

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

GUILLERMO MEISTER FILHO

RETROFIT EM ESTAMPADEIRA DE BOLACHAS DE MEL

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

GUILLERMO MEISTER FILHO

RETROFIT EM ESTAMPADEIRA DE BOLACHAS DE MEL

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Walter Denis Cruz Sanchez

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

RETROFIT EM ESTAMPADEIRA DE BOLACHAS DE MEL

por

GUILLERMO MEISTER FILHO

Esta monografia foi apresentada em 25 de Novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Walter Denis Cruz Sanchez
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus falecidos pais Guillermo Meister Farina e Donay Meister Farina. Meu pai me inspirou desde muito cedo no interesse pela profissão de engenheiro. Ele sonhava e planejava constantemente melhorias nas máquinas de sua fábrica e melhores condições para seus funcionários. Minha mãe era uma incansável apoiadora das novas ideias e sempre com muita alegria fazia com que os momentos difíceis fossem mais fáceis de enfrentar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus professores do curso de especialização em Automação e em especial ao meu orientador Prof. Walter Sanchez que me deu orientações importantes para a monografia.

Agradeço também ao meu irmão Otto Meister Neto que confiou em mim e me apoiou muito no trabalho.

Um agradecimento especial a minha querida esposa Débora Meister que me incentivou a voltar a estudar.

RESUMO

MEISTER FILHO, Guillermo. **Retrofit em estampadeira de bolachas de mel.** 2019. 43 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O parque industrial brasileiro carece de investimentos e tem máquinas bastante antigas e obsoletas. Em um país onde os empresários têm dificuldades financeiras para novos investimentos, o retrofit de máquinas antigas torna-se uma opção muito atrativa para melhoria de produtividade. Este trabalho trata do retrofit de uma máquina de estampar bolachas de mel. A máquina pertence a uma empresa de pequeno porte e foi construída em 1999, porém ainda em funcionamento no início deste trabalho. Antes do retrofit a máquina tinha algumas limitações técnicas. A capacidade produtiva da máquina estava no limite e não era possível um aumento de capacidade através de ajustes. Alguns componentes pneumáticos e elétricos já eram obsoletos. A máquina não era programável o que dificultava muito a inserção de novos produtos. Um problema de qualidade devido aos movimentos bruscos dos atuadores pneumáticos rotativos também ocorria durante o processo. Durante o retrofit substituiu-se o velho comando via lógica de relés por um CLP. Além disso, para melhorar a eficiência do equipamento, os acionamentos pneumáticos dos cilindros foram substituídos por servomotores. Com o retrofit espera-se melhorar a capacidade produtiva em 5%, eliminar o problema de qualidade e substituir todos os componentes obsoletos evitando longas paradas não programadas.

Palavras-chave: Retrofit. CLP. Servomotores. Estampadeira de bolachas de mel. Automação.

ABSTRACT

MEISTER FILHO, Guillermo. **Retrofit of a honey cookie stamping machine**. 2019. 43 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The Brazilian industrial park needs investment and has very old and obsolete machines. In a country where entrepreneurs are struggling financially for new investments, retrofitting old machines becomes a very attractive option for productivity improvement. This paper deals with the retrofit of a honey cookie stamping machine. The machine belongs to a small company and was built in 1999, but it was still in operation at the beginning of this study. Prior to retrofit the machine had some technical limitations. The machine's production capacity was at its limit and no capacity increase was possible through adjustments. Some pneumatic and electrical components were already obsolete. The machine was not programmable which made it very difficult to insert new products. A quality problem due to the sudden movements of the rotary pneumatic actuators also occurred during the process. During the retrofit the old command via relay logic was replaced by a PLC. In addition, to improve equipment efficiency, pneumatic cylinder drives have been replaced by servomotors. Retrofit is expected to improve production capacity by 5%, eliminate the quality problem and replace all obsolete components avoiding long unplanned downtime.

Keywords: Retrofit. PLC. Servomotors. Honey cookie stamping machine. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Inauguração da máquina em 1999.....	11
Figura 2 - Processo de fabricação de bolachas de mel.....	14
Figura 3 - Fluxograma do funcionamento da estampadeira	15
Figura 4 - Painel elétrico antes do retrofit.....	16
Figura 5 - Atuadores pneumáticos giratórios antes do retrofit.....	16
Figura 6 - Freio com acionamento eletromagnético	18
Figura 7 - Esquema elétrico antigo.....	18
Figura 8 - Modelo CLP WEG TPW04-340BT-A.....	21
Figura 9 - Desenho esquemático parte superior	22
Figura 10 - Servomotor Delta ECMA-E21315ES.....	24
Figura 11 - Servodrive Delta ASD-A2-1521.....	25
Figura 12 - Desenho esquemático parte inferior	25
Figura 13 - Esquema do movimento do servo motor inferior.....	30
Figura 14 - Parâmetros do servomotor da parte inferior.....	31
Figura 15 - Painel elétrico após retrofit.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Momentos de inércia da parte mecânica superior.....	23
Tabela 2 - Momentos de inércia parte mecânica inferior.....	26
Tabela 3 - Entradas digitais do CLP.....	29
Tabela 4 - Saídas digitais do CLP	29

LISTA DE SIGLAS

ABIMAQ	Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos
CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem Máquina
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVO GERAL	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
1.5 METODOLOGIA	13
2 DIAGNÓSTICO DA MÁQUINA ANTES DO RETROFIT	14
2.1 VISÃO GERAL SOBRE A FABRICAÇÃO DA BOLACHA DE MEL	14
2.2 FUNÇÃO E FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA	14
2.3 COMPONENTES DA MÁQUINA	15
2.3.1 Parte Elétrica	15
2.3.2 Parte Pneumática	16
2.3.3 Parte Mecânica	17
2.3.4 Projeto Mecânico e Elétrico	18
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO RETROFIT	19
3.1 PREMISSAS PARA O RETROFIT	19
3.2 ESCOLHA DO CLP	19
3.3 ESCOLHA DOS SERVO ACIONAMENTOS	21
3.3.1 Dimensionamento Servomotor (Parte Superior)	22
3.3.2 Dimensionamento Servomotor (Parte Inferior)	25
4 IMPLEMENTAÇÃO	28
4.1 PROGRAMAÇÃO DO CLP	28
4.2 PROGRAMAÇÃO DOS SERVOMOTORES	30
5 RESULTADO DOS TESTES	32
5.1 TESTE DO CLP	32
5.2 TESTE DOS SERVOMOTORES	32
5.3 TESTE DO FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA	33
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	36
ANEXO A: CATÁLOGO SERVOMOTOR DELTA	37
ANEXO B: CATÁLOGO SERVODRIVE DELTA	38
APÊNDICE A: PROGRAMA LADDER (PARTE 1)	39
APÊNDICE B: PROGRAMA LADDER (PARTE 2)	40
APÊNDICE C: PROGRAMA LADDER (PARTE 3)	41
APÊNDICE D: PROGRAMA LADDER (PARTE 4)	42
APÊNDICE E: PROGRAMA LADDER (PARTE 5)	43

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), estima-se que a idade média dos equipamentos industriais no Brasil é de 17 anos (ALMEIDA; CAGNIN, 2019; O GLOBO, 2013). Especialistas apontam que, quanto mais antigo é um maquinário, pior é seu desempenho, o que tende a comprometer a produtividade da indústria (O GLOBO, 2013).

Uma solução encontrada por várias empresas foi de investir na modernização de seus equipamentos através do retrofit. O retrofit industrial é o processo de atualização das máquinas, substituindo ou modernizando peças e softwares por modelos com versões mais recentes. O método implementa correções e novas funcionalidades a partir das características básicas do produto (TECNICON, 2018).

Este trabalho apresenta um retrofit em uma máquina da empresa G. Meister e Cia Ltda¹, que é uma fábrica de produtos alimentícios situada na região Metropolitana de Curitiba. Fundada na década de 60, esta empresa familiar de pequeno porte, tem como principal produto a bolacha de mel. Não existe no mercado máquinas de baixo custo para fabricação deste produto. Por este motivo, muitas máquinas foram desenvolvidas ou adaptadas pela própria família ao longo das últimas décadas.

A máquina estampadeira de bolachas de mel, apresentada na Figura 1, foi projetada e construída em 1999. Esta máquina tem uma tecnologia obsoleta e baixa flexibilidade. Seu comando é feito através de relés eletromecânicos. O custo de manutenção é alto e alguns componentes da máquina já estão descontinuados no mercado.

¹ **G. Meister e Cia Ltda.** Telefone: (41) 3657-5621. Rod. do Contorno Norte de Curitiba - Jardim Monterrey, Alm. Tamandaré - PR, 83507-000.

Figura 1 - Inauguração da máquina em 1999



Fonte: Autoria própria.

1.1 JUSTIFICATIVA

A falta de flexibilidade da referida máquina restringe o aumento do portfólio de produtos, pois seu comando não é programável.

A estampadeira de bolachas de mel é o gargalo na linha de fabricação. Uma redução de ciclo nesta máquina significa um ganho de capacidade produtiva e conseqüente redução dos custos de fabricação. O que impede uma redução do ciclo da máquina é a velocidade de um atuador pneumático rotativo cujo ajuste da velocidade, aceleração e posição é bastante crítico e limitado.

De acordo em Lamb (2015, p. 38), “embora os sistemas pneumáticos sejam mais baratos de serem implementados, eles são menos precisos e limitam-se a utilidades menos minuciosas devido a alta velocidade de expansão quando o ar é descomprimido”.

Alguns componentes da máquina são obsoletos e não são mais comercializados. A empresa G. Meister e Cia Ltda não possui estes componentes no estoque. Uma falha destes componentes pode causar longas paradas na linha de produção com conseqüente perda financeira.

1.2 OBJETIVO GERAL

Fazer o retrofit da estampadeira de bolachas de mel para melhorar a flexibilidade, aumentar a capacidade de produção e reduzir risco de paradas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso de especialização os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Selecionar, programar e implementar um CLP (Controlador Lógico Programável);
- Selecionar, programar e implementar servomotores;
- Desenvolver o retrofit;
- Executar testes e apresentar os resultados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 6 (seis) seções. Nesta primeira seção foi introduzido o assunto tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Já na segunda seção: “Diagnóstico da máquina antes do retrofit”, será abordado de forma resumida o processo de fabricação da bolacha de mel bem como a situação da máquina antes do retrofit. O desempenho e problemas da máquina também serão explorados. Ou seja, nesta segunda seção definir-se-á os principais potenciais de melhoria.

