

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

CASSIANO ANDRÉ GRAMS
ENRIQUE CETNAROWSKI

RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: estudo de caso

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

CASSIANO ANDRÉ GRAMS
ENRIQUE CETNAROWSKI

RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: estudo de caso

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica – DAELN e de Mecânica – DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Valmir de Oliveira

CURITIBA
2014

CASSIANO ANDRÉ GRAMS
ENRIQUE CETNAROWSKI

RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: estudo de caso

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 19 de dezembro de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luís Poli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sergio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. M. Sc. Marcio Augusto Lombardi

Prof. Dr. Valmir de Oliveira
Orientador

Prof. Ubiradir Mendes Pinto

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

CETNAROWSKI, Enrique; GRAMS, Cassiano A. **Retrofit em Máquinas Industriais: estudo de caso.** 2013. 61. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2014.

Este estudo de caso aborda como é feito o *retrofit* de máquinas industriais e os resultados obtidos após a sua conclusão. Para isso, são apresentados históricos, orçamentos e problemas enfrentados no processo de três máquinas. Os casos estudados são comuns na indústria o que os tornam de fácil interpretação. Complementando o estudo são apresentados equipamentos e teorias que auxiliam o projetista no desenvolvimento do *retrofit* além de inúmeras imagens dos processos estudados.

Palavras-Chave: Retrofit. Automação. Indústria. Máquinas. Sustentabilidade. Economia.

ABSTRACT

CETNAROWSKI, Enrique; GRAMS, Cassiano A. Retrofit in Industrial Machines: case study. 2013. 61. f. Completion of course work (Degree in Industrial Technology in Mechatronics), Academic Departments of Electronics and Mechanical Engineering, Federal Technological University of Paraná. Curitiba 2014.

This case study discusses how it is done the retrofit of industrial machinery and the results obtained after its completion. To do so, are historical, budgets presented and problems faced in the three machines process. The case studies are common in the industry which makes them easy to interpret. Complementing the study equipment and theories that assist the designer in developing the retrofit plus numerous images of the studied processes are presented.

Keywords: Retrofit. Automation. Industry. Machines. Sustainability. Economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - CLPs comerciais Mistubishi FX3U (A); Siemens S71200 (B)	16
Figura 2 - Posição do CLP perante a máquina.....	16
Figura 3 - Exemplos de IHM e portas de comunicação.....	17
Figura 4 - Encoder rotativo (A); encoder linear (B).....	18
Figura 5 - Disco de um encoder incremental (D); sinal gerado (C)	18
Figura 6 - Disco de um encoder absoluto (B); sinal gerado (A).....	19
Figura 7 - Drivers e servomotores	20
Figura 8 - Sensores indutivos.....	21
Figura 9 - Sensor Capacitivo	22
Figura 10 - Sensor óptico difuso.....	25
Figura 11 - Sensor óptico retroflexivo.....	23
Figura 12 - Transdutor de pressão	23
Figura 13 - Transdutor linear.....	24
Figura 14 - Sistema de controle de nível (A); diagrama de blocos (B).....	25
Figura 15 - Sistema controlado por um PID	26
Figura 16 - Fresadora convencional.....	27
Figura 17- Fresadora CNC.....	28
Figura 18 - Exemplo de conformadora de tubos e seus componentes de fixação (A) e movimentação (B)	29
Figura 19 - Principais partes da máquina. Painel destacado por elipses vermelhas.	30
Figura 20 - Exemplos de peças produzidas	31
Figura 21 - Painel conformadora de tubos.	36
Figura 22 - Tela principal da IHM - Conformadora de tubos.	37
Figura 23 - Tela de programação de ferramentas - Conformadora de tubos.	37
Figura 24 - Tela de comandos manuais - Conformadora de tubos.	38
Figura 25 - Tela de operação - Conformadora de tubos.	38
Figura 26 - Tensão de Ripple (V_r) num sistema de retificação de onda.....	39
Figura 27 - Esquema para correção da tensão de ripple	40
Figura 28 - Torre e ferramentas - Conformadora de tubos.....	40
Figura 29 - Sistema hidráulico - Conformadora de tubos.	41
Figura 30 - Painel da IHM.....	41
Figura 31 - Conformadora de tubos.	42
Figura 32 - Dobradeira de tubos. Tubo (A), braço de rotação (B) em 0° , morça (C), braço de dobra (D) em 0° e a serra hidráulica (E).....	44
Figura 33 - Dobradeira de tubos. Tubo (A), braço de rotação (B) em 90° , morça (C), braço de dobra (D) em 90° e a serra hidráulica (E).....	44
Figura 34 - Exemplo de peça produzida.....	45
Figura 35 - Painel finalizado dobradeira de tubos.	48
Figura 36 - Tela principal - Dobradeira de tubos.	49
Figura 37 - Tela de receita - Dobradeira de tubos.....	49
Figura 38 - Dispositivo de fresagem CNC e seus eixos. Eixo transversal (A), longitudinal (B), profundidade (C).....	51
Figura 39 - Tela menu IHM - Dispositivo de fresagem.	54
Figura 40 - Tela de programação IHM - Dispositivo de fresagem.	55
Figura 41 - Exemplo de transmissão por correias.....	56
Figura 42 - Exemplo de apoio anti vibração.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Orçamento Conformadora de tubos.....	32
Quadro 2 - Orçamento conjunto transdutor linear.....	34
Quadro 3 - Itens opcionais.....	35
Quadro 4 - Orçamento para retrofit da dobradeira de tubos.....	46
Quadro 5 - Orçamento para retrofit do Dispositivo de Fresagem.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivo Específico	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 ETAPAS DO RETROFIT	13
2.1.1 Etapa 1: Avaliação do equipamento	13
2.1.2 Etapa 2: Desenvolvimento do projeto	14
2.1.3 Etapa 3: Compra de materiais	14
2.1.4 Etapa 4: Implementação do projeto	14
2.1.4.1 Retrofit de <i>Hardware</i>	14
2.1.4.2 Retrofit de <i>Software</i>	15
2.1.5 Etapa 5: Testes	15
2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	15
2.3 INTERFACE HOMEM MÁQUINA	16
2.4 ENCODER	17
2.4.1 Encoder Incremental	18
2.4.2 Encoder Absoluto	19
2.5 SERVOMOTOR	19
2.6 SENSORES	20
2.6.1 Sensores Digitais	21
2.6.1.1 Sensor Indutivo	21
2.6.1.2 Sensor Capacitivo	22
2.6.1.3 Sensor Óptico	22
2.6.2 Sensores Analógicos	23
2.7 SISTEMA DE CONTROLE A MALHA FECHADA	24
2.8 CONTROLE PID	25
2.9 FRESADORA CONVENCIONAL E CNC	27
3 DESENVOLVIMENTO	29
3.1 MÁQUINA 1 - CONFORMADORA DE TUBOS	29
3.1.1 Visão geral	29
3.1.2 Avaliação da máquina	31
3.1.3 Elaboração do projeto	32
3.1.4 Compra de materiais	32
3.1.5 Implementação do projeto	35
3.1.6 Testes	39
3.2 MÁQUINA 2 - DOBRADEIRA DE TUBO	43
3.2.1 Visão geral	43
3.2.2 Avaliação da máquina	45
3.2.3 Elaboração do projeto	45
3.2.4 Compra de materiais	46
3.2.5 Implementação do projeto	47
3.2.6 Teste	49
3.3 MÁQUINA 3 - DISPOSITIVO DE FRESAGEM	51
3.3.1 Visão geral	51

3.3.2 Avaliação inicial	51
3.3.3 Elaboração do projeto	52
3.3.4 Compra de materiais	53
3.3.5 Implementação do projeto	53
3.3.6 Teste	55
4 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A palavra *retrofit* é utilizada em muitos meios e segundo Barrientos (2004 apud TAMBASCO e QUELHAS, 2012, pg. 449) "retrofit é a conjunção dos termos "retro", oriundo do latim, cujo significado é "movimentar-se para trás", e "fit" do inglês, que significa adaptação, ajuste". Ou seja, *retrofit* é a ação de fazer com que determinado objeto volte a ter as características para a qual foi projetado. Ou até mesmo melhorá-las.

Porém, para algumas empresas, desenvolver esta prática é muito arriscado. Afinal, o projeto inicial da máquina pode ser alterado e os fabricantes não darão mais suporte caso alguma falha venha a acontecer. O fato é que essa visão limita, atrasa e por vezes custa caro para empresa que não perde só financeiramente. Itens como credibilidade, confiança e moral podem ser severamente fragilizados.

Através dos cursos técnicos, de tecnologia e engenharia, o Brasil tem criado cada vez mais empresas e mão de obra qualificada para desenvolver equipamentos e saber mantê-los ao longo do tempo.

Este projeto tem o intuito de mostrar que um *retrofit* pode ser a solução para os problemas de muitos sistemas que não estão funcionando. O "custo X benefício" em optar por um *retrofit* pode variar muito dependendo do equipamento, mas, em geral, são satisfatórios para os envolvidos.

Para comprovar o que foi dito, será apresentado um estudo de caso de três máquinas que sofreram o processo assim como os benefícios que o *retrofit* trouxe para a empresa.

1.1 PROBLEMA

Horas de máquinas e operadores parados, metas não cumpridas, ambiente de trabalho estressante e perda de qualidade são problemas que estão relacionados diretamente com um funcionamento precário de uma máquina ou linha de produção.

Até onde vale a pena manter um sistema deficiente em seu estado atual? Não existe uma resposta certa para esta pergunta. Afinal, cada empresa tem uma forma diferente de gerenciar sua produção. Porém uma coisa é certa: nenhuma máquina é eterna. Se pequenos problemas não forem corrigidos eles podem complicar o processo produtivo futuramente. O que levará os gestores a decidir entre comprar uma máquina nova ou executar o *retrofit* da antiga.

Geralmente, quando a máquina ainda possui equipamentos que podem ser usados, o *retrofit* é a melhor opção

1.2 JUSTIFICATIVA

Um equipamento é projetado sempre para benefício do sistema de produção. Os ganhos, na maioria das vezes, são infinitamente maiores comparados a um trabalho manual. No entanto, como diz Almeida e Assumpção (2009 apud TAMBASCO e QUELHAS, 2012, pg. 449), os gestores sabem desde o seu primeiro dia de funcionamento que será necessário não só recuperar os investimentos realizados, mas também abrir mão de partes das receitas líquidas para um fundo de reposição de ativo.

Através desta perspectiva entende-se que nenhum equipamento funcionará para sempre. Porém, antes de efetivamente parar, ele apresenta sinais de que sua vida útil está chegando ao fim. Neste momento, cabe aos gestores encontrar uma solução para o problema. O fato é que dependendo da máquina, produzir uma nova custará muito tempo e dinheiro, principalmente se o equipamento for muito específico.

Num *retrofit*, as peças e equipamentos, cuja a vida útil estão longe de chegar ao fim, permanecem na máquina. Com isso o tempo de trabalho assim como o

dinheiro investido são menores. É essa agilidade e baixo custo que desperta o interesse de vários empreendedores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto é mostrar os benefícios que o *retrofit* de máquinas trás não só às empresas mas a todo o sistema que ela integra.

1.3.2 Objetivo Específico

- Avaliar estado inicial das máquinas que sofreram *retrofit*.
- Descrição de equipamento necessário para elaboração do *retrofit*.
- Desenvolvimento do projeto de *retrofit*.
- Implementação do projeto.
- Análise de resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com os avanços tecnológicos, muitos sistemas que eram considerados complexos, hoje são implementados facilmente. O conhecimento do técnico responsável sobre os produtos disponíveis no mercado, influencia diretamente na concepção do projeto.

2.1 ETAPAS DO RETROFIT

As etapas de um *retrofit* são: avaliação do equipamento, desenvolvimento do projeto, compra de materiais, implementação do projeto e testes. Neste estudo de caso serão levantados os dados destas cinco etapas para três máquinas que sofreram *retrofit* nos últimos anos. Sendo elas uma conformadora, uma dobradeira de todos e uma fresadora dedicada. Também serão citadas características e curiosidades individuais de cada equipamento.

