

Projeto de automação de uma máquina de tampografia

Jakson Guilherme Graef¹, Rafael Corrêa²

TCC1 - Curso de Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha
Farroupilha, Brasil

Discente¹, Orientador²

jaksongg@hotmail.com¹, rafael.correa@farroupilha.ifrs.edu.br²

Resumo — Este artigo corresponde ao Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFRS – Campus Farroupilha e tem como objetivo apresentar o detalhamento do dimensionamento de uma máquina de tampografia automatizada. A tampografia é um processo de impressão por transferência indireta de tinta, a partir de um molde de impressão de baixo relevo, que contém gravado o texto ou imagem que será impressa, com o auxílio de um tampão de silicone. A automação visa melhorar o desempenho dos processos, eliminando tempos improdutivos e perdas e aumentando a padronização e qualidade. O projeto foi desenvolvido na empresa Máquinas Sazi. Este projeto contempla apenas o processo de tampografia, sem adentrar nos quesitos de segurança e abastecimento do equipamento. Para a automação da máquina de tampografia foram utilizados os seguintes componentes: Controladores Lógicos Programáveis, sensores (indutivo, transdutor de pressão e magnético) e atuadores (motor de passo e cilindro pneumático). Para o dimensionamento dos cilindros, motores e componentes elétricos da máquina, foram utilizados os critérios mecânicos e físicos (força, pressão, simplicidade, usabilidade), além de econômicos (preço dos componentes e custo benefício). O projeto mecânico foi elaborado em software de CAD 3D SolidWorks. O conjunto mecânico foi modelado e simulado no software, tendo apresentado os resultados esperados (o curso mecânico dos conjuntos não apresentou colisões e a interferência entre as peças ficou de acordo com o projetado). O conjunto mecânico foi montado e, em seguida, foi elaborada a lógica de programação e o esquema elétrico, integrando-se o painel de controle ao projeto mecânico. Os testes realizados demonstraram que a máquina funciona de forma satisfatória. Observou-se uma melhoria do processo produtivo, com o aumento da produção em cerca de 30%, maior qualidade e padronização das peças tampografadas e diminuição dos desperdícios e refugos, portanto, atingindo o objetivo traçado.

Palavras-chave: *Automação. Projeto Elétrico. Projeto Mecânico. Tampografia.*

I. INTRODUÇÃO

A tampografia é um processo de impressão por transferência indireta de tinta a partir de um molde de impressão (clichê) de baixo relevo que contém gravado o texto ou imagem a ser impressa com o auxílio de um tampão de silicone. Um exemplo desse processo pode ser visualizado no vídeo divulgado pela empresa Overandback¹ no Youtube.

Por oferecer maior definição e precisão em traços de linhas finas, tal processo permite imprimir em superfícies irregulares, côncavas, convexas, com desnível, em alto ou baixo relevo, de qualquer tamanho, formato ou material.

As aplicações típicas incluem aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, vidrarias, produtos da indústria automível, brinquedos, entre outros. É utilizada para decorar e personalizar uma ampla variedade de materiais como: plástico, borracha, vidro, superfície pintada, madeira, tecido, papel, alumínio, entre outros (COELHO, 2016).

Por tratar-se de um processo de impressão muito antigo, diversas empresas ainda utilizam em suas produções máquinas de tampografia com processos lentos ou manuais, que fazem com que se perca muito tempo em limpeza e configuração, dependendo, durante todo o processo, de mão de obra humana especializada.

Por outro lado, a crescente concorrência e o aumento da demanda produtiva no mercado têm levado as empresas a buscar constantemente inovações e melhorias em seus processos produtivos para manter-se competitivas em um mercado cada vez mais estratégico (DÁVILA, 2009). Isso faz com que a aplicação de processos automatizados em suas linhas de produção se torne um fator cada vez mais relevante.

Questões relacionadas à redução de custos, aumento de produtividade e qualidade dos produtos tornaram-se de suma importância para as empresas, o que leva ao questionamento de quais as mudanças que a automação pode trazer para um processo produtivo.

¹ OVERANDBACK. Pad Printing - 2 color | Overandback. Youtube, 19 jan. 2017. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=wuBREsrMzc8> >. Acesso em: 27/07/2021.