A seguir na terceira seção: “Desenvolvimento do projeto do retrofit”, será abordado o projeto das alterações a serem feitas na máquina. Dimensionamentos do CLP e dos servomotores serão abordados nesta seção.

Na quarta seção: “Implementação”, serão relatados a estratégia da implementação, paradas, dificuldades e aprendizados.

Na quinta seção: “Resultados dos testes”, serão relatados os resultados práticos e comparados com os objetivos do projeto.

Por último na sexta seção: “Considerações finais”, serão retomados os objetivos do projeto e apontado como foram solucionados os problemas intrínsecos ao retrofit.

Além disso, serão sugeridos trabalhos futuros que poderiam ser realizados a partir do projeto realizado.

1.5 METODOLOGIA

O ponto de partida para a realização deste retrofit foi a avaliação de quais eram as limitações técnicas da máquina. Esta avaliação foi feita através de observação durante o funcionamento da máquina e entrevista com o usuário. A partir do entendimento dos problemas, definiram-se possíveis soluções técnicas e uma meta a ser alcançada para o aumento da capacidade produtiva da máquina e para o problema de qualidade no processo. Após a definição de que seriam utilizados servomotores e CLP (Controlador Lógico Programável), identificou-se a necessidade de um treinamento específico para capacitar o autor desta obra na seleção e programação destes equipamentos. Os treinamentos foram realizados no centro de treinamento da WEG. Na sequência, os equipamentos foram selecionados e dimensionados. A próxima etapa foi a definição da estratégia de implementação. Após a implementação, testes foram realizados para comparar com as metas estabelecidas.

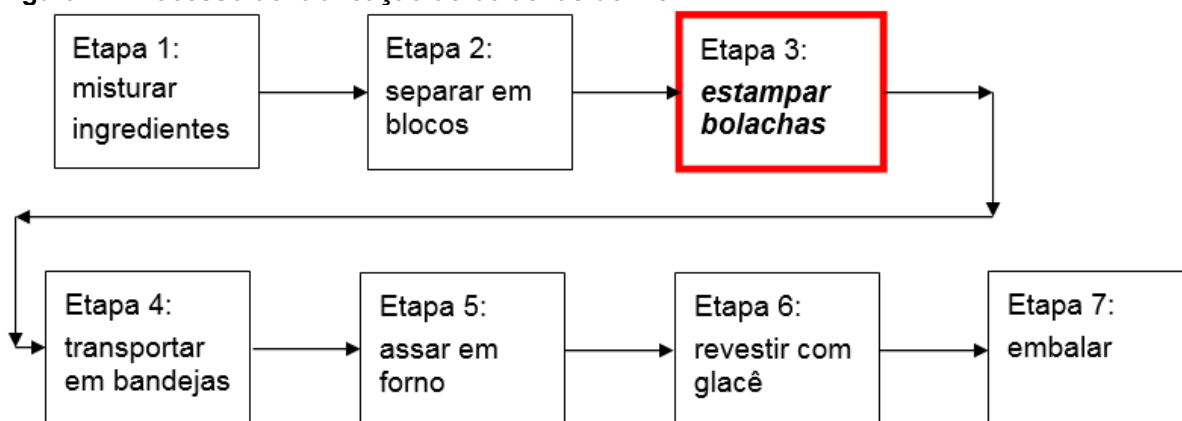
2 DIAGNÓSTICO DA MÁQUINA ANTES DO RETROFIT

2.1 VISÃO GERAL SOBRE A FABRICAÇÃO DA BOLACHA DE MEL

Para um entendimento mais amplo sobre este projeto, faz-se necessário o entendimento básico do fluxo do processo de fabricação das bolachas de mel.

O processo inicia-se com a mistura dos vários ingredientes na máquina misturadora. Após a mistura dos ingredientes, tem-se uma massa homogênea de consistência rígida e pastosa. A massa é separada manualmente em grandes blocos que são posicionados no funil de entrada da estampadeira. Na saída da estampadeira as bolachas já têm seu formato final. Logo em seguida, as bolachas são transportadas em bandejas até o forno onde passam pelo processo de assamento. Após o assamento, as bolachas são cobertas com uma camada branca de glacê de açúcar. A última etapa do processo consiste na embalagem. Na Figura 2 pode-se observar o fluxograma do processo.

Figura 2 - Processo de fabricação de bolachas de mel



Fonte: Autoria própria.

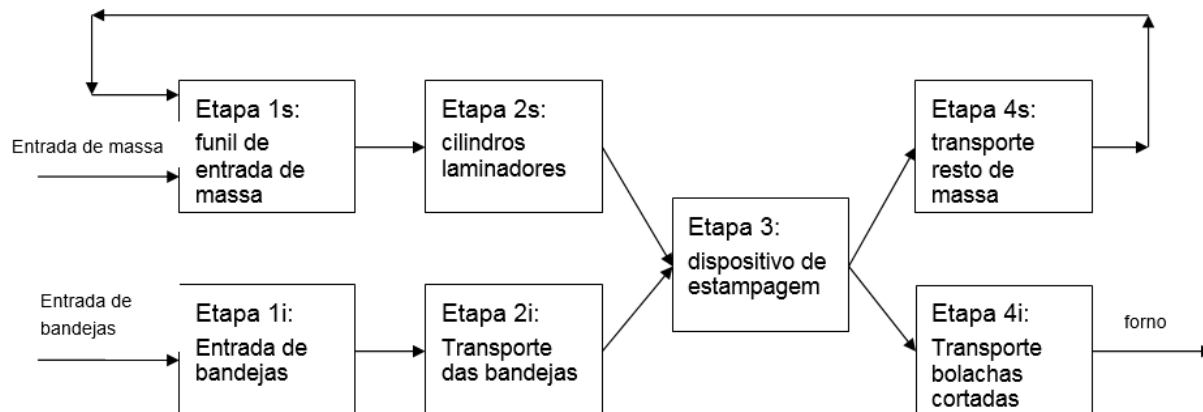
Ainda na Figura 2, destaca-se que o “retrofit”, que é objeto de estudo deste trabalho, é realizado na máquina da etapa 3.

2.2 FUNÇÃO E FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA

A máquina estampadeira de bolachas de mel (etapa 3 novamente na Figura 2) tem a função de transformar um bloco de massa em bolachas cortadas na

dimensão final e posicionadas sobre as bandejas. Um melhor entendimento do funcionamento da máquina pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do funcionamento da estampadeira



Fonte: Autoria própria.

2.3 COMPONENTES DA MÁQUINA

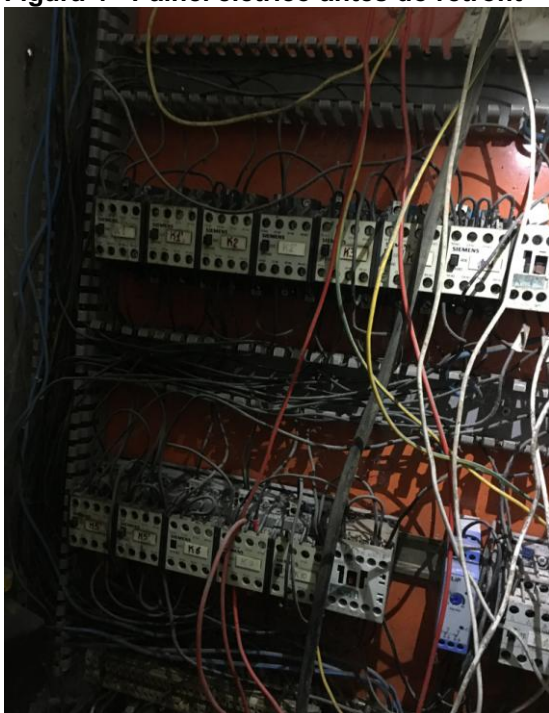
2.3.1 Parte Elétrica

Todo o comando da máquina era feito por lógica de relés. A tensão de alimentação de todos os componentes dentro e fora do painel elétrico era 220 V corrente alternada.

O problema era a falta de flexibilidade, pois os parâmetros e sequência não eram programáveis. Na implementação de um produto novo na mesma máquina, a dificuldade para adaptar os relés era muito alta e inviabilizava o aumento do portfólio de produtos.

O painel elétrico estava em condições precárias de conservação conforme pode-se observar na Figura 4.

Figura 4 - Painel elétrico antes do retrofit



Fonte: Autoria própria.

2.3.2 Parte Pneumática

Para o acionamento do transportador de bandejas e do transportador de massa eram utilizados atuadores pneumáticos da marca FESTO. A Figura 5 mostra os atuadores pneumáticos giratórios antes do retrofit.

Figura 5 - Atuadores pneumáticos giratórios antes do retrofit



Fonte: Autoria própria.

O problema é que esses atuadores já eram obsoletos e apresentavam vazamentos e não garantiam (mesmo quando eram novos) um movimento com rampa de aceleração controlada. A consequência era pequenos solavancos no transporte da bandeja o que ocasionava um problema de qualidade: escorregamento indesejado das bolachas sobre a bandeja. Em condições extremas algumas bolachas colidiam umas contra as outras ocasionando uma deformação durante o processo de assamento. A taxa de bolachas que visualmente se deslocava indevidamente era de 15%.

A capacidade produtiva da máquina (limitada pela parte pneumática) era de 4,5 bolachas por segundo. Não era possível aumentar a velocidade, pois quanto mais se abria a válvula reguladora de vazão, maior era o problema de solavancos e qualidade já mencionado anteriormente.

Ou seja, quanto maior a velocidade, tanto pior era a qualidade do posicionamento das bolachas nas bandejas. Os atuadores pneumáticos não permitiam um ajuste preciso de velocidade e aceleração.

O acionamento para o dispositivo de estampagem também é pneumático e não foi necessária sua substituição, pois funcionava perfeitamente.

