

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

CLEVERSON PACHECO DE OLIVEIRA

**AUTOMAÇÃO DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE
CORTE**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2021

CLEVERSON PACHECO DE OLIVEIRA

AUTOMAÇÃO DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE

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. M. Sc. Omero Francisco Bertol

CURITIBA
2021



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

AUTOMAÇÃO DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE

por

CLEVERSON PACHECO DE OLIVEIRA

Esta monografia foi apresentada em 01 de Dezembro de 2021 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. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. Dr. Edenilson José da Silva
Membro titular

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

Dedico esse trabalho a todas as vítimas inocentes de guerras e conflitos pelo mundo, e para aqueles que acreditam que o conhecimento deve ser usado para o bem da humanidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas de curso que estiveram comigo todo o tempo em que estudamos e também aos meus colegas de profissão por toda a ajuda e conhecimento compartilhado até aqui.

Gostaria de agradecer a todos os meus familiares pelo apoio, compreensão e por acreditar em minha capacidade.

Sou grato aos meus professores e orientadores deste curso que compartilharam os seus conhecimentos conosco e tornaram possível o meu desenvolvimento profissional através deste curso.

Agradeço a esta Universidade por abrir espaço para este curso e disponibilizar os seus recursos e infraestrutura, para que nós pudéssemos ter a melhor experiência neste aprendizado.

Muito obrigado!

“A guerra é um lugar onde jovens que não se conhecem e não se odeiam se matam entre si, por decisão de velhos que se conhecem e se odeiam, mas não se matam.”

Erich Hartmann

RESUMO

OLIVEIRA, Cleverson Pacheco de. **Automação do Dispositivo de Medição de Força de Corte**. 2021. 35 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Esta monografia é sobre a automação de um dispositivo de ensaios mecânicos, que foi desenvolvido em um trabalho de conclusão de curso de graduação em engenharia mecânica pelo próprio autor, a proposta era desenvolver um dispositivo de baixo custo, mas com valores confiáveis de suas medições. Apesar de atingir o seu objetivo de forma satisfatória, foi encontrado alguns problemas devido a manipulação humana de alguns comandos do dispositivo, a solução então se encontra na automação deste dispositivo, no qual substituímos alguns de seus componentes por outros componentes eletrônicos, que são capazes de executar de forma autônoma todas as etapas dos ensaios que eram manipuladas manualmente por um usuário, isso garante a total eliminação do fator humano na obtenção das medições deste dispositivo. Todos esses componentes são ligados diretamente a um novo controlador mais robusto, com uma interface onde se pode acompanhar todas as etapas do ensaio e suas medições e comportamentos em tempo real, de forma clara e interativa ao usuário.

Palavras-chaves: Ensaios mecânicos. Automação. Controle.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Cleverson Pacheco de. **Cutting Force Measuring Device Automation**. 2021. 35 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

This monograph is about the mechanical testing device automation, which was developed in an end of graduation course of mechanical engineering by the author himself, the proposal was to develop a low cost device, but with reliable values of its measurements. Despite having a satisfactory result, some problems were found due to human manipulation of some device commands, the solution lies in the automation of this device, we may to replace some of its components for other electronic components, which are capable of autonomously perform all test steps that were manually manipulated by a user, this guarantees the total elimination of the human factor in obtaining measurements from this device. All these components are directly linked to a new, more robust controller, with an interface where all stages of the test and their measurements and behaviors may be monitored in real time, in a clear and interactive way for the user.

Keywords: Mechanical tests. Automation. Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estampo de corte	11
Figura 2 – Gráfico de tensão por deformação de polímeros	13
Figura 3 – Dispositivo de medição de força de corte.....	14
Figura 4 – Acionamento e reguladora de pressão.....	16
Figura 5 – LCD e teclado numérico.....	16
Figura 6 – Exemplo de malha de controle.....	18
Figura 7 – Controle proporcional.....	19
Figura 8 – Instruções para diagrama Ladder.....	20
Figura 9 – Exemplo de CLP	21
Figura 10 – Exemplo de tela IHM.....	22
Figura 11 – Sensor indutivo.....	23
Figura 12 – Transformador diferencial linear.....	24
Figura 13 – Transdutor de movimento linear.....	24
Figura 14 – Célula de carga	25
Figura 15 – Válvula proporcional reguladora de pressão	25
Figura 16 – Válvula de acionamento elétrico	26
Figura 17 – Circuito elétrico atual.....	28
Figura 18 – Arduíno X CLP	29
Figura 19 – LCD X IHM	29
Figura 20 – Reguladora de pressão convencional x proporcional.....	30
Figura 21 – Válvula direcional manual x solenoide	31
Figura 22 – Medição de espessura do corpo de prova	31
Figura 23 – Sensores indutivos.....	32
Figura 24 – Conexões dos novos componentes	33

LISTA DE SIGLAS

CA	Nível Alternado
CC	Nível Contínuo
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> (ou Controle Numérico Computadorizado)
IHM	Interface Homem-Máquina
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (ou Tela de Cristal Líquido)
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i> (ou Transdutor de Deslocamento Variável Linear)
PID	Controle Proporcional, Integral e Derivativo

LISTA DE SÍMBOLOS

A_c	Área de corte (secção resistiva de corte), em mm ²
D	Diâmetro do alojamento da matriz, em mm
F_c	Força de corte, em N
N	Newton (unidade de medida de força no SI)
P	Força constante, em N
P_k	Perímetro de corte, em mm
τ_{cis}	Tensão de cisalhamento do material, em Pascal

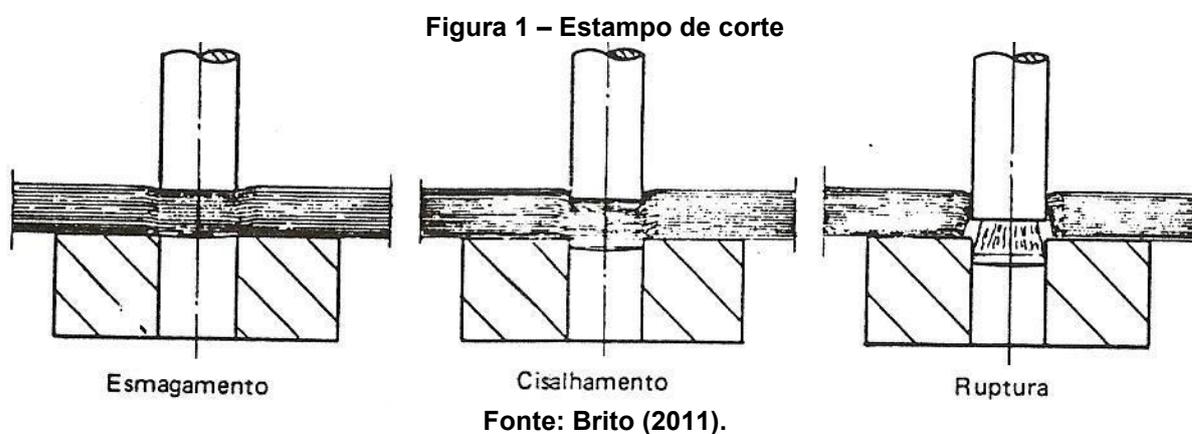
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 SOLUÇÕES PROPOSTAS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE	14
3.2 AUTOMAÇÃO	16
3.3 CONTROLE	17
3.3.1 Controle ON-OFF	18
3.3.2 Controle Proporcional.....	18
3.3.3 Controle Proporcional e Integral.....	19
3.3.4 Controle Proporcional e Derivativo	19
3.3.5 Controle Proporcional, Integral e Derivativo	19
3.4 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	20
3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP).....	20
3.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM).....	21
3.7 SENSORES	22
3.7.1 Sensores Indutivos	22
3.7.2 Transdutor de Posição	23
3.7.3 Célula de Carga	24
3.8 VÁLVULA PROPORCIONAL REGULADORA DE PRESSÃO	25
3.9 VÁLVULA DIRECIONAL COM ACIONAMENTO ELÉTRICO.....	26
4 AUTOMAÇÃO DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE.....	27
4.1 CONTROLADOR	28
4.2 TELA IHM.....	29
4.3 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO PROPORCIONAL	30
4.4 VÁLVULA DIRECIONAL SOLENOIDE	30
4.5 TRANSDUTOR E SENSOR DE POSIÇÃO.....	31
4.6 CONEXÕES DOS NOVOS COMPONENTES	32
5 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O dispositivo de medição de força de corte foi um trabalho de conclusão do curso de graduação Engenharia Mecânica realizado pelo próprio autor, com a colaboração de seu colega Guilherme Auerhahn Erhardt e sob a orientação do professor Tiago José Antoszczyszyn (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017). O trabalho foi desafiador, mas concluído com sucesso e o seu protótipo foi muito bem avaliado, atendendo as expectativas e ao seu propósito inicial com medições precisas e confiáveis, sendo um dispositivo de baixo custo comparado as máquinas de ensaios convencionais (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017).

