

GABRIEL MENDONÇA PINTO DA MOTA
KLEBER DOS SANTOS OLIVEIRA
MARCOS HENRIQUE SENA DE OLIVEIRA
TIAGO DALLA COSTA MEIRA

**BANCADA DIDÁTICA PARA EXPERIÊNCIA COM SERVOMOTORES:
GUIA DE EXPERIÊNCIAS**

**GABRIEL MENDONÇA PINTO DA MOTA
KLEBER DOS SANTOS OLIVEIRA
MARCOS HENRIQUE SENA DE OLIVEIRA
TIAGO DALLA COSTA MEIRA**

**BANCADA DIDÁTICA PARA EXPERIÊNCIA COM SERVOMOTORES:
GUIA DE EXPERIÊNCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Tecnologia de São Bernardo do Campo
“Adib Moisés Dib” como requisito
parcial para a obtenção do título de
Tecnólogo(a) em Automação Industrial.

Orientador: Professor Me. Marcelo
Griese.

São Bernardo do Campo - SP
Novembro/2024

Agradecemos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Aos professores, cuja dedicação e paixão pelo ensino nos inspiraram a buscar o conhecimento com entusiasmo. As nossas famílias pelo apoio incondicional e aos meus amigos e colegas de classe pela troca de ideias ao longo dessa jornada. Por fim, agradecemos à ciência, que nos motiva a explorar e entender o mundo.

Agradecemos ao Professor Marcelo Griesse pela ajuda durante a elaboração deste trabalho.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

NIKOLA TESLA

RESUMO

Este projeto foca no desenvolvimento de uma bancada didática que será utilizada pelos professores da FATEC Adib Moises Dib. Neste projeto os docentes poderão demonstrar em aula o uso e funcionamento dos servomotores podendo ser atuados simultaneamente, utilizando um notebook ou uma IHM. São utilizados os seguintes equipamentos da Mitsubishi: dois servomotores, dois servocontroladores, um Controlador Lógico Programável, um *switch* para comunicação *Ethernet*. Os servomotores podem ser controlados pelo servo controlador que utiliza o *software MRConfigurator2* e o Controlador Lógico Programável que utiliza o *GXWorks3*.

Palavras-chave: Bancada didática, IHM, CLP, Servomotor.

ABSTRACT

This project focuses on the development of a didactics bench that will be used by FATEC Adib Moises Dib teachers. In this project, the educators will be able to demonstrate in class the use and operation of servomotors, which can be operated simultaneously, using a notebook or an HMI. The following Mitsubishi equipment is used: two servomotors, two servocontrollers, a Programmable Logic Controller and a switch for Ethernet communication. The servomotors can be controlled by the servocontroller using the MRConfigurator2 software and the Programmable Logic Controller uses the GXWorks3.

Keywords: Didactic bench, HMI, PLC, Servomotor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Malha de controle de um servoacionamento	3
Figura 2 - Malha de controle simplificada	8
Figura 3 - Malhas de controle dos parâmetros específicos	8
Figura 4 - Leitura da placa de classificação do servo controlador	15
Figura 5 - Placa de classificação do servocontrolador	16
Figura 6 - Leitura da placa de classificação do servomotor	17
Figura 7 - Placa de classificação do servo motor utilizado	18
Figura 8 - Interface do MRConfigurator2	19

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Respostas entre as malhas.....	9
---	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem Máquina
SSCNETII /H	Rede Ótica Mitsubishi
PWM	Modulação por Largura de Pulso
A/D	Conversão Analógico/Digital
D/A	Conversão Digital/Analógico
DRAM	Memória Dinâmica de Acesso Aleatório
SRAM	Memória Estática De Acesso Aleatório
ROM	Memória Somente de Leitura
E ² PROM	Memória Somente de Leitura Programável Apagável Eletronicamente
UART	Transmissor/receptor assíncrono universal.
PCB	Placa de Circuito Impresso
RPM	Rotações por minuto

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
1.1 Função de um servoacionamento	2
1.2 A estrutura de um servoacionamento	2
1.3 Servomotores	3
1.4 Tipos de Servomotores	4
1.4.1 Servomotor de corrente alternada de imã permanente (síncrono)	4
1.4.2 Servomotor de corrente alternada de indução (assíncrono)	4
1.4.3 Servomotor de corrente contínua	5
1.5 Servo conversores	5
1.6 Microcontroladores	5
1.7 Memória	6
1.8 <i>Encoder</i>	6
1.9 Freios do Servo	6
1.10 Malhas de Controle	7
1.10.1 Controle de posição	8
1.10.2 Controle de velocidade	9
1.10.3 Controle de torque	9
1.14 Exemplos de Aplicação de um Servo	10
2 METODOLOGIA	11
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	13
3.1 Características principais do servoacionamento <i>Melservo MR-JE-C</i>	13
3.2 Características principais do servomotor HG-KN23K	15
3.3 Programação e Controle.....	17
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
5 REFERÊNCIAS	20
6 APÊNDICE.....	21

INTRODUÇÃO

Esse projeto nasceu com intuito de melhoria na forma como hoje é apresentado servomotores para alunos da instituição FATEC, visando aumentar o contato com um equipamento moderno, eficiente e complexo. Os equipamentos foram disponibilizados em parceria com a faculdade para ser um facilitador neste projeto o qual foi proposto, buscando conhecer a linguagem e forma como melhor tirar proveito nos diversos tipos de parâmetros que poderiam ser estudados na disciplina de máquinas elétricas.

Com a plataforma, o professor pode lecionar e criar redes de automação integrando um ou dois servomotores, atuando em seus controles e sincronismos com precisão. Visamos a criação de roteiros de experimentos com apostila de apoio que ensina a operacionalização da bancada, documento que deve ser consultado para compreender instruções da bancada didática e servir de apoio quando houver dúvidas que estejam relacionadas ao estudo em questão, bem como registrar passo a passo de forma categórica os conceitos que estão implícitos neste estudo. A bancada requer treinamento prévio para entender como conectar e realização comunicação com êxito, endereçamentos e liberações necessárias, bem como os comandos os quais se deve usar para realizar cada tipo de função ou compilação numa simulação mais complexa, seguindo uma rotina de eventos e comandos que resultaria nos mesmos conceitos da indústria e afins.

A iniciação deste projeto tornará mais fácil o entendimento sobre o conceito de servoacionamentos para os futuros alunos, podendo o projeto ser aplicado em diversas outras disciplinas do curso, como Controladores Lógico Programáveis e Sistemas de Controle.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Função de um servoacionamento

A palavra “servo” deriva da palavra em latim “*servus*”, foi usada pela primeira vez para descrever um sistema de motores e engrenagens hidráulicas utilizados para controlar embarcações pelo engenheiro francês Jean Joseph Léon Farcot em seu livro *Le Servo-moteur ou Moteur Asservi*. (FARCOT,1873).

Dotados de grande aplicabilidade nos mais variados setores da indústria, o servo acionamento tem a função de cumprir fielmente, com rapidez e precisão comandos prévios de controle de posição, torque e velocidade.

Para isso, usam um sistema de controle com realimentação (malha fechada) através do *encoder (feedback)*, verificando sua operação continuamente para seguir os comandos corretamente.

A precisão é importante para minimizar a diferença entre o sinal de comando e o sinal de realimentação. (PENEDO, 2014).

1.2 A estrutura de um servoacionamento

Controlador: Emitir sinais de comando de operação para o servo amplificador (exemplo: trem de pulso e sinais via rede SSCNETII/H).

Servo conversor: Controlar a tensão, frequência e corrente do motor, de acordo com os comandos recebidos.

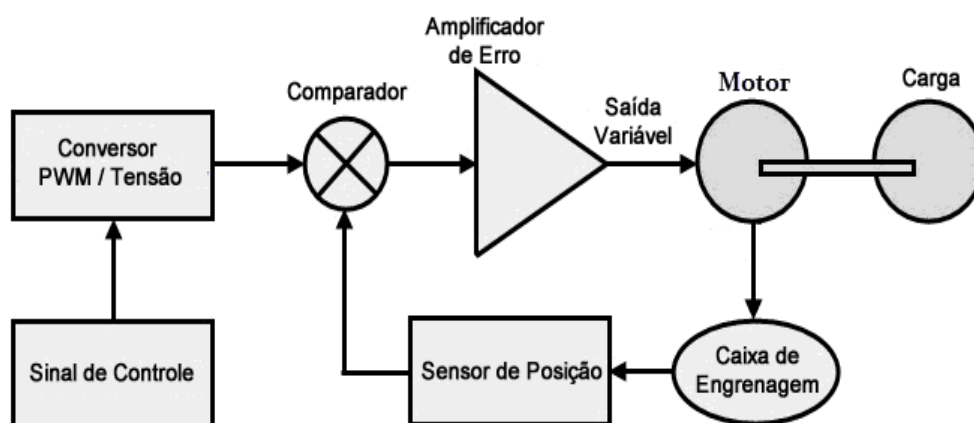
Servomotor: Realizar o movimento do conjunto mecânico e informar a posição atual através do *encoder*. (IORIO, 2024).

