

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANDRÉ BEOZZO FERNANDES

**AUTOMAÇÃO DE MÁQUINA DE
LIMPEZA E TRATAMENTO DE LENTES
OFTÁLMICAS**

São Carlos

2012

ANDRÉ BEOZZO FERNANDES

**AUTOMAÇÃO DE MÁQUINA DE
LIMPEZA E TRATAMENTO DE LENTES
OFTÁLMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Professor Doutor Dennis Brandão

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Fernandes, André Beozzo

F363a Automação de máquina de limpeza e tratamento de lentes oftálmicas / André Beozzo Fernandes ; orientador Dennis Brandão. -- São Carlos, 2012.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Automação. 2. Processo de tratamento.
3. Lentes. 4. Anti-risco. 5. Qualidade do processo.
I. Título.

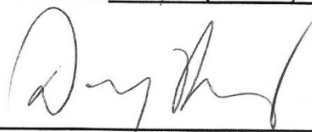
FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: André Beozzo Fernandes

Título: "Automação de Máquina de Limpeza e Tratamento de Lentes Oftálmicas"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 25/07/2012,

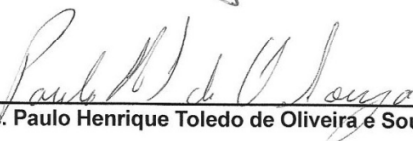
com NOTA 8,0 (oto, zero), pela comissão julgadora:



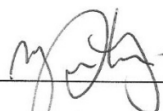
Prof. Dr. Dennis Brandão (Orientador) - EESC/USP



Prof. Assistente Carlos Goldenberg - EESC/USP



M. Sc. Paulo Henrique Toledo de Oliveira e Souza - EESC/USP



Prof. Dr. Mário Oleskovicz
Coordenador Suplente da CoC-Engenharia Elétrica em exercício
EESC/USP

Agradecimentos

Aos meus pais Aaron e Adriana, aos meus irmãos Alexandre e Adriane e à minha namorada, Lígia por todo o apoio.

A todos meus amigos.

A Opto Eletrônica pela oportunidade de realizar este projeto.

Aos engenheiros Marcelo Sanchez e Marcelo Cavalcante, por toda ajuda oferecida.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. TEORIA RELACIONADA AO PROJETO	5
3.1. AUTOMAÇÃO.....	5
3.1.1. Controle de processo e a automação dos processos industriais	5
3.2. INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	6
3.2.1. Obstáculo à integração de sistemas	7
3.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	8
3.3.1. Finalidade	8
3.3.2. Origem	8
3.3.3. Evolução tecnológica	9
3.3.4. Utilizações atuais	9
3.3.5. Estrutura e funcionamento	9
4. DESCRIÇÃO DO PROJETO	11
4.1. PROCESSO DE TRATAMENTO DE LENTES	11
4.2. EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS	14
4.3. DESENVOLVIMENTO	21
4.4. PROGRAMAÇÃO LADDER	21
4.5. PROGRAMAÇÃO FESTO CONFIGURATION TOOL.....	25
4.6. COMUNICAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES.....	26
4.7. PRÓXIMAS ETAPAS DO TRABALHO	26
4.8. RESULTADOS DAS MELHORIAS DA NOVA MÁQUINA.....	27
5. CONCLUSÃO	28
BIBLIOGRAFIA	29
APÊNDICE SIMBOLOS UTILIZADOS	30
ANEXO 1 DADOS TÉCNICOS DOS EQUIPAMENTOS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Blocos da UCP do CLP.....	10
Figura 2 – Máquina de Limpeza e Tratamento.....	12
Figura 3 – CLP Micrologix 1100.....	14
Figura 4 – Eixo DGE-18-200-SP.....	15
Figura 5 – Eixo DGE-40-3300-ZR.....	15
Figura 6 – Controlador CMMS-ST.....	16
Figura 7 – Controlador CMMS-AS.....	17
Figura 8 – Motor de Passo EMMS-ST.....	18
Figura 9 – Servomotor EMMS-AS.....	18
Figura 10 – Fonte de Alimentação 24Vdc.....	19
Figura 11 – Fonte de Alimentação 48Vdc.....	19
Figura 12 – Imagem do RSLogix 500.....	20
Figura 13 – Imagem Festo Configuration Tool.....	20
Figura 14 – Fluxograma do Processo.....	24
Figura 15 – Parte da Programação do CMMS-ST.....	25
Figura 16 – Esquema de Ligação dos Componentes.....	26
Figura 17 – Dados do Eixo DGE-18-200-SP.....	37
Figura 28 – Dimensões do Eixo DGE-18-200-SP.....	37
Figura 29 – Dados do Eixo DGE-40-3300-ZR.....	37
Figura 20 – Dados do Motor de Passo EMMS-ST.....	38
Figura 21 – Dados do Servomotor EMMS-AS.....	38

Resumo

FERNANDES, A. B. **Automação de Máquina de Limpeza e Tratamento de Lentes Oftálmicas.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

Este trabalho aborda a automação de uma máquina que tem por objetivo fazer o tratamento de lentes oftálmicas, através da aplicação de vernizes, promovendo o “anti-risco”. O “anti-risco” é a aplicação de um polímero nas superfícies interna e externa da lente, tornando-a mais protegida contra riscos. Estão contidas neste trabalho explicações teóricas importantes para sua execução, assim como todos os componentes, softwares e conhecimentos utilizados durante a realização do projeto, tendo como tema principal, a programação em *ladder* do controlador lógico programável, que tornou possível a correta execução do processo. Além disso, este trabalho contém o protocolo utilizado para comunicar os componentes, os cartões de entrada e saída e os diagramas elétricos. Os resultados obtidos através dos testes realizados após a programação em *ladder*, também estão descritos.

Palavras-chave: Automação. Processo de Tratamento. Lentes. Anti-Risco. Qualidade do Processo.

Abstract

FERNANDES, A. B. **Automation of Cleaning and Treatment Machines of Ophthalmic Lenses.** Graduation thesis in Electrical Engineering – Emphasis on Power Systems and Automation, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

This paper addresses the automation of a machine that aims to make the treatment of ophthalmic lenses, through the application of varnish, promoting the "anti-scratch." The "anti-scratch" is the application of a polymer in the inner and outer surfaces of the lens, making it more protected from risk. This work contains important theoretical explanations for its implementation as well as a description of all components, softwares and knowledge used during the course of the project, having as main theme, the ladder programming of the programmable logic controller, which made possible the correct execution of the process. Moreover, this work contains the protocol used to communicate the components, the input and output cards and the electrical diagrams. The results obtained through tests performed after the ladder programming are also described.

Key-words: Automation. Treatment Process. Lenses. Anti-Scratch. Process Quality.

1 - Introdução

No cenário científico atual, necessitamos cada vez mais dos sistemas automatizados e computacionais, que permitem maior eficiência, melhoria da qualidade e homogeneidade dos produtos e aumento da segurança e conforto para o homem, devido à menor necessidade de trabalhos braçais e que envolvem risco.

Neste contexto de mundo automatizado, a principal esfera da ciência responsável por esta evolução tecnológica é a engenharia, que busca encontrar soluções práticas e inovadoras através desses avanços.

Este Trabalho de Conclusão de Curso demonstra a necessidade da evolução e da automatização das empresas, buscando maior competitividade devido a maior eficiência e qualidade de seus produtos. É realizada neste trabalho, a automação de uma máquina constituída de tanques onde são realizados os processos de limpeza e tratamento de lentes oftálmicas, utilizada para promover o “anti-risco”, através da aplicação de vernizes nas lentes.

Inicialmente, a empresa possuía uma máquina de tratamento de lentes que funcionava de maneira manual. Buscando uma maior qualidade do produto, foi desenvolvida uma nova máquina, automática que atendia estes requisitos pedidos pela empresa. A máquina automatizada neste trabalho é uma evolução desta máquina automática existente na empresa, e que utiliza diferentes equipamentos e possui mais tanques de aplicação de vernizes. Devido estas modificações, um novo programa *ladder* teve de ser efetuado.

Estão contidos neste trabalho um resumo histórico do CLP, devido à programação em *ladder* utilizada para programar o controlador lógico, ser o tema principal deste trabalho, os métodos e equipamentos utilizados para realização do projeto, além de conceitos sobre o tratamento de lentes, tipos de vernizes utilizados em cada lente, os diagramas elétricos e os cartões de entrada e saída.

Os resultados obtidos através de testes e os problemas encontrados, também estão presentes neste trabalho.