O objetivo do referido Trabalho de Conclusão de Curso era construir um dispositivo que pudesse medir a força de corte necessária para estampar um furo em um corpo de prova em forma de chapa, como mostra a Figura 1, através de um processo chamado de estampagem, usando-se como ferramentas um punção e uma matriz.



Para este procedimento, era necessário que o operador do dispositivo medisse de forma manual a espessura da chapa do corpo de prova e inserisse manualmente os valores encontrados no controlador do dispositivo, através de um teclado numérico. Com o valor da espessura e com o valor constante da circunferência do punção é possível determinar a área do corpo de prova a ser cortada, e junto com a leitura da força do cilindro feito pela célula de carga, foi possível conhecer a tensão de cisalhamento dos materiais de cada ensaio (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017).

O protótipo atendeu as expectativas de forma satisfatória, com pequenas divergências de valores encontrados em diversos ensaios sobre o mesmo corpo de prova, a ocorrência dos valores divergentes pode ser dada por várias razões, dentre elas, pode-se citar o controle humano do aumento proporcional da pressão no cilindro pneumático e a própria medida manual da espessura do corpo de prova, como sabe-se, esses controles podem variar de pessoa para pessoa, sendo difícil estabelecer métodos de controles confiáveis sobre o fator humano (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017).

Apesar de ser um dispositivo de baixo custo e atender a sua demanda de forma satisfatória, há vários pontos passíveis de melhorias, os quais serão tratados neste Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização.

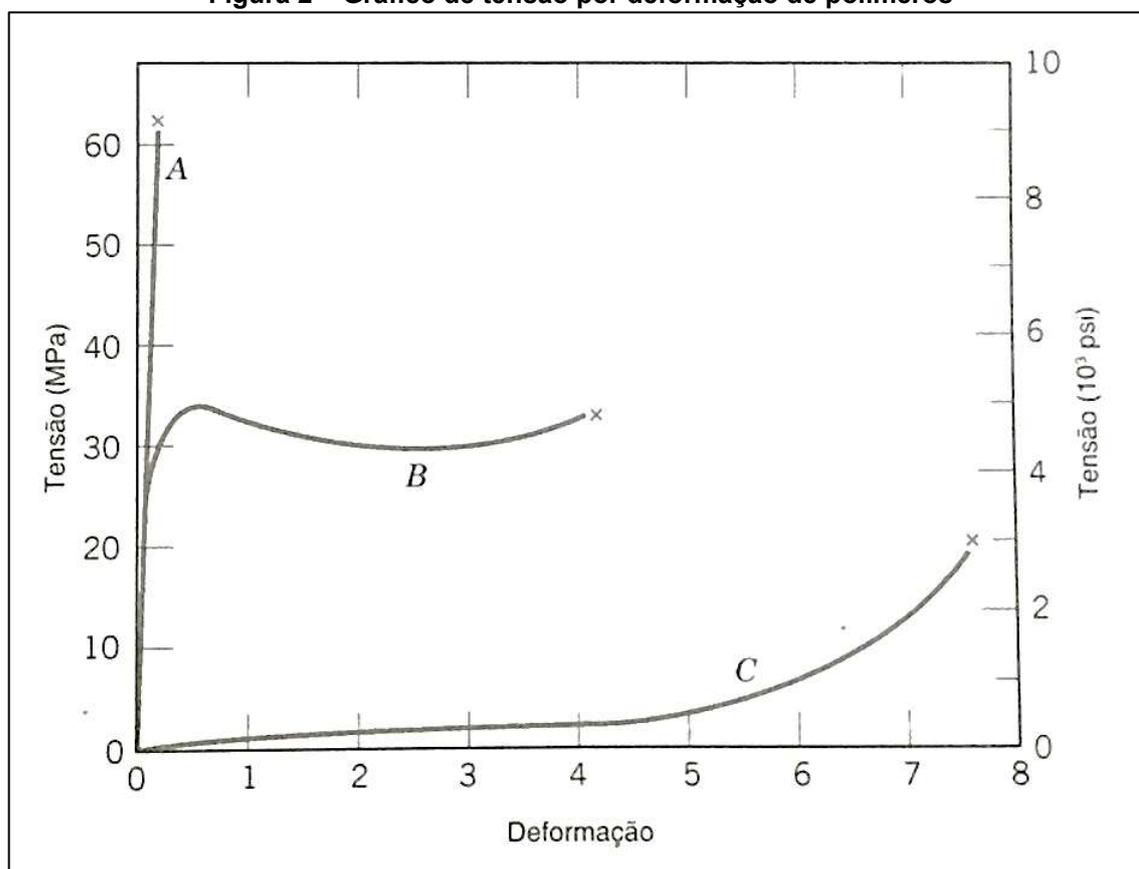
2 SOLUÇÕES PROPOSTAS

É necessário reduzir ou eliminar o fator humano na manipulação do dispositivo, para isso, a solução será automatizar o dispositivo usando elementos comuns na automação de indústrias como um controlador mais robusto e uso de sensores e controladores eletrônicos.

A medição eletrônica da espessura do corpo de prova eliminará possíveis erros de leitura ou digitação de quem irá medir, a medição direta no dispositivo elimina todo o processo de medição que antecede o ensaio do dispositivo.

O controle proporcional da vazão e pressão do cilindro pneumático também é possível, podendo ser determinados através de uma programação no controlador, que irá garantir uma uniformidade na progressão da força e do avanço do cilindro, este controle poderá fornecer dados em tempo real e mostrá-los em uma tela IHM, e isso torna possível visualizar, como exemplificado na Figura 2, um diagrama tensão por deformação de cada ensaio realizado.

Figura 2 – Gráfico de tensão por deformação de polímeros



Fonte: Callister Junior (2006).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE

O dispositivo de medição de força de corte (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017), apresentado na Figura 3, é um dispositivo de ensaios mecânicos para determinar a força de corte necessária para estampar um furo em um polímero e, conseqüentemente, medir a sua tensão de cisalhamento. O referido dispositivo é composto por válvulas e cilindro pneumático para exercer a força sobre o material a ser estampado, e entre o cilindro e o punção, existe uma célula de carga que mede com precisão a força total que o cilindro faz sobre o corpo de prova, obtendo-se a força necessária para estampar o material ensaiado (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017).

Figura 3 – Dispositivo de medição de força de corte



Fonte: Autoria própria.