Na Figura 1 o sinal de realimentação correspondente à posição atual da carga é obtido utilizando um sensor de posição. Este sensor é normalmente um potenciômetro que produz a tensão correspondente ao ângulo absoluto do eixo do motor através do mecanismo de engrenagem. Então o valor de tensão de realimentação é aplicado na entrada do amplificador de erro (comparador).

O amplificador de erro é um amplificador de realimentação negativa e tem a função de reduzir a diferença entre suas entradas. Ele compara a tensão relacionada à posição atual do motor (obtida pelo potenciômetro) com a tensão desejada relacionada à posição desejada do motor (obtida pela largura de pulso ao conversor de tensão), e produz o erro em forma de tensão positiva ou negativa.

Esta tensão de erro é aplicada à armadura do motor. Se o erro for maior, mais saída é aplicada à armadura do motor. Enquanto o erro existir, o amplificador amplifica a tensão de erro e, conseqüentemente, a energia da armadura. O motor gira até que o erro se torne zero. Se por outro lado o erro for negativo, a tensão da armadura inverte e, neste caso, a armadura gira na direção oposta. (GOMES, 2017).

Figura 1 - Malha de controle de um servoacionamento



Fonte: GOMES, P. S. Aula 43 - Energização de Servomotor. Disponível em: <<https://maquinaseletricas.blogspot.com/2017/04/aula-20-servomotor.html>>.

1.3 Servomotores

Os servomotores são máquinas elétricas que possuem uma parte fixa chamada de estator e outra móvel denominada rotor.

Em seu rotor possui uma formação de ímãs permanentes posicionados de modo alinhado sobre ele e pelo controlador, também chamado de resolver, estes possuem a função de mensurar graus de rotação e possuem semelhança com um gerador, fornecendo uma tensão de saída proporcional à sua posição.

Os ímãs no rotor podem ser considerados parte do entreferro, posto que apresentam alta resistividade elétrica e permeabilidade magnética, proporcionando uma pequena reatância síncrona, minimizando a reação de armadura. O estator possui alinhamento tal que o início de uma ranhura coincide com o fim da seguinte na outra extremidade do eixo, para minimizar o torque de relutância existente na máquina, produzindo um movimento aos solavancos. (STEPHAN et al., 2010, p.19)

1.4 Tipos de Servomotores

Em geral, há três tipos de servomotores, sendo eles os de corrente contínua e dentre os de corrente alternada, há os tipos de ímã permanente (síncrono) e o de indução (assíncrono).

Nos equipamentos de automação industrial, o servomotor de corrente alternada síncrono é o mais utilizado em aplicações de pequenas e médias capacidades. (PENEDO, 2014).

1.4.1 Servomotor de corrente alternada de ímã permanente (síncrono)

Vantagens: isentos de manutenção, excelente resistência ao ambiente, alto torque, compacto e leve, alta taxa de potência.

Desvantagens: controle relativamente mais complexo, necessário um conjunto específico de servomotor e amplificador, são menos precisos que servomotores de corrente contínua, pode ocorrer desmagnetização. (PENEDO, 2014).

1.4.2 Servomotor de corrente alternada de indução (assíncrono)

Vantagens: isento de manutenção, excelente resistência ao ambiente, alta velocidade e alto torque, alta eficiência em alta capacidade, estrutura robusta.

Desvantagens: baixa eficiência em baixa velocidade, controle relativamente mais complexo, alteração das características em função da temperatura, exigindo uma ventilação adicional. (PENEDO, 2014).

1.4.3 Servomotor de corrente contínua

Vantagens: controle mais simples do servo conversor, baixo preço em baixa capacidade, alta taxa de potência.

Desvantagens: exige manutenção e inspeção periódica, não é usado em aplicações que requerem ambientes limpos, pois geram poeira nas escovas devido ao atrito, não é usado com torque elevado, pode ocorrer desmagnetização. (PENEDO, 2014).

1.5 Servo conversores

Em servoacionamentos, as aquisições de dados ocorrem de forma analógica e exigem que para a leitura seja compatível com os componentes digitais, ocorra a transformação dessas informações. Para tal tarefa, utilizam-se circuitos conversores A/D e/ou conversores D/A.

Uma vez convertidos, os sinais necessitam de lógicas para operar os controles relevantes às aplicações para que se destina o projeto. O próximo passo destina-se aos circuitos que utilizam componentes de memória para realizar as estratégias de controle de dados. (UNIVERSAL ROBOTS, 2023)

1.6 Microcontroladores

Os microcontroladores são circuitos integrados que possuem internamente, o processador, as memórias, as portas de saída e entrada e circuitos periféricos tais como saídas digitais moduladas por largura de pulso (PWM), *timers* e comunicação UART.

Em sistemas de controle desenvolvidos para servoacionamentos, podemos destacar as tarefas do componente para a coleta de sinais de entrada, ordenar as execuções de estratégias de controle, realizar etapas de conversão A/D e determinar valores de referência para a modulação PWM. (NETO; OLIVEIRA, 2019).

1.7 Memória

Circuitos de memória, em servoacionamentos, têm como finalidade reter as instruções e dados para processamento.

Em sua estrutura, podem ser necessárias as diversas subdivisões de memórias, tais como voláteis (DRAM, SRAM) ou não voláteis (ROM, E²PROM). (NETO; OLIVEIRA, 2019).

1.8 Encoder

Os *encoders* são dispositivos eletromecânicos utilizados para converter a posição, velocidade ou movimento de um objeto em um sinal elétrico que pode ser lido e interpretado por um sistema de controle, destacando-se principalmente dois tipos: o *encoder* incremental e o *encoder* absoluto. O *encoder* incremental é caracterizado por sua incapacidade de manter a posição quando o equipamento é desenergizado, retornando à origem. Cada pulso gerado por esse dispositivo corresponde às variações no ângulo de rotação. Além disso, apresenta um custo relativamente baixo, uma vez que sua estrutura é simples e de fácil implementação.

Por outro lado, o *encoder* absoluto se destaca por manter a posição mesmo quando o equipamento é desenergizado. Este tipo, utiliza comunicação serial para informar o valor absoluto da posição do motor. Contudo, devido à sua estrutura mais complexa, possui um preço elevado em comparação com o incremental. A escolha entre um *encoder* incremental e um absoluto deve levar em consideração as necessidades específicas do sistema em questão, bem como o orçamento disponível para a implementação. (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2019)

1.9 Freios do Servo

Os freios de controle desempenham um papel essencial na operação de servomotores, especialmente em situações que exigem paradas rápidas e controle preciso. Entre seus tipos, destacam-se o freio dinâmico, que é utilizado para parar o motor rapidamente após a queda de energia ou uma falha. No entanto, é importante ressaltar que o freio dinâmico não mantém o servo parado após a desaceleração. Outro tipo é o freio regenerativo, que é utilizado durante as fases

de aceleração e desaceleração, contribuindo para um controle mais eficiente do movimento.

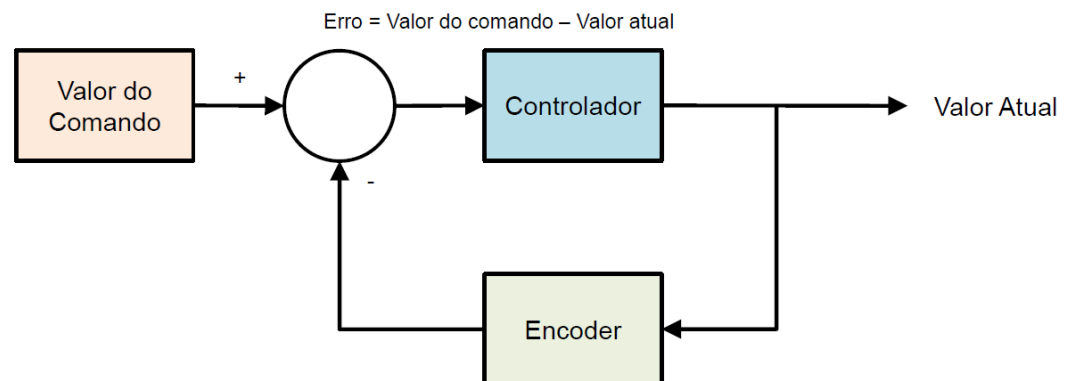
Além dos freios de controle, existe também o freio de retenção, que é um freio magnético projetado para manter o servomotor parado após o acionamento do freio dinâmico. Esse mecanismo é fundamental para garantir a segurança e a estabilidade do sistema, evitando movimentos indesejados quando o motor precisa permanecer em uma posição específica. (IORIO, 2024)

1.10 Malhas de Controle

Um servoacionamento é referido muitas vezes como sistema em malha fechada pelo fato de utilizar realimentação usando um canal de comunicação que reporta a condição de saída ao detector de erros. No caso, os servoacionamentos possuem três malhas que se destinam a controlar os parâmetros de posição, velocidade e torque.

