	<p>J – Inércia do sistema</p> <p>p – Passo do fuso</p> <p>m_s – Massa do sistema a ser movido</p> <p>m_r – Massa do fuso</p> <p>r – Raio do fuso</p>
Polia e correia sincronizada Corrente e roda dentada, Cabos e polias	$J = \frac{(m_1 + 2m_{cor} + m_2)}{2} * r_1^2 + J_{d2-2} * \frac{(r_1)^2}{r_2}$	<p>J – Inércia do sistema</p> <p>J_{2-2} – Inércia do eixo 2-2 (coroa inclusa)</p> <p>m_{cor} – Massa da correia</p> <p>m_1 – Massa da polia motora</p> <p>m_2 – Massa da polia movida</p> <p>r_1 – raio da polia motora</p> <p>r_2 – raio da polia movida</p>

Fonte: WEG (2004)

Parte da potência mecânica fornecida pelo motor é consumida pelas perdas internas da transmissão como o atrito, folgas e desgastes entre as partes móveis, por exemplo.

2.4 Tipos de servomotor

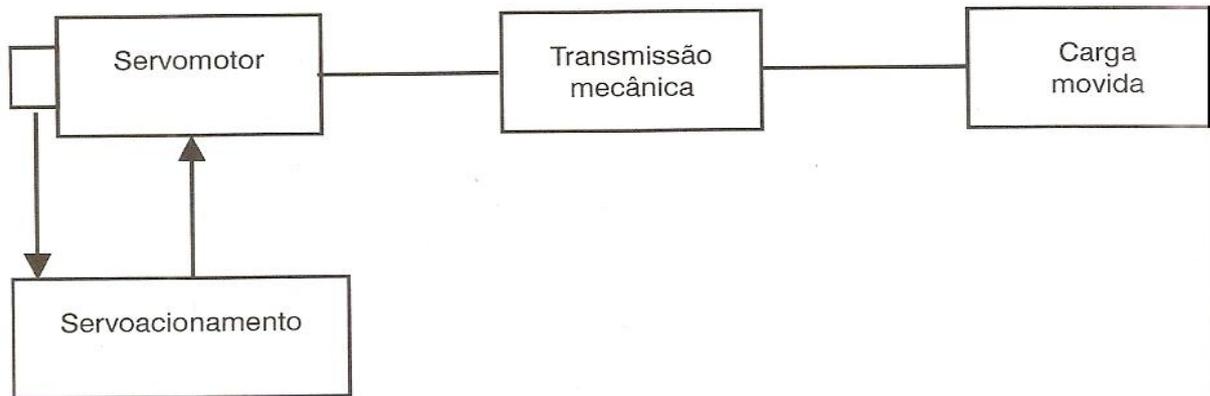
Existem duas categorias de servomotores, AC e DC. Na categoria dos AC os servos são subdivididos em SM (Motores Síncronos) e os IM (Motores de Indução). (MTS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA, 2006).

TABELA2: Análise entre vantagens e desvantagens de cada tipo de servomotor.

Tipo	Vantagem	Desvantagem
SM tipo AC servomotor	<ul style="list-style-type: none"> • Sem manutenção • Excelente resistência às condições adversas • Possibilidade de altos torques • Leve e compacto • Altas potências. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seu amplificador é um pouco mais complexo que do DC. • Deve-se 100% a compatibilidade entre motor e o driver. • O imã permanente pode ser desmagnetizado
IM tipo AC servomotor	<ul style="list-style-type: none"> • Sem manutenção • Excelente resistência às adversidades • Possibilidade de alto torque com altas velocidades • Larga capacidade combinado com eficiência • Construção robusta 	<ul style="list-style-type: none"> • Seu amplificador é um pouco mais complexo que o DC • A frenagem não é possível quando a alimentação é cortada • As características mudam com a temperatura • Deve se 100% a compatibilidade entre motor e o driver.
DC servomotor	<ul style="list-style-type: none"> • Drive de controle de simples construção • Possibilidade de freio dinâmico ao se interromper a energia • Baixo custo (para modelos de baixa capacidade) • Altas potências. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer manutenção e inspeções periódicas para se garantir o seu bom funcionamento • Pó e restos de carvão das escovas com o tempo danificam o estator • Não permite o uso de altas velocidades com altos torques • O imã permanente fica desmagnetizado com o tempo

Fonte: MTS automação industrial (2006)

A figura1 exibe o esquema de um conjunto servo acionado



Fonte: WEG (2004)

FIGURA1: Sistema servo acionado

2.5 Sistemas de controle

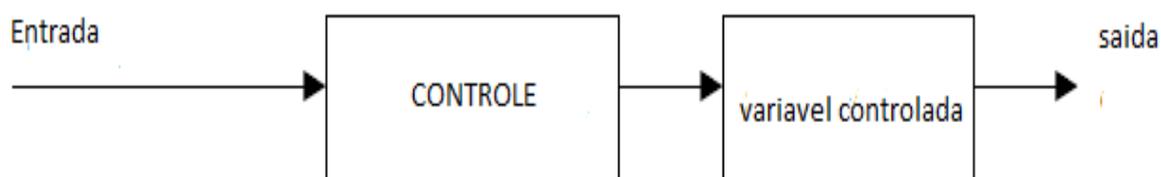
“Um Sistema de Controle (SC) é um conjunto de dispositivos que mantém uma ou mais grandezas físicas dentro de condições definidas na sua entrada. Os dispositivos que compõem o SC podem ser elétricos, mecânicos, óticos ou, em alguns casos, seres humanos” (MTS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA,2006).

A estrutura do SC é implementada de acordo com a necessidade de precisão da variável a ser controlada, podendo ser um sistema de malha aberta ou um sistema de malha fechada.

2.5.1 Controle em malha aberta

Segundo Ogata (2001,p6),”Sistemas de controle em malha aberta são sistemas de controle nos quais a saída não tem efeito sobre a ação de controle. Isto é, em um sistema de controle em malha aberta a saída nem é medida nem é realimentada para comparação com a entrada.”

Em um sistema em malha aberta (figura 2) a cada entrada de referência corresponde à operação sinal fixa, a precisão do sistema depende de uma calibração. Na presença de distúrbios esse sistema de controle não apresentará a performance desejada. Na prática o controle em malha aberta somente pode ser utilizado se a relação entre a entrada e a saída for conhecida e não houver distúrbios internos e externos.(OGATA, 2001).



Fonte: Ferreira (2006)

FIGURA 2: Sistema de controle em malha aberta.

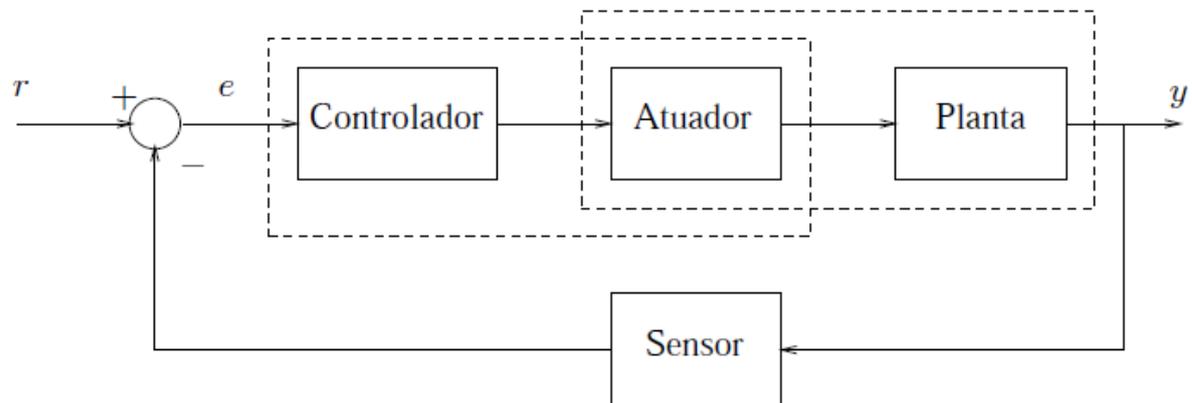
Ogata (2001, p7), “Do ponto de vista da estabilidade, é mais fácil construir o sistema de controle em malha aberta desde que a estabilidade não constitui um problema significativo”.

2.5.2 Controle em malha fechada

De acordo com Fitzgerald (1978), a característica do sistema de controle em malha fechada é a presença de um sensor na realimentação da variável a ser controlada. Nesse sistema o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de *feedback*, é introduzido ao controlador, reduzindo o erro e ajustando a saída do sistema de acordo com o valor desejado.

Sistemas de controle em malha fechada tornam a saída do sistema relativamente insensível a distúrbios internos e externos, compensando esses distúrbios. Por outro lado a realimentação pode levar a instabilidade (FERREIRA, 2006).

A figura 3 ilustra o diagrama de blocos de um SC em malha fechada.