O dispositivo, novamente apresentado na Figura 3, foi projetado para ensaiar amostras de materiais, portando, não haverá corpos de prova que seguem padrões em suas dimensões (OLIVEIRA; ERHARDT, 2017). Para que os resultados dos ensaios de um material fossem usuais para outros tipos de ferramentas e outros diâmetros de punção e matriz, foi preciso calcular a tensão de cisalhamento de cada material ensaiado, isso é possível começando pela Fórmula 01, onde:

$$A_c = \pi * D * e \quad (01)$$

De acordo novamente com a Fórmula 01, tem-se:

- A_c = Área do perímetro de corte (secção resistiva de corte)
- D = Diâmetro do punção
- e = Espessura do corpo de prova (Necessário medir manualmente)

E assim pode-se calcular a sua tensão de cisalhamento através da Fórmula 02, onde:

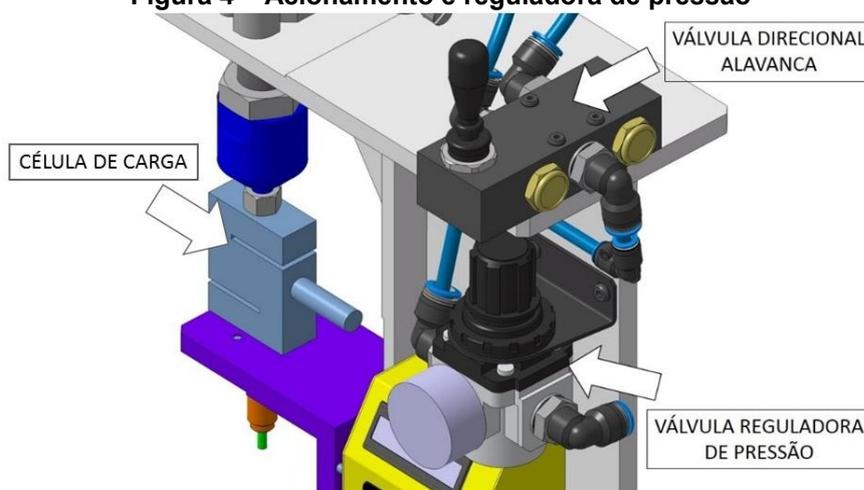
$$F_c = A_c * \tau_{cis} \quad (02)$$

De acordo novamente com a com a Fórmula 02, tem-se:

- F_c = Força de corte
- A_c = Área de corte
- τ_{cis} = Tensão de cisalhamento do material

Ao iniciar o ensaio com o dispositivo, apresentado na Figura 4, logo após inserir o valor da espessura do corpo de prova e acionar a válvula direcional para avançar o cilindro pneumático, uma célula de carga posicionada entre o punção e o cilindro é responsável pela leitura da força exercida na ferramenta de corte sobre o corpo de prova. Essa força inicia-se em 0 e é aumentada progressivamente através de um controle manual, item A na Figura 5, de uma válvula reguladora de pressão pneumática até o rompimento do corpo de prova, finalizando o procedimento de leitura da força de corte e mostrando em um *Liquid Crystal Display* (LCD, ou Tela de Cristal Líquido), item B na Figura 5, o valor exato da força de corte em Newtons (N) e a tensão de cisalhamento do material estampado em Megapascal (Mpa).

Figura 4 – Acionamento e reguladora de pressão



Fonte: Autoria própria.

Figura 5 – LCD e teclado numérico



Fonte: Autoria própria.

3.2 AUTOMAÇÃO

Automatizar uma máquina, ferramenta ou dispositivo significa torná-la autônoma, ou seja, fazer com que essa máquina opere as suas funções com a mínima ou nenhuma participação humana no processo. A automação significa substituir um trabalho humano por uma máquina (RIBEIRO, 2005), isso é possível através de controladores programáveis e de atuadores e sensores específicos para cada função ou movimento determinado, funções que podem ser realizadas melhor e mais rápida do que um humano poderia fazer, além de ter um custo menor, maior qualidade e repetição das tarefas.

Todo o processo automatizado dispõe de conjuntos simples e complexos de comunicação entre seus componentes. O uso de sistemas interligados e de supervisão possibilita ao operador, através de Interface Homem Máquina (IHM), monitorar e tomar ações corretivas de problemas que possam ocorrer durante o processo que não possam ser corrigidas pelo próprio sistema automatizado (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

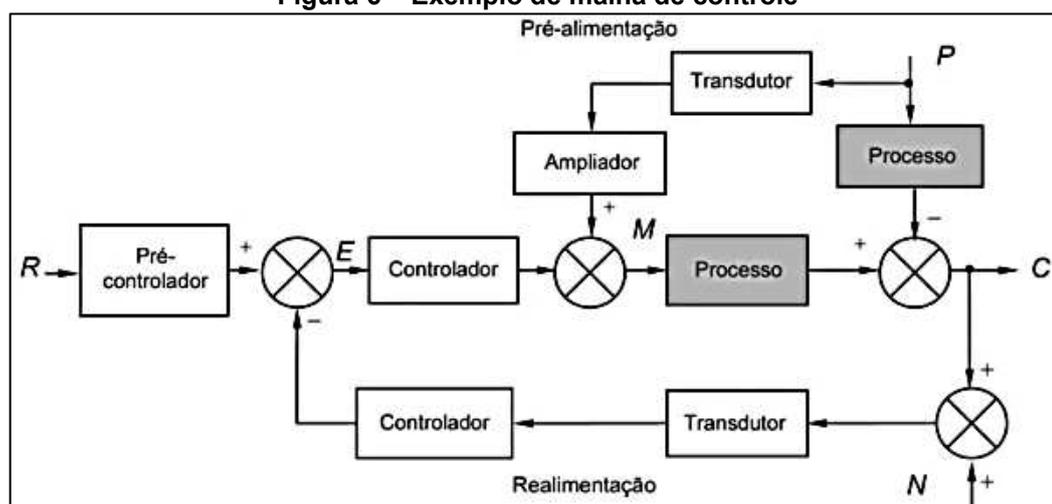
Segundo Moraes e Castrucci (2010), é comum pensar que a automação resulta tão somente do objetivo de reduzir custos de produção. Isso não é verdade: ela decorre mais de necessidades tais como maior nível de qualidade, expressa por especificações numéricas de tolerância, maior flexibilidade de modelos para o mercado, maior segurança pública e dos operários, menores perdas materiais e de energia, mais disponibilidade e qualidade da informação sobre o processo e melhor planejamento e controle da produção.

Controladores são como os cérebros das máquinas, onde eles controlam uma rotina pré-determinada, realizam cálculos e comandam as ações dos seus atuadores de acordo com a programação do seu software. Os controladores podem ser de diversos tipos como microcontroladores, Controladores Lógico Programáveis (CLP), CNC, ON-OFF, a escolha do melhor controlador pode ser feita através do tipo de controle necessário.

3.3 CONTROLE

O objetivo do controle é controlar o comportamento estático e dinâmico dos sistemas automatizados, tornando-os obedientes às programações, aos seus operadores e aos resultados finais esperados. O controle dinâmico de um sistema consiste em uma realimentação de informações dadas por variáveis controladas ou não, de sinais e erros e perturbações no sistema (MORAES; CASTRUCCI, 2010), essas informações são admitidas pelo controlador que faz todo o processamento delas, e determina o melhor sinal de controle a ser enviado para a correção das devidas variáveis controladas para garantir a saída final esperada. Todo o controle e realimentação destes processos é possível devido ao que chama-se de malha de controle, apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de malha de controle