O diagrama da figura 2 representa um sistema de controle em malha fechada, cujo valor do comando representa o valor desejado para o sistema; controlador é o "cérebro" do sistema. Ele recebe o erro como entrada e gera uma saída que será aplicada ao sistema para tentar minimizar esse erro; Valor atual representa a medida da variável de saída do sistema; Encoder é um tipo de sensor que mede a posição ou velocidade de um eixo. No contexto deste diagrama, ele mede o valor atual e o envia para o somador para que o erro seja calculado. (IORIO,2024).

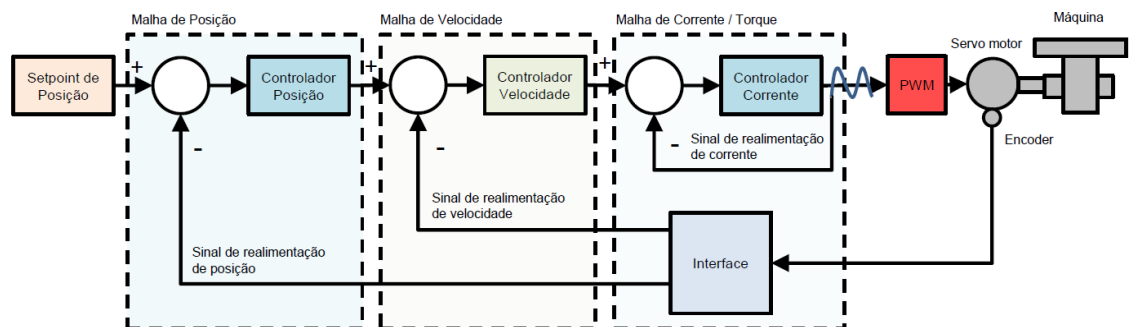
Figura 2 - Malha de controle simplificada



Fonte: IORIO, Bruno Sacute. **Servoacionamento para Iniciantes**. [S. l.], 2 fev. 2024. Disponível em: <https://mitsubishielectric.eadplataforma.app/curso/servo-para-iniciantes>. Acesso em: 3 out. 2024.

Na Figura 3, o servoacionamento possui três malhas auxiliares para o controle das variáveis de posição, velocidade e corrente sendo realimentadas através da interface que analisa os dados provenientes do *encoder*. (IORIO,2024).

Figura 3 - Malhas de controle dos parâmetros específicos



Fonte: IORIO, Bruno Sacute. **Servoacionamento para Iniciantes**. [S. l.], 2 fev. 2024. Disponível em: <https://mitsubishielectric.eadplataforma.app/curso/servo-para-iniciantes>. Acesso em: 3 out. 2024.

1.10.1 Controle de posição

A malha de controle de posição visa gerar movimento à um objeto a partir de uma posição inicial e parando exatamente em uma posição desejada repetidas vezes caso preciso. A precisão do ponto de parada é chamada de precisão de parada e sua precisão pode chegar na ordem de submícrons ($\mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$).

(IORIO, 2024).

1.10.2 Controle de velocidade

A malha de controle de velocidade tem a função de minimizar a diferença entre a velocidade desejada e a velocidade atual.

A operação contínua é possível em uma ampla faixa de velocidades, variando entre 0,1 rpm até 6000 rpm. (IORIO, 2024).

1.10.3 Controle de torque

A malha de controle de torque visa manter o torque constante e com precisão através do controle da corrente aplicada no servomotor. Este tipo de controle é muito utilizado em bobinamento, para manter uma tensão do material constante.

As velocidades de resposta das malhas de controle são expressas da seguinte forma:

(Malha de posição) < (Malha de velocidade) < (Malha de corrente).

Como observamos no Quadro 1, as variáveis de ajuste são interdependentes, portanto, suas respostas necessitam que as demais estejam sem erros para garantir a precisão. (IORIO,2024).

Quadro 1 - Respostas entre as malhas

Modo de controle	Malhas
Controle de posição	Malha de posição, malha de velocidade, malha de corrente
Controle de velocidade	Malha de velocidade, malha de controle
Controle de torque	Malha de corrente (porém, o controle de velocidade é exigido em condições sem carga)

Fonte: IORIO, Bruno Sacute. **Servoacionamento para Iniciantes**. [S. l.], 2 fev. 2024. Disponível em: <https://mitsubishielectric.eadplataforma.app/curso/servo-para-iniciantes>. Acesso em: 3 out. 2024.

1.14 Exemplos de Aplicação de um Servo

Os servomotores podem ser utilizados em diversos setores industriais e tarefas, uma vez que oferecem controle preciso de movimento e alta eficiência. Alguns dos principais exemplos nos quais eles são utilizados incluem:

Indústria automotiva: Os servomotores são empregados em robôs industriais para soldagem, montagem e pintura de veículos, garantindo alta precisão e repetibilidade. (IORIO, 2024).

Manufatura eletrônica: Na produção de eletrônicos, como circuitos impressos, os servomotores são essenciais para controlar a posição de componentes com exatidão milimétrica. (IORIO, 2024).

Saúde: Em dispositivos médicos, como máquinas de análise de sangue e robótica cirúrgica, eles são usados para garantir procedimentos seguros e precisos. (IORIO, 2024).

Robótica industrial: Robôs industriais utilizam servo motores para movimentos minuciosos em aplicações como paletização, *picking and placing* e inspeção de qualidade. (IORIO, 2024).

Máquinas CNC: Em fresadoras, tornos e centros de usinagem CNC, estes dispositivos permitem o corte e a moldagem de peças metálicas com rigor excepcional. (IORIO, 2024).

Indústria alimentícia e farmacêutica: Os servomotores são usados em sistemas de embalagem, enchimento e rotulagem, já que a precisão é vital para garantir a qualidade e a segurança dos produtos. (IORIO, 2024).

Aeroespacial: Eles são empregados em sistemas de controle de voo, sistemas de posicionamento de antenas e até mesmo em robótica espacial para realizar manobras precisas. (ALTUS, [2017?]).

2 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em uma abordagem prática e teórica, visando à compreensão e aplicação do servoacionamento da *Mitsubishi Electric Melservo MR-JE-C* no contexto acadêmico. O processo será dividido em várias etapas que incluem pesquisa teórica, desenvolvimento prático e avaliação dos resultados.

Inicialmente, será realizada uma pesquisa teórica sobre servomotores, com foco nas especificações, características técnicas e aplicações dos servomotores da *Mitsubishi*. Para isso, serão consultadas fontes como manuais do fabricante, artigos acadêmicos e literatura técnica relevante. Após essa fase o equipamento será preparado para o uso, o que incluirá a instalação do motor e a configuração do sistema de controle, utilizando a interface fornecida pelo fabricante *MRConfigurator2*. Nesta etapa, será elaborada uma lista de materiais necessários, como cabos, softwares, peças mecânicas e elétricas.

Em seguida, serão desenvolvidos experimentos práticos para demonstrar o funcionamento do servomotor em diferentes aplicações. Esses experimentos incluirão testes de controle de posição, velocidade e torque, com exemplos práticos das variáveis inseridas de forma que o aluno consiga notar as diferentes formas de integração possíveis, analisar dados e avaliar resultados, a implementação de um sistema de realimentação para ajuste de sincronismo entre ambos os servoacionamentos por meio da rede disponível e a criação de cerca de duas demonstrações experimentais de cada parâmetro de utilização com a finalidade de aproximar a didática teórica ao conteúdo prático proposto.

Após a realização dos experimentos, os resultados serão analisados. Os dados recolhidos sobre a performance do servomotor em diversas condições de operação, e as observações serão registrados. Sua eficácia será avaliada em termos de precisão, resposta a comandos e estabilidade. Além disso, a metodologia também contemplará a criação de material didático para auxiliar futuras turmas, incluindo guias passo a passo, vídeos explicativos e exemplos de aplicações práticas do servomotor.