Fonte: Ferreira (2006)

FIGURA 3: Sistema de controle em malha fechada.

Para o sistema ter condições de controlar as variáveis: posição, velocidade e torque, existem sensores na malha de realimentação que envia informação de qualquer distúrbio na malha de controle (FITZGERALD,1978).

2.6 Sensores

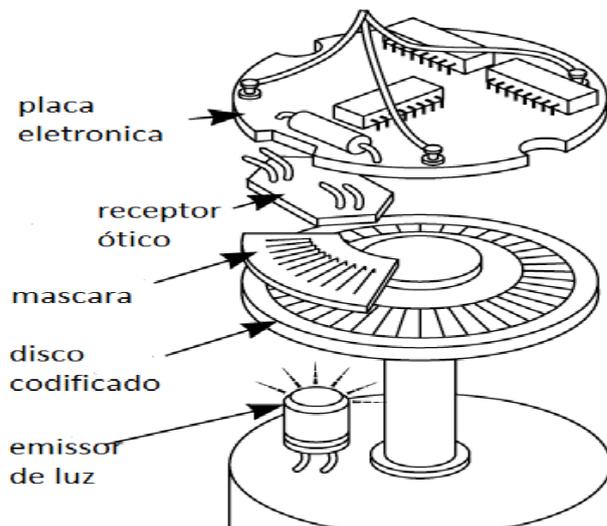
A maioria dos elementos provedores de informações para sistemas de automação industrial consiste de sensores. Abaixo veremos sensores que, nos sistemas de controle de malha fechada forma a realimentação, fechando a malha, indicam posicionamento e/ou velocidade de um servomotor.

2.6.1 Encoders

O encoder é um dispositivo eletrônico capaz de medir deslocamentos angulares ou lineares, fisicamente, se assemelha a um motor DC. Seu funcionamento baseia-se no processo óptico eletrônico, conectado ao eixo do motor, será submetido a uma rotação, proporcionando um conjunto de sinais elétricos a cada volta do seu eixo. Esses sinais, ainda

na forma analógica serão convertidos em pulsos digitais, podendo ser processados e convertidos em medidas de deslocamento (CAPELLI, 2002).

A figura 4 ilustra a montagem interna de um encoder.



Fonte: Capelli (2002)

FIGURA 4: Encoder.

Uma fonte de luz atravessa o disco graduado, a cada janela do disco, a luz atinge os foto-elementos gerando pulsos. Na sua saída temos sinais digitais (CAPELLI, 2002).

2.6.1.1 Encoder incremental

O encoder incremental gera pulsos seriais, quando seu eixo está parado não há sinal algum em sua saída, portanto, para que a máquina saiba onde seu eixo está é necessário que haja movimentação do encoder. Assim a máquina conta os pulsos gerados entre a posição em que estava parada até alcançar sensores de referência de posição “zero” e, através de seu algoritmo de software, calcula em que posição o eixo se encontra. Uma máquina equipada com esse tipo de encoder, sempre que desligada, necessita ser referenciada, antes de sua operação normal, costuma-se denominar esse posicionamento de *home-machine* (CAPELLI,2002).

2.6.1.2 Encoder absoluto

O encoder absoluto gera um conjunto de 6 a 8 bits de uma única vez, ao contrário do Incremental, o Absoluto mantém uma “palavra” digital em sua saída, ou seja, a máquina que funciona com o encoder absoluto não precisa ser referenciada após ter sido desligada (CAPELLI, 2002). A figura 5 compara sinais gerados por encoder incremental e absoluto.

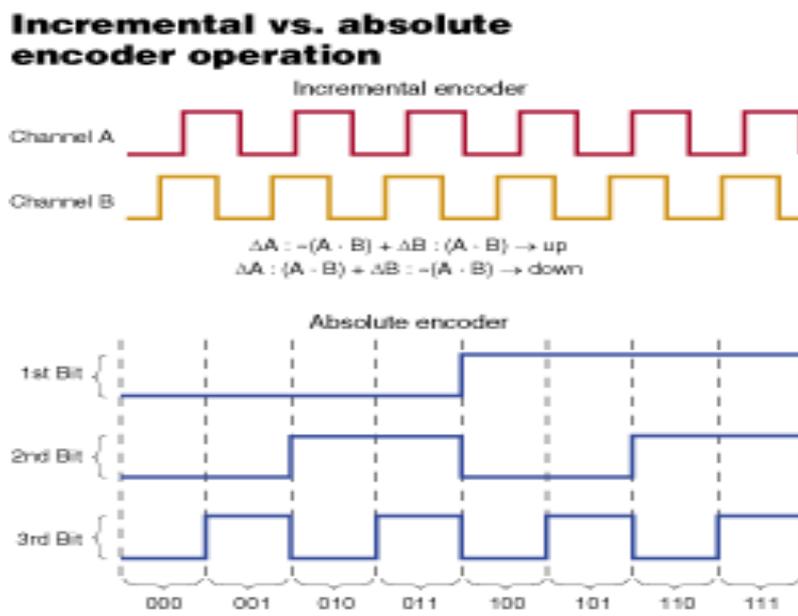
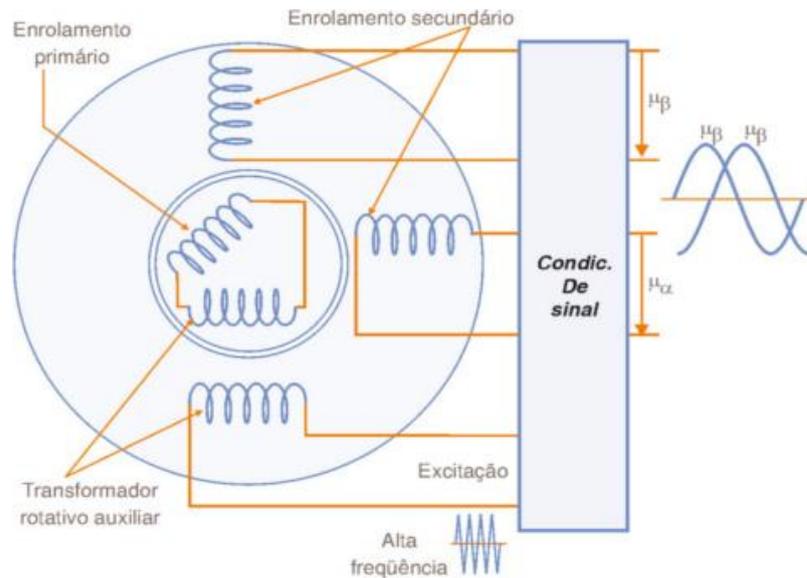


FIGURA 5: Encoder incremental x absoluto

2.6.2 Resolver

Os “resolvers” são transformadores de alta frequência (5 a 10 kHz). O primário está situado no rotor e existem dois secundários em quadratura no estator. As amplitudes e fases das tensões induzidas no secundário são função da posição do rotor. Um circuito condicionador processa as tensões induzidas no secundário fornecendo uma tensão proporcional a posição, conforme a figura 6. (WEG, 2005)



Fonte: << <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/781/imprimir:yes>>> (2005)

FIGURA 6: Resolver

2.6.3 Sensor de efeito HALL

Os sensores de efeito Hall são formados por semicondutores sob a influência de campo magnético. Uma placa conduz a corrente do circuito e perpendicularmente forma-se um campo magnético, gerando nas laterais da placa uma diferença de potencial o qual conecta-se a um instrumento de medição. Essa diferença de potencial é denominada Tensão de Hall (THOMAZINI;ALBUQUERQUE, 2006).

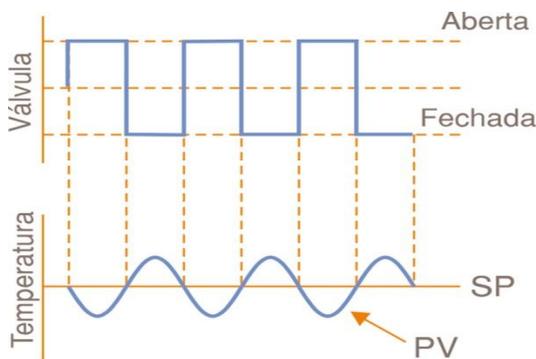
2.6.4 Tacogerador

Os tacogeradores são geradores DC de imã permanente ou geradores síncronos AC. Os tacogeradores apresentam uma tensão proporcional à velocidade e, positiva ou negativa, dependendo do sentido de rotação. Em geral a tensão de saída é retificada por uma ponte de diodos, o que faz com que a tensão retificada tenha sempre o mesmo sinal, independentemente do sentido de rotação. (WEG,2005).

2.7 Tipos de funcionamento de controladores

“Os controladores podem funcionar com alguns tipos de controle, como controle ON-OFF, ON-OFF com histerese, por largura de pulso e PID.”(Castellani,2004).