2.1.1 Etapa 1: Avaliação do equipamento

Em um *retrofit*, a primeira informação a definir é qual é o objetivo do projeto. Após isso, são traçados os caminhos para atingi-lo através de uma avaliação inicial da máquina. Nesta avaliação a máquina é desmontada e os dados dos seus componentes são levantados. Através de conversas com os operadores e mantenedores é definida a melhor forma de se executar o projeto.

2.1.2 Etapa 2: Desenvolvimento do projeto

Tendo como base o projeto original do equipamento é feito um outro projeto contendo as modificações que serão feitas na revitalização da máquina. Para a elaboração deste, é utilizado o *software Eplan*.

2.1.3 Etapa 3: Compra de materiais

Após a avaliação, a aprovação do orçamento e o termino do projeto, são definidas ordens de compra para os materiais especificados. Esta etapa é fundamental para a manutenção do prazo estipulado. Apesar de o tempo de compra ser levado em consideração no cronograma, qualquer atraso seja de elaboração de pedido ou entrega do produto, poderá influenciar na data de entrega final.

2.1.4 Etapa 4: Implementação do projeto

Após a chegada dos materiais e com o auxílio do projeto elétrico, o projeto entra na fase de execução. Pode-se dividir a execução deste em duas partes: *retrofit de hardware e software*.

2.1.4.1 Retrofit de *Hardware*

Primeiramente, todos os equipamentos antigos que não serão mais utilizados são desmontados. Em seguida os instrumentos novos são implementados à máquina seguindo rigorosamente o esquema elétrico desenvolvido anteriormente. Após a implementação, são conferidos a montagem real com o especificado em projeto.

2.1.4.2 Retrofit de *Software*

Caso o cliente tenha um *backup* do programa em processo e o novo controlador seja compatível com o antigo, o *retrofit* do *software* é facilitado. Do contrário, para desenvolver o novo *software* de controle são usadas as informações adquiridas através do operador e do mantenedor responsável pela máquina.

2.1.5 Etapa 5: Testes

Conforme o programa é desenvolvido, pequenos testes são feitos para garantir que a lógica está funcionando. Com a finalização do programa, peças começam a ser produzidas e "ajustes finos" são feitos. Após a conclusão dos testes, a máquina continua sendo acompanhada por mais algum tempo que varia de acordo com a complexidade do sistema.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Segundo o Prof. Dr. Pereira (2003, p.4), o CLP é um equipamento eletrônico que pode ser programado para executar instruções que controlam dispositivos, máquinas e operações de processos, por meio da implementação de funções específicas. Com isso, pode-se dizer que o CLP é o "cérebro" da máquina e, no caso de um *retrofit*, uma peça fundamental para automação de sistemas complexos.

Uma máquina, pode-se resumir em um controlador (CLP) que interpreta sinais de entrada vindo dos sensores, e executa determinada função na saída acionando os atuadores. A Figura 1 representa dois CLP's comerciais. Já a Figura 2 demonstra a posição do CLP perante a máquina.



Figura 1 - CLPs comerciais Mistubishi FX3U (A); Siemens S71200 (B)
 Fonte: Mistubishi Eletric (2013); Siemens Slovensko (2013).

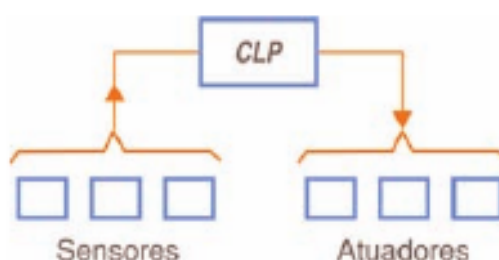


Figura 2 - Posição do CLP perante a máquina
 Fonte: Mecatrônica Atual (2013).

2.3 INTERFACE HOMEM MÁQUINA

A Interface Homem Máquina (IHM), segundo a professora Danielle Casillo, (p.4) "É o canal de comunicação entre o homem e o computador, através do qual interagem, visando atingir um objetivo comum." Ou ainda: "É o conjunto de comandos de controle do usuário mais as respostas do computador, constituídos por sinais (gráficos, acústicos e tácteis)". Ou seja, uma IHM é o meio utilizado para que o homem se comunique com a máquina.

As IHM's modernas, são compostas de telas *toothscream* que são programadas de acordo com os requisitos da máquina. Se comunica com o CLP através de protocolos de comunicação, como o RS232, RS485, Ethernet, entre outros.

A Figura 3 apresenta uma IHM e suas portas de comunicação.

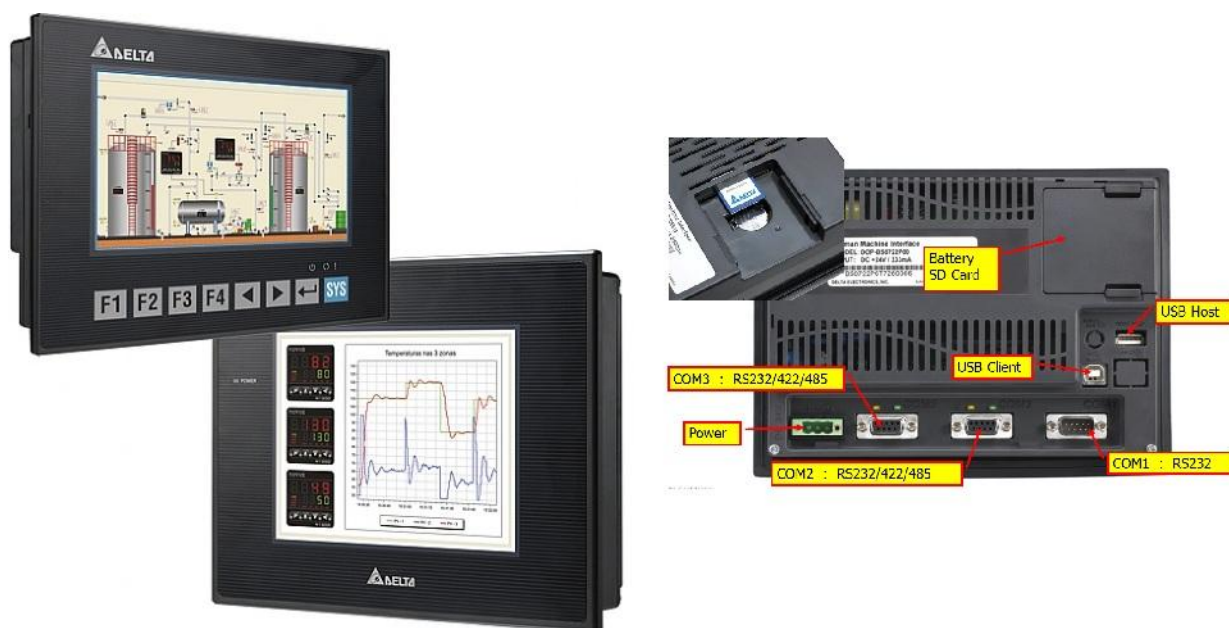


Figura 3 - Exemplos de IHM e portas de comunicação.
Fonte: Kalatec Automação Industrial (2013).

Antigamente, as interfaces eram feitas através do uso de botoeiras, LED's, e placas de identificação. Porém, elas ocupavam muito espaço e, dependendo do caso, muitas entradas do CLP. Em uma IHM *toothscream* podem ser programadas diversas telas, e os *layout's* destas podem ser programados da maneira que o técnico responsável considerar melhor. Além disso, através da comunicação com o controlador, a IHM utiliza a memória dela e do próprio CLP para comunicação. Esta função poupa muitas entradas e saídas físicas o que evita a compra de módulos de expansão.

2.4 ENCODER

Muito usados no controle de posicionamento, os encoders "Convertem a posição angular do seu eixo em sinal elétrico, usando para isto dispositivos eletro-ópticos (LED's e fototransistores)" (Rocha, 2009, p. 2). A interpretação deste sinal, que podem ser incrementais ou absolutos, indica a posição em que o dispositivo se encontra. Existem encoders rotativos, e lineares representados pela Figura 4.

Ambos são classificados de acordo com sua quantidade de pulsos por rotação, no caso de encoders rotativos, ou pulsos por metro, no caso de encoders lineares.



Figura 4 - Encoder rotativo (A); encoder linear (B).
Fonte: Sick Sensor Intelligence (2013).

2.4.1 Encoder Incremental

Em um encoder incremental "os pulsos são adicionados de acordo com a referência e, no caso de falta de energia, é necessário retornar à referência para iniciar a monitoração da posição." (Rocha, 2009, p. 7). A Figura 5 traz um disco de um encoder integral e seu sinal.

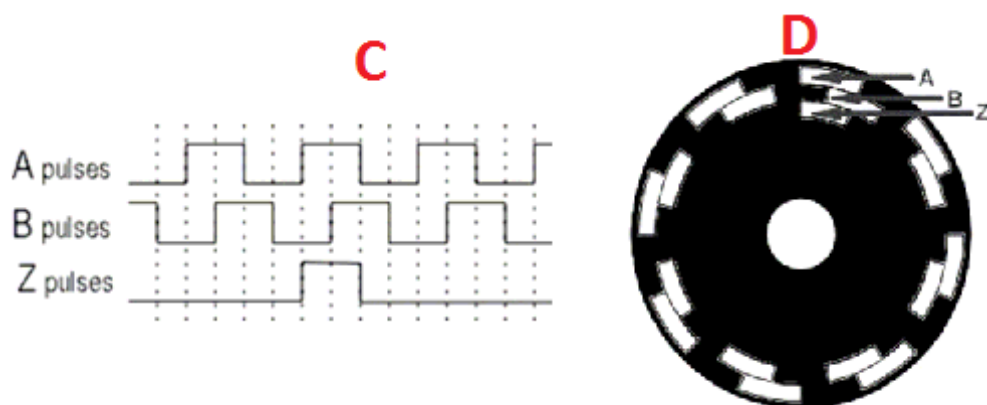


Figura 5 - Disco de um encoder incremental (D); sinal gerado (C)
Fonte: Rocha (2009, p. 7)

2.4.2 Encoder Absoluto

Segundo Rocha (2009, p.5 e 6), o encoder absoluto permite a determinação da posição mesmo no caso de ter havido falta de energia. Para isso, ele provê uma palavra com padrão único para cada posição angular. A Figura 6 representa um disco de um encoder absoluto e seu respectivo sinal.

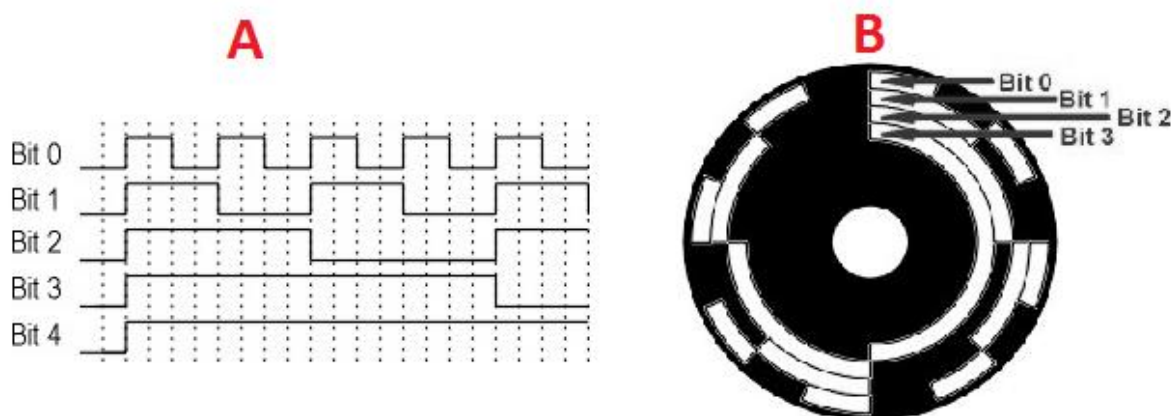


Figura 6 - Disco de um encoder absoluto (B); sinal gerado (A)
Fonte: Rocha (2009, p.5 e 6).