Por fim, será realizado um processo de entrevistas com professores que

utilizarão o sistema nas próximas classes. Esse retorno será fundamental para ajustar e melhorar tanto a metodologia de ensino quanto o uso do servomotor, garantindo assim uma experiência de aprendizado mais rica e eficaz.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Composto de dois servocontroladores, um para cada servomotor, com o servoacionamento *Melservo MR-JE-C*, teremos uma combinação de atividades e propostas possíveis na dinâmica de conhecer melhor o funcionamento e aplicações no controle e parametrização no projeto da bancada didática, a programação para cada servo se fez de maneira similar afim de dar mais exemplificação funcional em suas particularidades, como manter um servomotor numa velocidade constante e o outro modular entre variações de graus conforme programação.

Para compreensão e domínio das ferramentas disponíveis a equipe do projeto se qualificou em grande parte com cursos e treinamentos disponibilizados pela Mitsubishi, leitura de manuais do fabricante, livros sobre servoacionamentos e tomando como base outros projetos que fizeram uso do equipamento.

3.1 Características principais do servoacionamento *Melservo MR-JE-C*

O servoacionamento *Melservo MR-JE-C* da *Mitsubishi Electric* é um sistema de controle de servomotor que se destaca pela alta performance e versatilidade em aplicações de automação industrial. Ele utiliza tecnologia de controle de posição, velocidade e torque, proporcionando um desempenho otimizado para uma ampla gama de aplicações. O MR-JE-C é compatível com diversas redes de comunicação industrial, como *CC-Link* e *Ethernet*, o que facilita a sua integração em sistemas de automação.

As principais comunicações (MODBUS/RTU e MODBUS/TCP) já estão implementados. (BARRETO, 2019).

E a padronização de programação do PLC Open Motion com o a comunicação CC Link IE Field Basic já consolidados, faz com que as parametrizações sejam fáceis de serem realizadas.

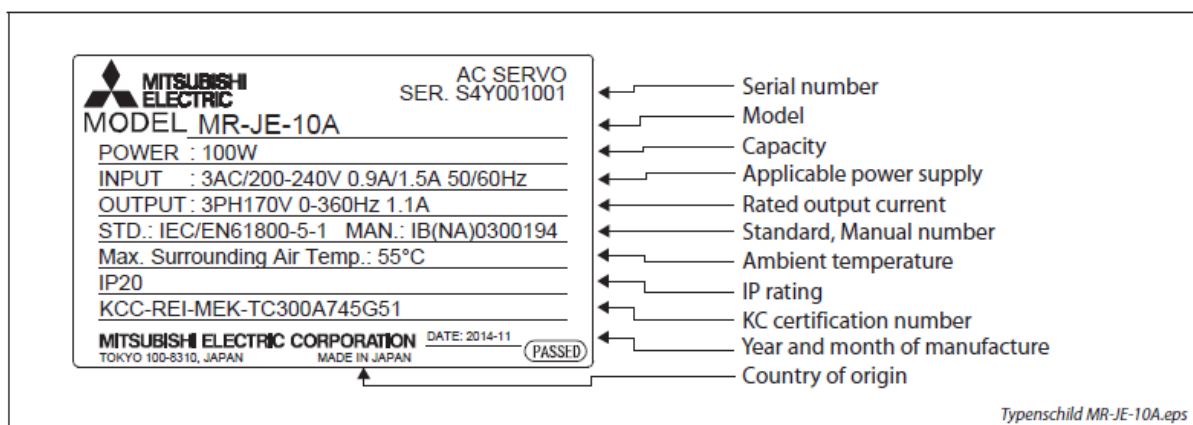
A configuração e o monitoramento do sistema são realizados de forma simplificada por meio do *software MR Configurator2*, que permite ajustes em tempo real e diagnósticos eficazes. Disponível em diferentes modelos que atendem a várias faixas de potência, o servoacionamento é adequado para aplicações que vão desde

baixa até alta potência. Seu design compacto permite a instalação em espaços reduzidos, enquanto a eficiência energética contribui para a redução de custos operacionais.

Além disso, o sistema oferece funções avançadas, como ajuste de ganho, filtragem de ruído e compensação de atrito, melhorando a precisão e a resposta dinâmica do motor. O *Melservo MR-JE-C* é amplamente utilizado em diversas aplicações industriais, incluindo máquinas-ferramenta, equipamentos de embalagem, sistemas de transporte, automação de processos e robótica. As vantagens desse servoacionamento incluem a facilidade de uso, a capacidade de personalização através de configurações flexíveis e a robustez em ambientes industriais. A *Mitsubishi Electric* também é reconhecida por seu suporte técnico e documentação detalhada, o que facilita a implementação e manutenção do sistema.

A Figura 4 mostra a forma como deve ser lida as informações na placa de classificação do servocontrolador segundo o manual de instruções.

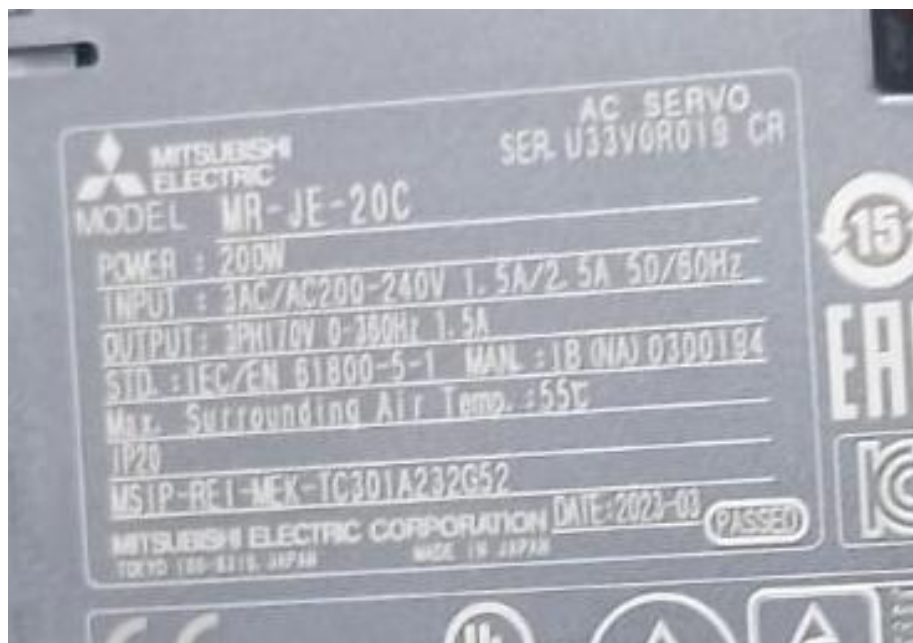
Figura 4 - Leitura da placa de classificação do servocontrolador



Fonte: MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE BV. Melservo: Servo Amplifiers and Motors Beginners Manual. Alemanha: Mitsubishi-Electric-Platz 1, 2005. 238 p.

A Figura 5 trata-se da placa de classificação do controlador utilizado em nosso projeto.

Figura 5 - Placa de classificação do servocontrolador



Fonte: Autoria própria

3.2 Características principais do servomotor HG-KN23K

O modelo HG-KN23K é um servo motor compacto, mas com uma capacidade de torque considerável. O motor foi projetado para ser compacto e robusto, permitindo sua instalação em espaços restritos sem comprometer o desempenho.

O HG-KN23K oferece uma combinação equilibrada de torque e velocidade, ideal para aplicações que exigem alta precisão e resposta rápida. O motor possui uma resolução de feedback alta, o que permite um controle preciso da posição e velocidade.

Equipado com um *encoder* de alta resolução para feedback preciso, o que é essencial para controle de posição e velocidade em sistemas de automação. Projetado para operar com alta eficiência, o que reduz o consumo de energia e melhora a performance geral.

Fabricado para suportar ambientes industriais exigentes, com alta durabilidade e confiabilidade. Ideal para uso em sistemas de automação de máquinas que

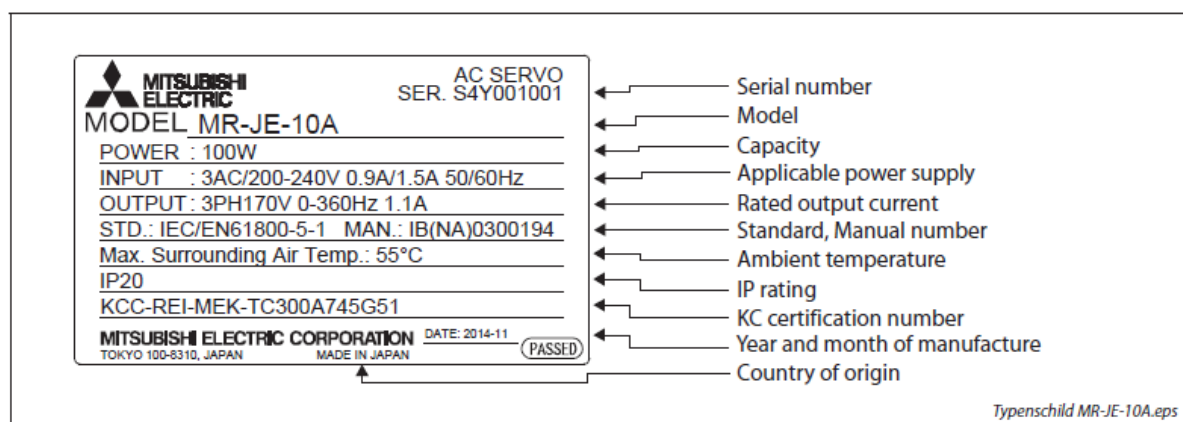
requerem controle preciso e repetitivo. Utilizado em linhas de produção e sistemas de movimentação onde a precisão e a repetibilidade são cruciais.