2 - Objetivo

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem por objetivo a programação em *ladder*, para se realizar a automação de uma máquina de limpeza e tratamento de lentes oftálmicas. Esta máquina é a evolução de outra máquina automática existente na empresa, onde foram utilizados outros equipamentos e mais tanques de tratamento, trazendo a necessitando da implementação de uma nova programação.

Visando uma maior eficiência, o projeto foi dividido em algumas etapas, sendo elas:

- Compreensão e total entendimento do processo de tratamento das lentes oftálmicas;
- Estudo e familiarização com os equipamentos e softwares utilizados;
- Programação em *ladder*;
- Testes do programa e modificação de linhas com erro;
- Ajuste dos parâmetros de velocidade do robô e posição dos tanques.

3 - Teoria Relacionada ao Projeto

Neste capítulo será abordada a teoria das áreas de conhecimento relacionadas e importantes à realização do projeto.

3.1 Automação

A automação é compreendida por qualquer sistema que substitua o trabalho humano e que vise soluções mais rápidas e econômicas, usando computadores, para chegar a objetivos complexos das indústrias e dos serviços (MORAES, 2010).

Ela subentende a implantação de sistemas interligados e assessorados por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina que possam auxiliar os operadores no exercício de supervisão e análise dos problemas que eventualmente possam acontecer.

A automação necessita de maiores investimentos iniciais e maiores custos de manutenção devido à dependência de mão de obra especializada, por outro lado aumenta a qualidade da produção tornando o produto final mais homogêneo. Sem a utilização da automação, não é possível a obtenção da repetibilidade (com a qualidade desejada) da produção em larga escala nos processos produtivos.

Os sistemas automatizados são basicamente constituídos por computadores, redes de comunicação, dispositivos de campo e controladores.

A qualidade de um sistema de automação industrial está diretamente ligado a uma estruturação coerente, a análise detalhada do sistema e a eficiente integração dos componentes. É de suma importância o conhecimento detalhado dos princípios componentes e uma visão macro dos sistemas, para, se realizar de maneira consistente a especificação, o desenvolvimento, a implantação e a manutenção dos sistemas de automação.

A automação decorre na indústria através das necessidades de maiores níveis de qualidade de conformação e de flexibilidade, menores custos de trabalho, menores perdas materiais e menores custos de capital, maior controle das informações relativas ao processo, maior qualidade das informações e melhor planejamento e controle de produção. Outra característica importante é a possibilidade da máquina de executar tarefas que são muito agressivas ou impossíveis ao homem.

3.1.1 Controle de Processo e a Automação dos Processos Industriais

Com a primeira Revolução Industrial, teve início uma grande busca de desenvolvimento da teoria e da tecnologia de automação, visando à substituição da mão de obra humana nos processos industriais.

Com este aprimoramento da tecnologia e com o início da utilização de sistemas automatizados, o controle de processo pode ser dividido em manual (totalmente realizado pelo homem), automático (totalmente realizado por sistemas automatizados) e semiautomático (realizado pelo homem, com a ajuda de sistemas automatizados).

Na indústria, os processos podem ser divididos em: (YAMAGUSHI, 2010).

- Processos Discretos, que tem como característica a movimentação de uma quantidade específica de produtos entre as estações de trabalho, com peças individuais, que mantém sua identificação única, sendo processadas pelos equipamentos para a produção de produtos finais. Tem por objetivo reduzir a variação entre as peças e produtos.
- Processos Contínuos, onde o equipamento executa uma função de processo dedicada, operando em um único estado contínuo. A meta é produzir um produto consistente, sem a preocupação com o tempo gasto na produção.
- Processo Tipo Batelada, que tem a característica de consistir uma sequência de passos que devem ser executados em uma ordem pré-estabelecida, possui quantidades finitas de matéria-prima para serem processadas pelos equipamentos para produzir quantidades finitas de produtos. Este processo é descontínuo, possuindo características tanto de processos contínuos quanto discretos, e tem como objetivo produzir um produto através da repetição, batelada por batelada.

3.2 Integração dos Sistemas de Automação Industrial

Integração é o processo pelo qual indivíduos numa ordem inferior se reúnem para formar indivíduos de uma ordem mais elevada.

Para os sistemas de manufatura e automação industrial é possível dizer que a integração é um processo pelo qual um conjunto de componentes tais como pessoas, programas de aplicação, transportadores, alimentadores sensores, robôs, ferramentas e máquinas, são reunidos para a formação de recursos ou sistemas de ordem mais elevada.

Tendo estes componentes condições para que vários componentes possam dialogar e cooperar tendo como final atingir os objetivos do sistema de manufatura.

A integração de sistemas, sendo a facilitadora da interoperação entre componentes/subsistemas e de sua coordenação global, se mostra um fundamental pré-requisito para garantir importantes características ao sistema, como: (YAMAGUSHI, 2010).

- Flexibilidade, capacidade de rápida adaptação para o suporte de diferentes processos.

- Agilidade, sendo a capacidade de rápidas respostas às alterações imprevistas, sendo estas dos ambientes internos ou externos;
- Eficiência, que tem como objetivo de conter atividades desnecessárias e permitir uma melhor chegada de informações à todas as áreas da empresa;
- Qualidade, que usa a automação dos processos de troca de informação. Sendo esta transferência aperfeiçoada leva a melhor qualidade das trocas de informação sendo assim que há a melhoria dos tempos de resposta do sistema mantendo sempre o sistema atualizado para melhores decisões.

3.2.1 Obstáculos à Integração de sistemas

Para uma efetiva integração dos sistemas empregados no projeto, alguns obstáculos devem ser superados. Alguns destes obstáculos estão relacionados abaixo:

- Heterogeneidade - quando os componentes ao interagir exibem um alto nível de diversidade;
- Dimensão ou escopo - quando em um mesmo sistema é possível a integração de componentes de dimensões bastante variadas;
- Tecnologia de suporte - As tecnologias de suporte e implementação de vários componentes podem fazer parte de tecnologias e gerações tecnológicas diferentes.

Com a rápida evolução tecnológica, as tecnologias de informação e comunicação passam por diversas evoluções tendo assim, suas versões modificadas constantemente, fazendo com que haja o aumento da heterogeneidade (MORAES, 2010).

3.3 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico programável (CLP ou PLC, do inglês, *Programmable Logic Controller*) é um equipamento de controle industrial microprocessado, criado primeiramente com a intenção de efetuar especificamente o controle lógico de variáveis discretas, mas hoje, é amplamente utilizado para praticamente todos os tipos de controle (OLIVEIRA, 1993).

Através do uso do Controlador Programável é possível automatizar uma grande quantidade de ações, substituindo o homem, com maior precisão, confiabilidade, custo e rapidez. As informações seguem um ciclo que fazem com que sejam mais eficazes, entrando no sistema e sendo analisadas, posteriormente são tomadas as decisões sendo então os comandos e/ou acionamentos enviados para as saídas. Todos este processo é feito sincronicamente.

O Controlador Programável substituiu circuitos de relés que integravam os sistemas das antigas indústrias. Antes do CLP era necessário sempre que houvesse uma mudança na lógica dos comandos houvesse também toda a modificação da montagem, que pode acarretar em uma reforma total dos armários elétricos. Já com o uso do CLP basta a modificação do software e não do hardware, que implica em maior rapidez e principalmente em uma grande economia.

3.3.1 Finalidade

A criação do CLP tinha a intenção de substituir os relés de um circuito lógico sequencial ou combinacional para o controle industrial. O Controlador lógico-programável funciona sequencialmente, olhando o estado dos dispositivos ligados às suas entradas, operando a lógica de seu programa interno e determinado o estado dos dispositivos ligados às suas saídas.

3.3.2 Origem

Foi concebido em 1968, a partir de uma necessidade da *General Motors Co.*, mais especificamente da divisão de hidramáticos.

A primeira criação foi chamada de *modular digital controller*, ou MODICON. A função original do CLP era simplesmente substituir os grandes gabinetes de lógica à relés, por algo que fosse menor, mais confiável e, principalmente, mais flexível, quanto à facilidade de se alterar a programação (YAMAGUSHI, 2010).

3.3.3 Evolução Tecnológica

Entre as décadas de 70 e 80 as inovações tecnológicas de microprocessadores tiveram um impacto significativo na evolução dos CLP's, sendo estes elaborados com maior flexibilidade e "inteligência".

A melhoria da interface com o operador, capacidade computacional aritmética, manipulação de dados e comunicação com computadores deram nova dimensão ao papel dos CLP's no chão de fábrica.