2.3.3 Parte Mecânica

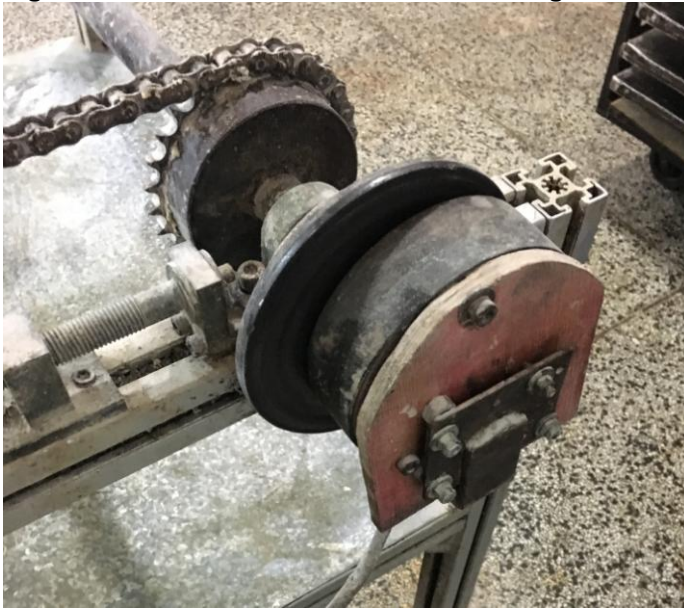
Componentes mecânicos que “não” foram substituídos no retrofit:

- Estrutura com perfis de alumínio da marca Bosch.
- Dispositivo de estampagem.
- Eixos, cilindros laminadores, mancais, esticadores, entre outros.

Componentes mecânicos que serão substituídos no retrofit:

- Freios eletromagnéticos, apresentados na Figura 6.
- Corrente com definição de passo do movimento.

Figura 6 - Freio com acionamento eletromagnético

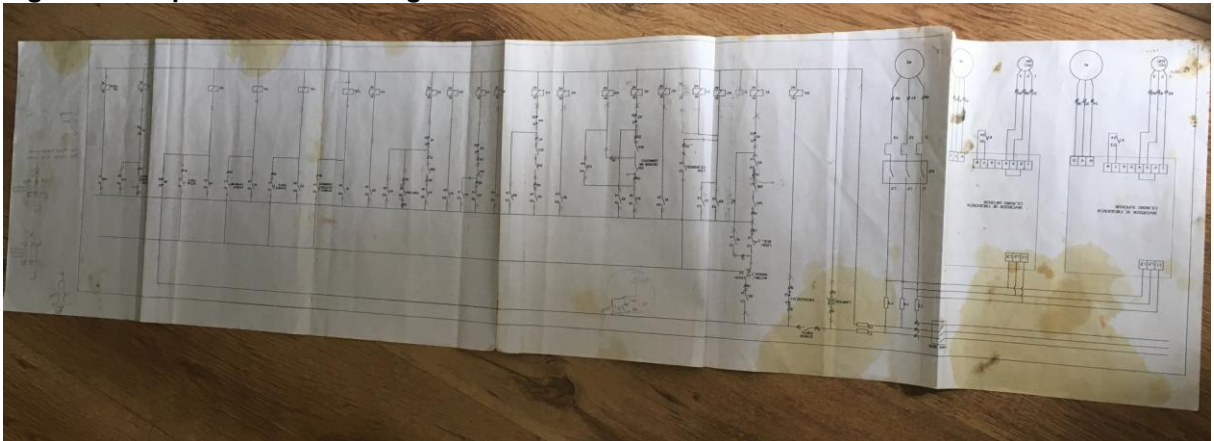


Fonte: Autoria própria.

2.3.4 Projeto Mecânico e Elétrico

Os projetos mecânico e elétrico foram feitos em AutoCAD e estavam salvos em disquetes muito antigos. Não foi possível recuperar os projetos em meio eletrônico. Apenas alguns documentos muito antigos e danificados foram encontrados, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Esquema elétrico antigo



Fonte: Autoria própria.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO RETROFIT

O projeto do retrofit foi realizado com o objetivo de sanar todos os problemas da máquina citados na seção 2.3: “Componentes da Máquina”.

3.1 PREMISSAS PARA O RETROFIT

Logo abaixo, estão relacionados os problemas com as respectivas soluções técnicas para a parte pneumática e elétrica escolhidas para o retrofit:

- Parte pneumática: para solucionar o problema da obsolescência e dos solavancos citados na seção 2.3.2: “Parte Pneumática”, decidiu-se pela substituição dos antigos atuadores pneumáticos giratórios por servomotores novos. Os servomotores podem ser programados para executar uma rampa de aceleração e também permitem ajustes precisos de velocidade e posicionamento. A premissa é que utilizando-se do recurso de aceleração na programação dos movimentos dos servomotores, espera-se mitigar ao máximo os solavancos que causam deslocamento indesejado das bolachas sobre as bandejas. A premissa é a redução do deslocamento indesejado das bolachas na bandeja de 15% para 0%. Com esta ação elimina-se integralmente o problema de qualidade de deformação das bolachas durante o assamento. Com a implementação dos servomotores a premissa é de aumentar a capacidade produtiva da máquina de 4,5 para 4,8 bolachas por segundo.
- Parte elétrica: decidiu-se pela substituição dos relés por um CLP. A premissa é a substituição de 15 relés por apenas 1 CLP. Com isto, soluciona-se o problema de inflexibilidade na programação e torna o projeto elétrico mais simples e com menos componentes. A utilização do CLP permite uma rápida reprogramação de seqüência, tempos e intertravamentos.

3.2 ESCOLHA DO CLP

De acordo com Lamb (2015, p. 71), “os controladores lógicos programáveis são, essencialmente, computadores digitais que servem para controlar processos

eletromecânicos. Ao contrário dos computadores para uso geral, os CLPs são desenvolvidos com várias entradas e saídas, faixas estendidas de temperatura, imunidade para ruídos elétricos e resistência a vibrações e impactos”.

Existe uma grande variedade de CLPs disponíveis no mercado. Para a sua escolha, utilizou-se os seguintes critérios:

- a. Fabricante: decidiu-se pela marca WEG por ser uma opção com bom preço e de boa tradição no mercado. Encontram-se facilmente peças de reposição e a assistência técnica é forte no Brasil. A WEG oferece curso de programação que facilitou a aquisição do *know-how* necessário para a implementação deste trabalho.
- b. Entradas analógicas: não necessário pois o ajuste da velocidade dos cilindros é feito através de potenciômetros que estão ligados diretamente nos inversores de frequência.
- c. Entradas digitais: conforme mapeamento realizado, verificou-se a necessidade de 19 entradas digitais.
- d. Saídas digitais: conforme mapeamento realizado, verificou-se a necessidade de 14 saídas digitais.
- e. Tipo de saída digital: a WEG oferece CLPs com saídas a relé ou a transistor. Decidiu-se utilizar saídas a transistor devido às seguintes afirmações feitas em Freitas (2014):
 - Saídas a relé, por serem elementos eletromecânicos, estão sujeitos a limitações como desgaste dos contatos e velocidade de comutação.
 - Saídas a transistor por serem elementos estáticos possuem maior vida útil que os relés.
- f. Saídas Rápidas: 2 saídas rápidas foram previstas no projeto para o comando dos 2 servomotores.

Levando em consideração os critérios definidos, o modelo de CLP escolhido foi o “WEG TPW04-340BT-A”, apresentado na Figura 8. As principais características do modelo escolhido são:

- Tensão de alimentação: 200-240 VCA;
- Entradas digitais: 24;
- Saídas digitais: 16;
- Tipo de saída: transistor;

- Velocidade de processamento: 0,18 micro-segundos/passo;
- Memória de programa até 24K passos.

Figura 8 - Modelo CLP WEG TPW04-340BT-A



Fonte: Autoria própria.

3.3 ESCOLHA DOS SERVO ACIONAMENTOS

Para o dimensionamento dos servomotores utilizou-se as fórmulas indicadas no manual do fabricante WEG (WEG, 2019).

1) Momento de Inércia do Sistema – $J(\text{kg.m}^2)$:

$$J_{\text{total}} = J_{\text{servomotor}} + J_{\text{reductor}} + \frac{J_{\text{carga}}}{i^2} \quad (1)$$

$J_{\text{servomotor}}$: definido pelo fabricante

J_{reductor} : definido pelo fabricante

J_{carga} : calculado

J_{total} : momento de inércia do sistema, calculado (N.m)

i = relação de redução do sistema

2) Regra para garantir estabilidade do sistema:

$$J_{\text{reductor}} + \frac{J_{\text{carga}}}{i^2} \leq 10 \cdot J_{\text{motor}} \quad (2)$$

3) Torque Dinâmico – T(N.m):

$$T_{dinâmico} = \frac{n_{m\acute{a}x} \cdot J_{total}}{9,55 \cdot t_{acelera\c{c}ao}} \quad (3)$$

$$T_{servomotor} = \frac{T_{dinamico} + T_{estatico}}{rendimento} \quad (4)$$

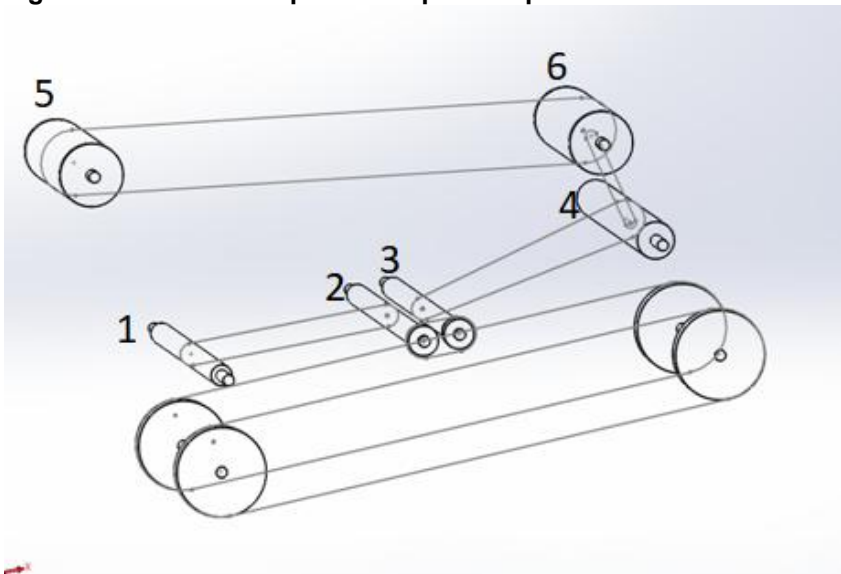
$n_{m\acute{a}x}$: velocidade maxima que o servomotor ira operar(rpm)

$t_{acelera\c{c}ao}$: tempo que o servomotor passa de repouso para velocidade maxima(s)

3.3.1 Dimensionamento Servomotor (Parte Superior)

Para o dimensionamento do servomotor da parte superior da máquina, fez-se um desenho esquemático no solidworks com o principal objetivo de ter o momento de inércia dos componentes giratórios calculado pelo software. O eixo motriz é o eixo número 4 da Figura 9.