2.5 SERVOMOTOR

Servomotores, são motores de alta precisão com relação a posição velocidade e torque. Juntamente com seu Drive, que interpreta os sinais vindo do CLP e codifica para um sinal que o motor entenda, são muito usados em máquinas que necessitam de um controle preciso de posição como fresas e tornos CNC.

Os motores "acoplados a um conjunto de engrenagens redutoras, um codificador de rotação e eletrônica de controle de posição do motor, designam-se por servomotores" (Correia, 2006, p. 4).

Basicamente para efetuar o controle de posição o servo motor compara a posição atual com a desejada e a corrige até que elas sejam iguais. Caso o sinal seja enviado para o motor e por uma fatalidade a posição desejada não seja atingida, o controle aumenta o torque do motor para tentar superar uma possível

obstrução. A partir do momento que o torque máximo é atingido, o servo-motor desarma para evitar possíveis danos. A Figura 7 apresenta dois servomotores e seus respectivos drivers.



Figura 7 - Drivers e servomotores
Fonte: Pal Electronics (2013).

2.6 SENSORES

Sensores, segundo Steffens (2013), são dispositivos eletroeletrônicos que possuem a propriedade de transformar uma grandeza física em sinal elétrico proporcional. Este sinal é utilizado como referência pelo controlador, o qual, segundo o programa a ele incorporado, comandará determinada ação executada pela máquina.

Existem diversos tipos de sensores sendo eles são divididos entre digitais e analógicos.

2.6.1 Sensores Digitais

Sensores digitais indicam dois estados representados geralmente por sinais de tensão. Na indústria, os sinais de controle mais comum para sensores digitais são 24Vcc, quando o sensor está acionado e 0Vcc quando o inverso acontece. Estes parâmetros podem variar dependendo do sensor.

Os sensores digitais mais comuns são: indutivo, capacitivo e óptico.

2.6.1.1 Sensor Indutivo

Os sensores indutivos "são sensíveis à presença do alvo ferro-magnético (AFM) através da variação de campo magnético provocada pela sua aproximação" (Azinheira, 2002, p. 33). Ou seja, sensores indutivos são utilizados para a detecção de objetos metálicos no campo de medição do sensor. A Figura 8 apresenta alguns sensores indutivos.



Figura 8 - Sensores indutivos
Fonte: Sick Sensor Intelligence (2013).

2.6.1.2 Sensor Capacitivo

Diferente do indutivo, o sensor capacitivo capta "a variação de constante dielétrica" (Azinheira, 2002, p. 34). Com isso, é possível detectar objetos que não sejam ferromagnéticos. A Figura 9 mostra um sensor capacitivo.

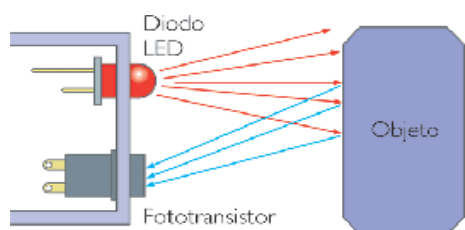


Figura 9 - Sensor Capacitivo
Fonte: Sick Sensor Intelligence (2013).

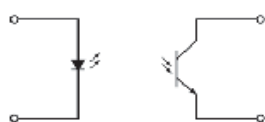
2.6.1.3 Sensor Óptico

Sensores óptico são compostos basicamente por dois componentes: um LED (emissor) e um foto-transistor (receptor). O emissor envia um sinal infravermelho para o receptor. Quando este sinal é bloqueado, por qualquer objeto que não seja translúcido, o foto-transistor envia um sinal digital o qual deve ser interpretado pelo controlador.

Existem vários tipos de sensores ópticos no mercado. Podem ser retroflexivos, que precisam de um espelho prismático para retorno de sinal, ou difusos que não precisam do espelho. A distância de detecção varia e pode ser ajustável dependendo do sensor. A Figura 10 representa o funcionamento de um sensor óptico difuso. Já a Figura 11 o de um sensor retroflexivo.



Disposición física del sensor óptico.



Esquema eléctrico.

Figura 10 - Sensor óptico difuso
Fuente: Arduino (2014).

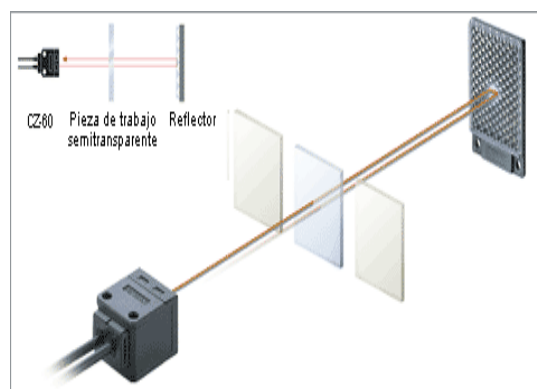


Figura 11 - Sensor óptico retroreflexivo
Fuente: Keyence (2013).

2.6.2 Sensores Analógicos

Os sensores analógicos medem valores que precisam ser quantizados como pressão (Figura 12), nível, temperatura e posição (Figura 13). Estes sensores geram um sinal de corrente (4 a 20mA) ou tensão (0 a 10Vcc) proporcional ao valor medido. Por exemplo: Um transdutor de temperatura está configurado para medir de 0 °C a 100 °C. Caso ele trabalhe com corrente, aos 0 °C o sensor enviará para o controlador uma corrente de 4mA e aos 100 °C, a corrente enviada será de 20mA.



Figura 12 - Transdutor de pressão
Fuente: Siti (2013).



Figura 13 - Transdutor linear
Fonte: Gefran (2013).

2.7 SISTEMA DE CONTROLE A MALHA FECHADA

Segundo Ogata, (1997, p.5), num sistema de controle a malha fechada, o sinal do erro, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de retroação, excita o controlador de modo a reduzir o erro e trazer o valor do sinal de saída para o valor desejado. Ou seja, basicamente este tipo de controle utiliza a resposta do sistema para corrigir o sinal de controle com o objetivo de que o sistema trabalhe nos valores programados. Para ilustrar um controle a malha fechada, a Figura 14 apresenta um sistema de controle de nível e seu diagrama de blocos.

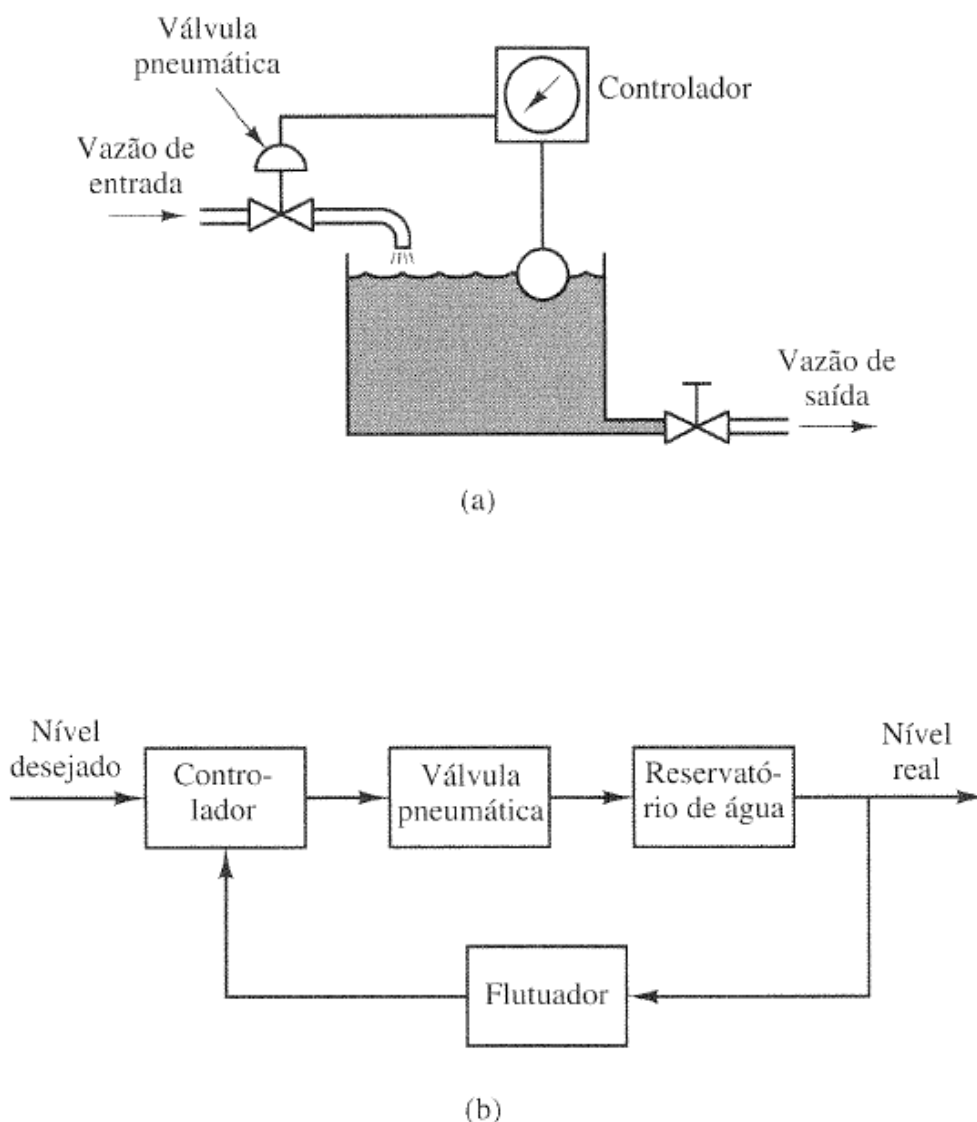


Figura 14 - Sistema de controle de nível (A); diagrama de blocos (B).
 Fonte: Ogata (1997, p. 8).

2.8 CONTROLE PID

Este controle faz uso do sistema a malha fechada e utiliza as ações de controle proporcional, integral e derivativo para controlar o sistema. Para entendê-lo melhor é preciso estudar um pouco estas ações de controle.

O controle proporcional "é essencialmente um amplificador com ganho ajustável." (OGATA, 1997, p.180), com isso a ação de controle será proporcional ao erro calculado.

Segundo Ogata, (1997, p.180) "Em um controlador com ação de controle integral, o valor de saída do controlador $u(t)$ é variado segundo uma taxa proporcional ao sinal do erro atuante". A ação integral irá aumentar conforme o erro persistir até que este seja nulo.

"O tempo derivativo T_d é o intervalo de tempo pelo qual a ação derivada avança o efeito da ação do controle proporcional" (OGATA, 1997, p.181). Com isso conclui-se que a ação derivativa tem a função de "antecipar" a sinal de controle. Porém, na análise de Ogata, (1997, p.181) "De fato, no entanto, a ação de controle derivativa nunca poderá antecipar uma ação que ainda não tenha ocorrido"

Um controlador PID, então, é uma ação combinada destes três tipos de controle. De forma prática, o PID é um algoritmo de controle que utiliza uma referência chamada set-point que geralmente é o valor de trabalho desejado. Esta referência pode ser um valor fixo, ou um valor especificado pelo operador através da IHM. O algoritmo basicamente calcula a diferença entre o set-point e o valor atual presente no sistema e, com base na resposta, o CLP envia um sinal de correção que controlará o atuador até a eliminação do erro. A Figura 15 exemplifica um sistema PID.

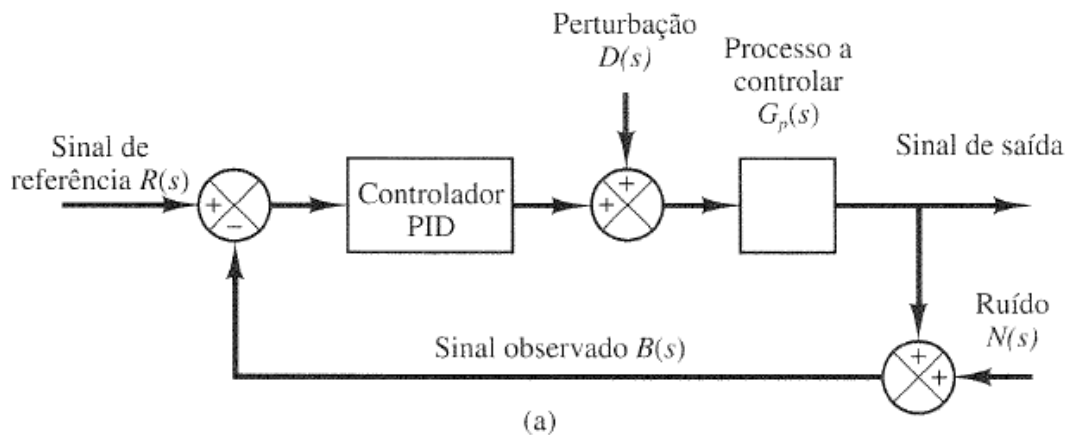


Figura 15 - Sistema controlado por um PID
Fonte: Ogata (1997, p. 553).