Em vista do exposto, a proposta desse trabalho é apresentar o desenvolvimento de um projeto de automação de uma máquina de tampografia empregada no processo produtivo de uma empresa do setor metalúrgico utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), sensores (indutivo, transdutor de pressão e magnético) e atuadores (motor de passo e cilindro pneumático). A implementação dessa automação visa suprir as necessidades da empresa, que busca aumentar a padronização e a qualidade final do produto e reduzir os desperdícios e o tempo de produção.

O presente projeto contemplará apenas o processo tampográfico, sem adentrar nos periféricos do equipamento. Portanto, não serão tratados aspectos, tais como os requisitos exigidos pela NR-12 do Ministério do Trabalho, referentes à segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Também não serão tratados aspectos específicos sobre a alimentação da máquina.

A organização deste trabalho dá-se da seguinte forma: na seção II é apresentada uma revisão bibliográfica; na seção III são apresentados os parâmetros do projeto e dimensionamento de componentes; na seção IV os fluxogramas dos processos são mostrados; os resultados obtidos são apresentados e discutidos na seção V e a conclusão é apresentada na seção VI.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de tampografia tem sua origem relacionada ao processo *Decalquier*, empregado pela indústria relojoeira Suíça, e que consistia na utilização de um tampão de gelatina para transferir tinta para a face do relógio. Mas, foi no final da década de 1960, após vários avanços tecnológicos, como a introdução de tampões de silicone, que o processo de tampografia passou a ser desenvolvido efetivamente (TECA-PRINT, 2016).

As primeiras máquinas de tampografia foram desenvolvidas de forma bastante simples, sendo equipadas com suportes horizontais e verticais, este último auxiliado por uma mola, que eram operados manualmente. Apesar da simplicidade, estas máquinas já permitiam um ajuste preciso de impressão com várias opções, semelhante ao que as máquinas modernas permitem (MICROPRINT, 2016).

A tampografia pode ser conceituada como um processo de impressão por transferência indireta de tinta, a partir de um molde de impressão de baixo relevo, denominado clichê, que contém gravado o texto ou imagem que será impressa, com o auxílio de um tampão de silicone. Segundo Pröll (2016), o processo de tampografia possui como grande vantagem o fato de a impressão poder ser feita em superfícies irregulares, com uma velocidade de impressão relativamente alta, além de apresentar uma relação custo/eficiência significativa.

A Figura 1 ilustra os principais processos envolvidos em uma máquina de tampografia.

Para Lee et al. (2009, apud SANTOS, 2012, p. 27), o ciclo de tampografia pode ser dividido em seis fases: primeiramente,

o tampão e o copo de tinta movem-se para o lado direito, o tampão move-se na direção da gravação do clichê, vindo da zona onde está suportado o substrato e por sua vez o copo de tinta sai do local da gravação removendo com uma lâmina a tinta deixada em excesso na zona de gravação. Esse processo pode ser visto na figura 1a.

Na segunda fase, o tampão desce e é pressionado na zona de gravação do clichê. Como resultado, o tampão sobe ficando com a tinta de impressão na sua superfície. Após, o tampão e o copo de tinta movem-se para a esquerda, o tampão fica sobre o substrato e o copo de tinta sobre a gravação do clichê. O tampão é pressionado ao substrato depositando a tinta na superfície do mesmo, por sua vez, o tinteiro deposita a tinta na gravação do clichê. (figura 1.b).

Por fim, o tampão sobe deixando a tinta que estava contida na sua superfície na superfície do substrato e retorna para pegar mais tinta e reiniciar o processo, como vemos na figura 1c.

A principal vantagem da tampografia quando comparada com outros métodos de impressão semelhantes está na possibilidade de impressão em vários tipos de superfícies irregulares, havendo ainda uma elevada gama de materiais conhecidos que podem ser tampografados.

Segundo Dixon Engineering & Sales Co. (2016, apud SANTOS, 2012, p.29), a tampografia é um processo que abrange diversos fatores que influenciam diretamente na qualidade dos produtos, tais como, o clichê, o tampão, variáveis operatórias da máquina, a tinta e o seu modo de preparação e o ambiente (temperatura e umidade, por exemplo), sendo que, uma pequena alteração em qualquer um destes fatores pode acarretar na má qualidade de impressão da peça. Isso faz com que o processo de tampografia exija grande experiência e compreensão relativa a todo o processo.