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

3.3.1 Controle ON-OFF

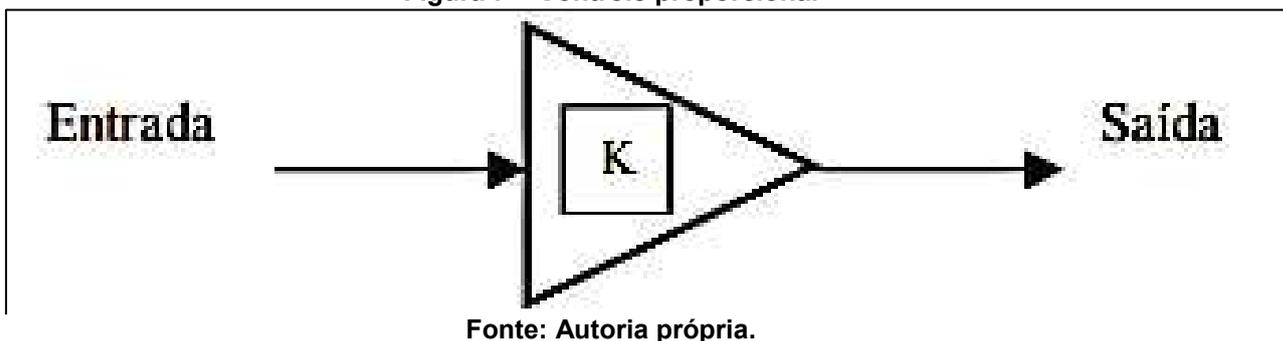
É a forma mais comum que tem-se e consiste em um circuito que compara o sinal de entrada com os sinais de referência, chamados de limite inferior e superior. No ato que o sinal de entrada fica menor que o limite inferior, acaba ativando a saída do controlador e o atuador é disparado com sua maior potência. Se o sinal de entrada fica maior que o limite superior, a saída é desligada e o atuador desligado. O que diferencia o limite superior e o inferior é chamada de histerese. Comumente, a histerese é adaptável de forma onde que o *set-point* fique entre o limite inferior e o superior. Sendo assim o sistema controlado fica oscilando de um valor máximo à um mínimo e não atinge nenhum valor específico.

Um grande benefício deste sistema é o fato de que é um sistema muito econômico em que como o atuador apenas liga e desliga em seus picos, ou seja, no seu limite.

3.3.2 Controle Proporcional

No controle proporcional, apresentado na Figura 7, a sua resposta ao sinal de saída é proporcional ao seu sinal de entrada, ou seja, quanto maior for a entrada, maior será a saída. Neste caso, o controlador multiplica o sinal de entrada n vezes e envia o sinal na saída, porém, existe um limite superior e inferior para este aumento do sinal de saída que é determinado pela capacidade do controlador, onde o sinal de saída não ultrapassa o limite máximo do controlador, e no caso do limite inferior igual a 0 significaria um atuador totalmente inoperante.

Figura 7 – Controle proporcional



3.3.3 Controle Proporcional e Integral

A maior função da ação integral é fazer com que o erro do controle proporcional seja 0, ou seja, o ganho no sinal de saída crescerá proporcionalmente ao sinal de entrada até estar próximo ao seu objetivo, assumindo o controle integral a partir deste ponto, zerando o erro. Entretanto, se o controle do ganho integral for aplicado isoladamente, a tendência é a piora da estabilidade relativa do sistema.

3.3.4 Controle Proporcional e Derivativo

O controle derivativo tem a mesma função do controle integral, que é zerar o erro do controle proporcional, mas o controle derivativo atua diretamente na variação do erro, corrigindo os erros que variam muito rapidamente.

3.3.5 Controle Proporcional, Integral e Derivativo

O Controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) explora todos os três tipos de controles e é o mais utilizado, pois podemos selecionar quais os controles nós queremos zerando os controles que não queremos. Usar os três controles é mais complicado, necessitando o ajuste de cada um dos ganhos até atingir o resultado esperado, tentar o ajuste de maneira aleatória não é o mais adequado, para isso, os valores aproximados dos ganhos são encontrados através de simulações, levando em conta todos os parâmetros envolvidos, necessitando de poucos ajustes nos valores encontrados.

3.4 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

As linguagens de programação se baseiam em uma linguagem formal na qual são utilizados símbolos, palavras-chaves, instruções, regras semânticas e sintáticas. Ela autoriza que seja criado comandos a partir de um conjunto de dados, algoritmos e ações seguidas. Esses comandos fazem a parte lógica de uma máquina, determinando as suas ações.

Sua função é permitir a comunicação do ser humano junto a máquina, dando-lhes vários comandos e instruções padrões, para que os computadores possam entender as ordens e executar as ações determinadas.

Há diversas linguagens de programação utilizadas em diversos softwares, com blocos de funções pré-estabelecidas que facilitam ao programador, a mais comum utilizada em CLPs é a linguagem de diagramas de contatos em Ladder, com as instruções mostradas na Figura 8.

Figura 8 – Instruções para diagrama Ladder

Instrução	Representação
Contato normalmente aberto — NA	- -
Contato normalmente fechado — NF	- / -
Bobina	-()-
Bobina inversa (acionada, desenergiza)	-(I)-
Bobina set	-(S)-
Bobina reset	-(R)-

Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são computadores projetados para o controle e monitoramento de processos produtivos e são itens fundamentais nas automações de indústrias, são mais robustos tanto em hardware quanto em software para se adaptar a diversos ambientes industriais, são aparelhos eletrônicos capazes de armazenar instruções e comandar ações específicas para o controle de tarefas e processos produtivos.

Surgiram na década de 60 como alternativa ao uso de relés (KALATEC, 2016) e hoje já evoluiu muito na sua capacidade de controle e programação, reprogramação e transferência de dados, inclusive on-line, permitindo o seu acesso e controle remoto para fins de informação e ações determinadas por um usuário a longas distâncias em tempo real.

Um CLP, apresentado na Figura 9, recebe as informações de entrada e de acordo com a sua lógica de programação, envia sinais que controla os dispositivos de saída controlando os processos através de atuadores. O CLP permite que todo o controle seja acionado e acompanhado por computadores pessoais, mas também permite o uso de algum dispositivo embarcado como as telas IHM.

Figura 9 – Exemplo de CLP



Fonte: Autoria própria.

Outra vantagem do CLP é a possibilidade de acrescentar módulos adicionais de diferentes funcionalidades, como módulo I/O, fontes de alimentação, memória, modulo wireless, entre outros.

3.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

Para solucionar a necessidade de interação humana com a máquina, criou-se a IHM, que é um componente fundamental na automação de uma máquina, a interface homem-máquina é um dispositivo composto por uma tela que mostra de forma objetiva, todas as informações necessárias para que o operador conduza e

monitore o funcionamento correto da máquina. Ela geralmente é usada em conjunto com o CLP e permite que os operadores dêem comandos ao CLP sem precisar fazer uma reprogramação, comandos como ligar/desligar, pausar, resetar, além de acompanhar as leituras de sensores como os de temperatura, carga, posição, e diversas outras.

As telas IHM, exemplificada na Figura 10, são bastante práticas e versáteis, podem ser telas sensíveis ao toque ou não, e podem armazenar as informações sobre o funcionamento da máquina para exibí-los ao usuário quando solicitado.

Figura 10 – Exemplo de tela IHM



Fonte: Autoria própria.

3.7 SENSORES

São dispositivos de detecção de variáveis físicas como temperatura, velocidade, posição, pressão, fluxo, cargas, etc., geralmente converte as informações detectadas em sinais elétricos a serem interpretados pelos controladores, portanto, são itens importantíssimos na automação de máquinas e dispositivos (MORAES; CASTRUCCI, 2010). Há diversos tipos diferentes de sensores que são usados para detectar diferentes variáveis, como os sensores óticos, ultrassônicos, fotoelétricos, capacitivos e indutivos.