Figura 9 - Desenho esquemático parte superior



Fonte: Autoria própria.

Cálculos do momento de inércia:

- a. Jcarga: momento de inércia da carga calculado conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Momentos de inércia da parte mecânica superior

	d(mm)	massa(g)	inércia (g.mm2)	inércia(Kg.m2)	i(relação)	inércia/i2(Kg.m2)
cilindro 1	42	9.778	2.061.275	0,00206127500000	5,6	6,57294E-05
cilindro 2	42	10.351	2.353.623	0,00235362300000	5,6	7,50518E-05
cilindro 3	42	10.351	2.353.623	0,00235362300000	5,6	7,50518E-05
cilindro 4	75	29.883	20.630.719	0,02063071900000	10	0,000206307
cilindro 5	127	13.389	40.274.641	0,04027464100000	16,9	0,000140458
cilindro 6	127	13.389	40.274.641	0,04027464100000	16,9	0,000140458
	peso (Kg)			inércia(Kg.m2)		inércia/i2(Kg.m2)
esteira 1_2	8			0,003528	5,6	0,0001125
esteira 3_4	8			0,01125	10	0,0001125
esteira 5_6	8			0,032258	16,9	0,0001125
Jcarga						0,001040556

Fonte: Autoria própria.

- b. Jredutor: momento de inércia do redutor = 0,002 Kg.m² conforme catálogo do fabricante.
- c. Jmotor: 0,00119 Kg.m² (considerando um motor Delta de 1,5 KW)

Verificação da regra $J_{redutor} + \frac{J_{carga}}{i^2} \leq 10 \cdot J_{motor}$

$$0,002 + 0,001 \leq 10 \times 0,00119$$

$$0,003 \leq 0,012$$

$$J_{total} = 0,004 \text{ Kg.m}^2$$

- d. Cálculo do torque

$$T_{servomotor} = \frac{T_{dinamico} + T_{estatico}}{\text{rendimento}} \quad (5)$$

$$T_{dinamico} = \frac{n_{m\acute{a}x} \cdot J_{total}}{9,55 \cdot t_{acelera\c{c}ao}} \quad (6)$$

$$n_{m\acute{a}x} = 506 \text{ rpm (exig\ancia do retrofit)}$$

$$t_{acelera\c{c}ao} = 0,3 \text{ s (exig\ancia do retrofit)}$$

$$T_{dinamico} = 0,73 \text{ N.m}$$

O torque estático foi medido na ponta do eixo motriz da máquina manualmente utilizando um torquímetro = 17 N.m. Como o redutor tem uma relação de 1:10, considera-se no cálculo:

$$\text{Torque estático} = 1,7 \text{ N.m}$$

$$\text{Rendimento considerado} = 82 \%$$

$$T_{servo} = 3 \text{ Nm}$$

e. Escolha do servomotor

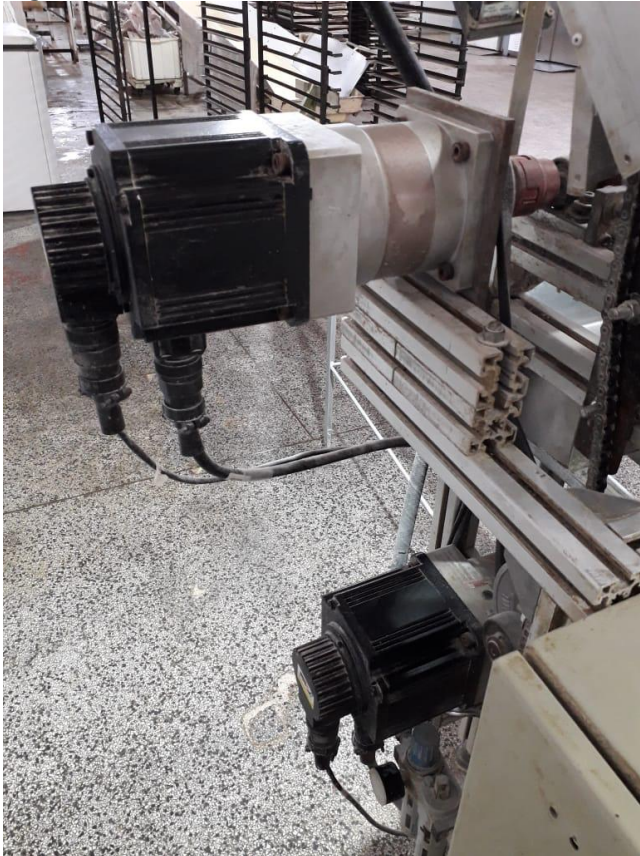
Devido as vantagens de preço e assistência técnica, optou-se por escolher um servomotor da marca Delta.

Conforme Anexo A, o modelo 10 (com torque de 4,77 Nm) já atenderia a esta aplicação, porém decidiu-se por utilizar-se o modelo 15 (com torque de 7,16 Nm) para obter a máxima performance do motor. “Idealmente o momento de inércia do motor deve ser igual o momento de inércia da carga” (WEG, 2019).

$$J_{\text{carga}} = 0,001 \text{ Kgm}^2 ; J_{\text{motor}} = 0,001 \text{ Kgm}^2.$$

Especificação completa do servomotor escolhido é “Delta ECMA-E21315ES” e o mesmo pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Servomotor Delta ECMA-E21315ES



Fonte: Autoria própria.

f. Escolha do servodrives

Para se escolher o servo drive deve-se verificar no catálogo (Anexo B) o equivalente ao motor escolhido que é da série 15(1,5 KW). A especificação completa do servodrives é “Delta ASD-A2-1521” e o mesmo pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Servodrive Delta ASD-A2-1521

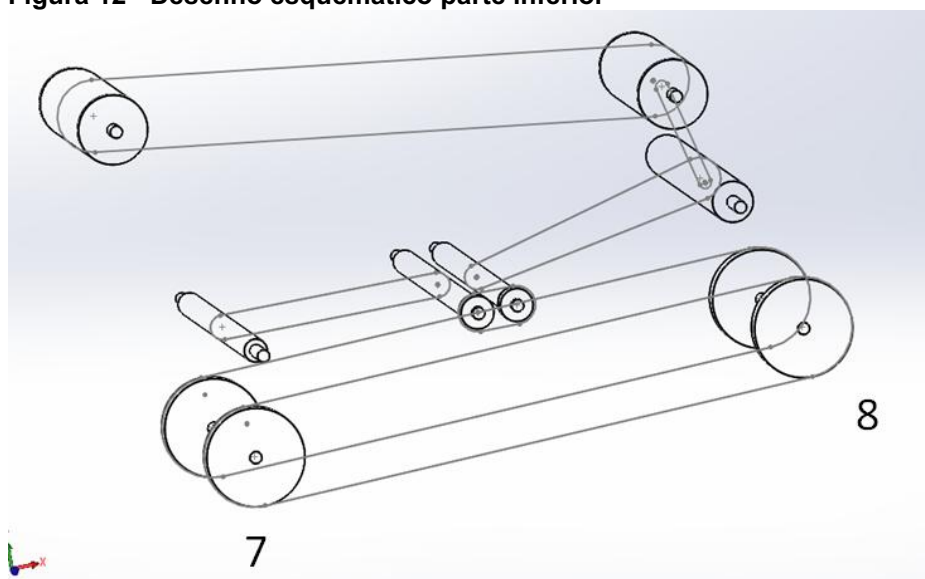


Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Dimensionamento Servomotor (Parte Inferior)

O conjunto indicado com os números 7 e 8 na Figura 12 é responsável pelo transporte das bandejas.

Figura 12 - Desenho esquemático parte inferior



Fonte: Autoria própria.

Cálculos do momento de inércia:

- a. J_{carga}: momento de inércia da carga calculado conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Momentos de inércia parte mecânica inferior

	d(mm)	massa(g)	inércia (g.mm ²)	inércia(Kg.m ²)	i(relação)	inércia/i ² (Kg.m ²)
cilindro 8	120	8.060	9.748.671	0,00974867100000	10	9,74867E-05
cilindro 7	120	8.060	9.748.671	0,00974867100000	10	9,74867E-05
	peso (Kg)			inércia(Kg.m ²)		inércia/i ² (Kg.m ²)
corrente	9,6			0,03456	10	0,0003456
carga	22			0,0792	10	0,000792
J_{carga}						0,001332573

Fonte: Autoria própria.

- b. J_{reductor}: momento de inércia do reductor = 0,002 Kg.m² conforme catálogo do fabricante.
- c. J_{motor}: 0,00119 Kg.m² (considerando um motor Delta de 1,5 KW)

$$\text{Verificação da regra } J_{\text{reductor}} + \frac{J_{\text{carga}}}{i^2} \leq 10 \cdot J_{\text{motor}} \quad (7)$$

$$0,002 + 0,001 \leq 10 \times 0,00119$$

$$0,003 \leq 0,012$$

$$J_{\text{total}} = 0,004 \text{ Kg.m}^2$$

- d. Cálculo do torque

$$T_{\text{servomotor}} = \frac{T_{\text{dinamico}} + T_{\text{estatico}}}{\text{rendimento}} \quad (8)$$

$$T_{\text{dinâmico}} = \frac{n_{\text{máx}} \cdot J_{\text{total}}}{9,55 \cdot t_{\text{aceleração}}} \quad (9)$$

$$n_{\text{máx}} = 448 \text{ rpm (dado construtivo da máquina)}$$

$$t_{\text{aceleração}} = 0,3 \text{ s (dado construtivo da máquina)}$$

$$T_{\text{dinâmico}} = 0,69 \text{ N.m}$$

Torque estático foi medido na ponta do eixo motriz da máquina manualmente utilizando um torquímetro = 5 N.m. Como o redutor tem uma relação de 1:10, considera-se no cálculo:

Torque estático = 0,5 N.m
Rendimento considerado = 86 %
 $T_{\text{servo}} = 1,4 \text{ N.m}$

e. Escolha do servomotor e servodrive

Decidiu-se utilizar na parte inferior o mesmo motor e drive da parte superior, apesar de tecnicamente ser possível utilizar um motor menor. O motivo desta decisão está relacionada à possibilidade de ter-se apenas um motor de reposição no estoque da empresa.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Por se tratar do retrofit de uma máquina que estava em pleno funcionamento na empresa G. Meister & Cia Ltda, foi necessário uma estratégia que minimizava os riscos e o tempo de parada da máquina. Decidiu-se pela implementação em 3 fases. Cada fase foi realizada em um final de semana evitando assim que a máquina parasse de produzir no horário de trabalho da fábrica.