As tarefas lógicas e sequenciais puderam ser ampliadas para acomodar em seu interior cálculos baseados em dados medidos e, a partir destes, tomar medidas corretivas, controle de bateladas por outras variáveis que não apenas o tempo.

As melhorias aconteceram principalmente na capacidade de memória, no controle sobre entradas e saídas, controle de variáveis analógicas e de posicionamento. Estas características fazem com que o CLP seja adequado para uma gama de aplicações ainda maior, e contribuíram muito para a redução de custos de fiação e de instalação. A expansão de memória permitiu o armazenamento de programas bem maiores, a aquisição de dados e sua manipulação. Esta flexibilidade eliminou a necessidade de que os operadores parassem o processo para introduzir mudanças de parâmetros de produção.

3.3.4 Utilizações Atuais

Com a evolução tecnológica, o CLP assumiu muitas funções, como o controle de variáveis analógicas, tráfego de informações do chão de fábrica às linhas de comunicação de alta velocidade para disponibilizar dados de produção para outras unidades de produção, geração de relatórios, preparação de dados para interface homem máquina (IHM). Apesar de amplamente empregado em processos industriais contínuos, é particularmente importante sua aplicação nos processos em bateladas e onde as formulações da produção precisam ser modificadas com frequência.

3.3.5 Estrutura e Funcionamento do CLP

As tendências do hardware podem ser divididas em dois grandes grupos em relação as suas características físicas, sendo primeiramente o tipo caixa único, que há a integração das fontes de alimentação em um único invólucro, a CPU e os circuitos de entrada e saída, sendo estes, de portes pequenos e médios, com preços mais acessíveis. Outro grupo é o de CLP's modulares, em que há vários invólucros sendo um para a CPU e outro para cada fonte de alimentação e suas estruturas onde se

instalam os módulos de entrada e saída, além dos módulos de comunicação e outros auxiliares (MORAES, 1993).

Um CLP é constituído basicamente de:

- Fonte de alimentação;
- Unidade Central de Processamento (UCP);
- Memórias;
- Dispositivos de entrada e saída (I/O);
- Interface de programação.

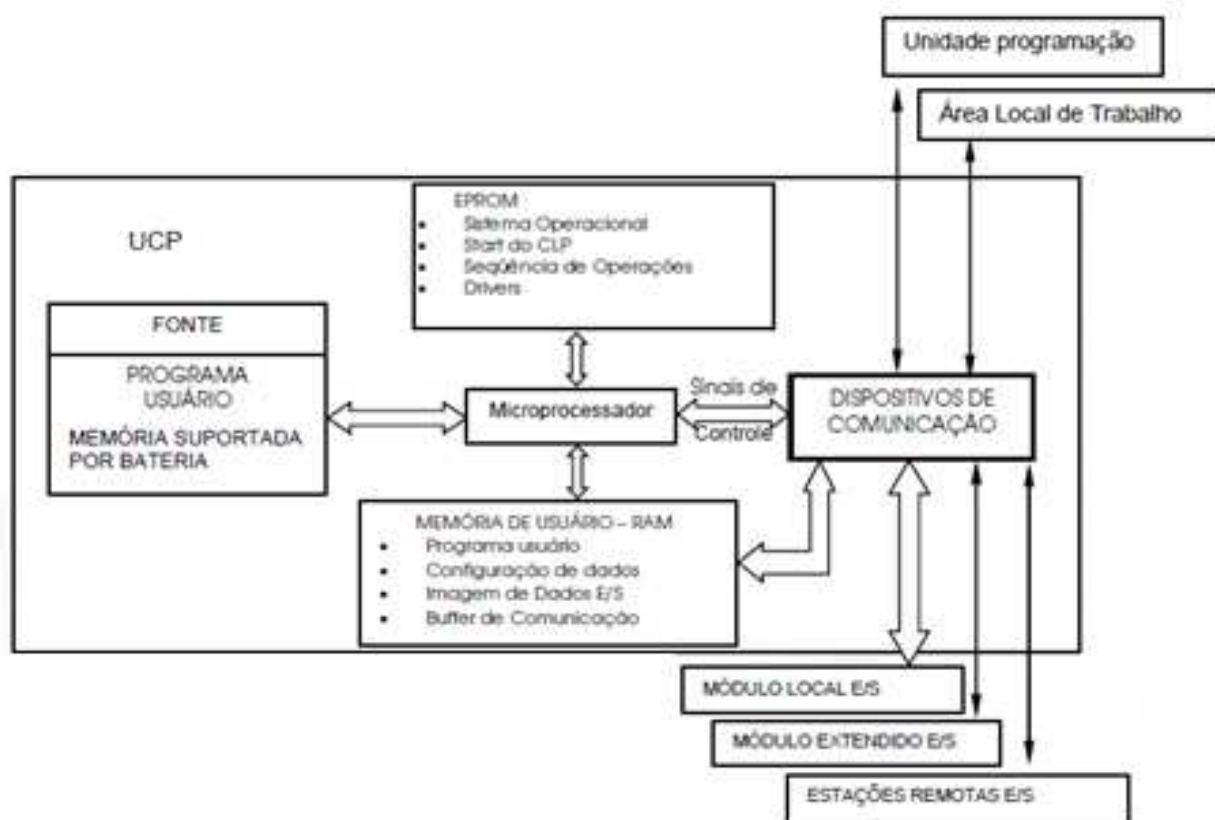


Figura 1 – Diagrama de Blocos da UCP do CLP.

Fonte: (MORAES, 2010).

4 - Descrição do Projeto

Será tratado neste capítulo todas as etapas desenvolvidas no projeto, além de uma explicação sobre o processo de tratamento de lentes, sua importância e como é realizado.

4.1 Processo de Tratamento de Lentes

Antes de se iniciar a programação do CLP, foi necessário o entendimento do processo de limpeza e tratamento de lentes, para que fosse possível programar o robô, constituído por um suporte que movimentava o cesto de lentes tanto na direção vertical, quanto na horizontal, de maneira que ele agisse corretamente, colocando os cestos de lentes nos tanques na ordem e no tempo correto. Este entendimento foi adquirido através dos engenheiros responsáveis pelo setor de automação de lentes finas, e por testes realizados através de simulação.

A máquina de tratamento de lentes automatizada neste trabalho, é constituída por:

1. Descanso inicial: onde o operador deixa o cesto, para que o robô o pegue;
2. Tanques de limpeza (TQ0, TQ1, TQ2, TQ3, TQ4, TQ5): tanques nos quais o robô insere os cestos, e há a ligação de aquecimento, ultra-som ou circulação de água, visando a total limpeza das lentes, antes da aplicação dos vernizes;
3. Tanque de secagem: tanque onde o cesto é colocado depois do processo de limpeza, fazendo com que as lentes fiquem totalmente secas;
4. Descansos do Primer, Verniz 1 e Verniz 2: descansos onde os cestos são colocados à espera de serem inseridos nos tanques de primer, verniz 1 e verniz 2, respectivamente;
5. Tanques de verniz: tanques onde as lentes são banhadas com o primer, verniz 1 ou verniz 2, dependendo do tipo de lente;
6. Turn-Over: estrutura de metal utilizada para apoiar as lentes na posição vertical com o intuito de que o verniz seja aplicado igualmente em toda lente;
7. Pré-Cura: após a etapa de aplicação do verniz o cesto é colocado em outro tanque para que seja feita uma pré-cura, buscando a perfeita fixação dos vernizes;
8. Descanso final: descanso onde o robô coloca o cesto após todo o processo ter acabado. Um sensor ativa um alarme (cigarra) avisando o operador que o cesto deve ser retirado.

Os cestos devem permanecer por 4 minutos em cada tanque, para se atingir o efeito desejado. Nos tanques de secagem e pré-cura, este tempo não pode ser ultrapassado, para se evitar danos nas lentes.

A máquina está representada na Figura 2.