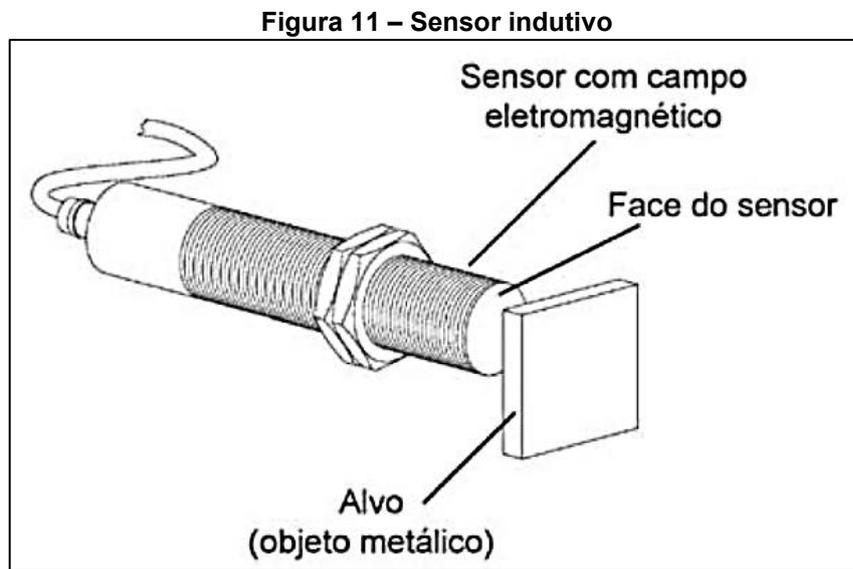
3.7.1 Sensores Indutivos

São responsáveis por detectar a presença de materiais metálicos a curta distância. São compostos por núcleo de Ferrite que é envolvido por uma bobina. Este núcleo cria um campo magnético que identifica quando algum material metálico está próximo. Quando o metal interage com este campo magnético ele acaba absorvendo grande parte da energia e pequenas corrente são induzidas.

Existem dois exemplos de sensores indutivos: a) os de tensão de saída em nível contínuo (CC); e b) os de tensão de saída em nível alternado (CA).

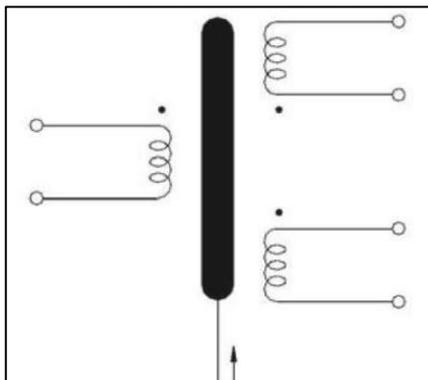
- **CC:** podem ser de dois, três ou quatro fios;
- **CA:** possuem apenas dois fios.

Estes sensores, exemplificados na Figura 11, serão utilizados para indicar a posição inicial e final do punção, o controlador receberá um sinal eletrônico dos sensores e prosseguirá com a sua programação de acordo com a comutação dos sensores.



3.7.2 Transdutor de Posição

Transdutores, apresentados na Figura 12, são responsáveis por transformar naturezas físicas como posição, velocidade, temperatura, pressão, em sinais elétricos. Os transdutores de posição medem o deslocamento linear ou angular de um determinado objeto, são constituídos de materiais resistivos que estão em contato com outro componente móvel, a posição deste componente gera uma tensão elétrica no sinal de saída, pode ser digital ou analógico, que varia proporcionalmente e linearmente com a posição deste componente móvel em relação ao componente resistivo fixo, convertendo esse sinal de saída em uma unidade de medida.

Figura 12 – Transformador diferencial linear

Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

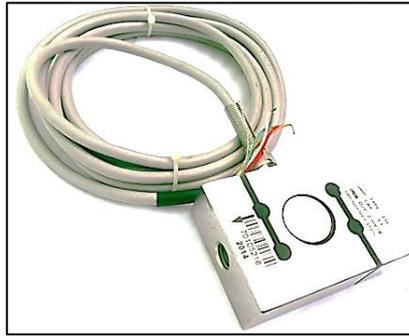
Transdutor de movimento linear, apresentados na Figura 13, também são chamados de Transdutor de Deslocamento Variável Linear (ou, *Linear Variable Differential Transformer - LVDT*) e podem ser usados para medir o deslocamento de um objeto em uma unidade de medida em milímetros (mm) (OMEGA, 2014).

Figura 13 – Transdutor de movimento linear

Fonte: Omega (2014).

3.7.3 Célula de Carga

As células de carga, apresentadas na Figura 14, são um outro tipo de transdutor, mas no caso delas, são convertidos os sinais de entrada gerados pela carga nos sensores de deformação, chamados de extensômetros, em sinais elétricos. Seu princípio de funcionamento é a ponte de Wheatstone, onde são usados quatro extensômetros, sendo 2 submetidos a tensão de tração e os outros 2 em tensão de compressão, estando em equilíbrio quando a corrente destes quatro sensores estão em 0, a tensão destes sensores se altera proporcionalmente a carga física aplicada sobre a célula de carga, gerando assim um sinal elétrico de saída a ser convertido em uma unidade de medida de peso ou força.

Figura 14 – Célula de carga

Fonte: Autoria própria.

3.8 VÁLVULA PROPORCIONAL REGULADORA DE PRESSÃO

Uma válvula reguladora de pressão convencional, apresentada na Figura 15, necessita de um controle manual através de uma manopla presente na própria válvula, o aumento da pressão na máquina ou equipamento é proporcional a abertura desta válvula. Em uma válvula de controle proporcional, um sinal elétrico emitido por um controle, normalmente analógico, é convertido em pressão de acordo com este sinal pela válvula proporcional, isso permite um variado controle de sua funcionalidade por um controlador eletrônico, como os seus limites mínimos e máximos, a correção imediata da variação de pressão do sistema, a velocidade de abertura ou fechamento da válvula e as informações de seu funcionamento em tempo real. As válvulas podem ser de circuito aberto ou fechado, as de circuito fechado possuem um sensor de pressão na saída da válvula, que possibilita a válvula o autoajuste e compensação da diferença de pressão requerido pelo controlador.

Figura 15 – Válvula proporcional reguladora de pressão

Fonte: Autoria própria.

3.9 VÁLVULA DIRECIONAL COM ACIONAMENTO ELÉTRICO

As válvulas direcionais de acionamento elétrico, apresentadas na Figura 16, também chamadas de válvulas solenoides, são bastante comuns na automação, são responsáveis por direcionar ou bloquear a passagem de fluidos pelos dutos do sistema, podendo direcionar para duas ou mais vias de acordo com a construção da válvula. Diferente das válvulas direcionais manuais, a direção do fluxo do fluido permitido pela válvula é controlado por uma ou mais bobinas elétricas que são acionadas eletricamente por um controlador eletrônico, este controlador envia os sinais de entrada para a válvula de acordo com a posição desejada de comutação da válvula. As válvulas direcionais elétricas podem ter o seu retorno por mola, permitindo apenas 2 posições de comutação, ou ser de duplo solenoide, que neste caso permite várias posições de comutação e mais vias para o desvio do fluxo do fluido.

Figura 16 – Válvula de acionamento elétrico



Fonte: Autoria própria.

4 AUTOMAÇÃO DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE

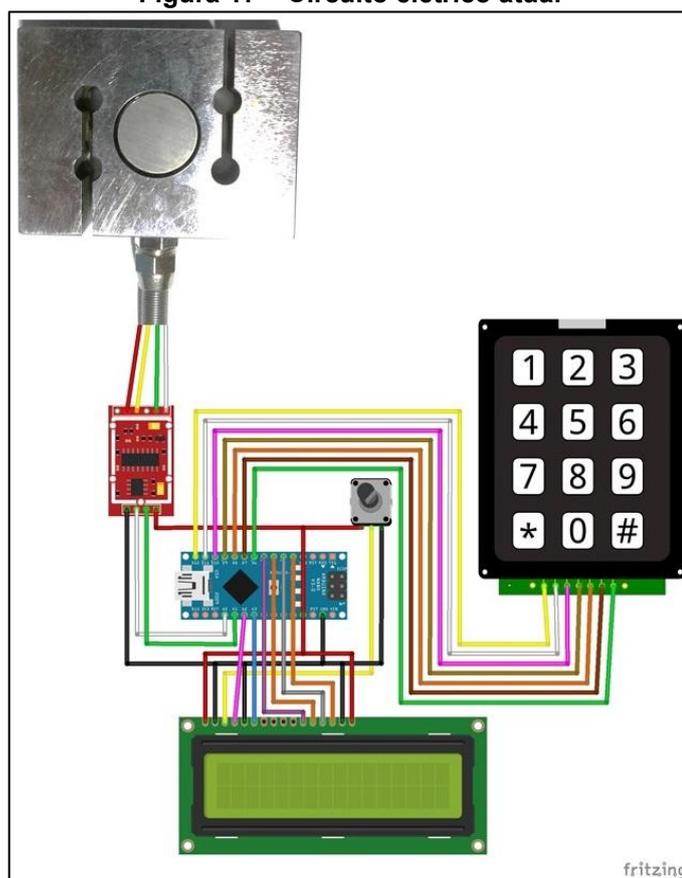
Como já citado na introdução, o dispositivo de medição de força de corte atualmente necessita de muita intervenção humana na sua operação, podendo provocar pequenas divergência ou até mesmo erros nos ensaios realizados. Para solucionarmos esses problemas, podemos automatizar este dispositivo usando componentes comuns da automação industrial, para isso, será necessário alterarmos alguns componentes convencionais ou mecânicos, por componentes eletrônicos que possam ser controlados por um controlador central, além de acrescentar outros componentes e sensores.