Na primeira fase foi realizada a substituição dos relés pelo CLP. Nesta fase não foi feita nenhuma alteração na lógica da máquina minimizando os riscos de falha. Antes de seguir para a segunda fase, trabalhou-se com a máquina durante toda a semana e certificou-se de que tudo estava funcionando conforme o planejado.

Já na segunda fase foi realizada a substituição do atuador pneumático giratório da parte superior da máquina pelo primeiro servomotor. Foi necessário alterações no programa do CLP para comandar o servomotor.

Por último, na terceira fase foi realizada a substituição do atuador pneumático giratório da parte inferior da máquina pelo segundo servomotor. Um último pacote de alterações no programa CLP foi necessária.

4.1 PROGRAMAÇÃO DO CLP

O programa do CLP foi feito em linguagem ladder utilizando-se o software da WEG (TPW-PC LINK). Definiu-se o programa através da sequencia de movimentos da máquina. O início do movimento dá-se através do botão de partida e após cada etapa concluída um sensor envia o sinal para uma das entradas digitais apresentadas na Tabela 3, que habilita que o próximo movimento possa ser executado.

A máquina tem um botão seletor no qual pode-se escolher o modo automático ou manual. No modo automático a máquina repete os movimentos na sequência pré-definida de forma cíclica até que o botão de desliga seja acionado. No modo manual pode-se acionar cada atuador ou motor de forma independente com o objetivo de facilitar a manutenção e ajuste dos movimentos.

O programa do CLP está disponível nos Apêndices A, B, C, D e E.

Para acionar os servomotores, saídas digitais do CLP indicadas na Tabela 4, acionam entradas digitais do servodrive. Diferentes combinações binárias das entradas digitais do servodrive implicam na execução de diferentes programas do servomotor. Os parâmetros de velocidade e aceleração dos servomotores foram parametrizados no servodrive.

Tabela 3 - Entradas digitais do CLP

entradas digitais	descrição
X001	botão de partida
X002	botão de desliga
X003	sinal posição da esteira avançada
X004	sinal da posição da corrente avançada
X005	sinal seleção bolacha grande acionado
X006	sensor do atuador do corte recuado
X007	sensor do atuador do extrator recuado
X011	sensor posição corte avançado
X012	sensor posição do extrator avançado
X013	chave seletora máquina em manual
X014	botão avança corte
X015	botão avança corrente
X016	botão avança extrator
X017	botão avança esteira
X022	botão liga motor do cilindro principal
X023	botão liga motor dos cilindros secundários
X024	entrada do sinal do temporizador
X025	botão zera contatores
X026	botão liga motor do espanador

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Saídas digitais do CLP

saídas digitais	descrição
Y000	sinal para servo inferior
Y001	sinal para servo superior
Y002	motor do espanador
Y003	motor do cilindro principal
Y004	sinal para entrada digital DI4 do servo inferior
Y005	motores dos cilindros secundários
Y007	sinal para válvula pneumática avançar corte
Y010	servo on
Y011	sinal para válvula pneumática avançar extrator
Y013	temporizador
Y014	bit 0 servo superior
Y015	bit 1 servo superior
Y016	bit 1 servo inferior
Y017	bit 0 servo inferior

Fonte: Autoria própria.

4.2 PROGRAMAÇÃO DOS SERVOMOTORES

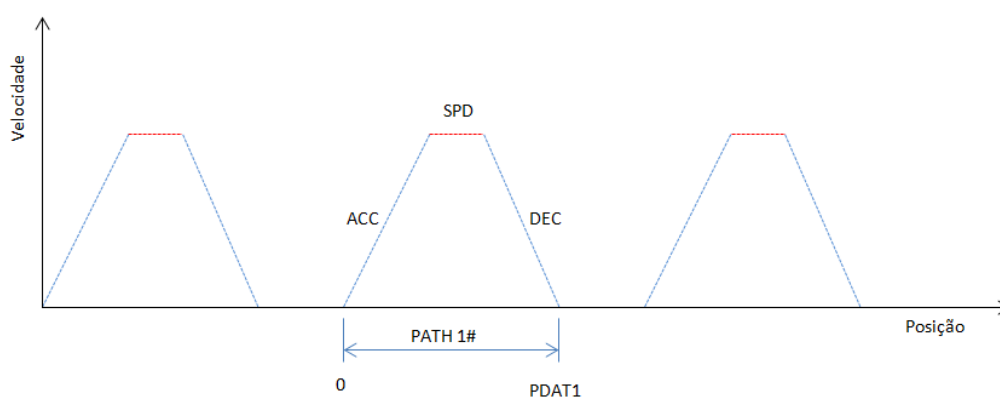
O programa dos servomotores foi desenvolvido no software do fabricante: ASDA-Soft. O programa é salvo localmente no servodrive. Diversos parâmetros são programáveis e o trigger para os movimentos é realizado via entradas digitais existentes no servo drive. Utilizou-se o CLP para sincronizar os movimentos da máquina com os movimentos dos servomotores. Saídas digitais do CLP são utilizadas como sinais de entradas digitais para o servodrive.

Existem 3 modos de programação para os servomotores ASD-A2 da Delta: 1) *Position mode*, 2) *Speed mode*, e 3) *Torque mode*.

Para a máquina em questão, o modo *position mode* é o mais adequado. Neste modo de programação, define-se uma sequência de posições pré-determinadas que o motor deve alcançar quando ativado o *trigger*. Vários parâmetros são ajustáveis conforme será explicado a seguir.

Na Figura 13 é possível descrever os principais parâmetros dos movimentos cíclicos executados pelo servomotor inferior. O servomotor inferior é utilizado para movimentar a corrente que transporta as bandejas sobre as quais são depositadas as bolachas após o processo de estampagem. A corrente só deve iniciar seu movimento quando a etapa anterior do processo estiver finalizada, ou seja, estampagem concluída, que pode ser observada novamente na etapa 3 da Figura 3. O sinal para o início do movimento é dado via CLP e os movimentos indicados na Figura 13 como PATH 1# são programado no servodrive via software ASDA_SOFT.

Figura 13 - Esquema do movimento do servo motor inferior

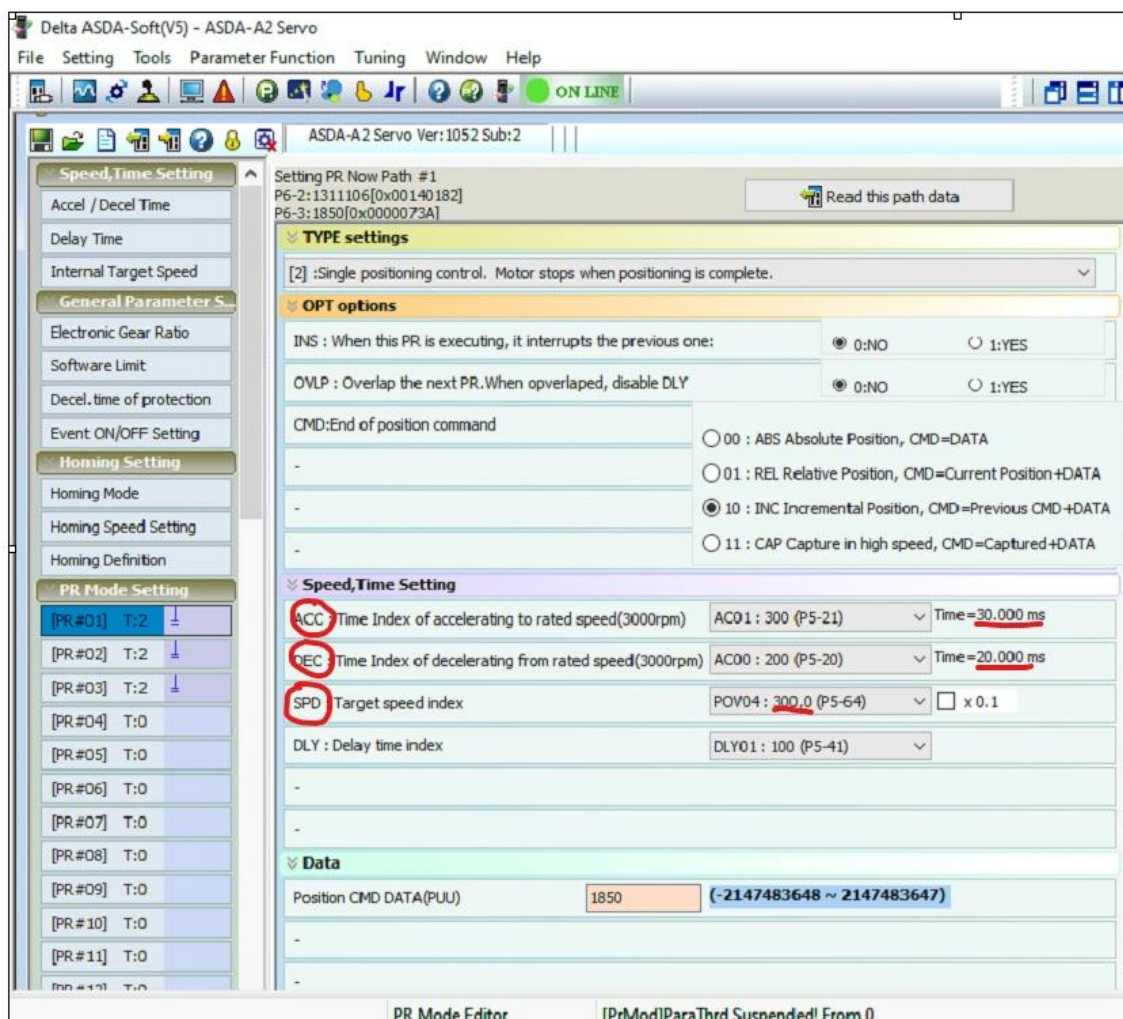


Fonte: Autoria própria.