Adequado para aplicações robóticas que exigem movimentos rápidos e precisos. A série HG é conhecida por seu desempenho superior em comparação com outras linhas, oferecendo melhor resposta e controle; gerando alta flexibilidade na integração com sistemas de controle e outros equipamentos de automação.

Utiliza tecnologia avançada de *feedback* e controle, garantindo alta precisão e confiabilidade. Sua alta resolução de *feedback*, eficiência energética e robustez o tornam uma excelente escolha para sistemas que exigem controle avançado e repetitivo.

A Figura 6 mostra a forma como deve ser lida as informações na placa de classificação do servomotor segundo o manual de instruções.

Figura 6 - Leitura da placa de classificação do servomotor



Fonte: MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE BV. Melservo: Servo Amplifiers and Motors Beginners Manual. Alemanha: Mitsubishi-Electric-Platz 1, 2005. 238 p.

A Figura 7 trata-se da placa de classificação do servomotor utilizado em nosso projeto.

Figura 7 - Placa de classificação do servomotor utilizado



Fonte: Autoria própria

3.3 Programação e Controle

O software *MRConfigurator2* é utilizado para a configuração e ajuste de sistemas de controle de servomotores e motores da Mitsubishi Electric. Ele permite que os usuários configurem parâmetros de operação, realizem ajustes finos em tempo real e monitorem o desempenho dos motores. Entre suas principais funcionalidades, o software oferece a capacidade de ajustar diversos parâmetros do motor e do controlador, como velocidade, torque e modos de operação. Além disso, permite o monitoramento do desempenho do motor, possibilitando a visualização de dados em tempo real, como velocidade, corrente e posição.

Outra característica importante do software é sua capacidade de diagnosticar problemas e auxiliar na manutenção preventiva, ajudando a identificar falhas ou comportamentos anômalos no sistema. O programa também conta com recursos para criar gráficos e relatórios sobre o desempenho, facilitando a análise de dados. Por fim,

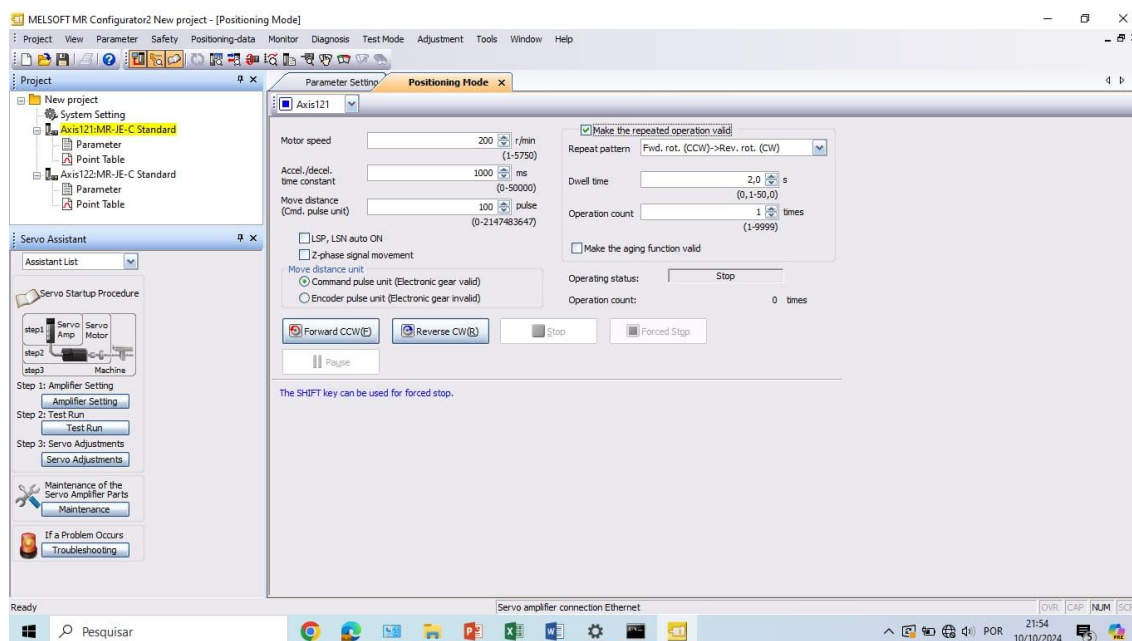
ele permite a atualização do *firmware* do motor e do controlador, garantindo que o sistema esteja sempre atualizado com as últimas melhorias e correções.

Utilizado o programa *MRConfigurator2* para parametrização e realizamos a devida conexão e identificação dos servos motores para assim iniciarmos ensaios de posições angulares ao redor do eixo e variação de velocidade. Os testes ocorreram de forma satisfatória, ligando e desligando o funcionamento do servoacionamento para ajustes.

Para a configuração em paralelo de ambos os motores é utilizada uma rede de comunicação *ethernet*, ligando o *notebook* ao *switch* em paralelo aos dois servos também conectados nesta porta. Outra forma de controle específica para comunicações diretas ligando um computador para cada acionamento, utiliza-se uma porta de comunicação USB, neste caso não é possível sincronismo entre os motores pois atenderá exclusivamente ao comando do controlador correspondente.

À seguir, a Figura 8 mostra interface do *MRConfigurator2* em regime de teste de movimento do motor em uma distância fixa.

Figura 8 - Interface do *MRConfigurator2*



Fonte: Autoria própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste estudo observou-se a importância do servoacionamento em automação industrial e como esta bancada didática irá auxiliar os professores e alunos neste curso de tecnologia agregando conhecimentos práticos ao material de ensino.

A principal dificuldade encontrada foi a escassez de materiais didáticos específicos para a bancada, o que exigiu um esforço adicional na busca por informações técnicas sobre os equipamentos e softwares utilizados.

A modularidade da bancada permite sua expansão para outras disciplinas, como controle de processos e robótica, tornando-a um recurso versátil para o ensino de automação industrial. A integração da bancada com CLPs e sistemas de controle pode simular cenários industriais mais complexos, preparando os alunos para os desafios do mercado de trabalho.

Espera-se que este trabalho contribua para a melhoria do ensino de automação industrial e que o material final seja de bom uso para os professores das disciplinas de Máquinas Elétricas.

5 REFERÊNCIAS

ALTUS (Brasil). **Servo motor e driver: conheça as principais características e diferenças.** [S. l.], [2017?]. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/545/servo-motor-driver-principais-caracteristicas-diferencas>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BARRETO, Eliabel. **Comunicação entre o CLP iQ-F e Servo acionamento via Ethernet.** [S. l.], mar. 2024. Disponível em: <https://mitsubishielectric.eadplataforma.app/curso/comunicacao-entre-iq-f-e-servo>. Acesso em: 16 nov. 2024.

FARCOT, Joseph. **Le Servo-Moteur Ou Moteur-Asservi.** França: Kessinger Publishing, 1873. 182 p.

MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE BV. **Melservo: Servo Amplifiers and Motors Beginners Manual.** Alemanha: Mitsubishi-Electric-Platz 1, 2005. 238 p.

IORIO, Bruno Sacute. **Servoacionamento para Iniciantes.** [S. l.], 2 fev. 2024. Disponível em: <https://mitsubishielectric.eadplataforma.app/curso/servo-para-iniciantes>. Acesso em: 3 out. 2024.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas.** 3. ed. Rio Grande do Sul: LTC, 2019. ISBN 9788521635833.

M. STEPHAN, Dr. Richard; B. ROLIM, Dr. Luis Guilherme; WEG AUTOMAÇÃO (SC). **Guia de Aplicação de Servoacionamentos.** [S. l.: s. n.], [2010?]. 194 p.

NETO, A., OLIVEIRA, Y. d. (2019). **Eletrônica Analógica e Digital Aplicada a IOT** (Vol.1º Volume). Alta Books.