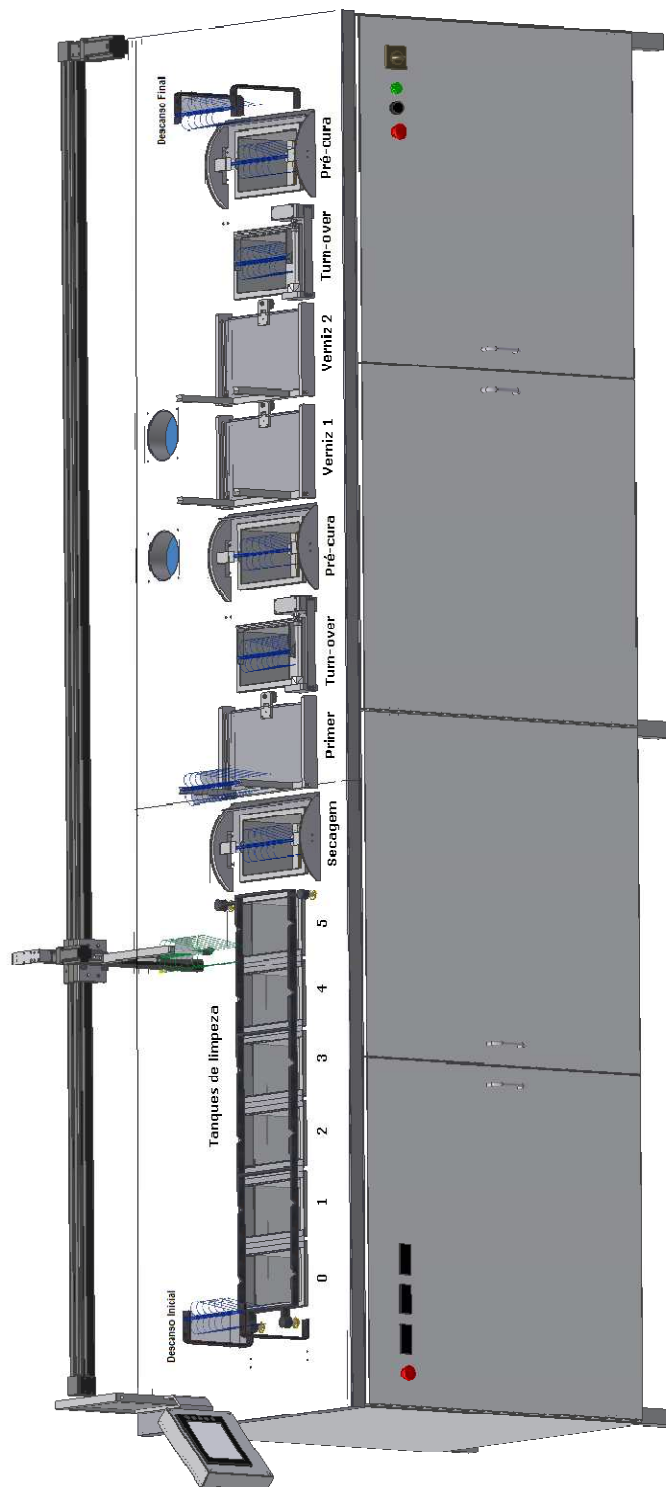


Figura 2- Máquina de Limpeza e Tratamento.

Fonte: (OPTO ELETRÔNICA, 2011).

O processo de tratamento de lentes é importante para aumentar a durabilidade da lente, tornando-a mais protegida contra riscos. Dependendo do tipo de lente, pode-se utilizar um tipo específico de verniz, sendo eles:

- Verniz Policarbinato (referência GE PHC 587): aplicado em lentes de policarbonato com $n=1,58$.
- Verniz Azul (referência SLC - 152.72): utilizado em lentes de acrílico com baixo e médio índice ($1,49 < n < 1,56$).
- Primer: aplicação em blocos de lentes, gerando uma proteção simples.
- Primer + Verniz Azul: pode ser utilizado em todo tipo de lente, inclusive em lentes de alto índice ($1,60 < n < 1,70$).

Sendo n o índice de refração da lente, que é dado por:
$$n = \frac{\text{velocidade da luz no ar}}{\text{velocidade da luz no material}}$$

O índice de refração influencia diretamente na espessura e no peso da lente. No caso das lentes convergentes, quanto maior o índice de refração, mais finas elas ficam no centro. No caso das lentes divergentes mais finas elas ficam nas bordas. Com relação ao peso, no caso das lentes minerais, quanto maior o índice de refração, mais fina e mais pesada fica a lente. Para resina e policarbonato, quanto maior o índice de refração, mais fina e mais leve fica a lente (LENTE-MATERIAIS, 2010).

4.2 Equipamentos e Softwares Utilizados

Neste capítulo serão apresentados os equipamentos e softwares utilizados, além dos motivos pelo qual estes equipamentos foram escolhidos.

CLP Micrologix 1100, fabricado pela Rockwell Automation. Este CLP foi escolhido devido à utilização de outros controladores programáveis do mesmo fabricante, em diversos equipamentos da empresa, o que fez com que o software de programação já fosse conhecido.

Além disso, o Micrologix 1100 foi utilizado por possuir um número de variáveis suficientes para o projeto, além de aceitar cartões de expansão de entrada e saída.

O CLP está representado na Figura 3.

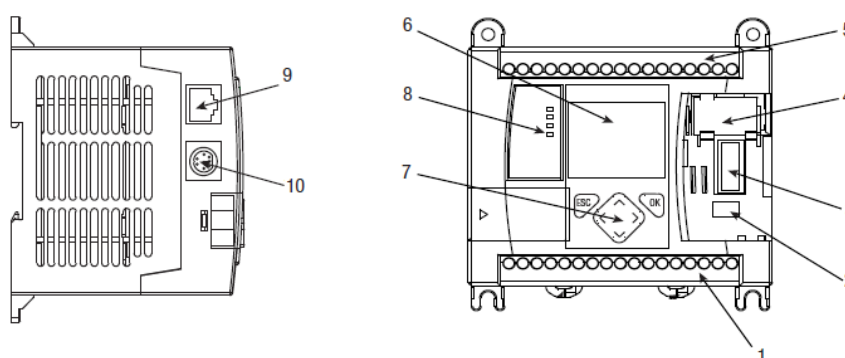


Figura 3 – CLP Micrologix 1100.

Fonte: (ROCKWELL, 2011)

1. Terminais de Saída (seis saídas);
2. Conector da Bateria;
3. Conector de Interface para Expansão I/O;
4. Bateria;
5. Terminais de Entrada (dez entradas digitais);
6. LCD;
7. Botões de Comando do LCD;
8. LED Indicador de Estados;
9. Porta de Comunicação RS-232/485;
10. Porta Ethernet.

Eixo Eletromecânico DGE-18-200-SP, fabricado pela Festo, tem como característica ser compacto, com grande capacidade de carga e torques mecânicos, além de máxima precisão e performance (FESTO, 2011b).

Este eixo foi escolhido por utilizar servomotor, garantindo assim maior precisão e por possuir esferas recirculantes que diminuem significativamente a vibração, tornando possível fazer com que o robô insira diretamente os cestos nos tanques de verniz. Além disso, é fornecido para este eixo, um controlador CMMS-AS, facilitando a programação em ladder.

O eixo está demonstrado na Figura 4.



Figura 4 – Eixo DGE-18-200-SP.

Fonte: (FESTO, 2011b).

Eixo Eletromecânico DGE-40-3300-ZR, fabricado pela Festo, é ideal para mover cargas leves, com velocidade de até 10 m/s, podendo ser montado em qualquer posição (FESTO, 2011b).

Este eixo foi utilizado devido a utilização do controlador CMMS-ST, que permite uma fácil programação das velocidades e posições utilizadas.

O eixo está demonstrado na Figura 5.



Figura 5 – Eixo DGE-40-3300-ZR.

Fonte: (FESTO, 2011b).

Controlador de Motor de Passo CMMS-ST-C8-7, fabricado pela Festo, é um servo regulador de posição totalmente digital para acionar motores de passo híbridos de duas fases, com uma corrente máxima de 8A. Sua utilização permitiu uma significativa diminuição do programa ladder, pois todos os dados de velocidade e posicionamento horizontal são realizados diretamente nele.

O controlador está demonstrado na Figura 6.

Características:

- Interface RS-232/485;
- Controle automático para um freio de retenção integrado com o motor;
- Entrada analógica de 12 bits de alta resolução;

Funciona como regulador de posição e velocidade;

- Controle de posição integrado;
- Posicionamento ponto a ponto;
- Sincronização de posição;
- 64 registros de posição;
- 8 perfis de deslocamento.