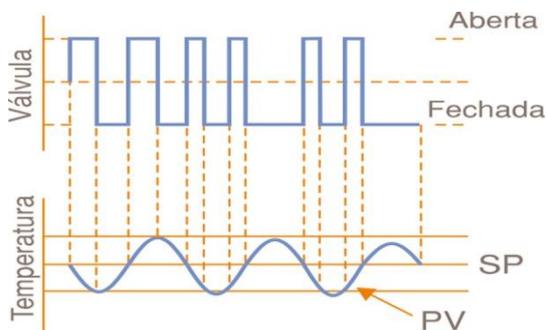
ON-OFF (figura 7) – Neste tipo de controle, o controlador possui 2 estados na saída, ligado ou desligado. Conforme a diferença entre o set point (SP) e a variável do processo (PV), o controlador envia um sinal para acionando ou bloqueando a saída. (Castellani, 2004).



Fonte: Castellani (2004)

FIGURA 7: Controle ON-OFF.

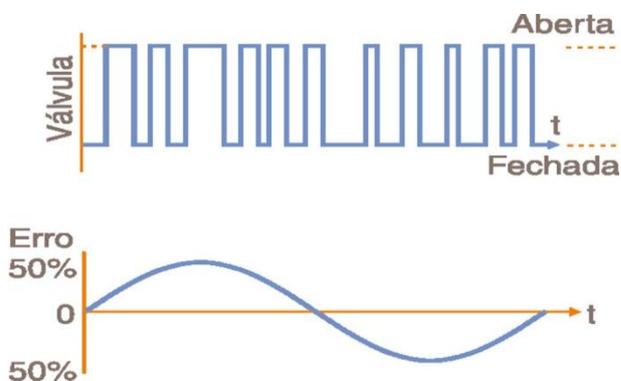
ON-OFF com histerese (figura8) – Neste tipo de controle a saída do controlador também possui apenas 2 níveis de saída, mas é acrescentado um valor de histerese para que o processo tenha uma oscilação menor. A histerese é um valor que tem por finalidade antecipar o acionamento da saída na chegada da PV no SP. (Castellani, 2004).



Fonte: Castellani (2004)

FIGURA 8: Controle ON-OFF com histerese.

PWM (figura 9) – Do inglês *Pulse-Width Modulation*, no controle por largura de pulso o controlador possui dois níveis de saída, porém o tempo em que a saída fica acionada e desacionada depende da amplitude do erro. (Castellani, 2004).



Fonte: Castellani (2004)

FIGURA 9: Controle PWM.

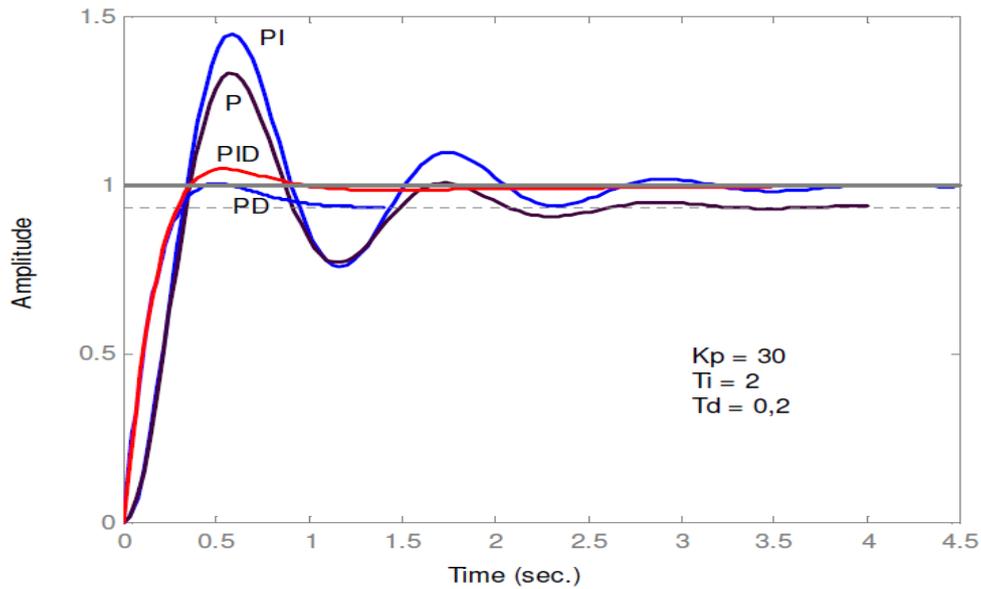
Controle automático PID – De acordo com Castellani (2004) Esta técnica consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor do SP e PV. O PID consiste em três ações que tem a finalidade de controlar o processo:

P (proporcional) – Esta ação faz a correção proporcional ao erro entre SP e PV.

I (Integral) – A correção é feita na proporção do erro x tempo.

D (Derivativa) – Correção proporcional á velocidade da variação do erro.

Um correto ajuste dos parâmetros de ganho em um controle PID visa melhorar a resposta do sistema após um sinal de entrada, diminuindo o tempo de resposta, o overshoot e o erro em regime permanente. O controle de um servo sistema é realizado através do controle PID digital. A figura10 ilustra a resposta do sistema, com controle, P, PI, PD e PID, após um sinal de entrada.



Fonte: Morgado (2008)

FIGURA10: Gráfico de controle P,PI,PD e PID

2.8 Funções do controle de movimento

O drive de controle trabalha de forma a manter o controle mais preciso de acordo com a operação desejada, pode-se programá-lo a controlar o torque, velocidade ou posicionamento.

2.8.1 Controle de torque

Este modo permite um controle preciso do torque de um servomotor, não importando sua velocidade e posição. Normalmente aplicado quando deseja-se um torque constante, pode-se citar como exemplo o aperto de parafusos em blocos de motores e o controle de tração em bobinadeiras e desbobinadeiras (GRAZIA, 2003).

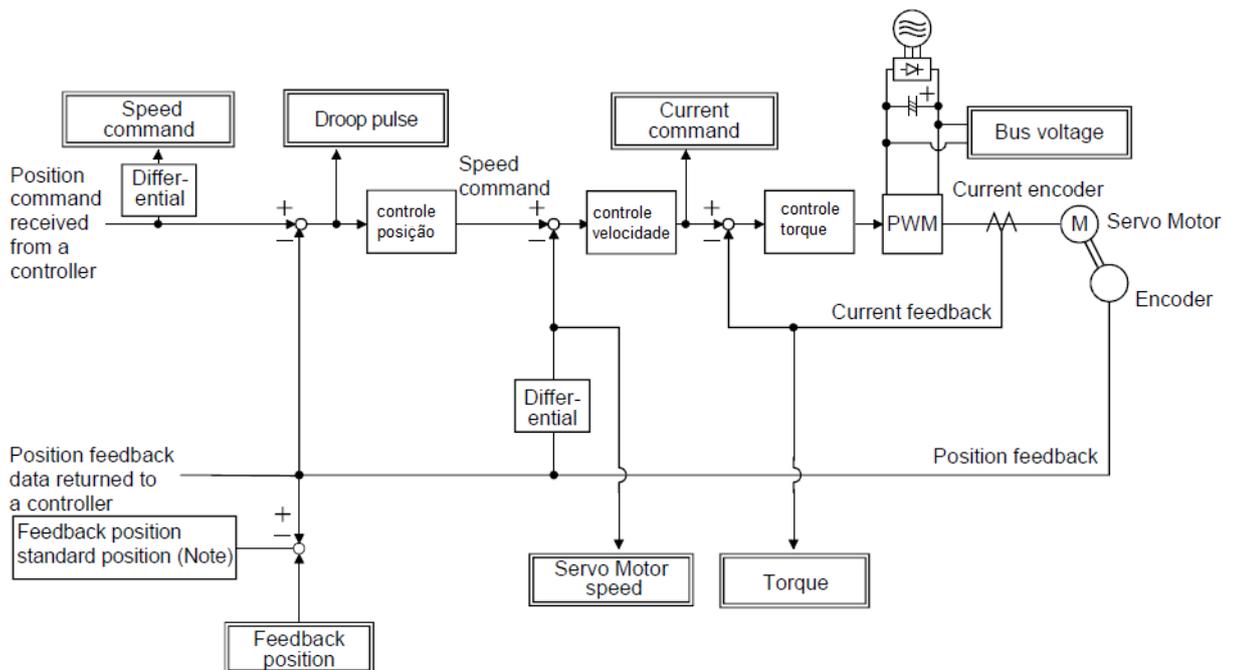
2.8.2 Controle de velocidade

O controle de velocidade é uma das funções básicas do controlador, é realizado em malha fechada, proporcionando alta precisão de controle, mesmo com grandes variações de carga (GRAZIA, 2003).

2.8.3 Controle de posicionamento

No caso de operação em modo de controle de posicionamento o importante é o servomotor atingir a posição solicitada com a máxima precisão possível. O posicionamento pode ser incremental ou absoluto. A precisão do posicionamento é dada pelo número de pulsos do encoder (GRAZIA, 2003).