Primeiro, deve-se compreender como funciona o sistema eletrônico atual. O circuito elétrico é composto por um microcontrolador Arduino Nano responsável por todo o processamento dos dados de entrada inseridos através do teclado numérico conectado a ele, neste caso, o teclado é usado para inserir o valor da espessura do corpo de prova de modo que, o controlador tenha esse dado para realizar o cálculo da tensão cisalhante do material ensaiado, conforme mostrado anteriormente nas Fórmulas 01 e 02.

A tensão cisalhante do corpo de prova é desconhecida, porém, a área de corte do corpo de prova é conhecida e se torna uma constante com a inserção da sua espessura, e isso nos é garantido pela fórmula 01. De acordo com a formula 02, é necessário conhecermos a variável da força de corte para conseguirmos calcular corretamente a tensão cisalhante, essa variável é conhecida através da leitura da célula de carga presente entre a haste do cilindro pneumático e o cabeçote do punção. Com a coleta de todas as informações e leituras necessárias, o resultado do ensaio é mostrado em um display LCD 16x2.

Todo este circuito elétrico, apresentado na Figura 17, é responsável pela leitura e o processamento dos dados obtidos seja manualmente, ou pela leitura da célula de carga, mas não tem nenhum controle sobre o funcionamento do dispositivo, por exemplo, o avanço e o recuo do cilindro é feito através de uma válvula direcional alavanca acionada manualmente pelo operador, e a válvula reguladora de pressão é controlada manualmente pelo operador, girando uma manopla da válvula e aumentando progressivamente a pressão do cilindro e conseqüentemente, a carga sobre o corpo de prova.

Figura 17 – Circuito elétrico atual



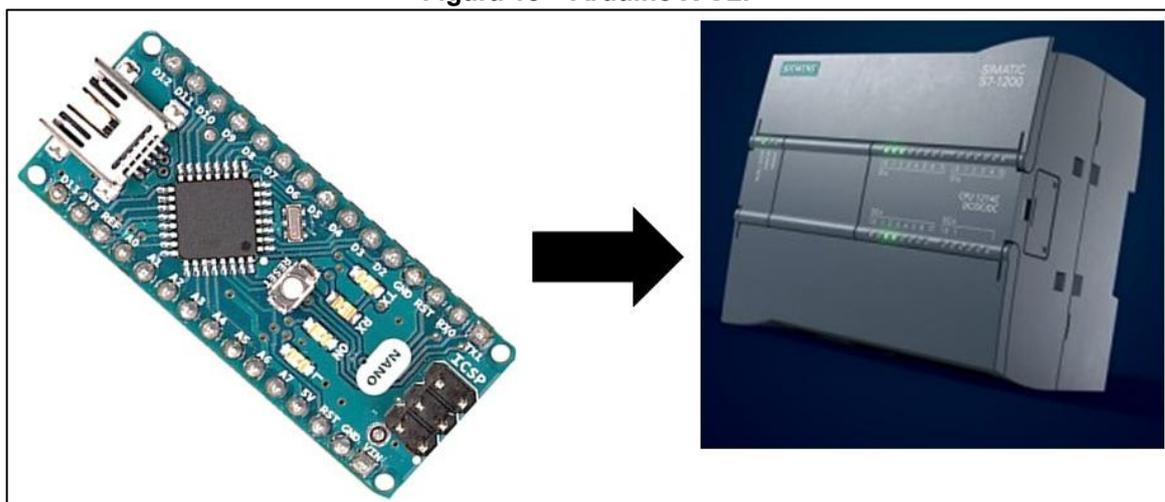
Fonte: Autoria própria.

No atual sistema, as entradas e saídas do microcontrolador já estão saturadas, não havendo mais possibilidades de adicionarmos outros componentes ao dispositivo, outro ponto, o Arduino Nano trabalha em uma baixa voltagem de 12V, portanto, sendo incompatível com outros componentes que iremos adicionar no novo sistema automatizado.

4.1 CONTROLADOR

Para automatizar esse dispositivo, começaremos pela escolha de um novo controlador mais robusto e mais usual na automação, substituindo o microcontrolador Arduino Nano por um CLP, apresentados na Figura 18, esta troca também eliminará outros componentes do atual dispositivo como a fonte de alimentação, já que alguns dos CLPs já tem uma fonte integrada ou possui módulo adicional específico para esta função.

Figura 18 – Arduino X CLP



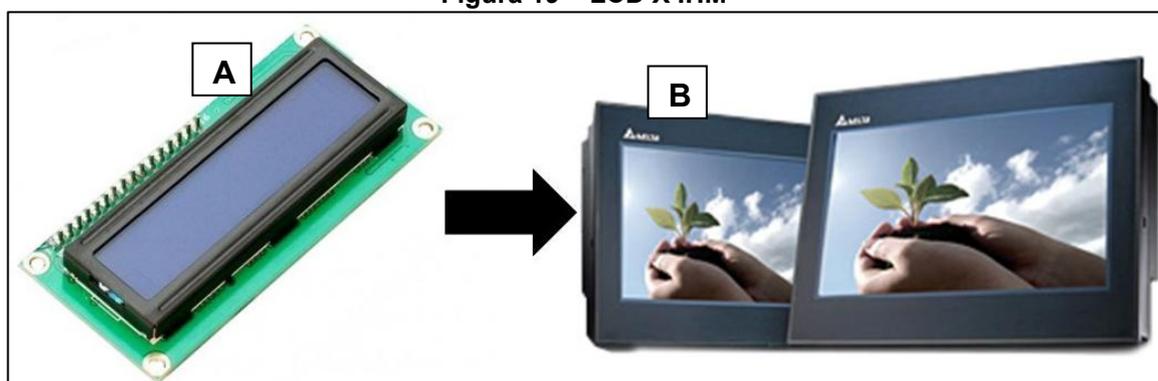
Fonte: Autoria própria.

4.2 TELA IHM

Como mencionado anteriormente, as telas IHM (item B na Figura 19) são muito usadas em conjunto com os CLPs, além de conseguir mostra uma ilimitada quantidade de informações que são impossíveis de ser mostradas em um display LCD 16x2 (item A na Figura 19), através delas podemos usar os comandos que hoje usamos manualmente como ligar e desligar, iniciar o ensaio e acompanhar em tempo real todas as informações dos ensaios, além de ser possível nos mostrar em sua tela gráficos de tensão x deformação do material ensaiado.

As telas IHM podem ser facilmente configuradas e desenhadas conforme a necessidade das máquinas e dos usuários, são bastante versáteis e permitem uma infinidade de layout e design em suas telas.