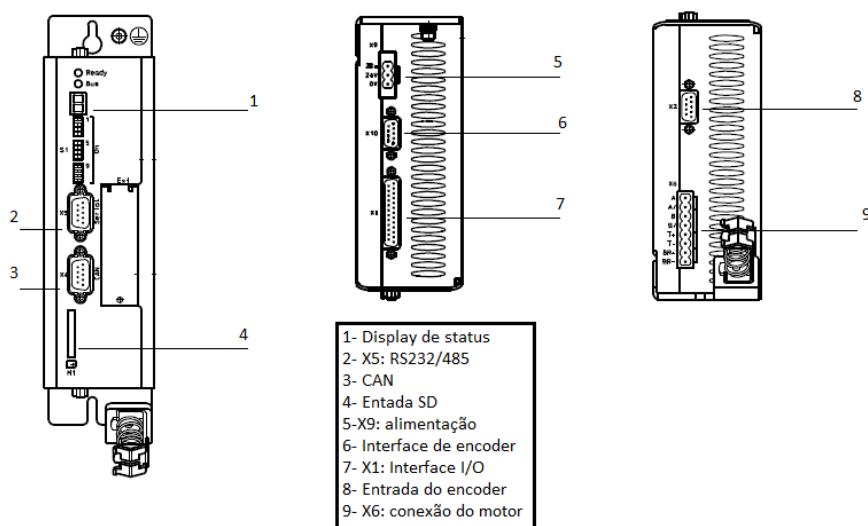


Figura 6 – Controlador CMMS-ST.

Fonte: (FESTO, 2011).

Controlador de Servomotor CMMS-AS-C8-3A, é um servo regulador de posicionamento, fabricado pela Festo, que funciona com os servomotores da série EMM-AS, e é capaz de controlar o posicionamento ponto a ponto, de maneira muito sensível. Sua utilização permitiu uma significativa diminuição do programa ladder, pois todos os dados de velocidade e posicionamento vertical são realizados diretamente nele.

O controlador está demonstrado na Figura 7.

Características:

- Interface RS-232/485 e CANopen;
- Controle automático para um freio de retenção integrado com o motor;
- I/O de livre programação;
- Entrada analógica de 12 bits de alta resolução;
- Funcionamento mestre/escravo;
- Funciona como regulador de torque, posição e velocidade;
- Controle de posição integrado;
- Posicionamento ponto a ponto;
- Sincronização de posição;
- 64 registros de posição e 8 perfis de deslocamento.

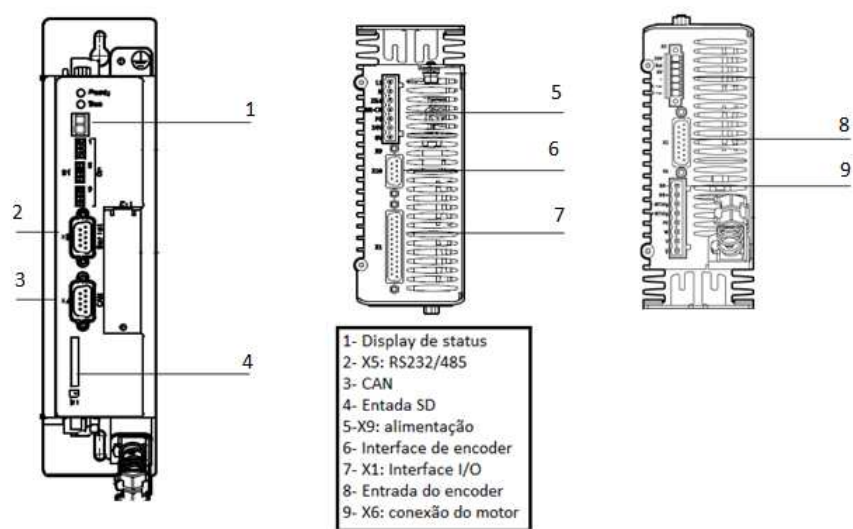


Figura 7 – Controlador CMMS-AS.

Fonte: (FESTO, 2011a).

Motor de Passo EMMS-ST, que suporta grandes torques e possui alto grau de proteção, com sistema de conexão próprio para indústria. Fabricado pela Festo. O motor está representado na Figura 8.



Figura 8 – Motor de Passo EMMS-ST.

Fonte: (MOTORES E CONROLADORES, 2011).

Servomotor EMMS-AS, fabricado pela Festo, utilizado no eixo eletromecânico DGE-18-200-SP. Este motor trabalha com alta precisão, o que é fundamental na movintação vertical neste processo.

O servomotor EMMS-AS está representado na Figura 9.



Figura 9- Servomotor EMMS-AS.

Fonte: (MOTORES E CONTROLADORES, 2011).

Fonte de alimentação Trio Power Output 24Vdc, 20A, fabricada pela Phoenix Contact, utilizada para alimentar os controladores da Festo e o CLP.



Figura 10 – Fonte de Alimentação 24Vdc

Fonte: (FONTE TRIO POWER, 2010).

Fonte de alimentação 48Vdc, 10 A, fabricada pela Festo, utilizada para alimentar o controlador CMMS-ST.



Figura 11 – Fonte de Alimentação 48Vdc

Fonte: (FESTO, 2011)

Estas fontes de alimentação foram escolhidas por possuírem um número suficiente de saídas para o projeto, além de serem compactas, permitindo assim sua fixação junto ao painel elétrico.

RS Logix 500, software de programação ladder, fabricado pela Rockwell, utilizado para programar os CLP's da família Micrologix. A Figura 12 representa a imagem principal do software.

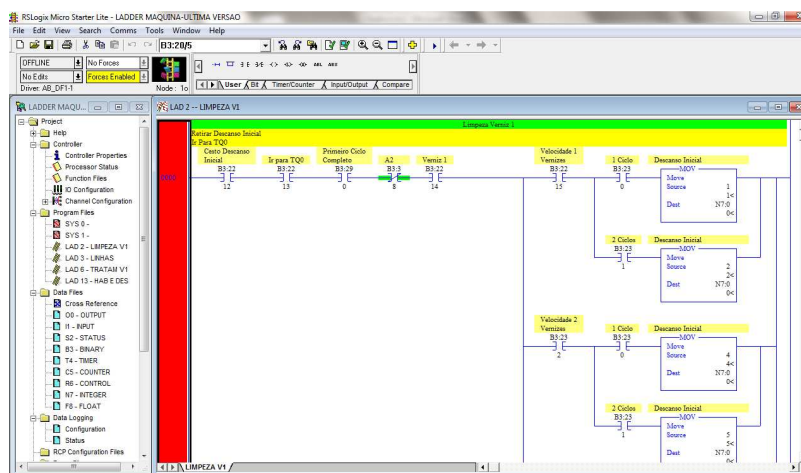


Figura 12 – Imagem RSLogix 500.

Festo Configuration Tool, software utilizado para programar os controladores CMMS-ST e CMMS-AS, responsáveis pelo controle de velocidade e posicionamento, no eixo horizontal e vertical, respectivamente. A Figura 13 representa a imagem inicial do software.

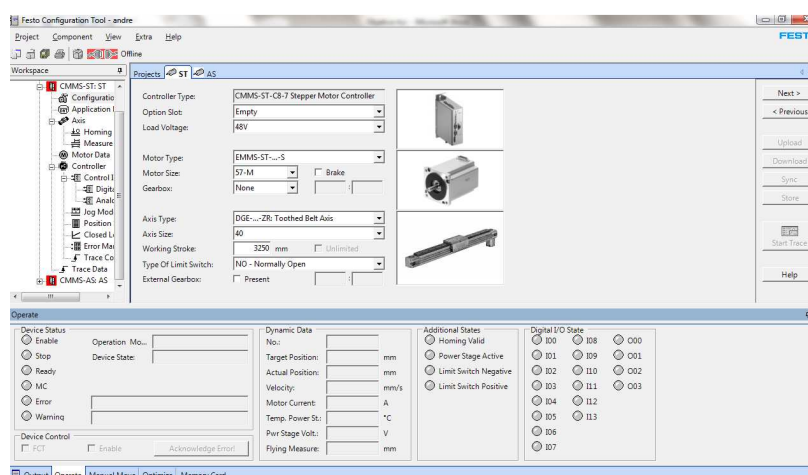


Figura 13 – Imagem Festo Configuration Tool.

Foram utilizados sensores indutivos, empregados para indicar se as tampas da secagem, primer, vernizes, e pré-cura, estão abertas ou fechadas. Eles indicam também se o turn-over está na posição vertical ou horizontal, além de informar se há a presença de cestos no descanso final.

Devido à utilização de um metal (aço inox) na produção das partes da máquina onde os sensores atuam, a utilização de sensores indutivos foi escolhida por ser eficiente neste caso.