Ainda na Figura 13, tem-se que:

- ACC: tempo de aceleração(ms). É o tempo necessário para se atingir a rotação de 3000 rpm;
- SPD: rotação em RPM;
- DEC: tempo de desaceleração(ms). É o tempo necessário para desacelerar de 3000 rpm para zero;
- PATH 1#: percurso 1. É o trecho que vai da origem(zero) até o valor da posição programada (PDAT1). O valor de PDAT1 é a quantidade de pulsos até a qual o servomotor deverá girar. Através da relação de transmissão mecânica e das características dos dentes da engrenagem que move a corrente, foi possível definir uma relação entre pulsos do servo motor e distância percorrida pela bandeja. Na Figura 14 pode observar-se a plataforma de programação do servomotor.

Figura 14 - Parâmetros do servomotor da parte inferior



Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADO DOS TESTES

Neste capítulo será abordado o resultado dos testes após o retrofit e verificar a eficácia das ações implementadas para solucionar os problemas descritos no subseção 3.1: “Premissas para o retrofit”, substituição da lógica de relés pelo CLP e substituição dos atuadores pneumáticos giratórios pelos servo motores.

5.1 TESTE DO CLP

Após carregar o programa CLP na máquina, foram testadas várias situações simulando as condições reais de produção:

- Funcionamento em automático: durante os testes, deixou-se a máquina funcionando no ciclo automático em produção normal durante 4 horas ininterruptas. Não foi constatado nenhum distúrbio.
- Funcionamento em manual: com o botão seletor no modo manual, foram testados todos os movimentos em manual: movimento da esteira, movimento da corrente, movimento do atuador pneumático do dispositivo de corte, movimento dos motores dos cilindros e movimento de avanço e recuo dos atuadores pneumáticos dos extratores. Todos os movimentos manuais funcionaram conforme projeto.
- Funcionamento do botão desliga: durante o teste acionou-se o botão desliga em todas as diferentes fases do ciclo de funcionamento da máquina. Após o botão desliga acionado, acionou-se o botão liga em automático. Não observou-se nenhum distúrbio. Sempre ao desligar e religar a máquina, o sincronismo e intertravamento entre os movimentos manteve-se conforme projeto.

5.2 TESTE DOS SERVOMOTORES

Após programação dos servomotores, foi testado a sua função.

- Repetição na distância percorrida entre cada movimento: trabalhando durante 4 horas com a máquina, observou-se a repetibilidade da distância percorrida pela corrente acionada pelo servomotor. Para cada ciclo a distância

percorrida permaneceu muito constante com uma variação máxima de 0,5 mm que é totalmente absorvida sem nenhum distúrbio pelo processo.

- Verificação de alarmes: durante as 4 horas de testes nenhum alarme proveniente do servomotor foi identificado.
- Velocidade do servo motor: o tempo para cada ciclo, diferentemente da situação da máquina antes do retrofit, ficou muito constante. O movimento da corrente deixou de ser a restrição para a redução de ciclo da máquina.

5.3 TESTE DO FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA

Após o teste individual de cada conjunto, executou-se o teste da máquina completa em um período de 4 horas observando os seguintes aspectos.

Capacidade produtiva da máquina neste período foi de 5,2 bolachas por segundo. Do ponto de vista da qualidade, observou-se que os solavancos e o deslocamento indesejado das bolachas nas bandejas foram totalmente eliminados. A taxa de bolachas que visualmente se desloca indevidamente após o retrofit é de 0%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi fazer o retrofit de uma máquina antiga com o objetivo de resolver alguns problemas técnicos, torná-la mais rápida e escapar do problema da obsolescência de alguns componentes. Considerando os resultados dos testes, a máquina aumentou sua capacidade produtiva em 15% (de 4,5 para 5,2 bolachas por segundo).

O problema de qualidade foi totalmente eliminado pois o deslocamento indesejado das bolachas na bandeja passou de 15% para 0% conforme comprovado nos testes.

Com a implementação do CLP obteve-se um grande avanço na facilidade de ajustes dos parâmetros do processo.

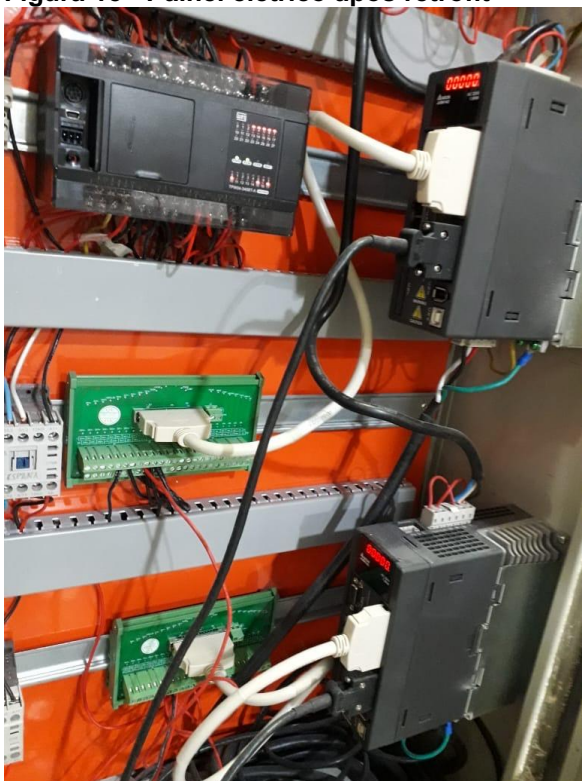
Durante a implementação do projeto observou-se alguns efeitos colaterais positivos que inicialmente não eram o objetivo do projeto:

- Menor nível de ruído. Os servomotores tem níveis de ruído menor do que os atuadores e válvulas pneumáticas;
- Maior segurança. Antes do retrofit, os botões e sensores trabalhavam com 220V CA; após o retrofit com 24V CC.,
- Melhor eficiência energética com a substituição dos sistemas pneumáticos por elétrico.

O maior desafio deste projeto foi fazer todas estas mudanças sem interferir no dia a dia da empresa, pois a máquina não podia parar durante o horário comercial. A estratégia de separar em fases pequenas e realizar nos finais de semana foi bem acertada. Outro desafio foi o conhecimento específico na programação do CLP da WEG e dos servomotores da Delta. Foi necessário fazer cursos presenciais e a distância para adquirir o *know-how* necessário. Na Figura 15 pode observar-se o CLP e os servodrivives já instalados no painel elétrico após o retrofit concluído.

Como sugestão para futuras melhorias, seria possível a instalação de uma IHM. Com a IHM os ajustes de processos poderão ser feitos pelo operador sem a necessidade de modificar o programa CLP. A IHM já foi adquirida e será implementada.

Figura 15 - Painel elétrico após retrofit



Fonte: Autoria própria.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Julio Sergio Gomes de; CAGNIN, Rafael Fagundes. **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI). Publicado em: mar. 2019. Disponível em: <https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FREITAS, Carlos Márcio. **CLP - Controlador Lógico Programável - Parte 2**. Copyright© Embarcados. Publicado em: 03 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/controlador-logico-programavel-clp-parte-2/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Tradução: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2015.

O GLOBO. **Máquinas industriais no Brasil são até 3 vezes mais antigas que em países ricos**. Copyright© 1996-2019 Editora Globo S/A. Publicado em: 24 set. 2013. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/maquinas-industriais-no-brasil-sao-ate-3-vezes-mais-antigas-que-em-paises-ricos-10107142>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

TECNICON. **Retrofit Industrial para modernizar a fábrica de forma econômica**. TECNICON Sistemas Gerenciais, publicado em: 08 jun. 2018. Disponível em: <https://www.tecnicon.com.br/blog/312-Retrofit_Industrial_para_modernizar_a_fabrica_de_forma_economica>. Acesso em: 30 mai. 2019.

WEG. **Manual de aplicação de servoacionamentos**. Guia de Servoacionamentos foi escrito pelos Dr. Richard M. Stephan (coordenação do trabalho e criação dos capítulos 1, 2, 3, 4 e parte do 5), Dr. Vitor F. Romano (capítulo 5 e parte do capítulo 6) e Dr. Luís Guilherme B. Rolim (capítulo 3.1), todos professores da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Coube à WEG a criação dos capítulos 7, 8, 9, 10 e anexos I e II como também a revisão técnica do todo o trabalho. Data da publicação: mar. 2019.

ANEXO A: CATÁLOGO SERVOMOTOR DELTA

Medium Series- 220V Series

ECMA Series	E Δ 13				E Δ 18		
	05	10	15	20	20	30	35
Rated output power (kW)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	3.0	3.5
Rated torque (N-m) ¹	2.39	4.77	7.16	9.55	9.55	14.32	16.71
Maximum torque (N-m)	7.16	14.3	21.48	28.65	28.65	42.97	50.13
Rated speed (r/min)	2000						
Maximum speed (r/min)	3000						
Rated current (A)	2.9	5.6	8.3	11.01	11.22	16.1	19.2
Maximum current (A)	8.7	16.8	24.9	33.03	33.66	48.3	57.6
Power rating (kW/s)	7.0	27.1	45.9	62.5	26.3	37.3	50.8
Rotor moment of inertia (x10 ⁻⁴ kg-m ²)(without brake)	8.17	8.41	11.18	14.59	34.68	54.95	54.95
Mechanical time constant (ms)	1.91	1.51	1.10	0.96	1.62	1.06	1.08
Torque constant-KT (N-m/A)	0.83	0.85	0.87	0.87	0.85	0.89	0.87
Voltage constant-KE (mV/(r/min))	30.9	31.9	31.8	31.8	31.4	32.0	32
Armature resistance (Ohm)	0.57	0.47	0.26	0.174	0.119	0.052	0.052
Armature inductance (mH)	7.39	5.99	4.01	2.76	2.84	1.38	1.38
Electrical time constant (ms)	12.96	12.88	15.31	15.86	23.87	26.39	26.39
Insulation class	Class A (UL), Class B (CE)						
Insulation resistance	100MΩ , DC 500V above						
Insulation strength	1.8k Vac, 1 sec						
Weight (kg)(without brake)	6.8	7.0	7.5	7.8	13.5	18.5	18.5
Weight (kg)(with brake)	8.2	8.4	8.9	9.2	17.5	22.5	22.5
Max. radial shaft load (N)	490	490	490	490	1176	1470	1470
Max. thrust shaft load (N)	98	98	98	98	490	490	490
Power rating (kW/s)(with brake)	6.4	24.9	43.1	57.4	24.1	35.9	48.9
Rotor moment of inertia (x10 ⁻⁴ kg-m ²)(with brake)	8.94	9.14	11.90	15.88	37.86	57.06	57.06
Mechanical time constant (ms)(with brake)	2.07	1.64	1.19	1.05	1.77	1.10	1.12
Brake holding torque [Nt-m (min)] ²	10.0	10.0	10.0	10.0	25.0	25.0	25.0
Brake power consumption (at 20°C)[W]	19.0	19.0	19.0	19.0	20.4	20.4	20.4
Brake release time [ms (Max)]	10	10	10	10	10	10	10