A figura a seguir mostra a malha de controle com as opções de controle de torque, velocidade e posição:



Fonte: Manual servomotor Mitsubishi

FIGURA11: malha de controle posição/velocidade/torque

2.9 Comunicação

A comunicação entre dispositivos, sensores e controladores é fundamental para a realização do processo, seu desenvolvimento em velocidade e simplicidade de instalação são fatores importantes na automação industrial. Abaixo seguem alguns detalhes dos protocolos de comunicação.

2.9.1 Níveis de informação

No ambiente industrial a comunicação entre os dispositivos de controle, atuadores, sensores e CLPs é subdividida em níveis, de acordo com o volume de informações e velocidade de transferência. Essa subdivisão se dá em três níveis basicamente, A figura 12 mostra uma pirâmide que representa esses níveis. (Cappeli, 2002).



FIGURA 12: Níveis de informação.

A base da pirâmide refere-se ao “chão de fábrica” ao qual a comunicação é estabelecida basicamente entre dispositivos atuadores (inversores, válvulas). Nessa etapa o volume de informações é pequeno, porém a velocidade de transmissão é alta, pois o tempo de reação entre a variação do processo e a resposta do dispositivo de saída deve ser o menor possível. A camada intermediária ilustra a comunicação entre os sistemas,

geralmente PLCs, nessa camada o volume de informações é maior, mas a alta taxa de transmissão já não é prioritário. O ápice da pirâmide representa o sistema de gerenciamento, que coleta todas as informações dos outros níveis e estabelece as estratégias de controle (Capelli, 2002).

TABELA3 : Comparativo entre os níveis de informação

Volume	Tempo de reação	Frequência de transmissão
Gerenciamento M Byte	Horas/minutos	Dia/turno/hora
Célula k Byte	10ms/100ms	Segundos/minutos
“Chão de fábrica” Sensores Bits	Ms	Ms

Fonte: MTS automação industrial (2006)

Uma rede formada por controlador, geralmente um CLP, drivers de controle que se comunicam com os servomotores e dependendo da aplicação podem comunicar-se entre si englobam os 3 níveis de informação citados acima.

2.9.2 Topologia de Redes

Sistemas de comunicação são constituídos por arranjos interligando os vários módulos processadores através de enlaces físicos (meio de transmissão) e de um conjunto de regras com a finalidade de organizar a comunicação (Protocolos). A topologia refere-se a forma com que os enlaces físicos estão organizados (ALBUQUERQUE;ALEXANDRIA, 2009).

Normalmente as redes apresentam topologia em estrela, anel (*Token Ring*), barramentos, árvore ou alguma combinação entre elas.

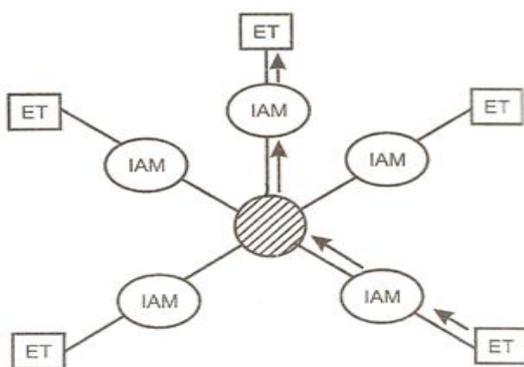
- Topologia Estrela – Nesse tipo de topologia existe um nó central, mestre, que se comunica com cada um dos demais nós, escravos. Não existindo comunicação direta entre escravos cabendo ao mestre executar o gerenciamento das comunicações. Nessa topologia, quando falha um nó escravo, compromete apenas o nó defeituoso. Já no caso de falha no nó central, toda a rede fica comprometida (ALBUQUERQUE;ALEXANDRIA, 2009).

• Topologia Anel – Consiste na ligação sequencial fechada entre todas as estações de trabalho da rede, as ligações são unidireccionais e os dados circulam no anel. A informação transmitida percorre desde o caminho que enviou a mensagem até o receptor, passando pelas estações existentes entre emissor e receptor. O maior problema das redes em anel é que falhando qualquer estação toda a rede fica paralisada (ALBUQUERQUE;ALEXANDRIA, 2009).

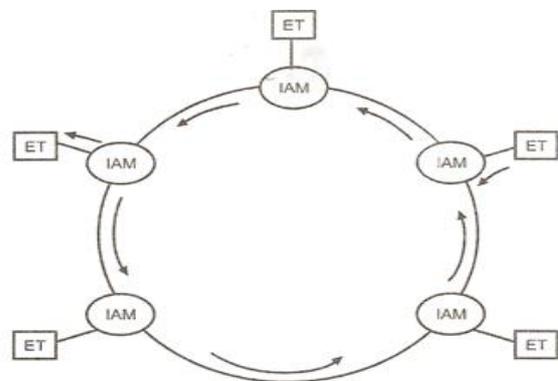
• Topologia Barramento – As estações conectam-se a um barramento que, ao contrário da topologia anel, não se encontra seccionado. Todos os dados enviados são recebidos por todas as estações ao mesmo tempo, Cabe ao software controlar o acesso ao meio físico. Essa topologia é bastante confiável, só apresentando problemas quando o barramento for partido (ALBUQUERQUE;ALEXANDRIA, 2009).

• Topologia Árvore – Essa topologia pode ser entendida como várias barras interconectadas, geralmente é formada por um barramento central, que pode ser comparada com um tronco, e diversos barramentos secundários. Essa topologia requer cuidados especiais ao seu uso devido ao fato de dados trafegarem em dois sentidos nos locais onde derivam as ramificações. Seu nível de confiabilidade é idêntico ao da topologia em barramento (ALBUQUERQUE;ALEXANDRIA, 2009).

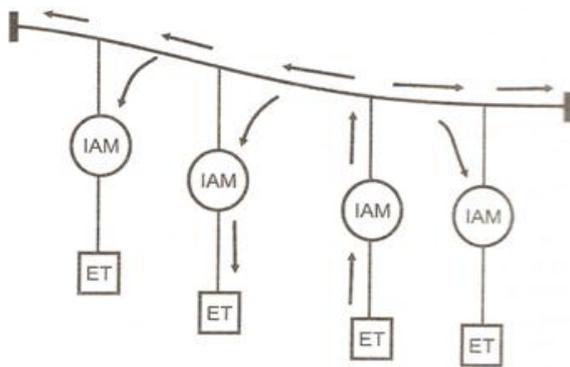
A figura 13 ilustra as topologias de rede:



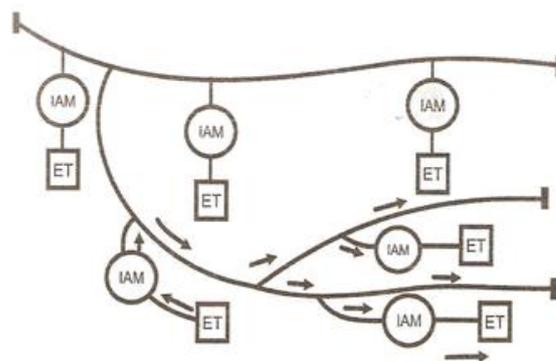
13 (a) Estrela



13 (b) Anel



13 (c) Barramento



13 (d) Árvore

Fonte: Thomazini,, Albuquerque (2006)

FIGURA 13: Topologias de redes

A tabela 4 apresenta uma comparação entre as topologias de rede, destacando vantagens e desvantagens de cada uma.

TABELA 4: Comparativo entre topologias de Redes

Topologia	Vantagens	Desvantagens
Estrela	Mais tolerante a falhas, fácil instalar usuários, monitoramento centralizado, maior taxa de transmissão.	Maior custo de instalação
Anel	Razoavelmente fácil de instalar, requer menos cabos, desempenho uniforme.	Se uma estação parar, todas param, dificuldade em isolar o problema
Barramento	Simples e fácil instalar, necessita menos cabos, fácil entendimento, dados trafegam em dois sentidos.	A rede fica mais lenta em períodos de uso intenso, dificuldade em isolar problemas.
Árvore	Semelhante a topologia em barra	Transmissão mais complexa, tempo de propagação alto.