4.3 Desenvolvimento

Após o entendimento de todo processo, foi iniciada a programação em linguagem ladder para que fosse possível a execução automática de todas as tarefas.

A programação foi feita no software RSLogix 500 da Rockwell, que é o software utilizado para programar o CLP Micrologix 1100, utilizado neste trabalho. As entradas e saídas utilizadas, estão representadas no Anexo 2.

Os valores de velocidade e posicionamento do robô foram ajustados no software Festo Configuration Tool, e transferidos para os controladores CMMS-ST e CMMS-AS.

4.4 Programação Ladder

O programa em ladder foi dividido em três subprogramas: um com a programação que ativa as linhas programadas nos controladores da Festo, fazendo com que o robô leve os cestos nas posições corretas e com as velocidades devidas; outro com a programação de limpeza das lentes; e outro com a programação de tratamento e aplicação dos vernizes.

As maiores dificuldades encontradas durante o trabalho, ocorreram devido a existência de vários tipos diferentes de processos, devido aos diferentes tipos e tamanhos de lente. O motivo desta dificuldade é que esses processos podem ocorrer de forma aleatória na máquina (o operador coloca uma cesta com um tipo de lente e na sequência coloca outro tipo). Como existem lentes que não passam pelo tanque 0 da limpeza (vão direto para o tanque 1), outras lentes que devem ficar dois ciclos no tanque 0, e como ainda existem três tanques de verniz (Primer, Verniz 1 e Verniz 2) e existem tipos de lente que passam somente em um verniz, outras que passam no primer e depois em um dos vernizes e outros ainda que não passam em nenhum verniz (somente limpeza), teve que se tomar o cuidado de não permitir que o robô deixasse um cesto em um tanque onde já existisse outro cesto.

. O fluxograma resumido do processo, onde são utilizados o Primer e o Verniz 1, com o cesto indo direto para o tanque 1, ou ficando 1 ciclo no tanque 0, está representado na Figura 14. As entradas digitais do programa estão na Tabela 1 e algumas saídas na Tabela 2.

Tabela 1 - Entradas Digitais

Endereço	Nome	Tipo
I:0/2	Sensor tampa aberta secagem	Entrada Digital
I:0/3	Sensor tampa fechada secagem	Entrada Digital
I:0/4	Sensor tampa aberta primer	Entrada Digital
I:0/5	Sensor tampa fechada primer	Entrada Digital
I:0/6	Sensor TO primer sobe	Entrada Digital
I:0/7	Sensor TO primer desce	Entrada Digital
I:0/8	Sensor tampa aberta PC primer	Entrada Digital
I:0/9	Sensor tampa fechada PC primer	Entrada Digital
I:1/0	Sensor tampa aberta verniz 1	Entrada Digital
I:1/1	Sensor tampa fechada verniz	Entrada Digital
I:1/2	Sensor tampa aberta verniz 2	Entrada Digital
I:1/3	Sensor tampa fechada verniz 2	Entrada Digital
I:1/4	Sensor TO verniz sobe	Entrada Digital
I:1/5	Sensor TO verniz desce	Entrada Digital
I:1/6	Sensor tampa aberta PC verniz	Entrada Digital
I:1/7	Sensor tampa fechada PC verniz	Entrada Digital
I:1/8	Sensor cesto pronto	Entrada Digital
I:1/9	Saída O:01 CMMS-ST	Entrada Digital
I:1/10	Saída O:01 CMMS-AS	Entrada Digital

Tabela 2 - Saídas Digitais

Endereço	Nome	Tipo
0:0/0	Resis. Tanques 0,1,3,5	Saída Digital
0:0/1	Cascata tanques 2,4	Saída Digital
0:0/2	Ultra som tanque 0	Saída Digital
0:0/3	Ultra som tanque 1	Saída Digital
0:2/4	Tampa primer abre	Saída Digital
0:2/5	Tampa primer fecha	Saída Digital
0:2/12	Bomba verniz 1	Saída Digital
0:2/15	Bomba verniz 2	Saída Digital
0:3/0	TO verniz sober	Saída Digital
0:3/1	Tampa PC verniz abre	Saída Digital
0:3/3	Stiring	Saída Digital
0:3/4	Cigarra	Saída Digital
0:3/15	TO verniz desce	Saída Digital
0:4/0	ST STOP	Saída Digital
0:4/1	ST enable power	Saída Digital
0:4/2	ST enable control	Saída Digital
0:4/3	AS STOP	Saída Digital

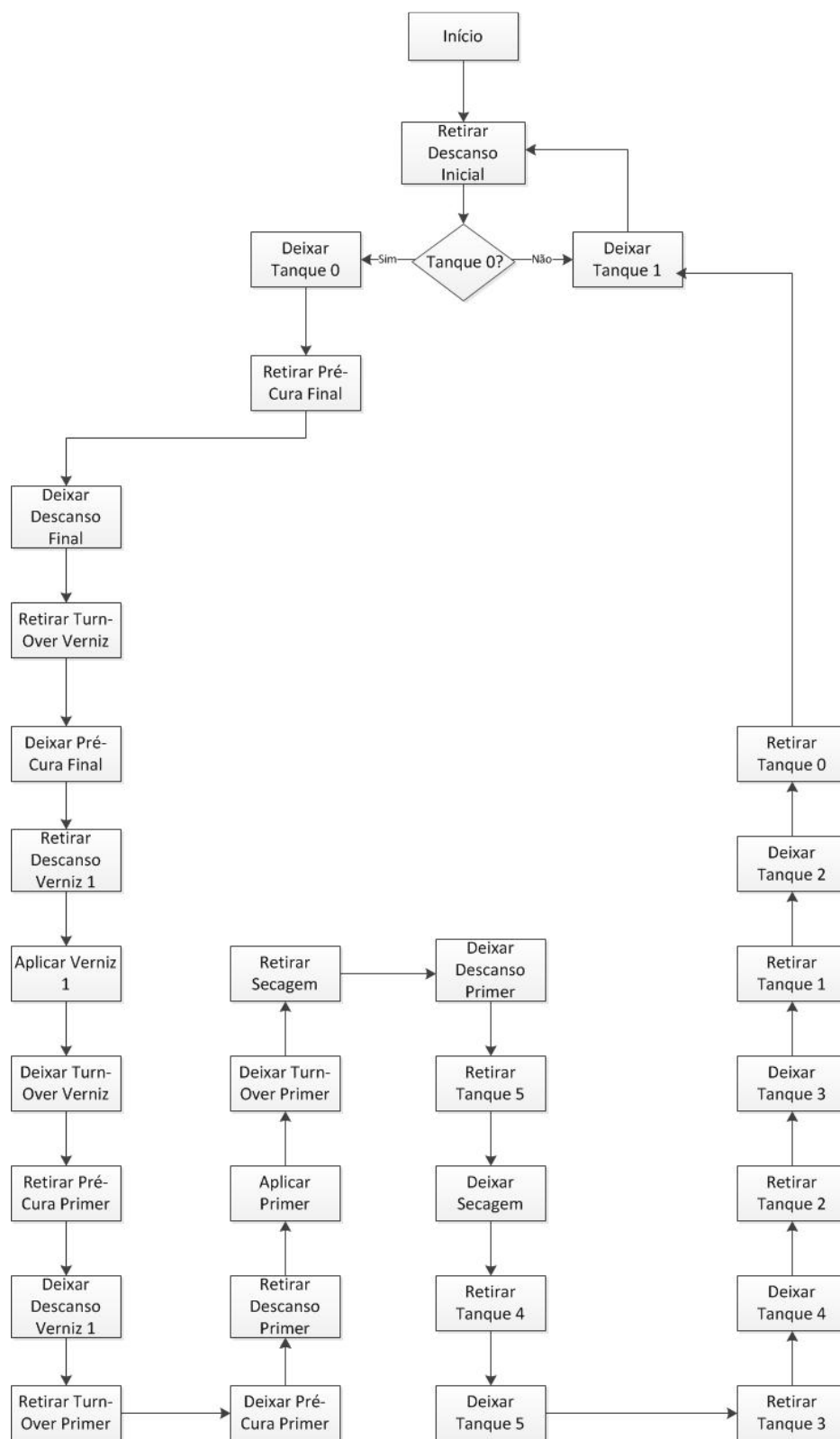


Figura 14 – Fluxograma do Processo.