PENEDO, S. R. (2014). **Servoacionamento Arquitetura e aplicações** (Vol. 1º Volume). São Paulo, SP: Érica.

6 APÊNDICE

Manual de utilização do software *MRConfigurator2*

NOTA IMPORTANTE, NÃO USAR *WINDOWS 11*

MRConfigurator2

Objetivo do programa é monitorar dados e ajustar parâmetros de entrada e saída.

Funções do programa:

Configurações -> Utilizado para mudar os parâmetros do servo;

Diagnoses -> para analisar problemas com o servo;

Monitoramento -> Monitoramento do Servo, das entradas e saídas e criação de gráficos;

Testes -> modo de testes com diversas funções como controle de direção, velocidade e aceleração;

Ajustes -> ajustes de precisão e de ganho;

Solução de problemas -> Solução de problemas com o servomotor.



Tela inicial

Para criar um projeto -> *Project* -> *new*

Criação de projeto utilizando conexão serial via USB:

New Project (Single Axis)

Model: MR-JE-C

Operation mode: Standard

☐ Multi-ax. unification

Station: 00

Option unit: No Connection

Connection setting

☒ Servo amplifier connection USB

☐ Servo amplifier connection RS-422 (RS-232C)

Com. speed: AUTO

Port No.: AUTO

☐ Search com. speed/port No. automatically

☐ Network/controller

☒ The last-used project will be opened whenever the application is restarted

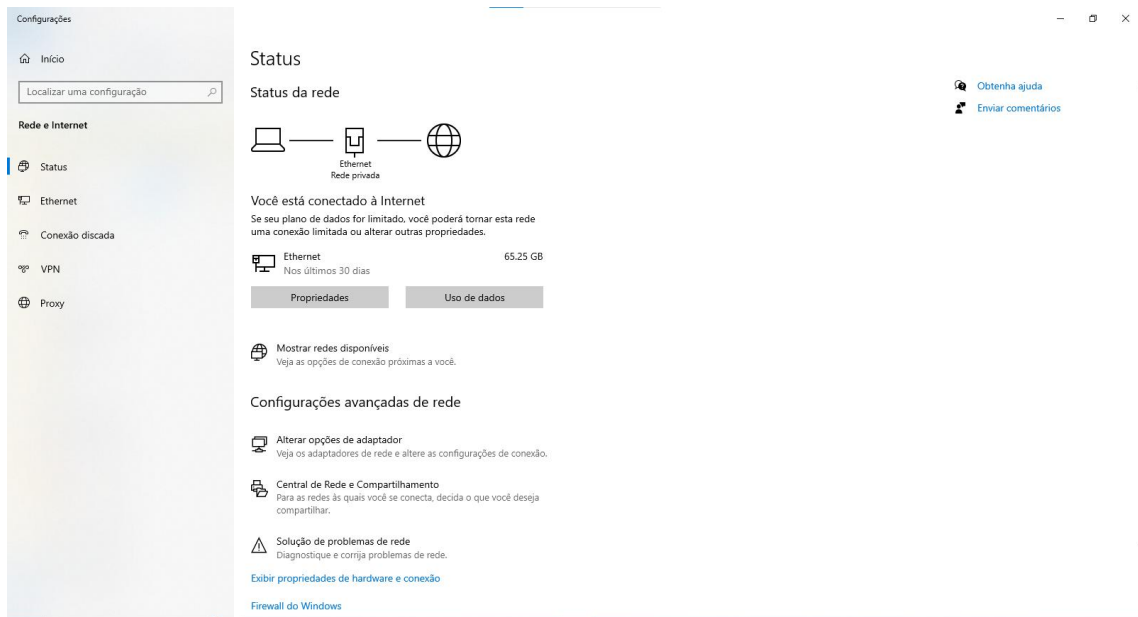
OK Cancel

Switch to Multi-axis Project...

Switch the window by clicking this button when you want to create multi-axis configuration.

Escolher modelo MR-JE-C, *Operation mode Standart* e clicar em *Servo amplifier connection USB*, depois apertar OK.

Para a criação de projeto utilizando múltiplos eixos/ via *ethernet*: Antes de utilizar esse modo é necessário fazer a configuração do *IP* do seu computador, para isso abra a central de redes e compartilhamento.



Clique em propriedades e vá até configurações de IP

Configurações de IP

Atribuição de IP: Automático (DHCP)

Editar

Propriedades

Velocidade da conexão (Recepção/Transmissão):	1000/1000 (Mbps)
Endereço IPv6:	2804:7f0:458:228d:1f8c:e44c:eee5:1b01
Endereço IPv6 de link local:	fe80::dcbf:9cb5:820f:f6b7%9
Servidores DNS IPv6:	fe80::7ae9:cfff:fe63:fe50%9 fe80::7ae9:cfff:fe63:fe50%9
Endereço IPv4:	192.168.15.9
Servidores DNS IPv4:	192.168.15.1
Fabricante:	Realtek
Descrição:	Realtek PCIe GbE Family Controller
Versão do driver:	9.1.410.2015
Endereço físico (MAC):	BC-5F-F4-E7-E5-39

Copiar

Clique em Editar e coloque:

Editar configurações de IP

Manuais

IPv4

Ativado

Endereço IP

192.168.3.10

Comprimento do prefixo da sub-rede

Gateway

255.255.255.0

DNS Preferencial

DNS Alternativo

IPv6

Desativado

Salvar

Cancelar

Por fim, clique em salvar, depois, se você estiver na tela de criação de projeto com *single axis*, aperte em *Switch to multi-axis Project*.

New Project (Multi-axis)

Connection Network: CC-Link IEF Basic

Via: None

PC side I/F: Ethernet

Connection I/F: Ethernet

Protocol: TCP

Time-out: 1 s (1-15)

Retry: 0 times (0-3)

Servo Amplifier Configuration

Automatic Detection

Axis	Model	IP address	Operation mode
121	MR-JE-C	192.168.3.121	Standard
122	MR-JE-C	192.168.3.122	Standard
*		-	-

* The copied/pasted/deleted data includes not only the model of the servo amplifier but also the set data (servo parameter, etc.).

☐ The last-used project will be opened whenever the application is restarted.

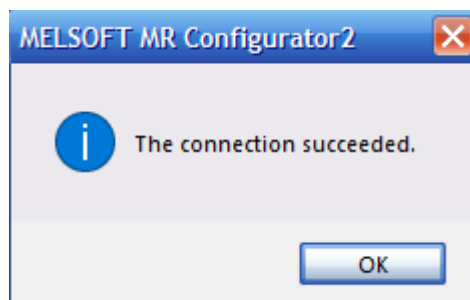
Communication Test

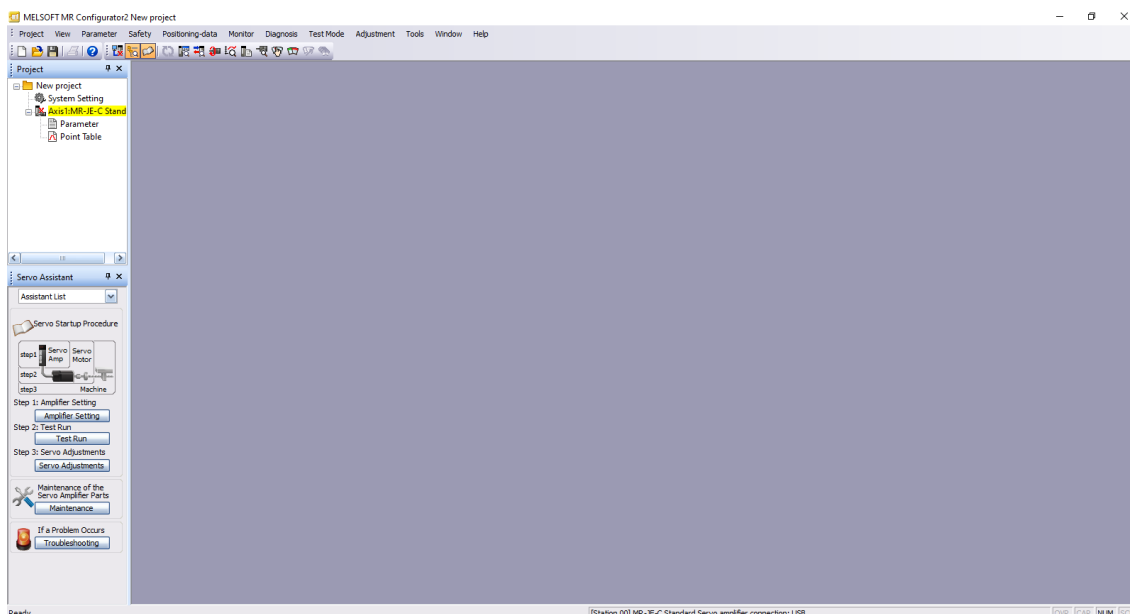
OK Cancel

Switch to Single Axis Project (Servo Amplifier Direct Connection)...

i For Multi-axis Project, the setting value (like parameter) of servo amplifier is not read. Execute reading from servo amplifier on each corresponding screen.