2.9 FRESADORA CONVENCIONAL E CNC

Uma fresadora é uma máquina ferramenta muito utilizada na indústria. Ela executa cortes, furações e modela perfis. Para isso, ela rotaciona uma ferramenta de corte chamada fresa e desenvolve movimento em três eixos, longitudinal, transversal e de profundidade. A fresadora convencional é operada manualmente por um mecânico. Já a fresadora CNC faz uso de um programa CNC o qual, através de códigos e coordenadas, comanda os servomotores que executam a movimentação usinando a peça automaticamente e praticamente sem interferência humana.

As Figuras 16 e 17 apresentam uma fresadora convencional e uma CNC respectivamente.



Figura 16 - Fresadora convencional
Fonte: Moniz (2013).



Figura 17- Fresadora CNC
Fonte: Ciatech (2013).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 MÁQUINA 1 - CONFORMADORA DE TUBOS

3.1.1 Visão geral

O objetivo de uma conformadora de tubos é basicamente moldar o tubo de acordo com o desenho especificado pelo cliente. No caso estudado, a conformadora que sofreu retrofit é da marca Bema Sagamotubi. Ela é composta basicamente por uma parte fixa (fixação do tubo "A") e outra móvel (avanço/recuo da ferramenta "B") como mostra a Figura 18.

A parte fixa possui uma bancada e uma morsa hidráulica, a qual prende o tubo (C) para a conformação. A parte móvel é constituída por uma torre (D), na qual são montadas as ferramentas (E), uma mesa montada sobre guias lineares (F) que suporta a torre, e um pistão hidráulico controlado por uma válvula proporcional que executa o movimento de avanço e retorno da mesa. A Figura 19 apresenta aquelas e outras partes da máquina destacando o painel elétrico, local onde a maior parte do trabalho foi desenvolvido, e a Figura 20 traz alguns exemplos de peças fabricadas por uma conformadora.



Figura 18 - Exemplo de conformadora de tubos e seus componentes de fixação (A) e movimentação (B)

Fonte: IMC Máquinas (2011).

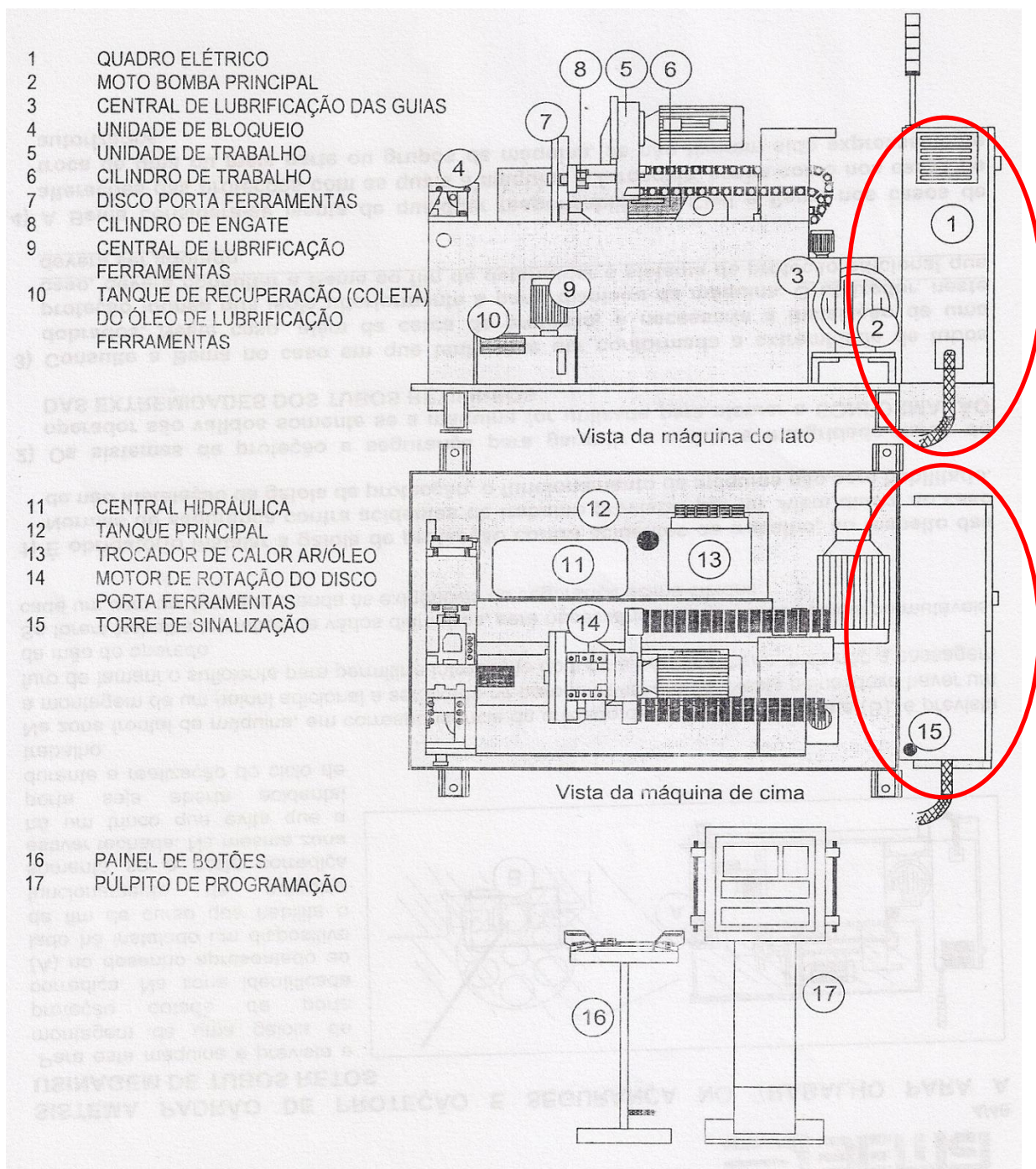


Figura 19 - Principais partes da máquina. Painel destacado por elipses vermelhas

Fonte: Bema (1998, p.1/30).



Figura 20 - Exemplos de peças produzidas

Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Avaliação da máquina

A fábrica na qual foi desenvolvido este trabalho, possui onze máquinas deste tipo. Porém, três delas estavam há aproximadamente dois anos sem uso, pois apresentaram problemas no CLP. Como ela foi importada da Itália, o custo de um suporte do fabricante era muito alto, visto que para resolver o problema era preciso não só a compra de materiais novos mas também o trabalho de um técnico especializado. Com o tempo as conformadoras ficaram estagnadas e os mantenedores começaram a retirar as suas peças para aproveitá-las em outras máquinas. Isso obrigou os gestores a decidir entre a compra de uma nova ou executar o retrofit destas.

3.1.3 Elaboração do projeto

O objetivo do projeto era refazer todo o controle do sistema. Para isso, foi desenvolvido um esquema elétrico que abrangesse todas as necessidades da máquina a qual trabalhava com os seguintes parâmetros:

- Tensão de alimentação trifásica 380V-60Hz.
- Tensão circuito auxiliar de comando das eletroválvulas 110V-60Hz.
- Tensão circuito auxiliar de potência 220/380V-60Hz.
- Potência máxima instalada 20kW.
- Tensão de trabalho do controlador lógico programável (CLP) 24Vcc.
- Tensão de trabalho da Interface homem maquina (IHM) 24Vcc.

3.1.4 Compra de materiais

Além dos principais itens, que são o controlador e a interface, foram necessários adquirir outros materiais e equipamentos para a montagem do painel e reposição dos itens que haviam sido retirados das máquinas anteriormente. O Quadro 1 mostra o orçamento do projeto. O Quadro 2 mostra o conjunto do transdutor linear utilizado, enquanto o Quadro 3 mostra alguns itens opcionais que poderiam ser utilizados no projeto.

Item	Qtde	Descrição do Produto	Fabricante	Valor Unit	Valor Total
01	03	DILM38-10 contator tripolar 38 ^a	Moeller	222,91	668,73
02	03	DILM9-10 contator 9 ^a	Moeller	45,90	137,70
03	02	DILM25-10 contator 25 ^a	Moeller	104,44	208,88

Quadro 1 - Orçamento Conformadora de tubos.

(continua)

04	01	PKZMC-25 disjuntor motor	Moeller	184,52	184,52
05	02	PKZMC-1 disjuntor motor	Moeller	115,08	230,16
*06	01	PKZMC-4 disjuntor motor	Moeller	124,49	124,49
07	01	PLS4-C6-3-MW mini disjuntor	Moeller	93,22	93,22
08	01	PLS4-C16-3-MW mini disjuntor	Moeller	48,70	48,70
09	01	BZME1-A100-BT-AP disjuntor termomagnético	Moeller	239,80	239,80
10	03	PLS4-C1MW mini disjuntor	Moeller	37,68	113,04
11	01	PLS4-C4-MW- mini disjuntor	Moeller	24,02	24,02
12	02	PLS4-C2-MW mini disjuntor	Moeller	37,40	74,80
13	02	PLS4-C10-MW mini disjuntor	Moeller	7,64	15,28
14	24	XRU1D24 acoplador a rele	Moeller	29,38	705,12
15	01	PSG240E fonte chaveada	Moeller	939,00	939,00
16	01	Kit bi manual 24 VDC	Moeller	1.798,00	1.798,00
17	01	FX3U-64MT-DSS	Mitsubishi	2.443,48	2.443,48
18	01	FX2N-2AD	Mitsubishi	559,69	559,69
19	01	FX2N-2DA	Mitsubishi	594,73	594,73

20	01	Inversor de frequência	Mitsubishi	849,05	849,05
21	01	SER Resistor de frenagem	Mitsubishi	401,60	401,60
22	01	Materiais diversos para painel		1.000,00	1.000,00
23	01	IHM GT 1000 5,7" colorida	Mitsubishi	2.354,04	2.354,04
24	01	FX3U-2HC acessório para clp	Mitsubishi	1.656,91	1.656,91
25	01	Desenvolvimento do software Montagem do painel Instalação do painel na maquina Treinamento para os operadores Manual de operação da IHM Esquema elétrico em Eplan Cópia do software da IHM e do CLP Alteração do software se necessário sem custo período de 90 dias.		19.890,00	19.890,00

Quadro 1 - Orçamento Conformadora de tubos.

Fonte: Autoria própria.

Item	Qtde	Descrição do produto	Valor Unitário	Valor Total
01	01	BTL5-P1-M0600-P-S32 Transdutor linear 600 mm curso – Balluff	3.653,91	3.653,91
02	01	BTL5-P-3800-2 Posicionador	157,13	157,13
03	01	BKS-S32M-5 acessório	130,71	130,71

Quadro 2 - Orçamento conjunto transdutor linear.

Fonte: Autoria própria.

Item	Qtde	Descrição do produto	Valor Unitário	Valor Total
01	01	Licença do software editor IHM GX	835,25	835,25
02	01	Licença do software editor PLC	1.064,00	1.064,00
03	01	FX-USB-AW Cabo de programação PLC	429,48	429,48
04	01	GT Cabo de programação IHM	85,10	85,10
05	01	FX3U-ENET módulo ethernet de alta velocidade (para comunicação entre as máquinas)	1.160,06	1.160,06

Quadro 3 - Itens opcionais.

Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Implementação do projeto

O painel da máquina foi desmontado no cliente e transportado para a empresa para dar início ao processo de retrofit. Após a troca dos componentes e a conclusão dos testes iniciais, o painel retornou ao cliente para ser remontado na máquina seguindo o esquema elétrico elaborado como mostra a Figura 16.