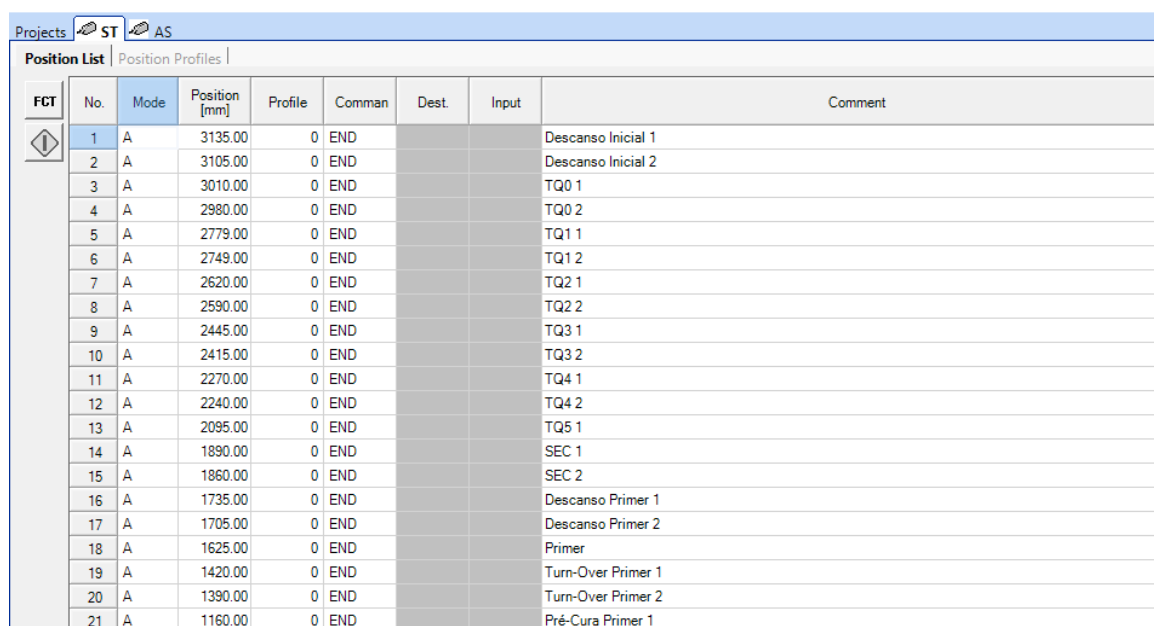
4.5 Programação Festo Configuratio Tool

Com a utilização dos controladores da Festo, foi possível uma fácil configuração das posições dos cestos e das velocidades do robô, diminuindo consideravelmente a programação em ladder e a tornando menos complexa. As linhas programadas nos controladores são acionadas pelo CLP através de bits de comando, sendo que cada número binário aciona uma linha diferente. Esta sequência de números binários, foi criada no programa ladder, através da utilização de comandos Latch (utilizado como 1) e Unlatch (utilizado como 0), abilitando ou desabilitando saídas do CLP, que são as entradas dos controladores, utilizadas para acionar cada linha de comando.

O controlador CMMS-ST, foi utilizado para controlar o robô no eixo horizontal (eixo DGE-40-3300-ZR), que funciona com o Motor de Passo EMMS-ST.

O controlador CMMS-AS, foi utilizado para controlar o robô no eixo vertical (eixo DGE-18-200-SP), que funciona com o Servomotor EMMS-AS.

Na Figura 15, temos uma imagem da programação do CMMS-ST.



FCT	No.	Mode	Position [mm]	Profile	Comman	Dest.	Input	Comment
	1	A	3135.00	0	END			Descanso Inicial 1
	2	A	3105.00	0	END			Descanso Inicial 2
	3	A	3010.00	0	END			TQ0 1
	4	A	2980.00	0	END			TQ0 2
	5	A	2779.00	0	END			TQ1 1
	6	A	2749.00	0	END			TQ1 2
	7	A	2620.00	0	END			TQ2 1
	8	A	2590.00	0	END			TQ2 2
	9	A	2445.00	0	END			TQ3 1
	10	A	2415.00	0	END			TQ3 2
	11	A	2270.00	0	END			TQ4 1
	12	A	2240.00	0	END			TQ4 2
	13	A	2095.00	0	END			TQ5 1
	14	A	1890.00	0	END			SEC 1
	15	A	1860.00	0	END			SEC 2
	16	A	1735.00	0	END			Descanso Primer 1
	17	A	1705.00	0	END			Descanso Primer 2
	18	A	1625.00	0	END			Primer
	19	A	1420.00	0	END			Turn-Over Primer 1
	20	A	1390.00	0	END			Turn-Over Primer 2
	21	A	1160.00	0	END			Pré-Cura Primer 1

Figura 15 – Parte da Programação do CMMS-ST.

4.6 Comunicação entre os componentes

A comunicação entre os componentes foi implementada através do protocolo Modbus. O protocolo serial Modbus é um protocolo mestre-escravo. Um sistema operando como mestre-escravo possui um nó mestre, que emite comandos explícitos para um dos nós escravos e processa a sua resposta. Tipicamente os escravos não irão transmitir dados sem uma requisição do nó mestre e não se comunicam com outros escravos. Na camada física os sistemas Modbus em linhas seriais podem usar diferentes interfaces físicas (RS485, RS232, RS422) (SCHNEIDER ELETRONICS, 2011).

O esquema da comunicação dos componentes está mostrado na Figura 16.

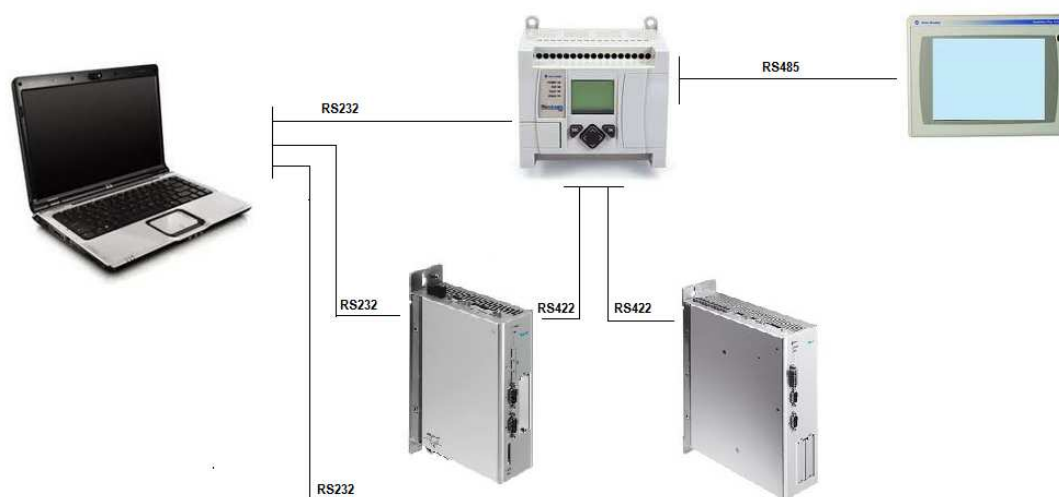


Figura 16 – Esquema de Ligação dos Componentes.

4.7 Próximas Etapas do Trabalho

Após a conclusão do programa do CLP, foi iniciada a montagem da estrutura de proteção da máquina e a configuração das telas da IHM. A configuração das telas foi realizada na IHM PanelView C1000, fabricada pela Allen-Bradley e já foi finalizada.

Com a montagem estrutural da máquina finalizada, será possível a realização dos testes finais, ajustando corretamente as posições dos cestos e velocidades do robô. Até o momento, todos os testes foram realizados com os eixos e o robô montados em uma estrutura provisória.

4.8 Resultados das Melhorias da Nova Máquina

Por esta máquina ser automática, sem a necessidade da constante intervenção humana, o processo pode ser fechado, tornado o ar em seu interior livre de partículas que possam diminuir a qualidade final do produto. A pureza do ar é mantida com a ajuda de um filtro e de um “ventilador” que mantém o ar constantemente em circulação, retirando assim possíveis partículas indesejadas. A primeira máquina automática existente na empresa, já possuía esta característica.

A inclusão do tanque de primer, permitiu a possibilidade de se utilizar apenas o verniz azul (SCL-152.72), no tratamento, pois aplicando-se o primer e em seguida o verniz azul, pode-se promover o tratamento de todo tipo de lente.

Outra melhoria importante nesta nova máquina, é a utilização do eixo eletromecânico DGE-18-200-SP que possui esferas recirculantes que diminuem a vibração, permitindo que a imersão dos cestos nos tanques de verniz, seja feita diretamente pelo robô. Na máquina antiga, o robô deixava o cesto em um suporte, que se movia verticalmente, fazendo a imersão do cesto, nos vernizes.