Fonte: Thomazini,, Albuquerque (2006)

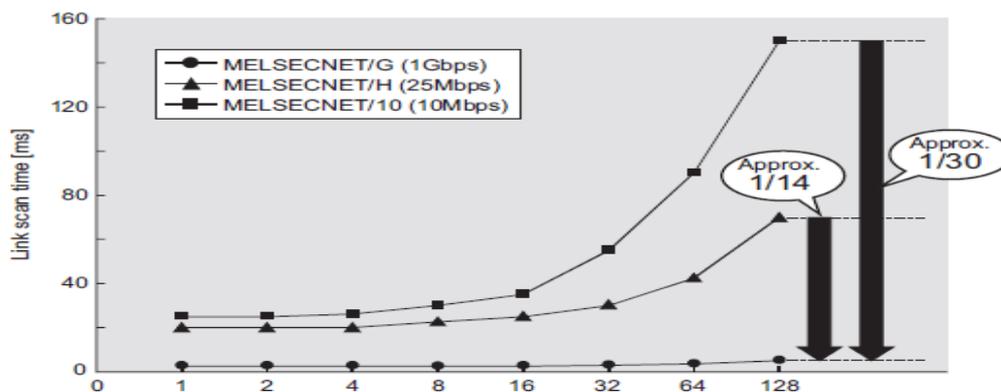
2.9.3 Protocolo SSCNET

O SSCNET (*Soft Servo System*) forma a rede de comunicação entre drivers de controle e servomotores da Mitsubishi. É constituído da versão SSCNET™(3,5 ms tempo de ciclo) e SSCNET™II(tempo de ciclo 0,88 ms) trabalha na forma de comunicação serial (topologia anel). possui uma taxa de transferência de dados de 5,6 Mbps (sincroniza os servo-eixos em tempo quase que real) podendo comandar até 8 eixos (Soft Servo System, INC, 2007).

A instalação de novos dispositivos é facilmente realizada através do sistema *plug and play*. A ligação física entre os dispositivos se dá por meio da fibra óptica que, devido ao seu comprimento de onda, possui alta imunidade a ruídos e alta taxa de transferência de dados (Soft Servo System, INC, 2007).

2.9.4 Melsecnet G

É um sistema de controle de rede que interliga controladores programáveis distribuídos, tais como controladores e computadores pessoais, podendo transmitir e receber grandes quantidades de dados em tempo real, possui alta velocidade e alta capacidade cíclica de transmissão. Possui diagnóstico de rede visíveis através de software (FUJITA, 2007). A figura14 compara taxas de transferências entre tecnologias MELSECNET



Fonte: Manual Melsecnet

FIGURA 14: Taxa de transferência Melsecnet G

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A análise desse trabalho foi realizada com base no sistema formado pelos seguintes equipamentos:

- Controlador Lógico Programável (CLP) MELSEC, série Q, modelo Q170M da Mitsubishi;
- Drive Mitsubishi modelo MRJ3-500/B
- Servomotor Mitsubishi modelo HC-RP503, 15.9Nm de torque, 3000 RPM, 5kW, 127Vca.
- Redutor de Velocidade APEX/AF100-004-S1-P1, redução de 4:1.
- Notebook HP, com os softwares da Mitsubishi instalados.

Para a programação do CLP utilizou-se o software GX Developer, esse programa permite a programação em diagrama ladder (LD), lista de instruções (LI) ou gráfico de função sequencial (SFC), podendo alternar entre LD e LI a qualquer instante da programação. O GX Developer possui editores e funções de diagnósticos para configuração de rede e hardware.

A parametrização e monitoramento do driver foi realizado através do software MR Configurator, o qual possui fácil parametrização por eixo desejado, assim como um display gráfico de monitoramento. A comunicação entre o servoconversor e o servomotor é realizado através de um cabo trifásico e, a comunicação entre o encoder acoplado ao servomotor e o servoconversor é realizada através de cabo serial.

A figura 15 exibi uma tela do software MR Configurator, essa figura ainda demonstra uma tela com dados de acompanhamento do drive atuando.

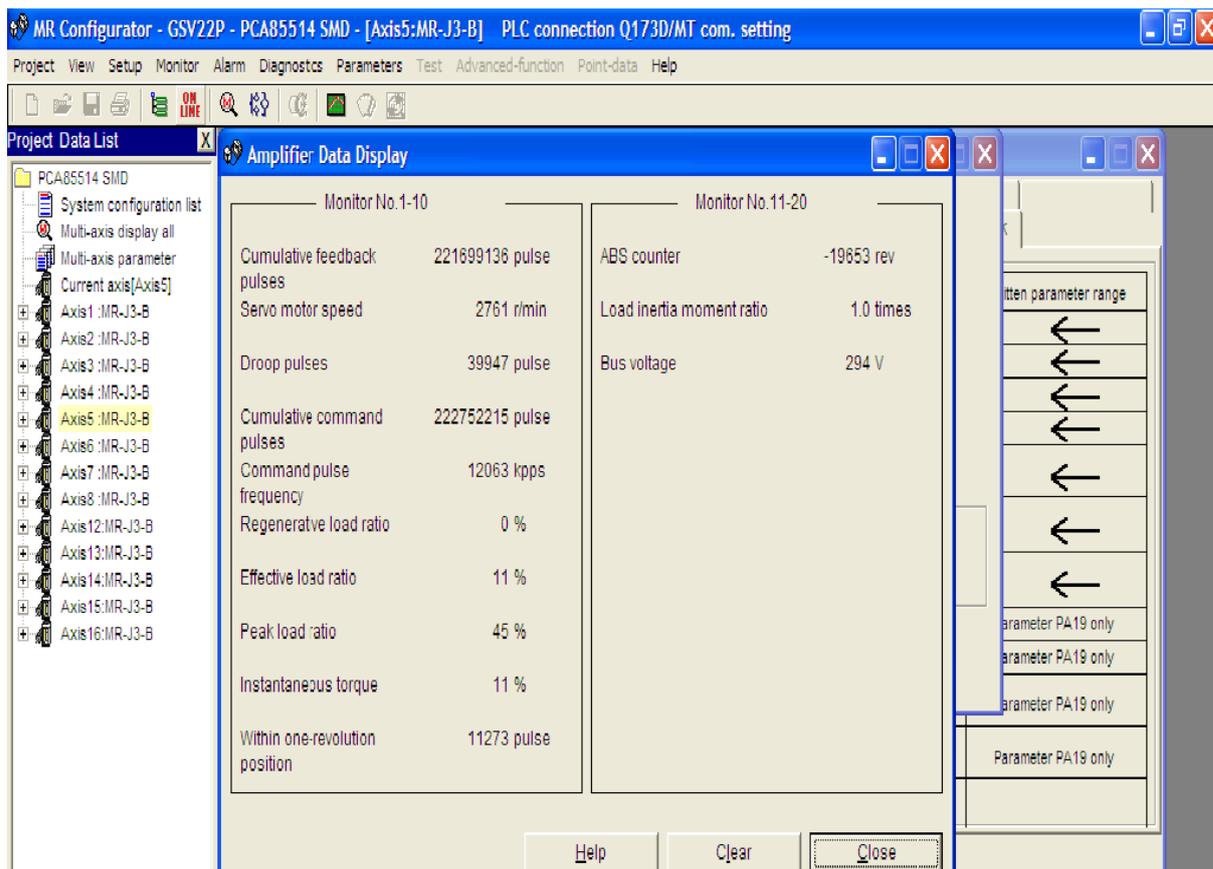


FIGURA 15: software de programação e acompanhamento do servoconversor

3.1.1 Falhas comuns

O Histórico de paradas do equipamento decorrentes do servoacionamento em modo operação indicava 2 falhas constantes:

- Erro de Bateria
- Falha no encoder

Além de desgaste prematuro do servomotor.

3.2 Métodos e Melhorias

A falha de erro da bateria foi praticamente sanada, já a falha no encoder ainda está em estudo de melhorias porem já ocorre com menos frequência e a troca de servomotores diminuiu consideravelmente. As medidas tomadas serão explicadas a seguir.

3.2.1 Erro de Bateria

Alguns conjuntos de corte, devido a necessidade de manterem faseamento de sua posição após parada de maquina, usam uma bateria para armazenamento de dados. Algum tempo em operação e começou a apresentar alarme “erro de bateria” o qual mesmo após a troca da bateria por uma nova não acabava com essa falha.

Foi feito uma análise e concluiu-se que a bateria poderia ser substituída por um simples home position sempre que o servomotor perdesse sua posição, uma vez que o encoder utilizado era do tipo incremental.

Assim, de acordo com a figura 16, foi alterado via software o parâmetro que habilita a bateria.

Foi alterado valor do parâmetro PA03, *Absolute position detection system*, de 0001 para 0000. Esse parâmetro faz parte da parametrização básica, localizado em Basic setting.