Figura 19 – LCD X IHM

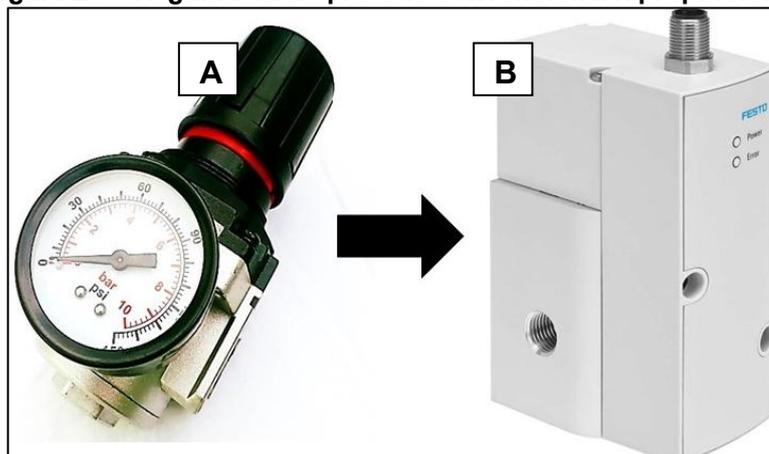


Fonte: Autoria própria.

4.3 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO PROPORCIONAL

Substituir a válvula reguladora de pressão convencional (item A na Figura 20) por uma válvula reguladora de pressão proporcional (item B na Figura 20), é um item fundamental desta automação, já que eliminaremos o trabalho manual do operador do controle progressivo da pressão, a válvula proporcional terá um controle mais preciso da pressão e do tempo de abertura da válvula, outra diferença é a ausência de um manômetro no corpo da válvula para mostrar a pressão medida no sistema, porém, como há sensores de pressão eletrônicos na saída das válvulas proporcionais, essa leitura poderá ser mostrada diretamente no painel IHM e também, ser controlada diretamente pelo usuário pela mesma.

Figura 20 – Reguladora de pressão convencional x proporcional

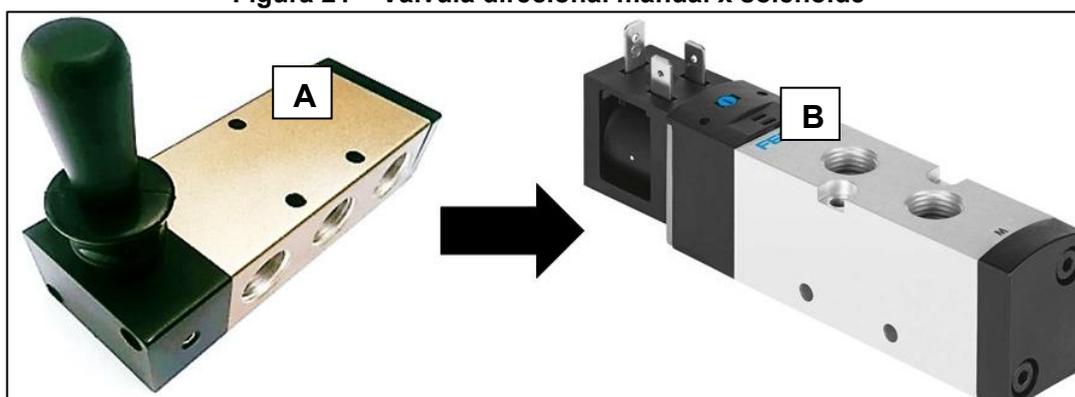


Fonte: Autoria própria.

4.4 VÁLVULA DIRECIONAL SOLENOIDE

A válvula direcional (item A na Figura 21) é responsável pelo avanço e recuo do cilindro pneumático, atualmente está sendo usado uma válvula com acionamento manual por alavanca, este dispositivo desvia o fluxo do fluido que vem da válvula reguladora de pressão para alguma das entradas de cilindro, fazendo o cilindro avançar ou recuar de acordo com a entrada selecionada, é possível automatizar esse procedimento substituindo essa válvula manual por uma outra válvula solenoide (item B na Figura 21), que é uma válvula acionada eletricamente através de uma tensão enviada pelo controlador para uma bobina que fará a comutação desta válvula.

Figura 21 – Válvula direcional manual x solenoide

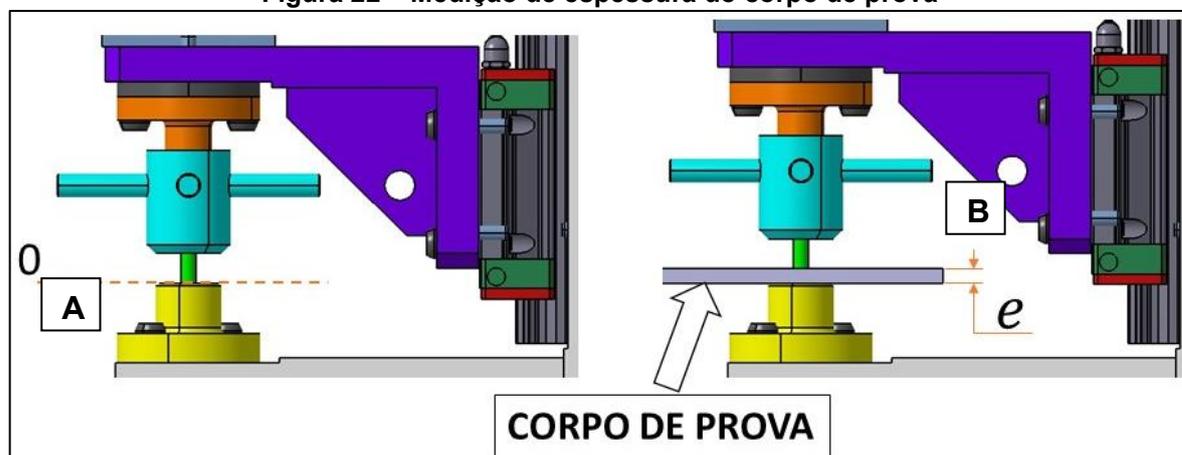


Fonte: Autoria própria.

4.5 TRANSDUTOR E SENSOR DE POSIÇÃO

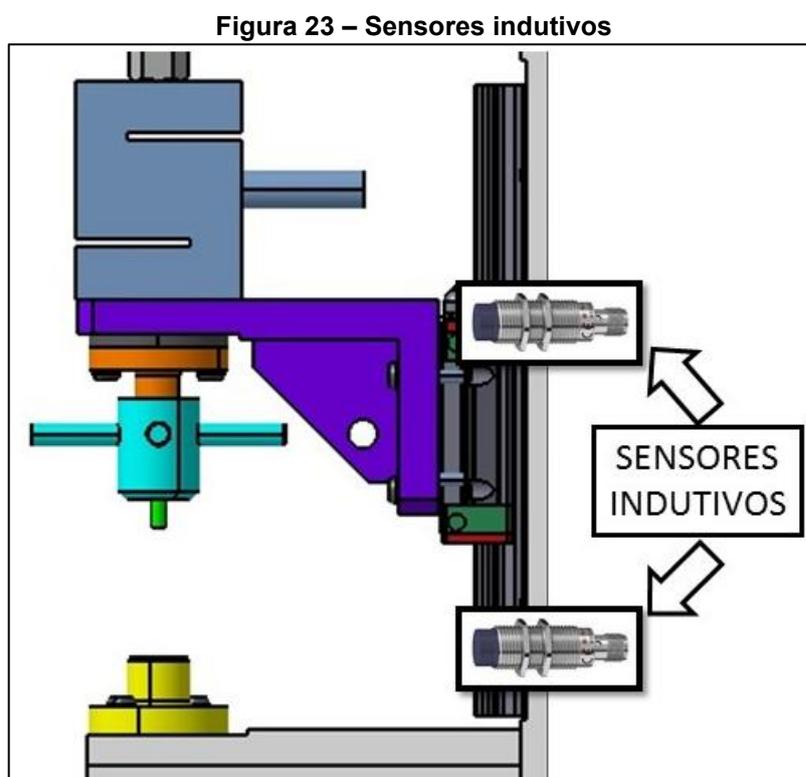
Para eliminar a necessidade de uma medição prévia e manual da espessura do corpo de prova, pode-se acrescentar um transdutor de posição que seja capaz de medir o deslocamento linear vertical de todo o conjunto móvel do dispositivo, usando como referência a face plana horizontal do punção. Para este caso, pode-se usar a face plana horizontal da matriz como o ponto inicial da medição, onde estando as duas faces planas horizontais do punção e da matriz no mesmo plano, seja considerado como o ponto 0 mm (item A na Figura 22). Desta forma, um material a ser ensaiado que esteja entre o punção e a matriz e em contato com os mesmos, tenha o deslocamento do punção medido e conseqüentemente, medindo a própria espessura do corpo de prova, alimentando de forma autônoma a variável e (item B na Figura 22) que compõe a Fórmula 01, anteriormente apresentada.