5 - Conclusão

Pode-se concluir que o trabalho de conclusão de curso atingiu as metas pré-estabelecidas, uma vez que a programação em *ladder* foi finalizada de maneira satisfatória. Com a máquina finalizada, esta nova programação permitirá a realização de um maior número de processos de tratamento de lentes, uma vez que esta máquina possui um maior número de tanques para este processo, tornando possível a alternância dos tipos de lentes, sem a preocupação da ocorrência de conflito, pois este cuidado foi tomado durante a programação.

Através dos testes realizados, após a conclusão da programação *ladder*, foi possível corrigir erros do programa, que não permitiam a correta realização do processo. Estes erros foram causados principalmente pela complexidade do processo e por ser este, o primeiro contato do programador com um projeto deste porte.

Outro importante resultado deste trabalho foi a grande oportunidade de conhecer e aprender a lidar com diferentes equipamentos e softwares, além de adquirir conhecimentos sobre o processo de tratamento de lentes oftálmicas. Foi nítido durante o projeto a evolução e o aumento de experiência em relação à programação em *ladder*, uma vez que com os conhecimentos e a prática adquirida, foi possível simplificar o programa, diminuindo o número de linha de comando.

Por tudo isso, esse trabalho propiciou a chance de um crescimento teórico e profissional na área de engenharia.

Referências Bibliográficas

MORAES, C.C. (2010). **Sistemas de automação e processos de controle**. 136p. Apostila MBA – Automação Industrial, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, J.C.P. (1993). **Controlador programável**. 485p. Makron-Books do Brasil Editora, São Paulo.

FESTO (2011). **Assembly and installation Type CMMS-ST-C8-7**. Disponível em: <<http://www.festo.com>>. Acesso em: 9 de maio de 2012.

FESTO (2011a). **Mounting and installation Type CMMS-AS**. Disponível em: <<http://www.festo.com>>. Acesso em: 15 de abril de 2012.

FESTO (2011b). **Spidle Axes DGE**. Disponível em: <<http://www.festo.com>>. Acesso em: 16 de abril de 2012.

MOTORES E CONTROLADORES (2011). **Servomotor EMMS-AS, motor de passo EMMS-ST**. Disponível em: <http://www.festo.com/cms/pt-br_br/2538.htm>. Acesso em: 13 de maio de 2012.

ROCKWELL AUTOMATION (2011). **Micrologix 1100 programmable controllers**. Disponível em: <<http://www.rockwellautomation.com>>. Acesso em: 27 de março de 2012.

SCHNEIDER ELETRONICS (2011). **Modicon protocol 2000**. Disponível em: <http://www.modicon.com/techpubs/toc7.html>. Acessado em: 1 de junho de 2012.


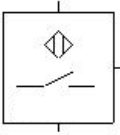
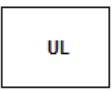
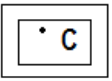


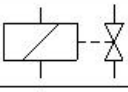


LENTEs – MATERIAIS (2010). **Lentes e materiais**. Disponível em: <http://www.laboratoriorigor.com.br/lentes_materiais.html>. Acessado em: 17 de julho de 2012.

FONTE TRIO POWER. (2010). **Product catalogs**. Disponível em: <<http://catalog.phoenixcontact.net/phoenix/treeViewClick.do?UID=2866268&parentUID=&reloadFrame=true>> Acessado em: abril de 2012.

STENERSON, J. (1999). **Fundamentals of programmable logic controllers, sensors and communications**. 562p. 2nd edition, Prentice-Hall.

YAMAGUCHI, M. Y. (2010). **Controladores programáveis**. 156p. Apostila MBA – Automação Industrial, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

APÊNDICE – DIAGRAMA DE SIMBOLOS

Símbolo	Descrição
	RESISTÊNCIA
	SENSOR INDUTIVO
	ULTRA-SOM
	CONTROLADOR DE TEMPERATURA
	CHAVE ABERTA
	CHAVE FECHADA
	VÁLVULA SOLENÓIDE
	RELÉ
	MOTOR

Universidade de São Paulo	Diagrama Elétrico de Símbolos
Data 25 07 2012	ANDRÉ BEOZZO FERNANDES
TCC	

Anexo 1 – Dados Técnicos dos Equipamentos

Os dados técnicos do eixo DGE-SP estão na Figura 17 e suas dimensões na Figura 18.

DGE-SP com cursor		
Eixos eletromecânicos de fuso de esferas		Tipo DGE-SP
Dimensões		18
Curso nominal	[mm]	100 ... 500
Torque máx. do acionamento	[Nm]	0.1
Força máx. de avanço	[N]	140
Velocidade máxima	[m/s]	0.2
Precisão de repetição	[mm]	±0.02
Carga máx. aplicada Fr	[N]	1.8

Figura 17 – Dados do Eixo DGE-18-200-SP.

Fonte: (FESTO, 2011b).

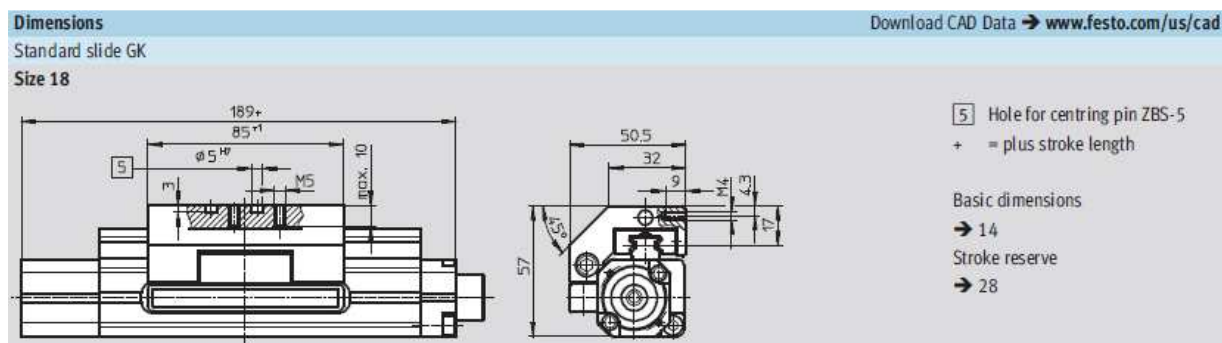


Figura 18 – Dimensões Eixo DGE-18-SP.

Fonte: (FESTO, 2011b).

Os dados técnicos do eixo DGE-ZR estão na Figura 19.

DGE-ZR		
Eixos eletromecânicos de fuso de esferas		Tipo DGE-ZR
Dimensões		40
Curso nominal	[mm]	1...4000
Torque máx. do acionamento	[Nm]	1.0
Velocidade máxima	[m/s]	5
Precisão de repetição	[mm]	+ 0.1

Figura 19 – Dados do Eixo DGE-40-3300-ZR.

Fonte: (FESTO, 2011b).

Os dados técnicos do motor de passo EMMS-ST estão na Figura 20 e os dados no servomotor EMMS-AS estão na Figura 21.

Dados técnicos do motor de passo EMMS-ST	
Tensão nominal [V CC]	48
Corrente nominal [A]	8
Pico de saída [W]	500
Função	Passo completo para 4.000 passos/rev. com 64 registros de deslocamento
Interfaces	Pulso/direção, tração de frequência separada para CW/CCW, I/O, CANopen Opcional: Profibus, DeviceNet
Torque de retenção [Nm]	0,3 ... 6,5
Ângulo de passos [°]	1,8 ±5%
Opções	Encoder, freio
Grau de proteção	Eixo do motor IP54 Corpo do motor com tecnologia de conexão IP65

Figura 20 – Dados do Motor de Passo EMMS-ST.

Fonte: (MOTORES-CONTROLADORES, 2011).

Dados técnicos do servomotor EMMS-AS	
Tamanho	40, 55, 70, 100, 140
Torque [Nm]	1 ... 48,8
Velocidade nominal de rotação [U/min]	10.300 ... 2.000
Máx. velocidade de rotação [U/min]	11.180 ... 2.210
Tensão primária [V CC]	115 ... 230
Tensão de circuito intermediário [V CA]	360/600
Função	Controle da posição com 64 registros de posição integrados
Corrente nominal [A]	0,6 ... 7,4

Tabela 21 – Dados do Servomotor EMMS-AS.

Fonte: (MOTORES-CONTROLADORES, 2011).