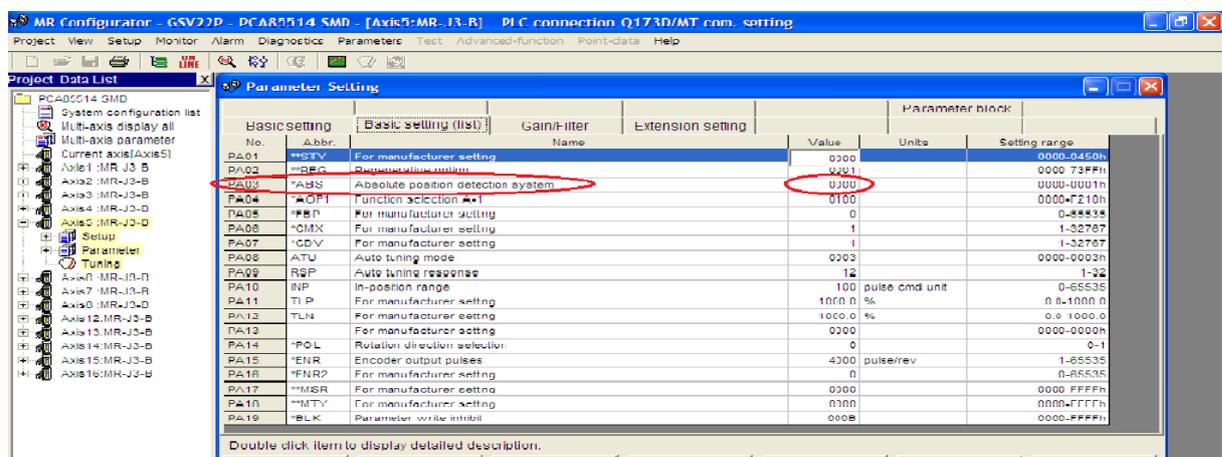


FIGURA 16: Desabilitando a bateria

3.2.2 Falha de encoder

Alguns dos possíveis causadores das falhas de encoder, principal motivo de paradas ocasionadas por parte dos motores, serão analisadas nessa etapa.

3.2.2.1 O aquecimento

Desmontou-se o encoder de um servo, após varias trocas devido a falhas, identificando fuligens. Foi constatado aquecimento do servo, o que possivelmente estava secando o lubrificante dos rolamentos. Foi realizado análise termográfica no servo, medindo aproximadamente 80°C, dentro do especificado pelo datasheet do motor, porém o suficiente para secar o lubrificante dos rolamentos. Como esses servos não possuem resfriamento próprio foi adaptado um sistema de resfriamento com ar comprimido. A figura 17 ilustra a análise termográfica antes e após o resfriamento.

Foi utilizado uma tubulação de cobre, enrolado em forma de serpentina, envolvendo o servo. Foram feitos pequenos orifícios de 2mm, distanciados de 20 em 20 mm ao longo da barra. Ao enrolar o tubo essa furação ficou voltada para o servo, resfriando-o a uma temperatura em torno de 45°C.

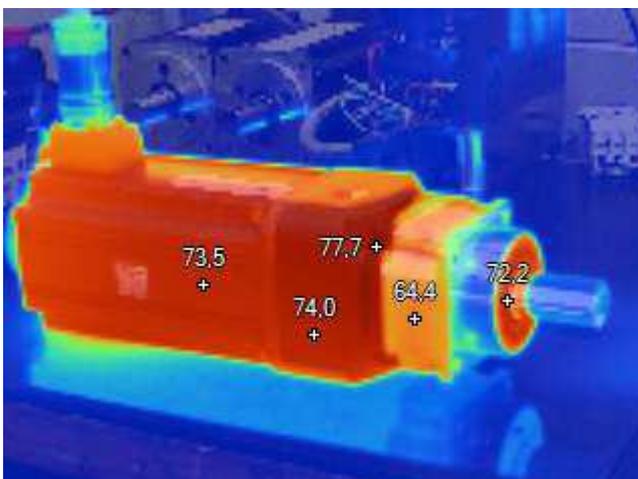


FIGURA 17a :servomotor antes do resfriamento

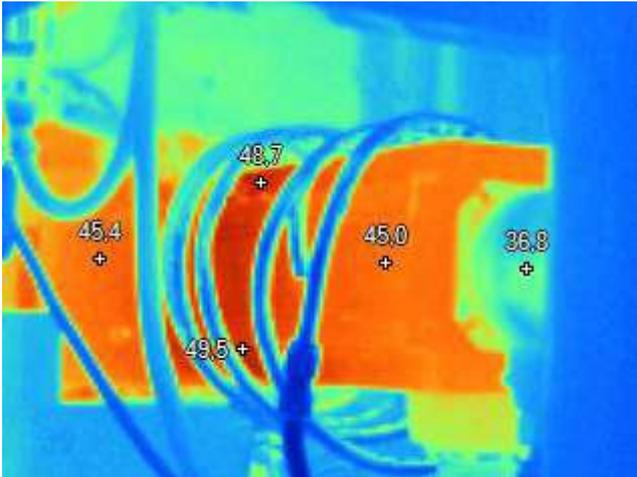
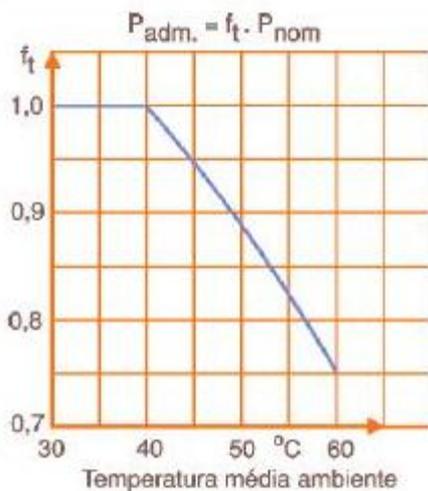


FIGURA 17b: servomotor após resfriamento

FIGURA 17: Termografia servomotores

De acordo com Ottoboni (2003), a temperatura ambiente ideal é de 40°C. Para temperaturas acima disso é possível trabalhar utilizando potencia reduzida. A ventilação forçada serve para poder obter do servomotor mais torque que o nominal. A figura 18 mostra o gráfico da relação do torque com o aumento da temperatura.



Fonte: Ottoboni (2003)

FIGURA 18: Torque x Temperatura

As resistências elétricas sofrem variação com a temperatura, afetando as características do servomotor. Na pratica existem varios efeitos térmicos que devem ser

considerados, como por exemplo, o calor transferido pelo eixo da máquina pode afetar um mecanismo de posicionamento de precisão (WEG, 2005).

3.2.2.2 Ajustes manuais dos parâmetros do servoconversor

Existem quatro métodos para ajustes dos parâmetros do acionamento do servomotor, *Interpolação mode*, *Autotuning mode 1*, *Auto tuning mode2* e *manual mode*, como mostra a figura 19 a seguir:

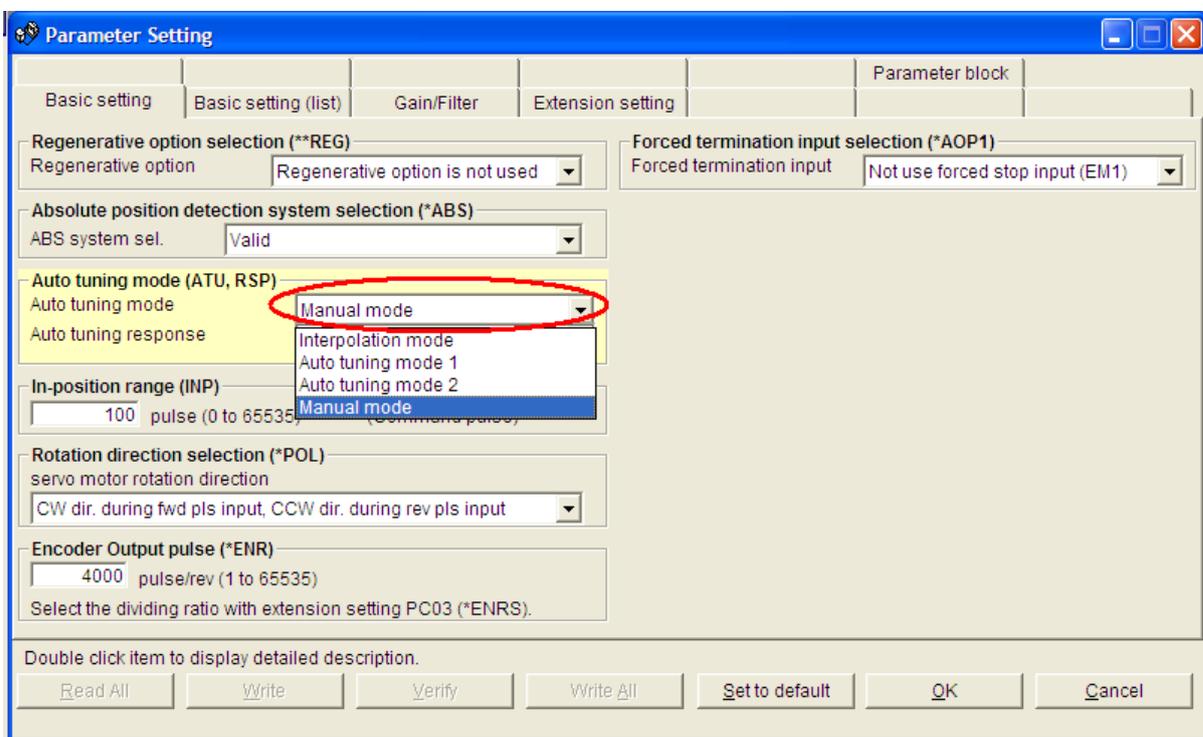


FIGURA 19: seleção de modo de ajuste de parâmetros

Esses parâmetros, ajustados através do Auto tuning mode, apresentava bastante oscilações no processo, uma vez que os servos aceleravam e desaceleravam constantemente a fim de manterem o faseamento. A figura 20 mostra o acompanhamento gráfico, através do MR Configurator, da velocidade real (branco), velocidade desejada (lilás) e o torque que é exigido do servomotor para manter essa velocidade.