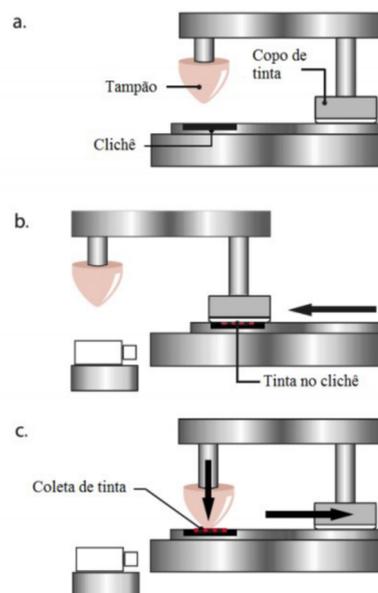


Figura 1 – Principais Processos de Tampografia.

Fonte: <https://artechpadprinting.com/pad-printing/>

Observa-se que, em um processo manual de tampografia, é necessário que o operador regule a posição do material, controle o tempo e a velocidade de cada operação e supervisione atentamente cada etapa da produção, o que faz com que o mínimo descuido possa gerar falhas no produto final.

Neste aspecto, segundo Vidal e Vilela (2003), nos processos manuais e/ou mecânicos, as máquinas são postas para auxiliar o homem, e dependem deste para serem operadas. Neste caso a “inteligência” do sistema está centrada no homem. Por outro lado, na automação, as máquinas possuem a capacidade de controle de suas operações, ou seja, a “inteligência” está centrada na própria máquina. Neste caso, o operador apenas supervisiona a ação dos sistemas automatizados.

Assim, a automação é a operação de uma máquina ou de um sistema automaticamente, com menor interferência do operador humano, tornando-a capaz de produzir bens com melhor qualidade e em maior quantidade, em menos tempo e com menos custo. Ou seja, a automação pode ser definida como qualquer sistema, baseado em computadores, que substitui o trabalho humano, em prol da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos produzidos, da agilidade da produção ou da redução de custos, para atingir os objetivos das indústrias e dos serviços (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

Para Capelli (2007), a automação tornou-se necessária à sobrevivência das empresas, sejam elas de qualquer segmento industrial, em mercados dinâmicos e flexíveis, onde o trabalho humano é cada vez mais raro e mal remunerado. Tendo em vista a necessidade de atender a demanda do mercado, a automação industrial vem trazendo grandes diferenças para os resultados de grandes e pequenas empresas. No mesmo sentido, Martins (2012) destaca que a automação possui um papel importante na sobrevivência das indústrias, pois garante a melhoria do processo produtivo e possibilita a competição frente ao mercado globalizado.

Embora não tenha sido possível encontrar literatura que trate especificamente do processo de automação de uma máquina de tampografia, diversos artigos relatam os benefícios da automação de máquinas ou processos fabris.

A pesquisa de Santos (2012), por exemplo, demonstrou que a automação de uma máquina de fabricação de transversinas em uma empresa de carrocerias, que até então operava de forma parcialmente manual, trouxe para a empresa maior segurança laboral, aumento da produção, maior precisão nos cortes e diminuição dos desperdícios.

Resultados semelhantes foram obtidos pela pesquisa de Campos (2012), que propôs a automação de uma máquina de fabricação de telhas de concreto. Os resultados obtidos foram maior segurança para os trabalhadores, aumento da produção e diminuição do custo produtivo, pois houve diminuição na perda de material.

Marafon et al (2018), em sua pesquisa, também demonstrou de forma satisfatória que o processo de automação de uma máquina de empacotamento de farinha acarretou em uma melhoria no processo produtivo da empresa, alcançando um aumento de 52,78% produção/hora e uma diminuição de 50% da mão de obra.

III. PARÂMETROS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES

Nesta seção será feita uma abordagem minuciosa dos métodos de realização do projeto de automação da máquina de tampografia. Serão especificadas as características técnicas dos sensores, bem como, serão definidos o controlador lógico programável (CLP) e os atuadores a serem utilizados no projeto. Também será feito o detalhamento do projeto e a programação do CLP e da interface homem-máquina (IHM).

O levantamento de algumas informações será de suma importância nesta etapa, como a produtividade, espaço físico da máquina, tipo do material a ser trabalhado, entre outros. Estas informações foram levantadas conversando com clientes e mesclando com as expectativas da direção da empresa, com a finalidade de se obter maior assertividade no desenvolvimento do equipamento.