Com o término da montagem, todos os sinais tanto digitais como analógicos foram testados e com isso foi dado início a elaboração do programa que funciona da seguinte forma:

1. O operador seleciona um programa.
2. O operador insere o tubo na máquina.
3. O operador aciona o comando bimanual.
4. A morça fecha e a máquina recua até uma posição segura para que a torre possa rotacionar.
5. A máquina executa o programa selecionado.
6. A máquina volta para posição de batente e abre a morça para inserção de um novo tubo.

O software também inclui telas de parametrização de ferramentas (Figura 18), onde é configurado a ordem que as ferramentas serão utilizadas e parâmetros de recuo seguro e batente de referência, tela de comando manual (Figura 19), usado para acionar os equipamentos individualmente e a tela de operação (Figura 20), que mostra os parâmetros de operação quando o ciclo está sendo executado. Precedendo estes itens está a tela de menu (Figura 17), a qual dá acesso a todas as outras telas.



Figura 21 - Painel conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.

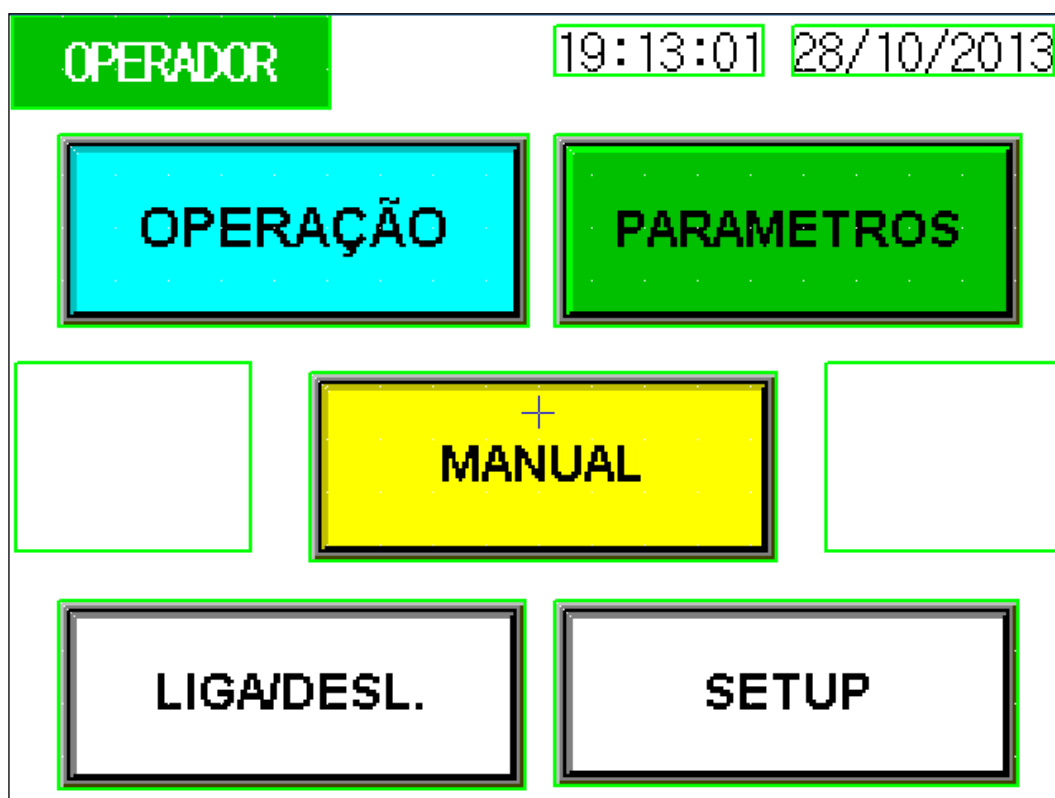


Figura 22 - Tela principal da IHM - Conformadora de tubos.

Fonte: Autoria própria.



Figura 23 - Tela de programação de ferramentas - Conformadora de tubos.

Fonte: Autoria própria.

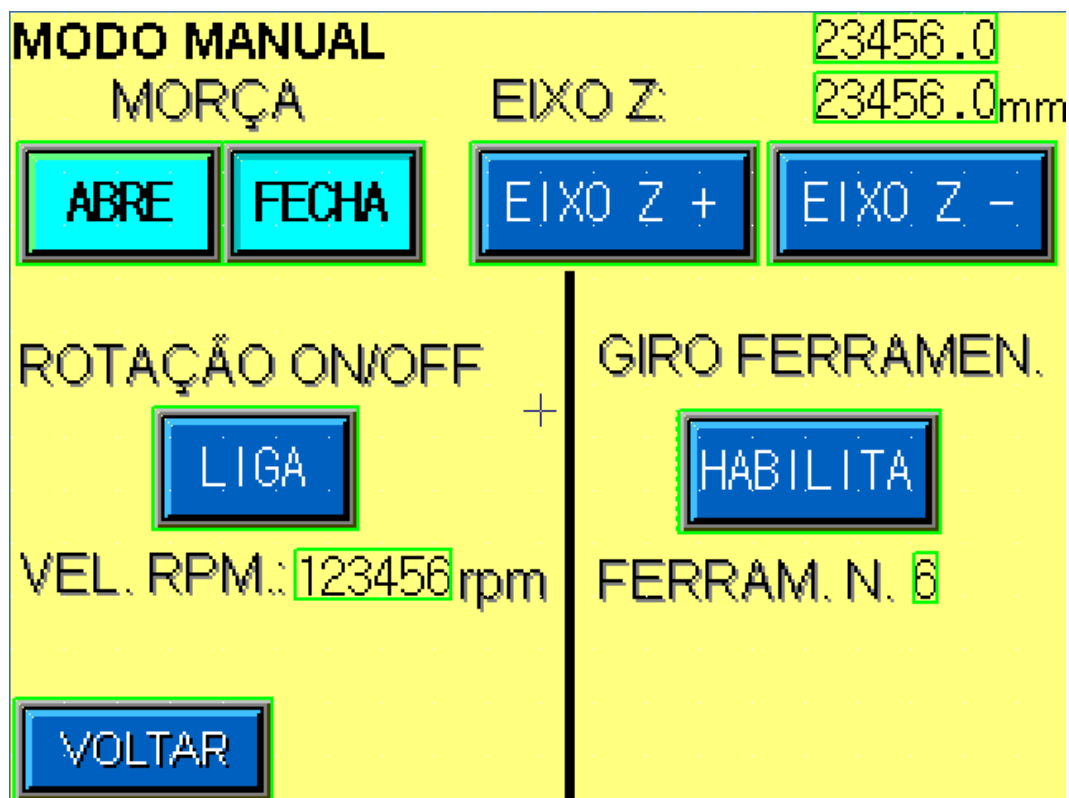


Figura 24 - Tela de comandos manuais - Conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.



Figura 25 - Tela de operação - Conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.

3.1.6 Testes

Após alguns testes, surgiu um problema. Existia uma variação de medida na conformação das peças a qual por vezes ultrapassava a tolerância máxima exigida pelo cliente (0,1mm). A princípio, não havia como saber se o problema era ferramental, o qual não sofreu retrofit, ou eletrônico. Porém após analisar o sinal do transdutor linear, que era na ocasião analógico, percebeu-se uma variação causada por uma tensão de ripple emitida pelo transdutor. Esta variação é muito comum em fontes que convertem um sinal CA em um CC e está exemplificada na Figura 26. Ao conversar com o suporte feito pelo fabricante do transdutor, uma das opções dada por eles foi aumentar a filtragem adicionando um capacitor de 100 μF , na entrada do CLP como mostra a Figura 27. Esta solução diminui a tensão de ripple e solucionou o problema.

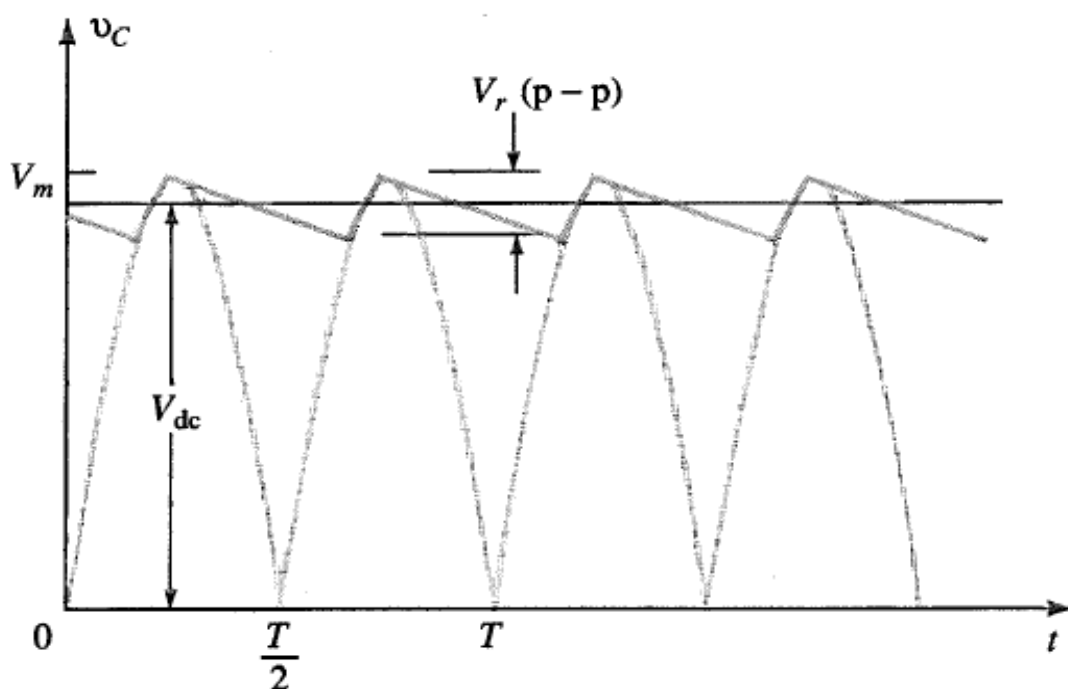


Figura 26 - Tensão de Ripple (V_r) num sistema de retificação de onda.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1997, p. 552).

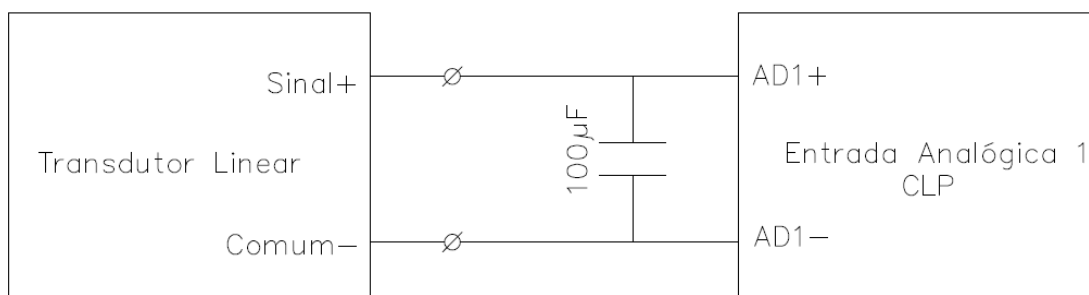


Figura 27 - Esquema para correção da tensão de ripple
Fonte: Autoria própria.