Nesta tela vá em *connection network* e escolha *CC-link IEF Basic*, depois escolha conexão por TCP, na parte abaixo escolha dois eixos do tipo MR-JE-C, depois defina os seus IPs como 192.168.3.121 e 192.168.3.122 respectivamente, depois aperte *communication test* e veja se houve sucesso.

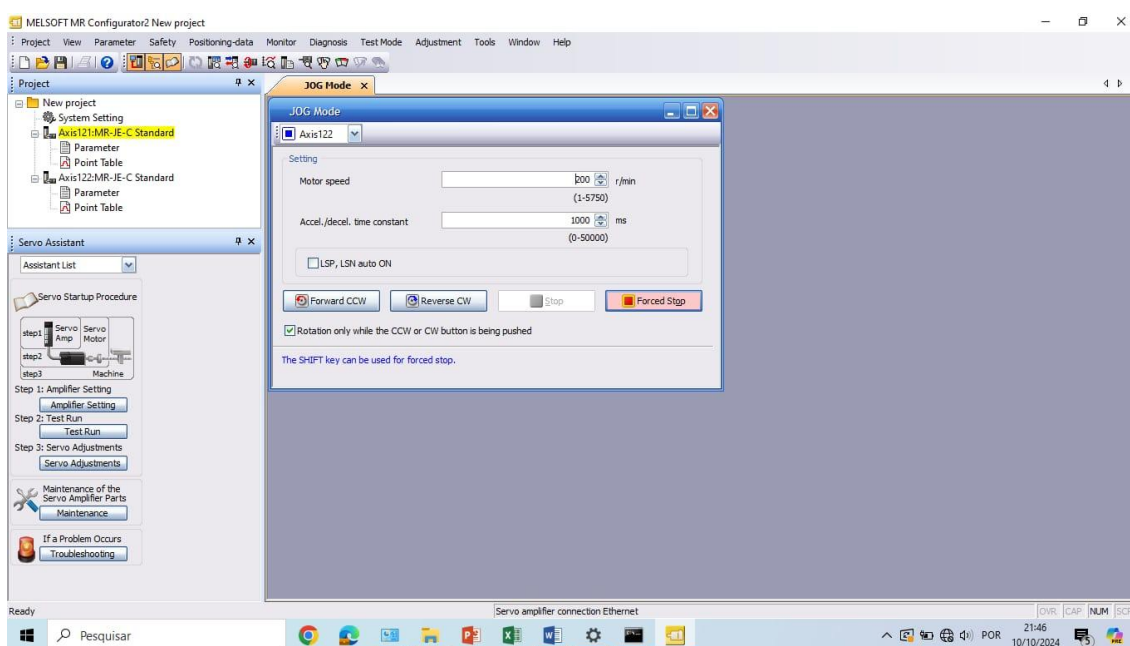




O Projeto foi criado.

Para fazer testes simples apertar *Test Mode* e o Tipo de teste desejado:

Jog Mode:



Utilizado para testar se o motor está girando corretamente.

Configurações possíveis:

Motor speed – Velocidade desejada para o motor, em rotações por minuto (RPM), para o nosso modelo deve ser 2000 RPM ou menor;

Accel. /decel. Time constant – Contante de aceleração e desaceleração do Servo,

em segundos (s);

LSP/LSN auto on = liga os limitadores que podem ser conectados nas entradas 3 e 4 do canal 3.

Forward CCW – mover o eixo sentido anti-horário;

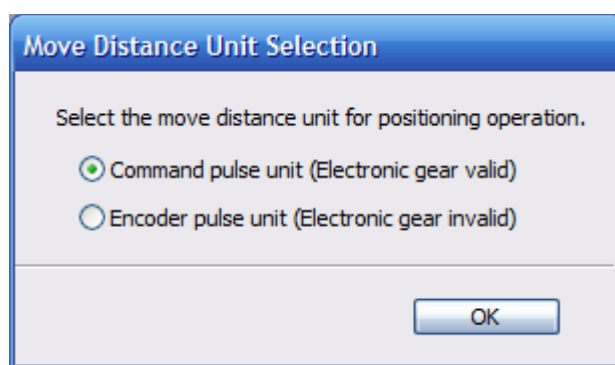
Reverse CW – Mover o eixo no sentido horário;

Stop – Para a função;

Forced Stop – para a função de forma forçada (nota: pode-se usar *Shift* para fazer a parada forçada);

Rotation only while the CCW or CW button is being pushed – Apertar isso para fazer com que o motor com esses parâmetros até que o *Stop* seja pressionado, desmarcar caso você queira que ele só funcione enquanto você aperta o botão.

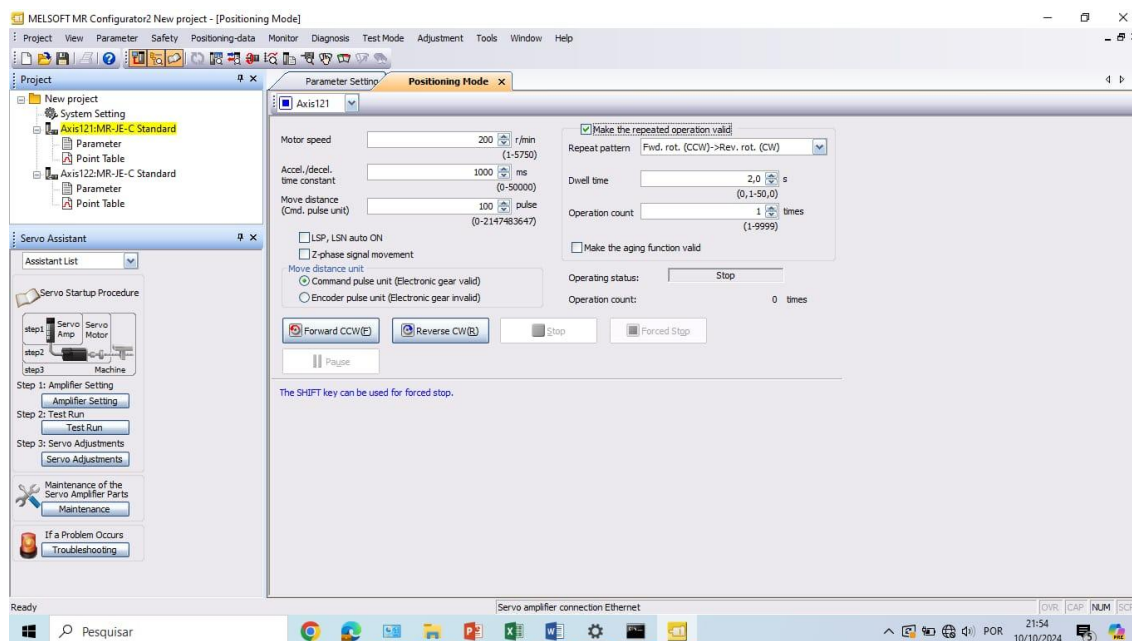
Positioning Mode:



Nesta tela você deve selecionar o tipo de unidade de distância a ser usada.

Command pulse unit é para usar o movimento baseado no *encoder* interno do servo (o *encoder* tem uma definição de 131072 pulsos, logo 1 rotação completa é igual a 131072).

Encoder pulse unit é para usar a definição que foi programada, que é atualmente 100 pulsos por rotação.



Usado para testar o movimento do motor em uma distância fixa.