Figura 22 – Medição de espessura do corpo de prova



Fonte: Autoria própria.

Para haver mais segurança das informações corretas a serem enviadas para o controlador, é aconselhável utilizarmos mais 2 sensores indutivos, apresentados na Figura 23, para detectar a posição mais avançada e mais recuado do cilindro, a ausência destes sensores não impede o controlador de manipular o cilindro tanto pra avançar quanto para recuar, porém, a redundância da informação da posição do cilindro é muito utilizada na automação, pois garante uma maior segurança para o funcionamento do dispositivo.

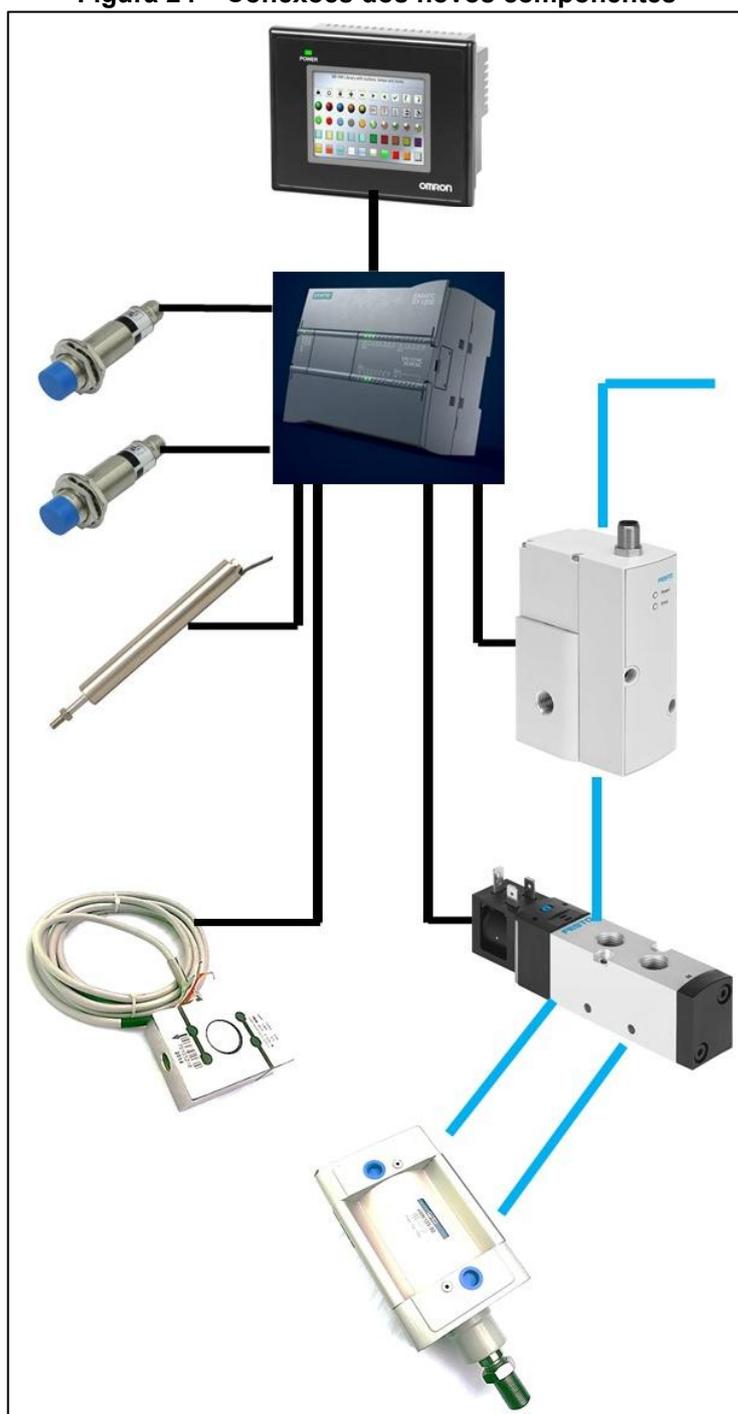


Fonte: Autoria própria.

4.6 CONEXÕES DOS NOVOS COMPONENTES

Ligar todos esses componentes ao CLP não é uma tarefa simples, é necessário a utilização de outros dispositivos complementares como disjuntores, relês, bornes, conectores, entre outros. Essa é uma tarefa a ser feita com todo o cuidado pois a falta ou a ligação errada de algum componente pode danificar os demais equipamentos, sendo preciso de desenhos com todo o circuito elétrico bem detalhado, porém, a Figura 24 mostra de forma simplificada como cada um dos componentes se conecta uns aos outros e ao CLP, mostrando em linhas pretas as conexões elétricas e em linhas azuis as conexões pneumáticas.

Figura 24 – Conexões dos novos componentes



Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÕES

Com este estudo, fica evidente a evolução de um trabalho realizado anteriormente, o conhecimento adquirido durante o curso foi fundamental para que fosse possível encontrar métodos para propor a melhoria do protótipo, apesar de não ser colocado em prática até o momento por diversas razões, todo o estudo envolvido neste trabalho serviu ampliar a visão sobre a automação industrial, e como pode-se usá-la para melhorar as tarefas, ou delegá-las a uma máquina.

Estudar como pode-se substituir uma tarefa manual por um processo autônomo é empolgante, muitas vezes não encontra-se um equipamento que seja projetado exatamente para aquela função que se deseja automatizar, levando a usar a reatividade para adaptar equipamentos, ou conjunto de equipamentos existentes, para obter como resultado a automação da tarefa desejada, muitas vezes, isso requer estudos mais aprofundados e busca por dispositivos compatíveis para a função, além de encontrar maneiras de comunicar corretamente ao controlador o funcionamento desejado dos dispositivos, e também, os comandos corretos que o controlador deverá manda aos atuadores.

A automação veio para facilitar a nossa vida, e para melhorar a qualidade e produtividade de nossas tarefas, a automação do dispositivo de medição de força de corpo comprova essa afirmação.

REFERÊNCIAS

BRITO, Osmar de. **Técnicas e Aplicações dos Estampos de Corte**. São Paulo: Hemus, 1981.

CALLISTER JUNIOR, William D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma abordagem integrada**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

KALATEC. **CLP Delta**. Copyright© Grupo Kalatec, publicado em: 30 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/clp-delta/>>. Acesso: 20 fev. 2022.

MORAES, Cícero C. de; CASTRUCCI, Plínio Benedicto de L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

OLIVEIRA, Cleverson P. de; ERHARDT, Guilherme A. **Dispositivo de Medição de Força de Corte**. Trabalho de Conclusão de Curso. Orientador: Tiago José Antoszczyszyn. Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba/PR, 2017.

OMEGA. **Células de Carga: Saiba mais sobre Células de Carga e Tipos**. Copyright© OMEGA Engineering inc, publicado em: 2 abr. 2014. Disponível em: <br.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>. Acesso em: 15 abr. 2017.

RIBEIRO, Marco A. **Automação**. 5. ed. Salvador, 2005.