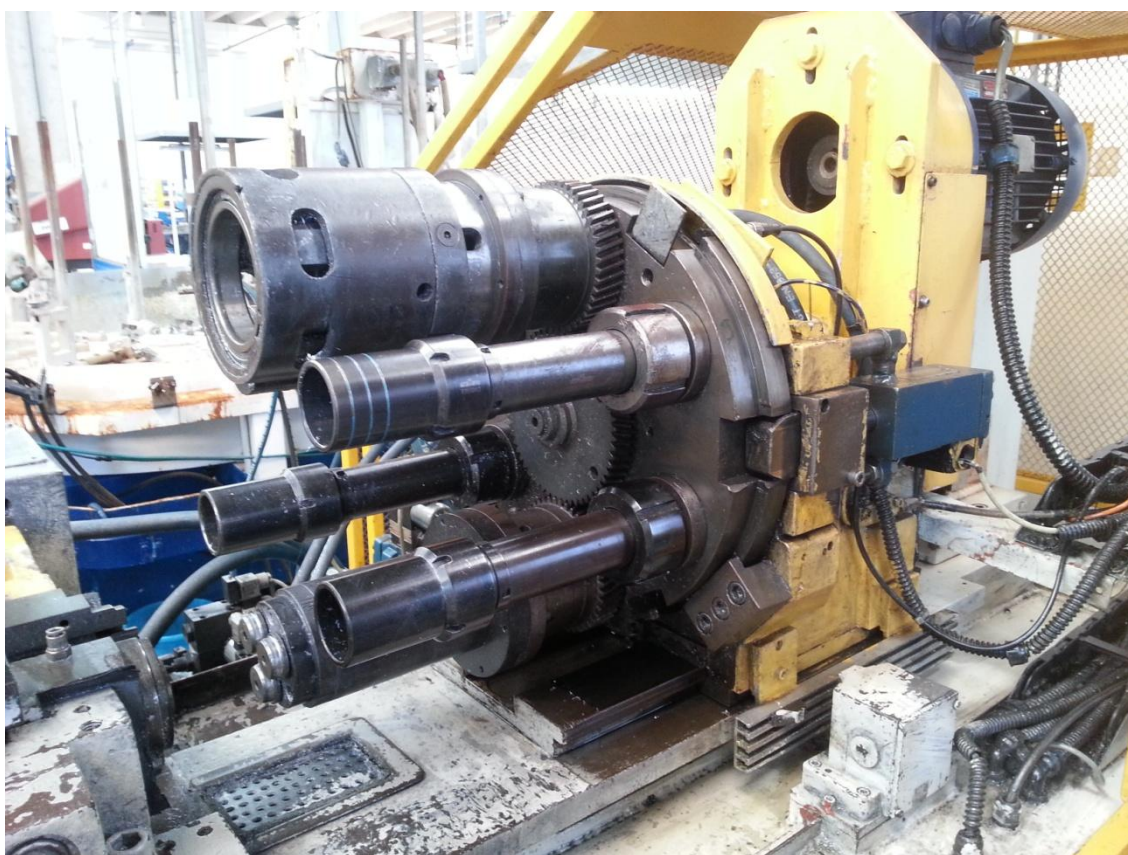


Figura 28 - Torre e ferramentas - Conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.

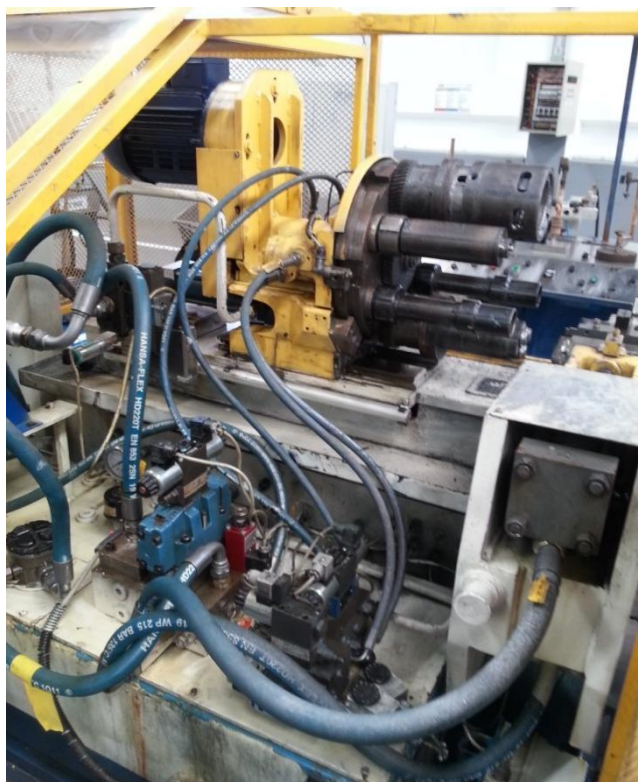


Figura 29 - Sistema hidráulico - Conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.



Figura 30 - Painel da IHM.
Fonte: Autoria própria.



Figura 31 - Conformadora de tubos.
Fonte: Autoria própria.

3.2 MÁQUINA 2 - DOBRADEIRA DE TUBO

3.2.1 Visão geral

A dobradeira de tubos é uma máquina muito comum em indústrias que trabalham com sistemas a gás (geladeiras, fogões, Ar condicionado). A máquina em estudo é do modelo Pedrazzoli, fabricação Itália. Ela tem a função de endireitar o tubo, que vem enrolado em um carretel, e fazer as dobras necessárias segundo as especificações do cliente. Para isso, ela utiliza o próprio movimento de avanço do material (A) em conjunto com um braço que rotaciona 360° (B) em torno do eixo do tubo. Quando o comprimento especificado é alcançado através do avanço do tubo, a morça (C) é fechada e a dobra é executada pelo braço hidráulico (D) seguindo a angulação especificada no programa, por fim, a peça finalizada é cortada através de uma serra hidráulica (E). As Figuras 32 e 33 exemplificam os itens listados e o funcionamento da máquina, enquanto a Figura 34 apresenta um exemplo de peça fabricada.

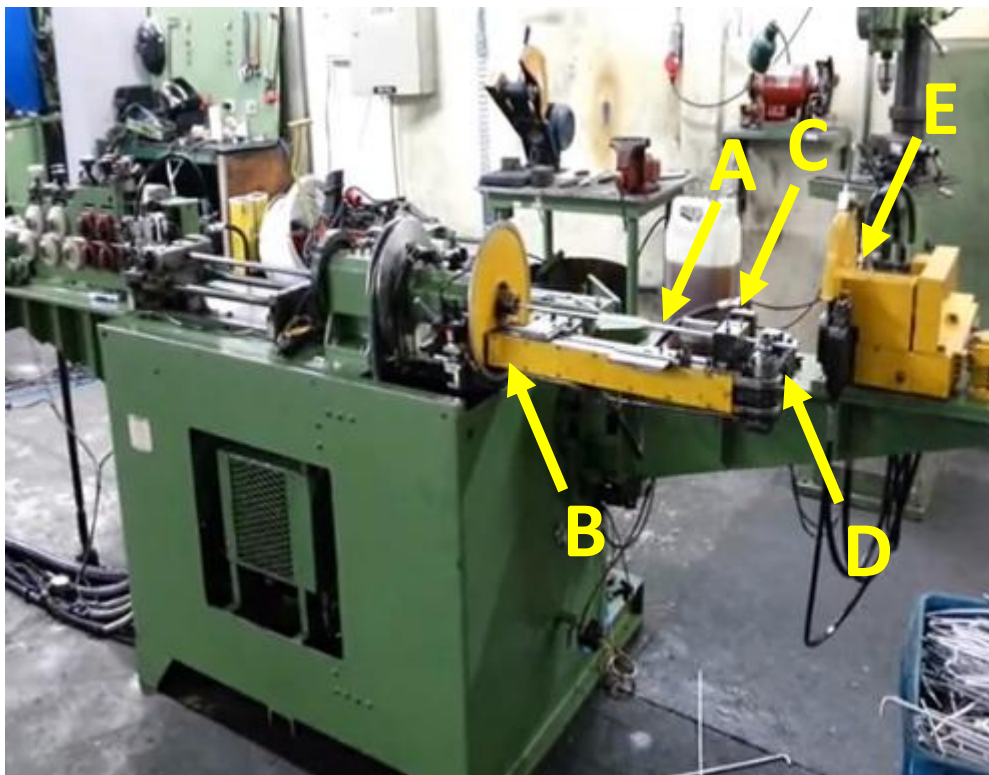


Figura 32 - Dobradeira de tubos. Tubo (A), braço de rotação (B) em 0°, morça (C), braço de dobra (D) em 0° e a serra hidráulica (E).

Fonte: Autoria própria.

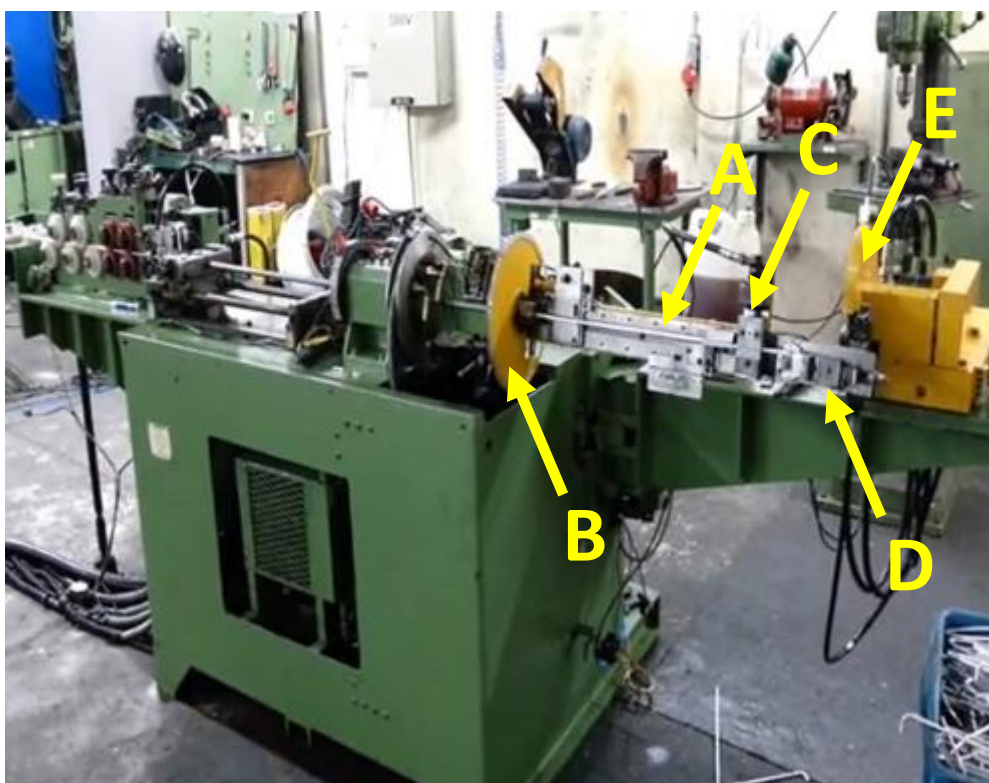


Figura 33 - Dobradeira de tubos. Tubo (A), braço de rotação (B) em 90°, morça (C), braço de dobra (D) em 90° e a serra hidráulica (E).

Fonte: Autoria própria.



Figura 34 - Exemplo de peça produzida.
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Avaliação da máquina

A máquina foi produzida em 1989, e estava fora da produção a mais de dois anos. Guardada num container, ela estava prestes a ser sucateada. Tanto a parte elétrica como a mecânica estavam em estado crítico. Como o cliente não contava mais com a máquina em sua produção, para convencê-lo a fechar negócio era necessário um baixo custo e provar que o sistema funcionaria. Após muita conversa, o contrato foi assinado e com isso iniciado o serviço.

3.2.3 Elaboração do projeto

O controle antigo da máquina era CNC e foi trocado por um CLP em conjunto com uma IHM. Os produtos produzidos pela máquina, em geral tem uma tolerância de medida muito pequena e isto foi garantido com o uso de servomotores e encoders. Os principais parâmetros da máquina são:

- Tensão de alimentação trifásica 380V-60Hz.
- Tensão circuito auxiliar de comando das eletroválvulas 110V-60Hz.
- Potência máxima instalada 15kW.
- Tensão de trabalho do controlador lógico programável (CLP) 24Vcc.
- Tensão de trabalho da Interface homem maquina (IHM) 24Vcc.
- Grau de liberdade de 180° para o braço de dobra.
- Grau de liberdade de 360° para o braço de rotação.

3.2.4 Compra de materiais

Um dos motivos que levaram o cliente a executar o retrofit, foi justamente o preço e o tempo gasto.