Configurações possíveis:

Motor speed – Velocidade desejada para o motor, em rotações por minuto (RPM), para o nosso modelo deve ser 2000 RPM ou menor;

Accel. /decel. Time constant – Contante de aceleração e desaceleração do Servo, em segundos (s);

Move distance – Distância que deve ser atravessada em pulsos (100 pulsos = uma volta completa;

LSP/LSN auto on = liga os limitadores que podem ser conectados nas entradas 3 e 4 do canal 3;

Make repeated operation valid – Aperte para fazer um movimento repetidas vezes;

Dwell time – tempo entre as repetições em segundos;

Operation Count – Quantidade de vezes que o movimento sera realizado;

Make the aging function valid – faz com que o movimento seja repetido permanentemente;

Operation count (count display) – *display* de quantas operações foram feitas;

Forward CCW – mover o eixo sentido anti-horário;

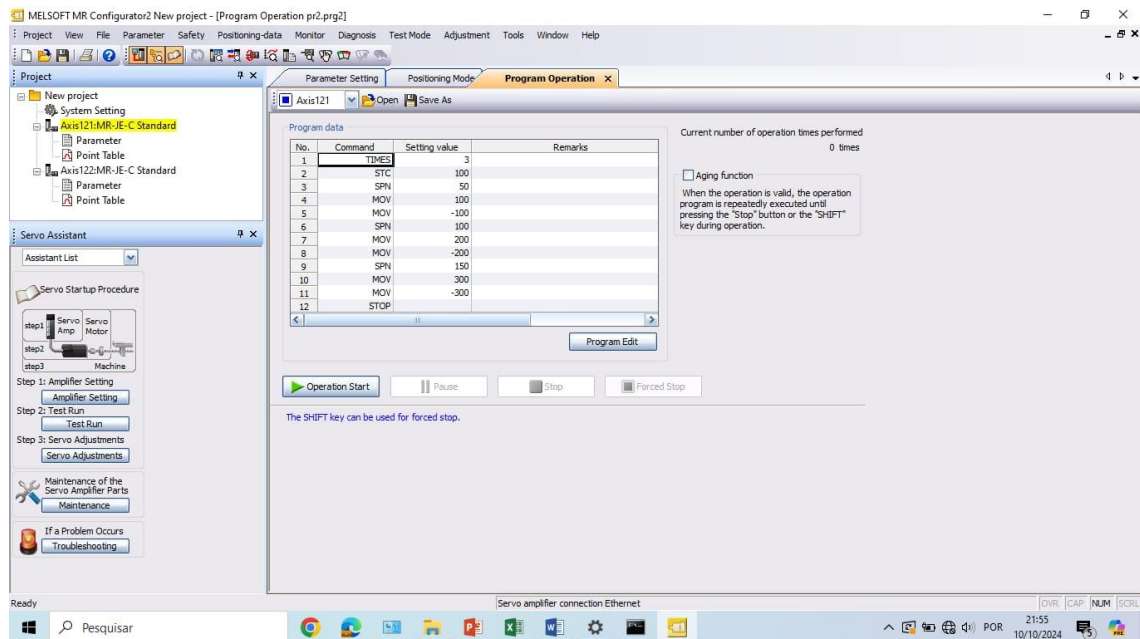
Reverse CW – Mover o eixo no sentido horário;

Stop – Para a função;

Forced Stop – para a função de forma forçada (nota: pode-se usar *Shift* para fazer a parada forçada);

Pause – pausa a operação atual.

Program operation



O modo de teste *Program operation* permite a criação de programas simples para a utilização do servomotor, para criar um programa aperte *Program Edit*.

Open - abre um arquivo contendo um programa;

Save as - salva o programa;

Aging function - faz com que o programa rode enquanto ele for valido até pressionar *STOP* ou *shift*;

Operation Start - começa a rodar o programa;

Pause – pausa a operação atual;

Stop – Para a função;

Forced Stop – para a função de forma forçada (nota: pode-se usar *Shift* para fazer a parada forçada);

Program Edit

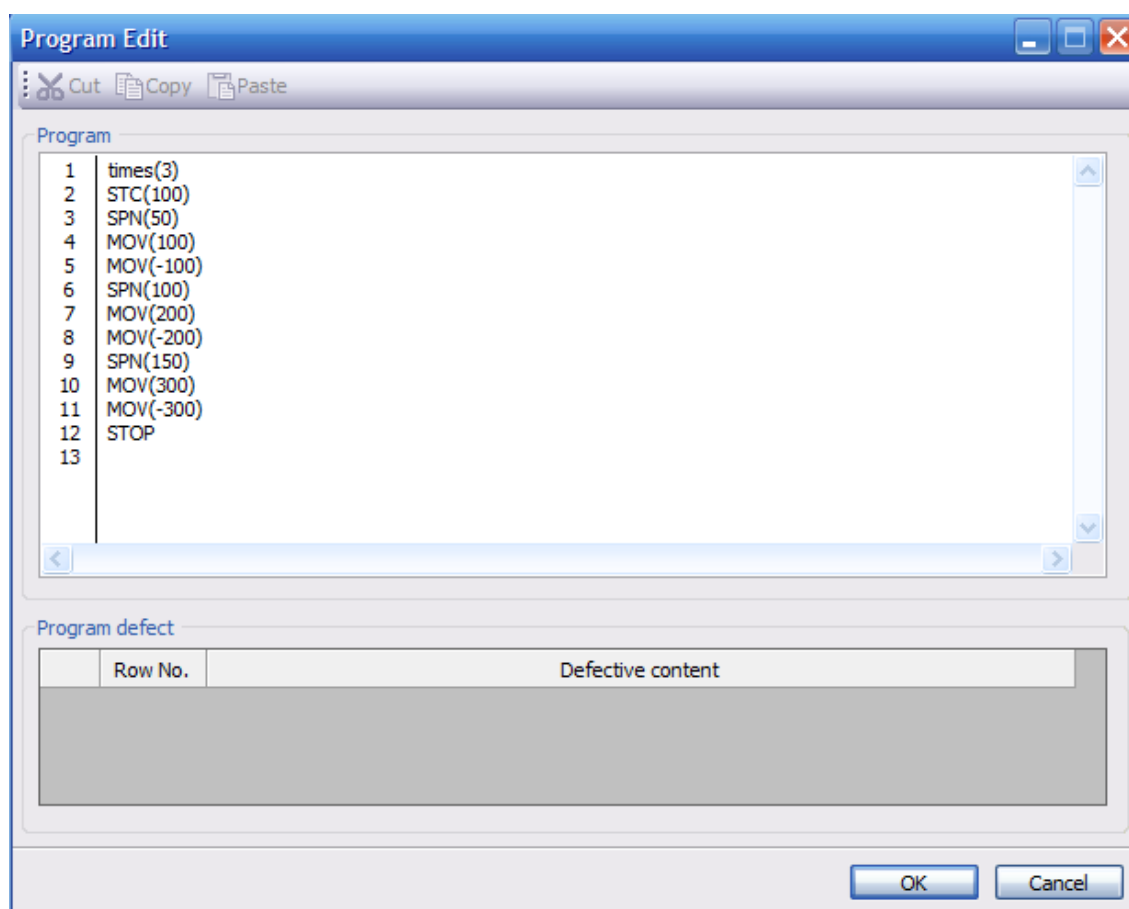
The screenshot shows the 'Program Edit' window. It features a menu bar with 'Cut', 'Copy', and 'Paste' options. The main area is divided into two sections. The top section, labeled 'Program', contains a text area with a single line of text '1' followed by a cursor. The bottom section, labeled 'Program defect', contains a table with two columns: 'Row No.' and 'Defective content'. The table is currently empty. At the bottom right of the window are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Nesta tela é possível inserir o código para o controle do Servo.

Os possíveis comandos são:

Comando	Nome	Valores	Unidade	Descrição
SPN	Velocidade máxima	0-2000	r/min	Altera a velocidade máxima
STC	Constante de aceleração e desaceleração	0-50000	ms	Altera a constante de aceleração e de desaceleração
MOV	Comando de movimento	-2147483647 para 2147483647	Pulsos	Movimenta o servo, direção depende do sinal, sendo negativo para sentido horário e positivo para anti-horário

SYNC	Espera por sinal externo	Depende	-	Espera um sinal externo, não disponível para o Servo do laboratório
TIM	Esperar determinado tempo	1-50	s	Espera a passagem de um determinado tempo
TIMES	Comando para repetição do programa	1-9999	vezes	Repete o programa determinadas vezes, só pode ser colocado no começo
STOP	Termina o programa	-	-	Termina o programa



Exemplo de um programa:

```
TIMES(3) [Repetir o programa 3 vezes]
STC(100) [Configurar a aceleração/desaceleração para 100 ms]
SPN(50) [Configurar a velocidade para 50 r/min]
MOV(100) [mover 100 pulsos (1 volta completa) para o sentido anti-horário]
MOV(-100) [Mover 100 pulsos (1 volta completa) para o sentido horário]
SPN(100) [Configurar a velocidade para 100 r/min]
MOV(200) [Mover 200 pulsos (2 voltas completa) para o sentido anti-horário]
MOV(-200) [Mover 200 pulsos (2 voltas completa) para o sentido horário]
SPN(150) [Configurar a velocidade para 150 r/min]
MOV(300) [mover 300 pulsos (3 voltas completa) para o sentido anti-horário]
MOV(-300) [Mover 300 pulsos (3 voltas completa) para o sentido horário]
STOP [Terminar o programa]
```