A. Definição da produtividade

A produtividade foi estabelecida de acordo com a máxima produtividade de alguns clientes e ponderando com fatores oriundos do processo de tampografia, que possui limitações quanto a velocidade dos processos. Por exemplo, a velocidade de apanhar a tinta no clichê e a velocidade de transferência não podem ser muito elevadas, para não espalhar a tinta e criar aspectos de “teia de aranha”.

A tabela 1 demonstra a cronoanálise estimada para o processo de produção de peças, sendo que, para produção individual é em torno de 6000 peças por turno e, para produção contínua, em torno de 7700 peças por turno.

A produção individual consiste em um processo semiautomático onde, após o término da peça, a máquina pode ficar parada até que a próxima peça seja posicionada, não tendo limite de tempo.

Já na produção contínua, o equipamento irá realizar o ciclo repetidamente, conforme o lote programado. Em vista disso, o operador deverá acompanhar o ritmo e a velocidade de alimentação das peças no processo.

Estes dois modos serão implementados para garantir que uma das características físicas mais importante do sistema seja assegurada, isso porque, o tinteiro (que pode ser visto na figura 1a) não pode permanecer aberto por um período de tempo muito longo, caso contrário, a tinta que está dentro do clichê irá secar e não será possível realizar a sua transferência.

Cálculos de produção		
Operação	Tempo 1 ciclo	Tempo contínuo
Abrir clichê	0,6 s	0 s
Descer tampão	0,3 s	0,3 s
Pegar tinta	0,2 s	0,2 s
Subir tampão	0,2 s	0,2 s
Movimentar conjunto	0,8 s	0,8 s
Descer tampão	0,3 s	0,3 s
Transferência	0,2 s	0,2 s
Subir tampão	0,4 s	0,4 s
Movimentar conjunto	0,8 s	0,8 s
Troca peça	1,5 s	0,9 s
Total/peça	5,3 s	4,1 s
Peças/Dia (8,8 horas)	5977 peças	7727 peças

Tabela 1 - Cálculos de tempo de ciclo e produtividade

B. Atuador vertical

Junto com a definição da produção, foi definida a área máxima do platô (que pode ser visto na figura 1a), que é 10 cm x 5 cm, ou 50 cm². Esta área máxima é importante para a definição da força de prensagem.

O valor máximo da força de prensagem é estimado em 2,5 kg/cm². Com base nisso, pode-se calcular o diâmetro do atuador pneumático que realizará o processo de prensagem do tampão a partir da eq. (1). A tabela 2 mostra as variáveis consideradas no equacionamento.

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi P}} \quad (1)$$

Onde:

R é o raio do atuador pneumático;

F é a força do atuador pneumático;

P é a pressão do atuador pneumático.

Variáveis de projeto	Valor
F	125 kgf
P	7 bar

Tabela 2 - Variáveis para dimensionamento do atuador pneumático

O atuador será de dupla ação e necessitará ter um diâmetro de aproximadamente 4,8 cm, porém, como este valor não existe comercialmente, será utilizado um atuador com 5 cm e a pressão de trabalho será de 7 bar, que produzirá uma força de 137 kgf. Para o acionamento do atuador será utilizada uma válvula dupla solenoide centro fechado, com a finalidade de ter controle da posição durante a prensagem.

Esse atuador será preso no tampão por uma base com regulagem de posição. Junto a essa base serão fixados dois

guias que auxiliarão o cilindro a garantir a posição no momento da prensagem, como demonstrado na figura 2.

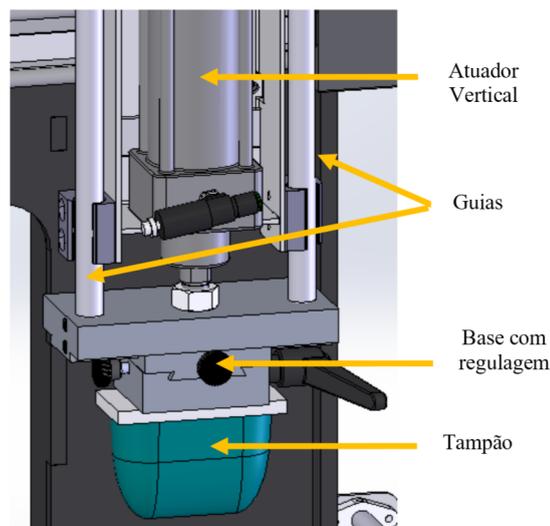


Figura 2 - Conjunto do tampão

Será utilizado um sensor magnético para a posição superior do cilindro. Já para a posição inferior o transdutor de pressão irá controlar a força realizada na peça e não a posição vertical do atuador.