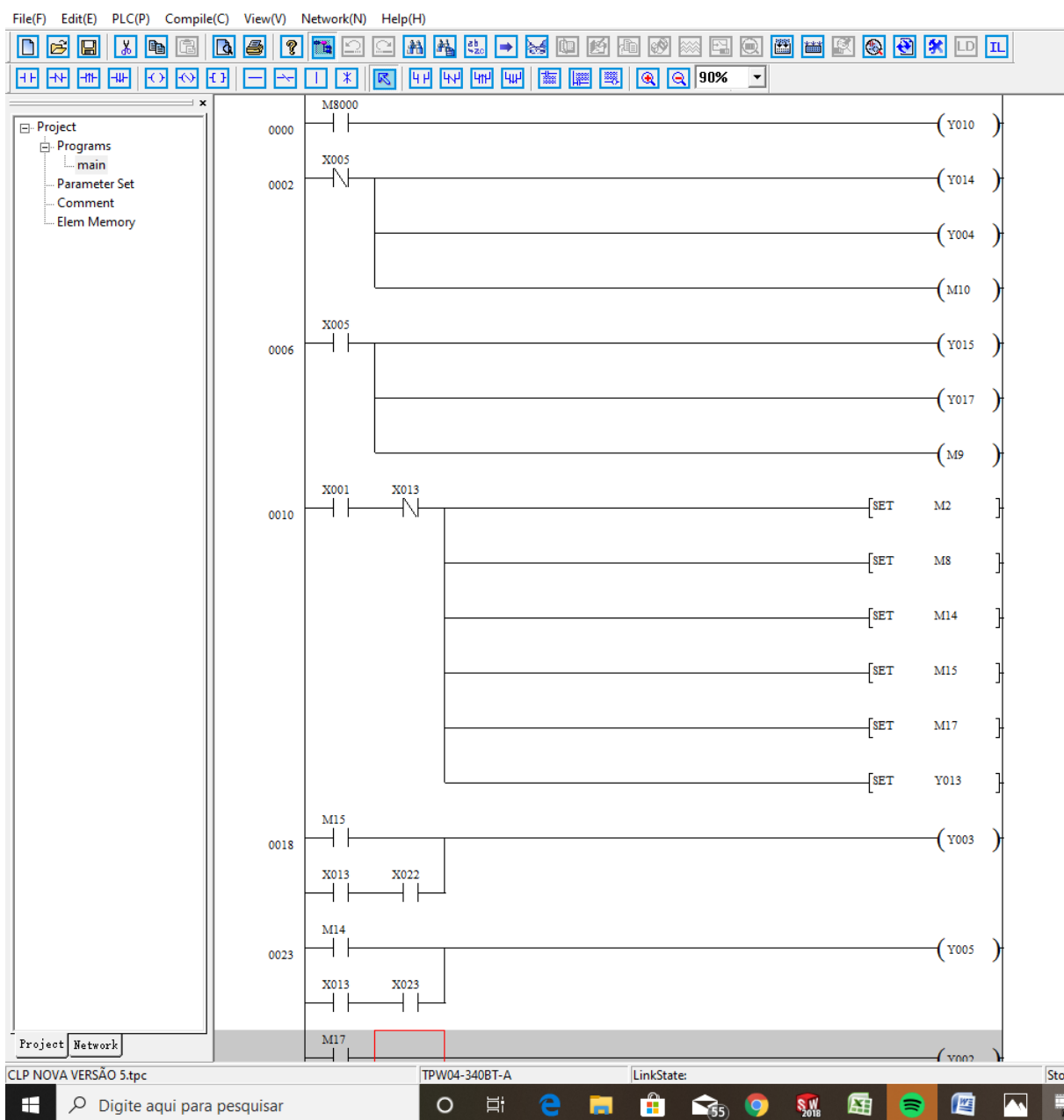
ANEXO B: CATÁLOGO SERVODRIVE DELTA

Servo Drive Specifications

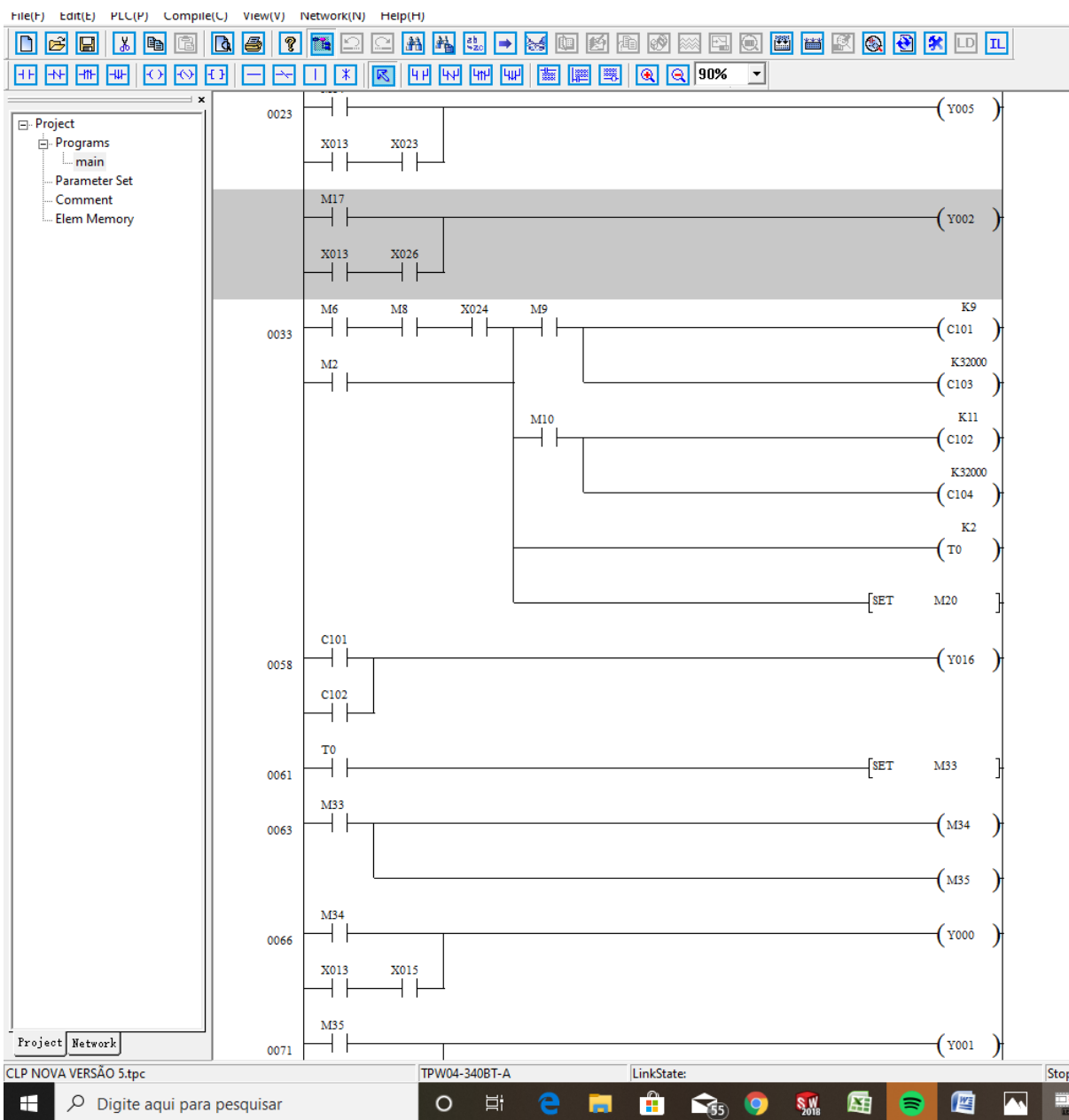
220V Series

ASDA-A2 Series		100 W	200 W	400 W	750 W	1 kW	1.5 kW	2 kW	3 kW	4.5 kW	5.5 kW	7.5 kW	11 kW	15 kW	
		01	02	04	07	10	15	20	30	45	55	75	1B	1F	
Power supply	Phase / Voltage	Three-phase / Single-phase 220V _{AC}						3-phase 220V _{AC}							
	Permissible Voltage Range	1-phase / 3-phase 200 ~ 230V _{AC} , -15% ~ 10%						3-phase 200 ~ 230V _{AC} , -15% ~ 10%							
	Input Current(3PH) (Units: Arms)	0.39	1.11	1.80	3.66	4.88	5.9	8.78	9.83	17.5	19.4	26.3	48	63	
	Input Current(1PH) (Units: Arms)	0.69	1.92	3.22	6.78	8.88	10.3	-	-	-	-	-	-	-	
	Continuous Output Current (Units: Arms)	0.9	1.55	2.6	5.1	7.3	8.3	13.4	19.4	32.5	40	47.5	54.4	70	
Cooling System		Natural Air Circulation						Fan Cooling							
Encoder Resolution / Feedback Resolution		Incremental encoder: 20-bit ; Absolute encoder: 17-bit													
Control of Main Circuit		SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) Control													
Tuning Modes		Auto / Manual													
Regenerative Resistor		None						Built-in			External				
Position Control Mode	Max. Input Pulse Frequency <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>	Max. 500Kpps / 4Mpps (Line driver), Max. 200Kpps (Open collector)													
	Pulse Type <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>	Pulse + Direction, A phase + B phase, CCW pulse + CW pulse													
	Command Source	External pulse train (PT mode) <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small> / Internal parameters (PR mode)													
	Smoothing Strategy	Low-pass and P-curve filter													
	Electronic Gear	Electronic gear N/M multiple N: 1~32767, M: 1:32767 (1/50<N/M<25000)													
Torque Limit Operation		Set by parameters													
Feed Forward Compensation		Set by parameters													
Speed Control Mode	Analog Input Voltage Range <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>	0 ~ ±10 V _{DC}													
	Command Input Resistance	10KΩ													
	Time Constant							2.2 μs							
	Speed Control Range ¹⁾	1: 5000									1: 3000		1: 2000		