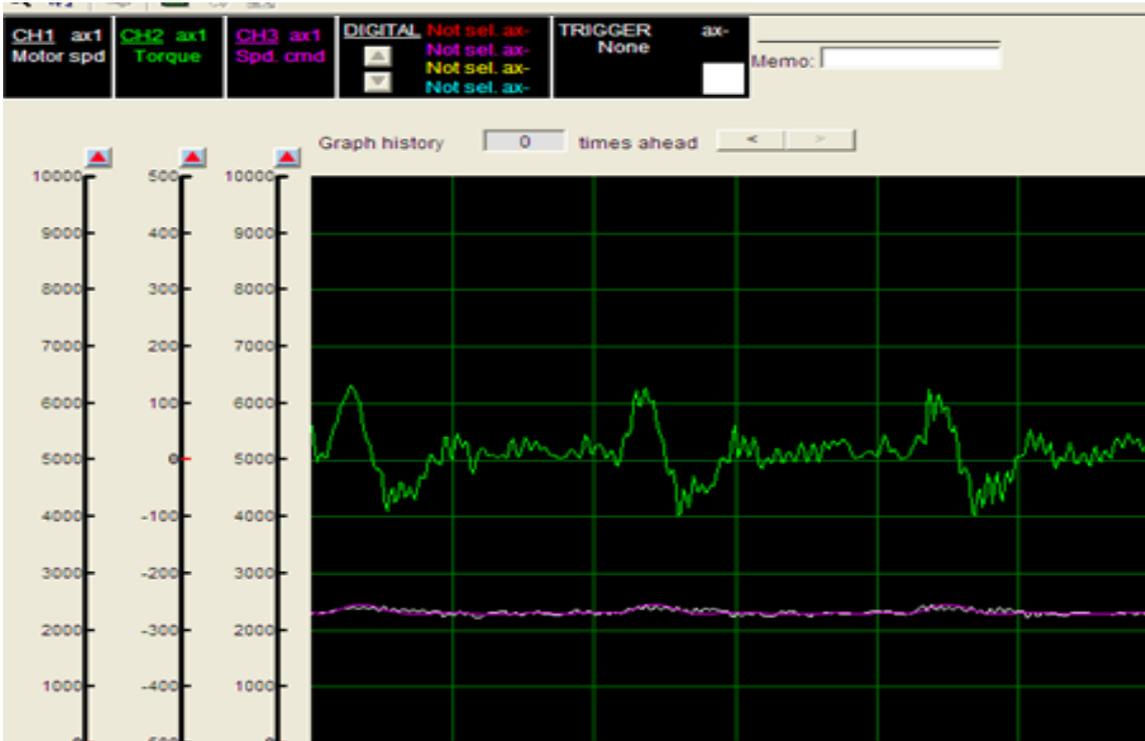


FIGURA 20: Gráfico de desempenho do motor antes de ajuste dos parâmetros

Percebe-se que há uma variação em torno de 100Nm.

Analisando mais alguns parâmetros do servomotor constatamos a proporção de momento de inércia de carga para momento inércia do servomotor de 10.6 vezes, como mostra a figura 21:

Basic setting		Basic setting (list)	Gain/Filter	Extension setting	Parameter block
No.	Abbr.	Name	Value	Units	Setting range
PB01	FILT	Adaptive tuning mode (Adaptive filter 2)	0000		0000-0002h
PB02	VRFT	Vibration suppression control filter tuning mode	0000		0000-0002h
PB03		For manufacturer setting	0		0-0
PB04	FFC	Feed forward gain	0	%	0-100
PB05	FFCF	For manufacturer setting	500	rad/s	10-4500
PB06	GD2	Ratio of load inertia moment to servo motor inertia moment	10.6	times	0.0-300.0
PB07	PG1	Position loop gain	220	rad/s	1-2000
PB08	PG2	Position loop gain	35	rad/s	1-1000
PB09	VG2	Speed loop gain	1123	rad/s	20-50000
PB10	VIC	Speed integral compensation	35.7	ms	0.1-1000.0
PB11	VDC	Speed differential compensation	980		0-1000
PB12	OVA	For manufacturer setting	0	%	0-100
PB13	NH1	Machine resonance suppression filter 1	4500	Hz	100-4500
PB14	NHQ1	Notch shape selection 1	0000		0000-0330h
PB15	NH2	Machine resonance suppression filter 2	4500	Hz	100-4500
PB16	NHQ2	Notch shape selection 2	0000		0000-0331h
PB17	NHF	Automatic setting parameter	0000		0000-031Fh
PB18	LPF	Low-pass filter	3141	rad/s	100-18000
PB19	VRF1	Vibration suppression control vibration frequency setting	100.0	Hz	0.1-100.0
PB20	VRF2	Vibration suppression control resonance frequency setting	400.0	Hz	0.1-400.0

FIGURA 21: Visualização do parâmetro do momento de inércia

O qual pôde-se constatar no datasheet do motor que o recomendado para o motor em operação é no máximo 5 vezes.

Servo motor series			HC-RP series (Ultra low inertia, medium capacity)				
Servo motor model HC-RP			103(B)	153(B)	203(B)	353(B)	503(B)
Servo amplifier model MR-J3-			200A/B(-RJ006)/T		350A/B(-RJ006)/T	500A/B(-RJ006)/T	
Power facility capacity (Note 1) (kVA)			1.7	2.5	3.5	5.5	7.5
Continuous running duty	Rated output (kW)		1.0	1.5	2.0	3.5	5.0
	Rated torque (N·m [oz·in])		3.18 (450)	4.78 (677)	6.37 (902)	11.1 (1570)	15.9 (2250)
Maximum torque (N·m [oz·in])			7.95 (1130)	11.9 (1690)	15.9 (2250)	27.9 (3950)	39.7 (5620)
Rated speed (r/min)			3000				
Maximum speed (r/min)			4500				
Permissible instantaneous speed (r/min)			5175				
Power rate at continuous rated torque (kW/s)			67.4	120	176	150	211
Rated current (A)			6.1	8.8	14	23	28
Maximum current (A)			18	23	37	58	70
Regenerative braking frequency (times/min) (Note 2)			1090	860	710	174	125
Moment of inertia J ($\times 10^{-4}$ kg·m ²) [J (oz·in ²)]	Standard		1.50 (8.20)	1.90 (10.4)	2.30 (12.6)	8.30 (45.4)	12.0 (65.6)
	With electromagnetic brake		1.85 (10.1)	2.25 (12.3)	2.65 (14.3)	11.0 (61.5)	15.5 (84.7)
Recommended load/motor inertia moment ratio			5 times the servo motor's inertia moment maximum (Note 3)				
Speed/position detector			18-bit encoder (Resolution per encoder/servo motor rotation: 262144 p/rev)				
Attachments			Oil seal				

FIGURA 22: Datasheet do motor

Após esta primeira análise iniciou-se o ajuste manual dos valores de ganho do controlador do servo, a tabela 5 mostra os valores alterados, a figura 23 exibiu o gráfico de velocidade e torque do servo após os ajustes.

TABELA 5: Parâmetros alterados no drive

PARÂMETRO		ANTES	DEPOIS
PB06	Momento de inercia do motor	8.2	1.6
PB07	Ganho de malha modelo	280	280
PB08	Ganho de malha de posição	36	36
PB09	Ganho de malha de velocidade	916	150
PB10	Compensação integrante de velocidade	34,7	65



FIGURA 23: Gráfico de desempenho do motor após os ajustes dos parâmetros.

Percebeu-se uma redução significativa no torque do servo, houve perda de precisão entre velocidade comandada e velocidade real, porém sem afetar o processo do equipamento.

3.2.2.3 Análise de outro modelo de servomotor

Iniciou-se o estudo da possibilidade de troca do servomotor utilizado, entre as opções possíveis foi encontrado outro modelo, HF-JP503/B, que não necessita de adaptações mecânicas e é acionado pelo mesmo drive. A Tabela 6 compara os dois modelos de servomotores e a figura 24 exhibe o gráfico desempenho torque x velocidade.