C. Atuador Horizontal

Para o conjunto horizontal existiam duas opções de escolha de atuador para realizar o movimento, o pneumático ou o elétrico. No pneumático, seria um cilindro, sem haste, para fazer com que o movimento ficasse compacto. Ou, então, um atuador elétrico, podendo ser motor assíncrono, servo motor ou motor de passo.

Não foi optado pelo atuador pneumático, pois, embora seja um atuador com grande força, não oferece o controle de velocidade e nem de parada nas posições finais ou intermediárias, exigidas para este projeto.

Optou-se, portanto, por um atuador elétrico, sendo que, das opções acima referidas, foi escolhido o motor de passo. Isso porque, o controle de posicionamento de motores assíncronos não é uma tarefa fácil, nem viável do ponto de vista econômico, pois é necessário o uso de inversor, sensor e encoder. Por outro lado, o servo motor, embora atenda a todos os requisitos, é uma opção em que o custo do equipamento acaba tornando sua utilização mais onerosa.

Assim, o motor de passo tornou-se a opção mais viável para esse projeto, pois ele proporciona controle de parada, controle de aceleração, desaceleração e também um ajuste fino na posição. A única desvantagem encontrada foi que ele não possui *feedback* de posição, assim, para suprir essa demanda foi optado por realizar a referência da máquina a cada determinada quantidade de ciclos. Dessa forma, se o motor

acabar perdendo algum passo, não acarretará em problemas para a peça.

Foi utilizado no projeto o motor de passo NEMA 23, que tem 31 kgf.cm. Esse motor possui alto torque para baixas velocidades, o que é benéfico na medida em que não é necessário que se desenvolva alta velocidade para que ele entregue força.

Como o conjunto utilizado no projeto tem grande volume e massa, ele possui bastante tempo de inércia, o que dificulta para realizar a aceleração e desaceleração e também a frenagem do conjunto na posição. Daí a vantagem de se utilizar o motor de passo, pois ele proporciona controle de parada, controle de aceleração, desaceleração e frenagem, além de garantir a precisão necessária.

O conjunto de movimentação horizontal permitirá a prensagem em diferentes posições para melhorar e facilitar o *setup* do equipamento. Para isso, será instalado um mecanismo com guias lineares, correia sincronizadora e motor de passo. Esta solução foi desenvolvida junto com o fornecedor IGUS, que conta com um software para dimensionar o sistema completo.

A figura 3 demonstra como os dados são inseridos no software do fornecedor para que seja feita a simulação dos resultados.

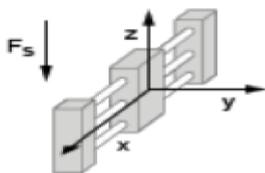


Suas informações

Mesa linear: sem motor
 Caso de aplicação: Lateral
 Carregar: até 4,5 kg
 Avanço: até 72 m/min
 Aceleração: até 5 m/s²
 Comprimento do curso: até 450 mm
 Temperatura: até 20 °C

Centro da massa:

- Sx: 0 mm
 - Sy: 76 mm
 - Sz: 0 mm



Resultados do cálculo

Taxa de alimentação máx.: 300 m/min
 Máx. rotação do fuso [U/min]: 4545 rpm
 Torque de acionamento máx.: 0,9 Nm

Figura 3 – Simulação dos Resultados

Como se observa na figura 3, no campo “suas informações” o software solicita que sejam preenchidos alguns requisitos do equipamento. Além disso, é preciso especificar se o conjunto está no centro de massa do sistema. Nesse caso, a carga estava deslocada 76 mm na direção y, devido ao peso do atuador linear, do cilindro pneumático e do tampão e seu suporte.

Após preenchidos os dados solicitados, foi realizada a simulação e, no campo “Resultado do Cálculo” (figura 3) foram apresentados os resultados, onde consta a velocidade de alimentação, a rotação em que o motor terá que rodar e o torque que será preciso para realizar o movimento.

A figura 4 representa um estudo de movimento do atuador horizontal. Nela podemos observar um gráfico com o deslocamento do conjunto e o tempo em que ele é realizado. Como se vê, temos 0,3 segundos para atingir a velocidade máxima e 0,3 segundos para atingir a velocidade mínima.