	Command Source	External analog signal <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small> / Internal parameters													
Smoothing Strategy		Low-pass and S-curve filter													
Torque Limit Operation		Set by parameter or via analog input <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>													
Frequency Response Characteristic		Maximum 1kHz													
Speed Accuracy ²⁾ <small>(At rated rotation speed)</small>		0.01% or less at 0 to 100% load fluctuation 0.01% or less at ±10% power fluctuation 0.01% or less at 0°C to 50°C ambient temperature fluctuation													
Torque Control Mode	Analog Input Voltage Range <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>	0 ~ ±10 V _{DC}													
	Command Input Resistance	10KΩ													
	Time Constant							2.2 μs							
	Command Source	External analog signal <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small> / Internal parameters													
	Smoothing Strategy		Low-pass filter												
Speed Limit Operation		Set by parameter or via analog input <small>(Only for Non-DMCNET mode)</small>													
Analog Monitor Output		Monitor signal can set by parameters (Output voltage range: ±8V)													
Outputs	Inputs	Servo on, Reset, Gain switching, Pulse clear, Zero speed CLAMP, Command input reverse control, Command triggered, Speed Torque limit enabled, Position command selection, Motor stop, Speed position selection, Position / Speed mode switching, Speed Torque mode switching, Torque / Position mode switching, PT / PR command switching, Emergency stop, Forward / Reverse inhibit, Reference "Home" sensor, Forward / Reverse operation torque limit, Move to "Home", Electronic Cam (E-CAM), Forward, Reverse JOG input, Event trigger PR command, Electronic gear ratio (Numerator) selection and Pulse inhibit input													

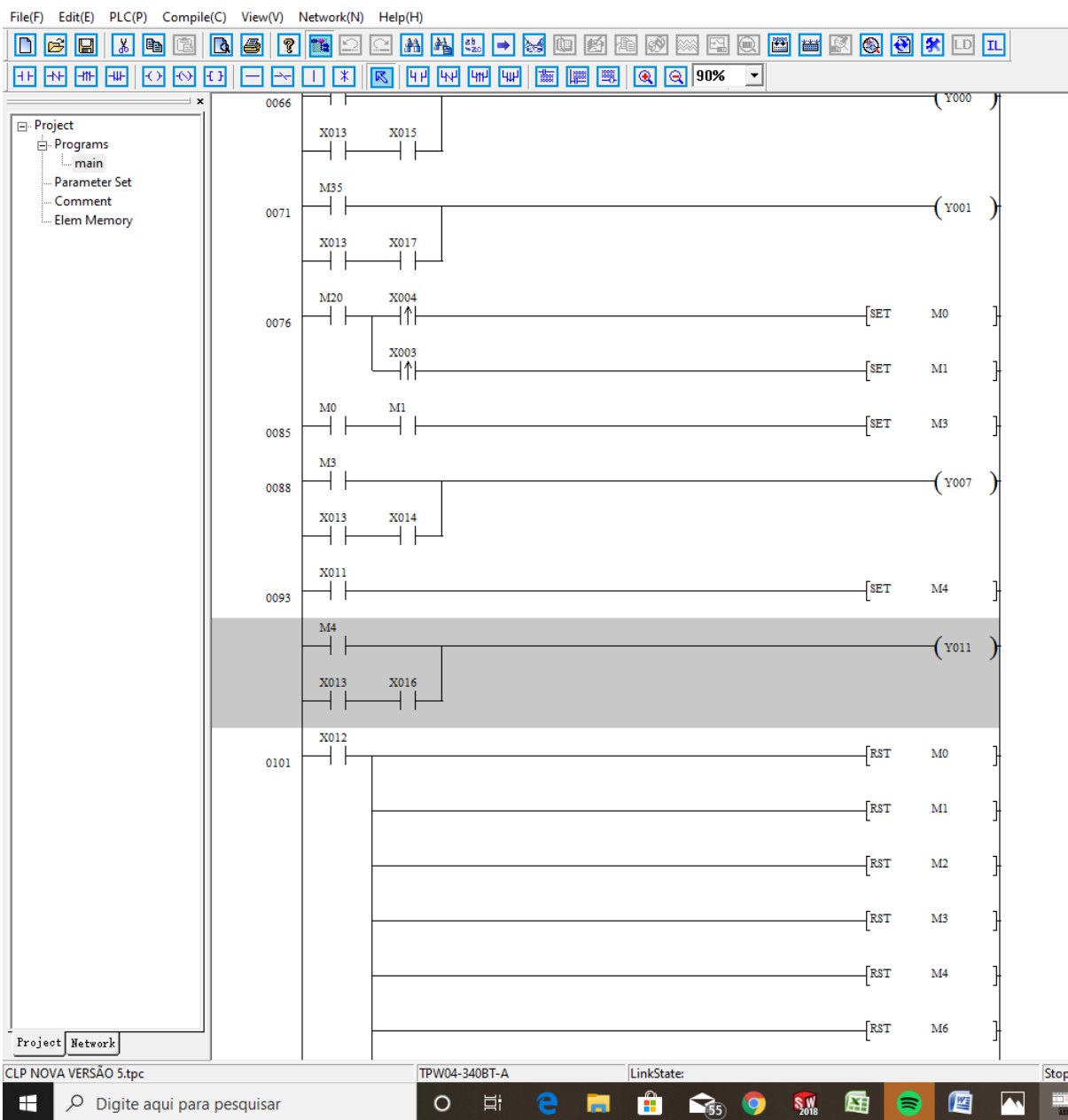
APÊNDICE A: PROGRAMA LADDER (PARTE 1)



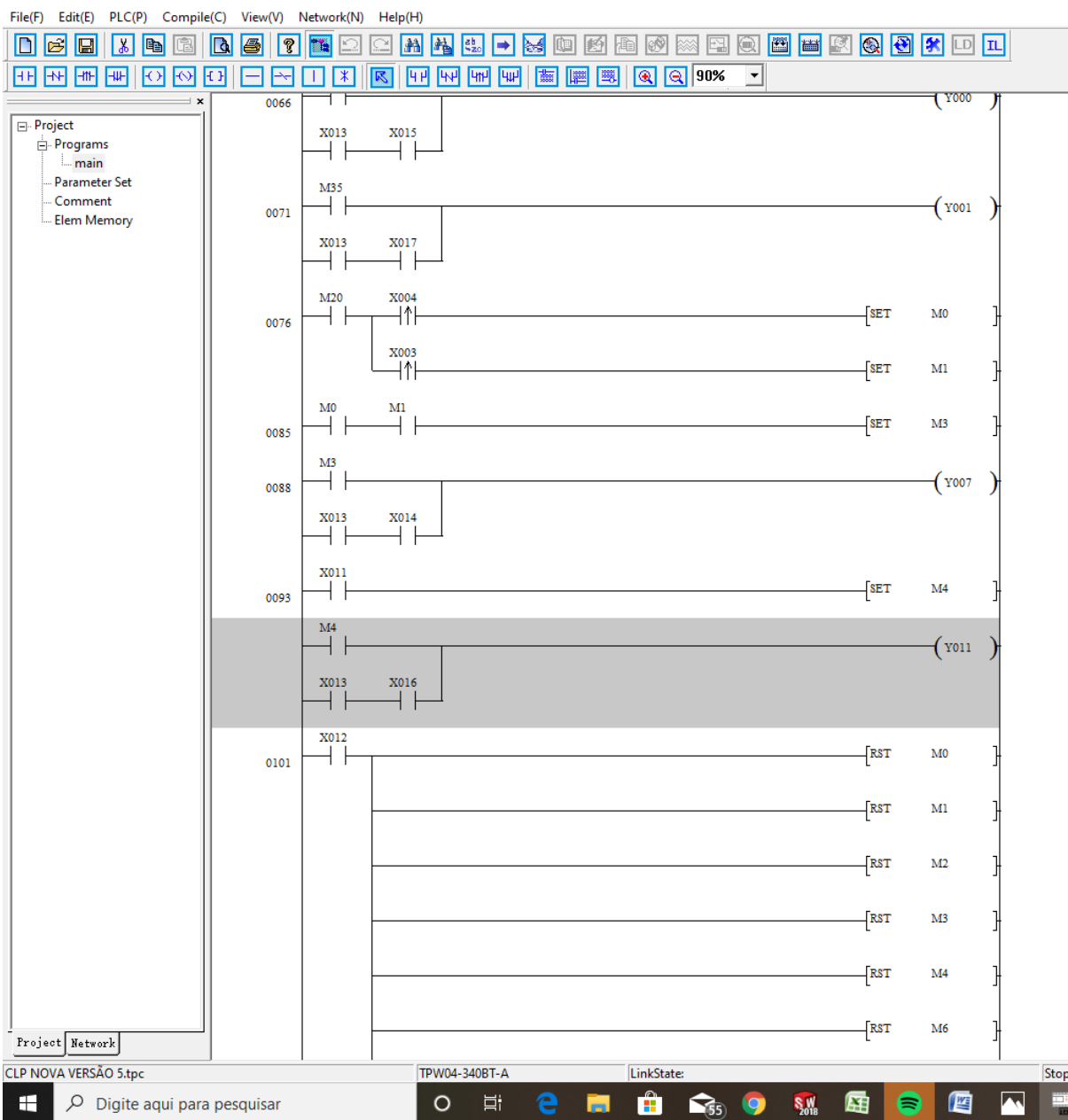
APÊNDICE B: PROGRAMA LADDER (PARTE 2)



APÊNDICE C: PROGRAMA LADDER (PARTE 3)



APÊNDICE D: PROGRAMA LADDER (PARTE 4)



APÊNDICE E: PROGRAMA LADDER (PARTE 5)