O Quadro 4 mostra os serviços e equipamentos instalados e executados no retrofit

Quantidade	Serviços/Equipamentos	Valor
01	IHM 10" colorida resolução 64000 cores – touch screen TOP	
02	Servo motores 7.16 Nm – 2000 RPM com cabos 10 metros MITSUBISHI	
02	Drives para servo motores MITSUBISHI Cabos para servo motores	
03	Encoder	
02	Flanges para servos	
01	transmisor para válvula proporcional	
01	Controlador Mitsubishi para controle de eixos com I/Os digitais e analógicas.	
01	Painel elétrico novo	
01	Chave geral 63A	
01	Disjuntor trifásico 16A	
01	Disjuntor motor 3.2A	
02	Contator	
02	Disjunto monofásico	
01	Fonte 240/110Vac - 24Vcc 10A	
01	CLP Mitsubishi FX3G 60M	
02	Disjutor curva C 10A	
01	Modulo de Saídas analógicas FX2N 4DA	
16	Reles	

Quadro 4 - Orçamento para retrofit da dobradeira de tubos.

(continua)

-	Desenvolvimento do software Montagem do painel Instalação do painel na maquina Treinamento para os operadores Manual de operação da IHM Esquema elétrico em Eplan Cópia do software da IHM e do CLP Alteração do software se necessário sem custo período de 90 dias	
TOTAL		R\$ 65.890,00

Quadro 4 - Orçamento para retrofit da dobradeira de tubos.

Fonte: Autoria própria.

3.2.5 Implementação do projeto

O chassi do painel foi desmontado e trazido para a oficina. Através do esquema elétrico desenvolvido, foram montados os equipamentos novos e elaborados os primeiros testes visando garantir a montagem. Após esta etapa o painel foi transportado até o cliente e remontado na máquina como mostra a Figura 35. Além do painel, também foram inseridos servo-motores e encoders novos. Após a montagem e verificação desta, deu-se início a fase de elaboração do programa tanto CLP como o de interface.

O software basicamente analisa o programa selecionado pelo operador, o qual contém as informações de comprimento e angulações de cada dobra da peça e faz os cálculos necessários para comandar os servomotores. Ao fim de cada receita, a rotina de finalização é acionada serrando a peça e referenciando a máquina para o início do novo ciclo.

Além da função principal da máquina, ainda foi criado um algoritmo que converte programas CNC de outras dobradeiras em outro programa que será interpretado pelo CLP. Com isso a dobradeira retrofitada consegue executar as mesmas peças e não é preciso fazer um programa novo.

A Figura 36 apresenta a tela principal da máquina, a qual mostra parâmetros de trabalho como o comprimento e angulação atual, velocidade de avanço e dobra, contador de peças, acionamento do sistema hidráulico, botões para executar a referência e corte, entre outros. Enquanto a Figura 37 traz a tela de programação de

peças, na qual são programadas as características de cada dobra do produto. Ao término da elaboração do programa, as peças começaram a sair e os testes finais começaram a ser executados.

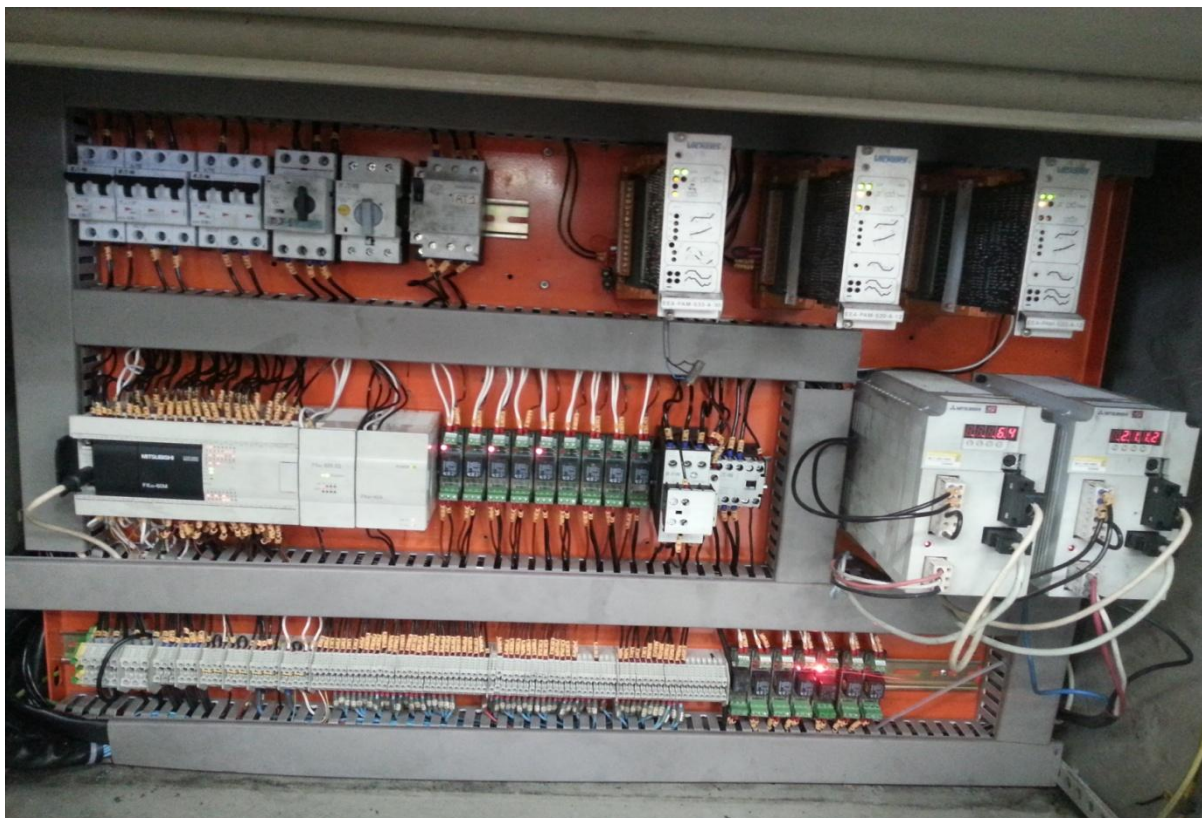


Figura 35 - Painel finalizado dobradeira de tubos.

Fonte: Autoria própria.



Figura 36 - Tela principal - Dobradeira de tubos.

Fonte: Autoria própria.



Figura 37 - Tela de receita - Dobradeira de tubos.

Fonte: Autoria própria.

3.2.6 Teste

A grande dificuldade encontrada neste projeto foi a sintonia do PID para o controle da dobra do tubo.

A princípio os parâmetros proporcional, integral e derivativo do PID foram definidos por exemplos citados no manual do CLP. Porém os resultados apresentados não foram satisfatórios e ajustes na sintonia foram feitos. Após muitos testes e estudos, foram encontrados valores satisfatórios para a produção das peças.

3.3 MÁQUINA 3 - DISPOSITIVO DE FRESAGEM

3.3.1 Visão geral

O dispositivo de fresagem foi produzido no início de 2012 por uma empresa nacional. Ele se baseia nos princípios de uma fresadora CNC.

Neste caso, o dispositivo é uma fresadora dedicada, ou seja, ela foi produzida para usinar determinados tipos de peças existindo para isso várias adaptações e dispositivos que auxiliam tanto na fixação do material bruto quanto no processamento deste.

A Figura 38 apresenta o dispositivo de fresagem CNC e seus eixos.



Figura 38 - Dispositivo de fresagem CNC e seus eixos. Eixo transversal (A), longitudinal (B), profundidade (C).

Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Avaliação inicial

Uma diferença interessante entre esta e as outras máquinas estudadas é que o dispositivo de fresagem não sofreu retrofit por tempo de uso, mas sim por vários erros de concepção no projeto os quais levaram uma máquina que foi desenvolvida em 2012 a executar seu retrofit no final do mesmo ano.

A concepção original da máquina previa o movimento dos eixos através de motores de passo. O fato é que a própria usinagem do material exerce uma série de forças sobre a máquina não se limitando somente ao eixo de corte. Por exemplo: ao executar um corte ao longo do eixo transversal, o eixo longitudinal também sofre algumas forças devido ao movimento de rotação da ferramenta. O motor de passo utilizado no projeto não conseguia absorver estas forças e sedia a elas. Com isso, apesar de o corte ser executado no eixo transversal, o eixo longitudinal também se movia alterando significativamente as medidas da peça.

O fabricante investiu num CLP de qualidade porém, tanto o motor como a placa CNC, não eram indicados para uma máquina deste porte. Diante destas circunstâncias, o gestor se viu obrigado a retrofitar o seu controle para não perder o investimento feito até então.

3.3.3 Elaboração do projeto

O objetivo do projeto era basicamente trocar todos os motores de passo por servo-motores e substituir o controle CNC por um CLP em conjunto com uma IHM. Por opção do cliente, foi utilizada uma marca de CLP e IHM desconhecida. Com isso era necessário estudar como fazer a programação com o novo software, como parametrizar os servos e como comunicar os equipamentos entre si.

3.3.4 Compra de materiais

Não foi necessário comprar muitos materiais pois foi possível utilizar muitos equipamentos da máquina, afinal, a mesma tinha menos de um ano de vida. Ao todo foram comprados três servo-motores, um CLP, uma IHM e outros componentes listados no Quadro 5.

Item	Qtde	Descrição do produto	Valor Total
01	03	Conjuntos de servo motor com drive e cabos 400W – 1.3Nm DELTA	
02	01	01 PLC para interpolação de eixos DELTA	
03	01	01 IHM 4" touch screen TOP	
04	06	Vibra stop	
05	-	Mao de obra mecânica	
06	-	Desenvolvimento do software Instalação elétrica Start up e testes finais Três dias de acompanhamento do técnico após os testes.	19.100,00

Quadro 5 - Orçamento para retrofit do Dispositivo de Fresagem.

Fonte: Autoria própria.

3.3.5 Implementação do projeto

Como este retrofit não era de grande porte, não foi necessário transportar o painel até a oficina para revitalizá-lo. Fisicamente o trabalho foi montar as flanges

que adaptariam os servomotores à máquina, montar os servomotores, montar a IHM e substituir os equipamentos necessários no painel. Ao fim das montagens deu-se início a fase de criação do software.

O programa funciona da seguinte forma:

1. As posições de cada furo presente na peça são configuradas via IHM seguindo o desenho do cliente (Figura 40).
2. O operador insere a peça posicionando-a corretamente em todos os dispositivos de fixação.
3. Após acionamento do botão "Start" inicia-se o ciclo de usinagem.
4. Ao término do processo, as ferramentas voltam para sua posição de repouso e o ciclo é terminado.

Caso o material usinado seja trabalhado logo após o término da etapa anterior o operador deverá escolher a opção "MATERIAL QUENTE" na IHM. Caso o material venha do estoque, a opção selecionada deverá ser "MATERIAL FRIO". A diferença entre os dois programas são alguns valores de posição que variam dependendo da temperatura do material. A Figura 39 mostra a tela de menu e a 40 a tela de programação dos furos.

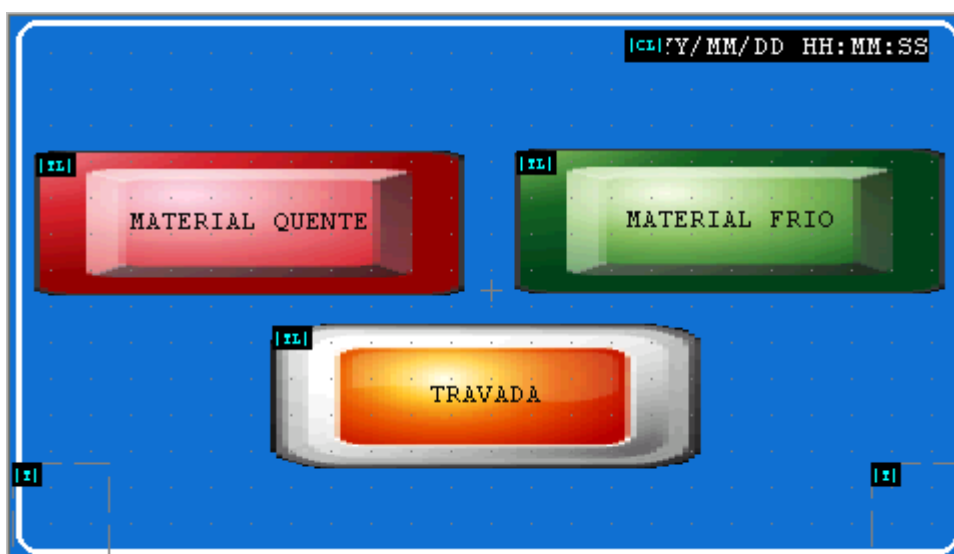


Figura 39 - Tela menu IHM - Dispositivo de fresagem.
Fonte: Autoria própria.