Eingabe Daten / input data		Errechnete Daten / calculated data	
Strecke distance	s 450 mm	Geschwindigkeit speed	v 1,500 m/s 90,0 m/min
Positionierzeit positioning time	t 0,60 s	Beschleunigung / Verzögerung acceleration / deceleration	a 5,000 m/s ²
Verhältnis Beschleunigungs- / Abbremszeit zu konstanter Geschwindigkeit ratio of acceleration / deceleration time to constant speed			1/2

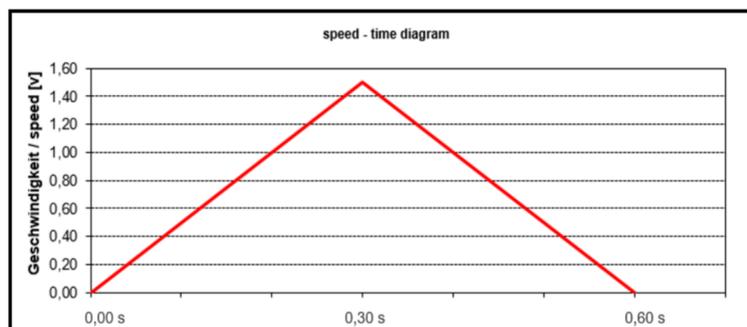


Figura 4 - Estudo de movimento do atuador horizontal

Devido ao baixo tempo de ciclo e como o momento de inércia do conjunto a ser movimentado é alto e as rampas de aceleração e desaceleração acabaram ficando longas, não foi possível ter um ponto de velocidade constante.

O curso horizontal do conjunto ficou em 450mm, dos quais os últimos 150mm são para a área de prensagem, onde o operador terá que programar a posição.

D. Atuador abertura do clichê

O conjunto que realiza a abertura do tinteiro contará com um atuador pneumático de dupla ação e uma válvula solenoide retorno mola, que se mantém fechado durante a maioria do tempo e abrirá no exato momento em que o tampão estiver pronto para descer e pegar a tinta, para evitar que a mesma seque e comprometa a qualidade da aplicação.

E. Definição dos Sensores

Levando em conta todos os dados e processos levantados, referentes ao funcionamento, e observando as questões de segurança, será necessário utilizar quatro modelos de sensores de diferentes tipos e funcionamentos. Os sensores utilizados no projeto foram os seguintes:

1. **Sensor magnético:** utilizado no atuador pneumático vertical e no atuador pneumático de abrir o tinteiro.
2. **Sensor indutivo:** utilizado na referência do conjunto horizontal que possui motor de passo e na posição da mesa quando está no local para realizar a operação.
3. **Sensor pressostato:** utilizado para controlar quanta força será exercida sobre o tampão de silicone contra a clichê para pegar tinta e contra a peça para realizar a transferência da tinta.
4. **Sensor de segurança:** será utilizado sensor de segurança categoria 4 na entrada da sola e botão de emergência.

F. Entradas e Saídas

Com a definição dos itens necessários para o funcionamento, foi possível definir as entradas e saídas para o controlador. Esta etapa é importante para dimensionar qual é a melhor solução em CLP e IHM, considerando o custo-benefício do conjunto instalado.

Para a entrada do pressostato será preciso utilizar uma expansão com entrada analógica. As tabelas 3 e 4, apresentam uma breve descrição das entradas e saídas do CLP, indicando o tipo utilizado (digital ou analógico).

Entrada	Descrição	Tipo
10	Botão e trava de emergência na posição	Digital
11	Sensor da mesa na posição de estampagem	Digital
12	Sensor de referência do conjunto horizontal	Digital
13	Sensor de abastecimento da tinta recuado	Digital
14	Sensor de abastecimento tinta avançado	Digital
15	Erro no drive do motor de passo	Digital
16	Botão de início de ciclo	Digital
17	Atuador vertical recuado	Digital
10+	Sensor de medição da pressão do ar	Analógico

Tabela 3 - Entrada do CLP

Saída	Descrição	Tipo
Q0	Motor de passo realiza o movimento horizontal	Digital
Q1	Sentido de rotação do motor de passo	Digital
Q2	Acionamento da válvula que recua o tampão	Digital
Q3	Acionamento da válvula que avança tampão	Digital
Q4	Aciona a válvula que abre o tinteiro	Digital
Q5	Aciona a válvula que fecha o tinteiro	Digital
Q6	“não utilizado”	

Tabela 4 - Saídas do CLP

G. Controlador e IHM

O controlador escolhido foi o da marca Schneider, modelo TM241. Para esta escolha foi levado em conta as variáveis que necessitam ser controladas bem como os periféricos incluídos no projeto, como a IHM, os sensores e o *drive* do motor de passo.