TABELA 6: Comparativo de modelos diferentes de servomotores

	ATUAL	PROPOSTO
Fabricante	Mitsubishi	Mitsubishi
Drive	MR-J3-500/B	MR-J3-500/B
Modelo	HC-RP503/B (3000r/min 200VAC Class)	HF-JP503 (3000r/min 200VAC Class)
Características		
Modelo drive de acionamento	MR-J3-500B	MR-J3-500B
Potência máxima de saída	7.5 kVA	7.5 kVA
Potência média de saída	5.0 kW	5.0 kW
Torque médio	15.9 N.m	15.9 N.m
Torque máximo	39.7 N.m	47.7 N.m
Rated speed	3000 r/min	3000 r/min
Máxima velocidade	4500 r/min	6000 r/min
Velocidade instantânea permitida	5175 r/min	6900 r/min
Taxa de potência com torque nominal contínuo	211 kW/s	133 kW/s
Corrente média	28 A	27 A
Corrente máxima	70 A	81 A
Frequência de freio regenerativo	125 times/min	68 times/min
Momento de inércia padrão	12.0 J	19.0 J
Carga recomendada para momento de inércia media do motor	5 times	10 times
Detecção Velocidade/posição	18 bit encoder (resolution 262144 p/rev)	18 bit encoder (resolution 262144 p/rev)
Classe de isolamento	F	F
Peso	17 Kg	18 Kg
Ponta de eixo	28mm h6	28mm h6
Comprimento eixo	58mm	50mm
Comprimento até encaixe tampa	63mm	55mm

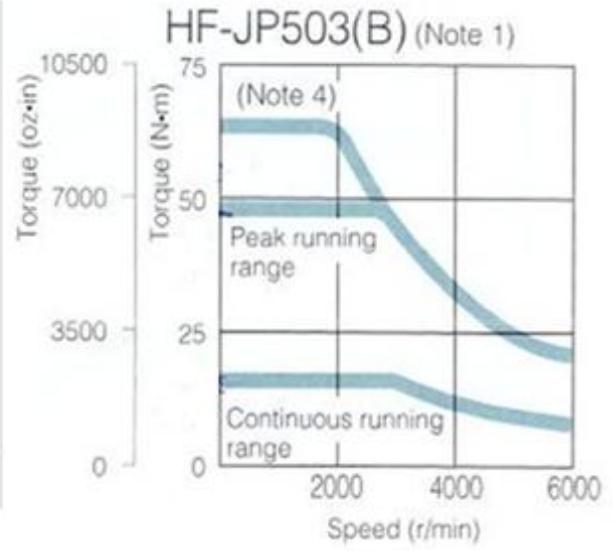
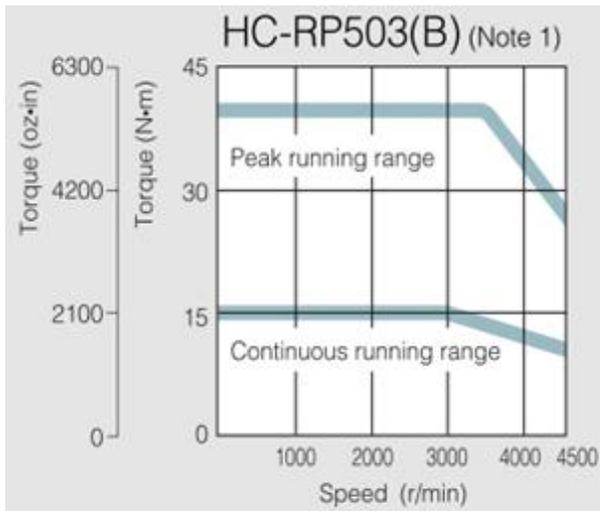


FIGURA 24: Gráfico comparativo entre modelos de servomotores

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As intervenções aplicadas à esta operação mostraram-se eficazes, diminuindo consideravelmente as paradas do equipamento decorrentes de falhas no servoacionamento, garantindo uma maior estabilidade e diminuindo o custo do processo de fabricação.

Das atividades realizadas a que mostrou melhores resultados foi o ajuste manual dos parâmetros de ganho do controle, pois diminuiu o torque de aceleração e desaceleração do motor, como mostra a figura 25.

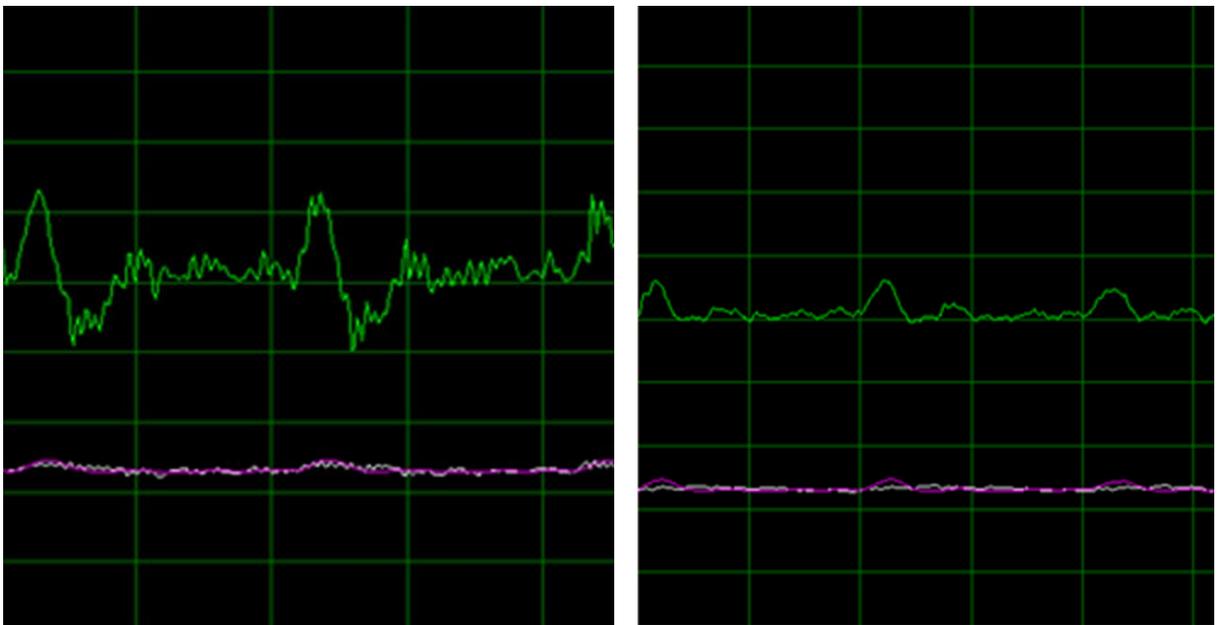


FIGURA 25: Comparativo entre os gráficos de antes e depois dos ajustes dos parâmetros

Observou-se perda de precisão entre a velocidade comandada e velocidade real, porém sem prejuízos ao processo.

A questão da substituição do servo por outro modelo esta em fase de estudos, podendo ocorrer em um futuro próximo.

5 CONCLUSÃO

A importância da aplicação dos servomotores está explícita em nosso dia-a-dia, nas indústrias e na necessidade de controle. Sendo amplamente aplicados em quase todos os segmentos industriais, os servomotores precisam ser bem especificados e compreendidos.

O estudo dos servomotores é altamente relevante àqueles que pretendem projetar sistemas automatizados, um bom recurso quando a necessidade for controle de torque, posição e/ou velocidade.

Foi possível perceber vantagens em se ajustar manualmente, invés de realizar *auto tuning*, aos ganhos da malha de controle.

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 BIBLIOGRAFIA

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga. Sensores Industriais, Fundamentos e Aplicações. 2ª Ed. São Paulo: Érica, 2006.

MTS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Servos Controles- Acionamento e Robótica, 2006.

WEG. Guia de Aplicação-Servoacionamentos, Santa Catarina, 2004.

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

Ogata, Katsuhiko: Engenharia de Controle Moderno. Editora Prentice/Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1985.

Ferreira, P. A. Valente; Princípios de Controle e Servomecanismos. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006

CAPELLI, Alexandre. Mecatrônica Industrial: Uma obra indispensável para o profissional de sucesso, Editora Saber, São Paulo, 2002.

CASTELLANI, Bruno. Controladores de Processos industriais. Mecatrônica Atual, Editora Saber, São Paulo, 2004.

GRAZIA, Mário Sérgio. Servo-acionamentos – Características e aplicações. Disponível em <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/421>>. Acesso em 9 de Outubro de 2011.

SOFT SERVO SYSTEM, disponível em:

<<http://www.softservo.com/SSCNET.php?catID=2&subID=9>>. Acesso em 10 de Setembro de 2011.

FUJITA, Tomoyuki, Controller Network MELSECNET/G, disponível em

<http://www.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/pdf/vol119/vol119_tr9.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2011.

OTTOBONI, Augusto. Manutenção de Servomotores, disponível em

<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/339>>. Acessado em: 20 de Outubro de 2011.