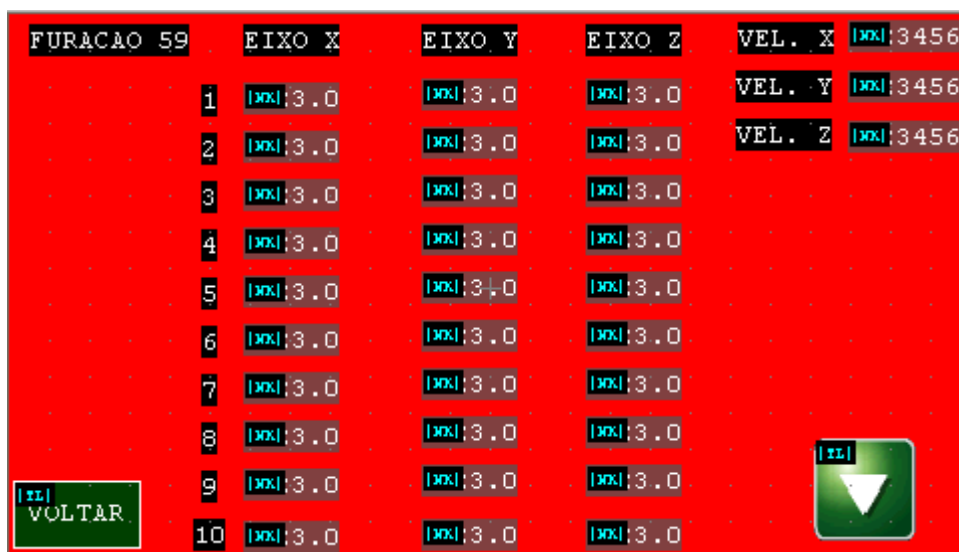


Figura 40 - Tela de programação IHM - Dispositivo de fresagem.
Fonte: Autoria própria.

3.3.6 Teste

Na fase de testes, o principal problema enfrentado era com relação a mecânica da máquina. Os mancais do eixo transversal e o eixo de profundidade estavam desalinhados, o que dificultava a usinagem e aumentava o esforço sobre os servomotores, causando de forma imprevisível o desarme do mesmo.

O uso de correia para transmissão, como os exemplificados na Figura 41, influenciavam na usinagem. Afinal, as correias usadas apresentavam uma certa elasticidade e vibravam quando a máquina fazia movimentos bruscos

O problema de vibração foi corrigido com uma redução na velocidade dos servomotores e a inserção de apoios anti vibração (Figura 42). Já para os problemas de alinhamento foram necessários um trabalho mais específico por parte da equipe de manutenção da empresa.

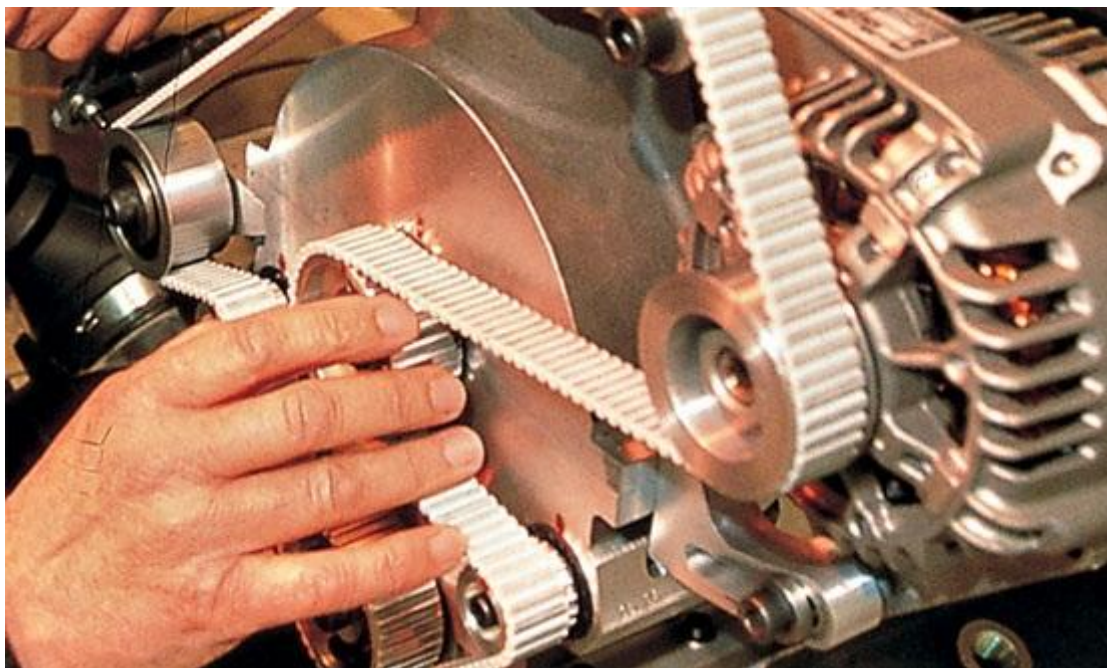


Figura 41 - Exemplo de transmissão por correias.
Fonte: Corbelt (2013).



Figura 42 - Exemplo de apoio anti vibração.
Fonte: Corbelt (2013).

4 CONCLUSÃO

Algo em comum em todos os retrofit's citados é a economia gerada. No caso da conformadora, foi constatado que o preço de uma máquina nova fabricada no Brasil varia entre R\$ 320.000,00 e R\$ 400.000,00. Já o custo de um *retrofit*, como visto anteriormente, girou em torno de R\$ 40.000,00.

Quanto à dobradeira de tubos, estima-se que o valor de uma nova gira em torno de R\$1.000.000,00. Então, o retrofit custou cerca de 6,5% deste valor. Este foi um projeto desafiador pois a máquina estava num estado de depreciação muito avançado. Os próprios mantenedores da fábrica onde o serviço foi executado não acreditavam no sucesso do projeto. O item mais importante conquistado com este trabalho foi a fidelização do cliente o qual continuou orçando e fechando projetos não somente de retrofit mas também de automações em geral.

O projeto do dispositivo de fresagem mostrou que algumas decisões são fundamentais no bom desempenho da máquina e que erros podem comprometer não só todo o trabalho feito, mas também a credibilidade da empresa. O fato de terem sido usados motores de passo no projeto original, provavelmente teve o objetivo de reduzir custos para ganhar o cliente. Porém não era o correto a se fazer. A empresa que desenvolveu a máquina ficou marcada como incompetente e provavelmente perdeu seu cliente para projetos futuros.

Além de todos estes pontos, existe ainda uma contribuição ao meio ambiente o qual deixa de receber mais sucata industrial, que em muitos casos são acompanhadas de materiais poluentes, e também a geração de trabalho e renda que por sua vez movimentam a economia e ajuda o país a crescer.

Desenvolver um *retrofit* não é um serviço fácil. Além de muito conhecimento científico e técnico, o projetista precisa ser dedicado e saber trabalhar sobre pressão. Afinal o ambiente industrial é muito agressivo. Prazos e metas dos clientes não podem ser atrapalhados e caso sejam ou exista o risco eminente, o projetista será cobrado não só pelo seu chefe mas também por vários níveis hierárquicos dentro da empresa onde o trabalho é executado.

É justamente por isso que um ensino de qualidade é tão importante. Saber o que está fazendo, ou caso não saiba, saber onde encontrar a resposta são

características intrínsecas do profissional e isso é conquistado através de muito estudo e dedicação que somente as melhores escolas proporcionam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. Disponível em:

<<http://forum.arduino.cc/index.php/topic,252903.0.html>>.

Acesso em: 14 jul. 2014.

AZINHEIRA, J.R. **Sensores e Actuadores.** Disponível em:

<http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2004_DavidGameiro_FilipeCarvalho/Sensores/sa_folhas.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2013.

BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de edificações:** estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 2004. 189 f. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BEMA, **Manual D' Istruzione e uso.** 1998.

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.** 1999.

CASILLO, Danielle. **Automação e controle - IHM.** Disponível em:

<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/166/arquivos/Automacao%20e%20Controle%202010_2/Automa%C3%A7%C3%A3o%20e%20Controle%20-%20IHM.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2013.

CIATECH. Disponível em: <<http://www.ciatech.net.br/fotos-conjuntos-subconjuntos-mecanica-cnc.html>>. Acesso em: 28 set. 2013.

CORREIA, Luiz. **Tópicos introdutórios sobre robôs móveis.** Disponível em:

< http://cienciaviva.di.fc.ul.pt/topicos_robos_moveis.pdf >.

Acesso em: 24 jul. 2013.

GEFRAN. Disponível em:

<[http://www.gefran.com/pt/br/product_categories/38-transdutores-lineares-de-deslocamento\(rc1\)/products/75-pz12-transdutor-de-deslocamento-linear](http://www.gefran.com/pt/br/product_categories/38-transdutores-lineares-de-deslocamento(rc1)/products/75-pz12-transdutor-de-deslocamento-linear)>. Acesso em: 07 de out. 2013

IMC Máquinas. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=OhgPkpGdQrE>>. Acesso em: 23 jul. 2013.

KALATEC AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Disponível em:
<<http://www.kalatec.com.br/index.php/produtos/acessorios/encoders.html>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

KEYENCE. Disponível em:
<http://www.keyence.com.br/products/sensors/fiberoptic/cz/cz_features_2.php>. Acesso em: 25 jul. 2013.

MECATRÔNICA ATUAL. Disponível em:
< <http://www.mecatronicaatual.com.br/artigos/1255-entenda-os-clps> >. Acesso em: 24 jul. 2013.

MENKAR. Disponível em:
<http://menkar.com.br/produtos_aut_ind_sensor_temperatura.htm>. Acesso em: 25 jul. 2013.

MONIZ - Metalúrgica usinagem e forja quente. Disponível em:
<<http://www.moniz.com.br/usinagem.php>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno.** 1997. Terceira edição.

PAL ELETRONICS. Disponível em:
<<http://palelectronic.com/products.php>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

PEREIRA, Sergio Luiz. **Controladores Lógicos programáveis.** Disponível em:
<http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/64593/mod_resource/content/1/apres_clp.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2013.

ROCHA, Joaquim. **Encoder e resolver.** Disponível em:
<http://pessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/arquivos/Acionamento_07_Encoder_e_Resolver.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2013.

SICK SENSOR INTELLIGENCE. Disponível em:
<http://www.sick.com/group/en/home/products/product_portfolio/encoders/pages/rotary_incremental.aspx >. Acesso em: 24 jul. 2013.

SICK SENSOR INTELLIGENCE. Disponível em
<http://www.sick.com/group/en/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/pages/inductive_proximity_sensors.aspx >. Acesso em: 24 jul. 2013.

SICK SENSOR INTELLIGENCE. Disponível em
<http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_portfolio/encoders/Pages/linear_noncontact_absolute.aspx>. Acesso em: 24 jul. 2013.

SITI - Sociedade de instalações termoeletrônicas industriais. Disponível em:
< http://www.siti.com.br/elementos_eletronicos_divceramica.htm >. Acesso em: 25 jul. 2013.

STEFFENS, César Augusto. **O que são sensores?**. Disponível em:
< <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/> >. Acesso em: 24 jul. 2013.

TAMBASCO, Virgínia F. M; QUELHAS, Osvaldo L. G. **O Desenvolvimento da metodologia e os processos de um "retrofit" arquitetônico.** Disponível em:
< <http://www.uff.br/sg/index.php/sg/article/viewFile/V7N3A13/V7N3A13> >. Acesso em: 25 jul. 2013.