Para o sensor de pressão foi necessário utilizar uma unidade de expansão com entradas analógicas de 0-10V. Já para a IHM é necessário que possua comunicação *Modbus Serial* para transferência de dados com a mesma. E, para o motor de passo, são necessárias duas saídas, responsáveis pela comutação da frequência e número de pulsos para o controle do passo e a direção do motor.

A interface homem máquina utilizada é de 7 polegadas, nela teremos todas as informações de erros, alarmes, opções de regulagem, receitas e demais ajustes que podem ser realizados via software.

Na figura 5 podemos observar o conjunto da IHM, com os respectivos botões de liga e desliga e reset.

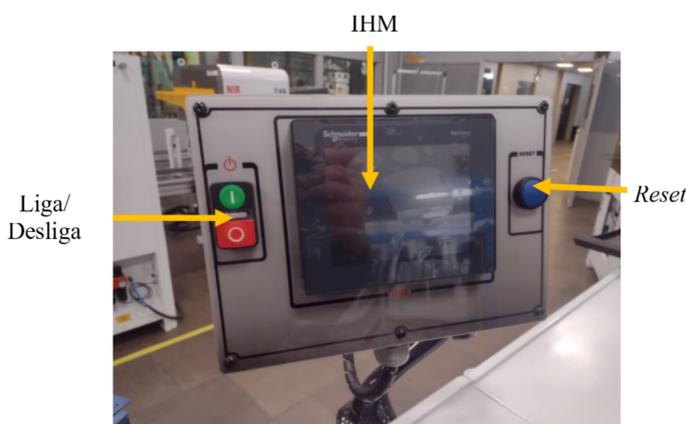


Figura 5- Conjunto da IHM

IV. FLUXOGRAMAS DOS PROCESSOS

Inicialmente, cabe ressaltar que, embora não tratado especificamente neste projeto, as questões de segurança da máquina, tais como, a botoceira de emergência e a chave magnética para monitoramento da proteção móvel frontal, bem como os demais requisitos de segurança exigidos pela NR-12 do Ministério do Trabalho, estão intertravadas em todos os processos demonstrados nos fluxogramas de programação IHM e CLP. Os fluxogramas apresentados também não contemplam as questões de abastecimento e giro da mesa, que são controlados pelo inversor de frequência e pelo CLP.

A. Fluxograma programação IHM

O fluxograma mostrado na Figura 6 representa as etapas a serem seguidas para realizar a operação e regulagem da máquina.

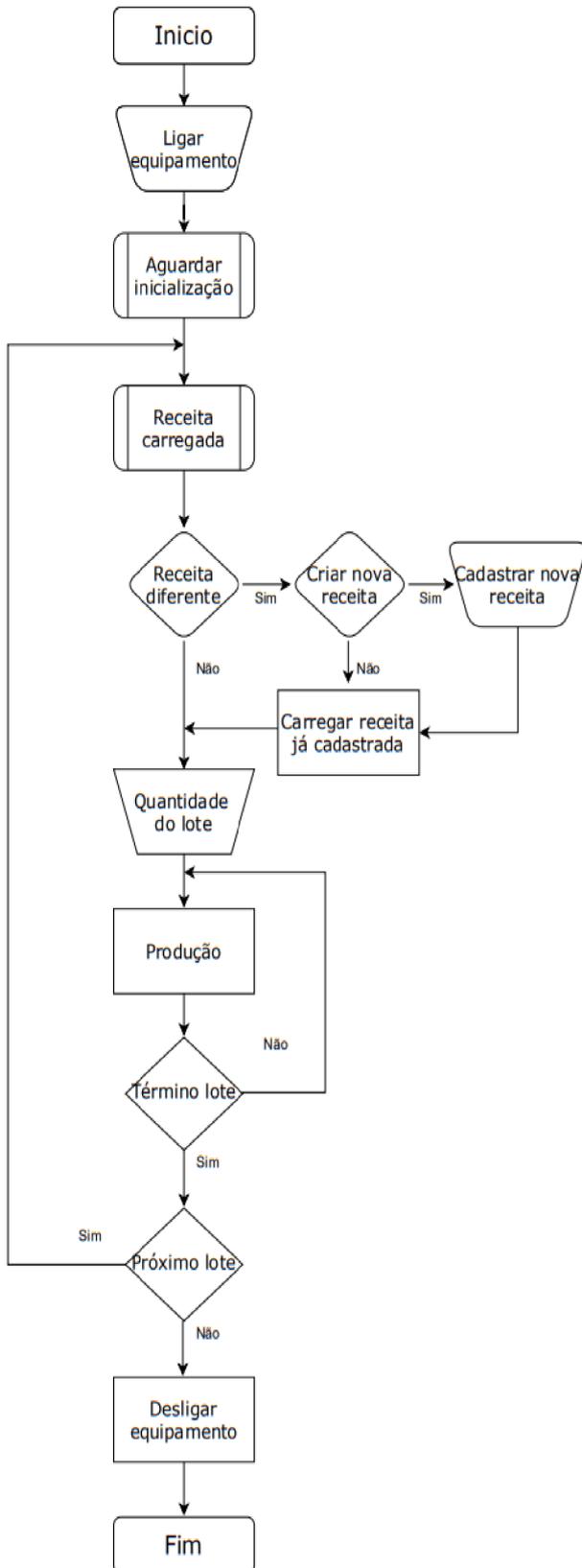


Figura 6- Fluxograma programação IHM e operação

Primeiramente, o equipamento deverá ser ligado, momento no qual será apresentada a tela de inicialização. Em seguida, será exibida uma tela contendo a receita atual, a quantidade produzida, a quantidade do lote, a opção de substituição da receita e a opção “iniciar”. Nessa etapa é possível escolher entre manter a receita atual ou utilizar uma receita diferente.

Se optado por utilizar a receita atual o próximo passo será informar a quantidade do lote. Caso a receita a ser utilizada seja diferente, as opções serão criar uma nova receita ou carregar uma receita já cadastrada.

Sempre que for optado por utilizar uma receita diferente, será necessário realizar algumas regulagens na máquina antes de iniciar a operação do equipamento. Quais sejam: a) colocar um tampão de tamanho adequado para a medida da estampa que se deseja tampografar; b) colocar o clichê do logotipo/marca desejada; c) ajustar a posição da peça em relação ao tampão. Essa última etapa é feita movimentando-se o tampão até a área de transferência e realizando uma prensagem, neste momento é possível verificar para qual direção deve-se movimentar a peça, então, solta-se as regulagens e realiza-se a movimentação necessária, por fim, trava-se o conjunto, finalizando a regulagem do mesmo.

Escolhida a receita e feita a regulagem da máquina, o próximo passo será informar a quantidade do lote.

Após informar a quantidade do lote, deverá ser pressionado a opção “iniciar”, que dará início a produção. Nesta etapa, a máquina entrará em um ciclo automático até o término do lote cadastrado. Uma vez finalizado o lote, serão exibidas as opções “próximo lote” e “desligar equipamento”, podendo-se optar por iniciar um novo lote ou desligar a máquina, encerrando as etapas.

B. Fluxograma programação CLP

A Figura 7 representa o Fluxograma de programação CLP.

O primeiro passo consiste em ligar o equipamento e aguardar sua inicialização. Em seguida, deve-se pressionar o botão de *reset*. Após, a máquina irá referenciar o motor de passo e, em sequência, verificar se o sensor do atuador vertical está recuado, para garantir que ao realizar o movimento horizontal não resulte em colisão do tampão de silicone. Uma vez feita a verificação do sensor atuador vertical, será feita a verificação do sensor atuador horizontal, para que, então, o botão de *start* possa ser pressionado.

O botão de *start* só deve ser pressionado após configurados todos os parâmetros da IHM, conforme demonstrado no fluxograma da figura 6. E, uma vez pressionado, a máquina entrará em modo automático onde executará todas as operações até finalizar a quantidade do lote programado.

A primeira operação realizada será a movimentação do tinteiro para fora do clichê. Posteriormente, o tampão de

silicone descerá para pegar a tinta, subirá novamente e movimentar-se-a até a area de prensagem. Ato contínuo, o tinteiro é fechado para carregar o clichê. Por fim, o tampão desce prensando o produto até atingir a pressão programada e depois sobe, retornando para a posição inicial.

Essas operações serão executadas até que o lote programado seja finalizado e, uma vez finalizado, poderá ser optado pelo cadastro de um novo lote ou desligar o equipamento.

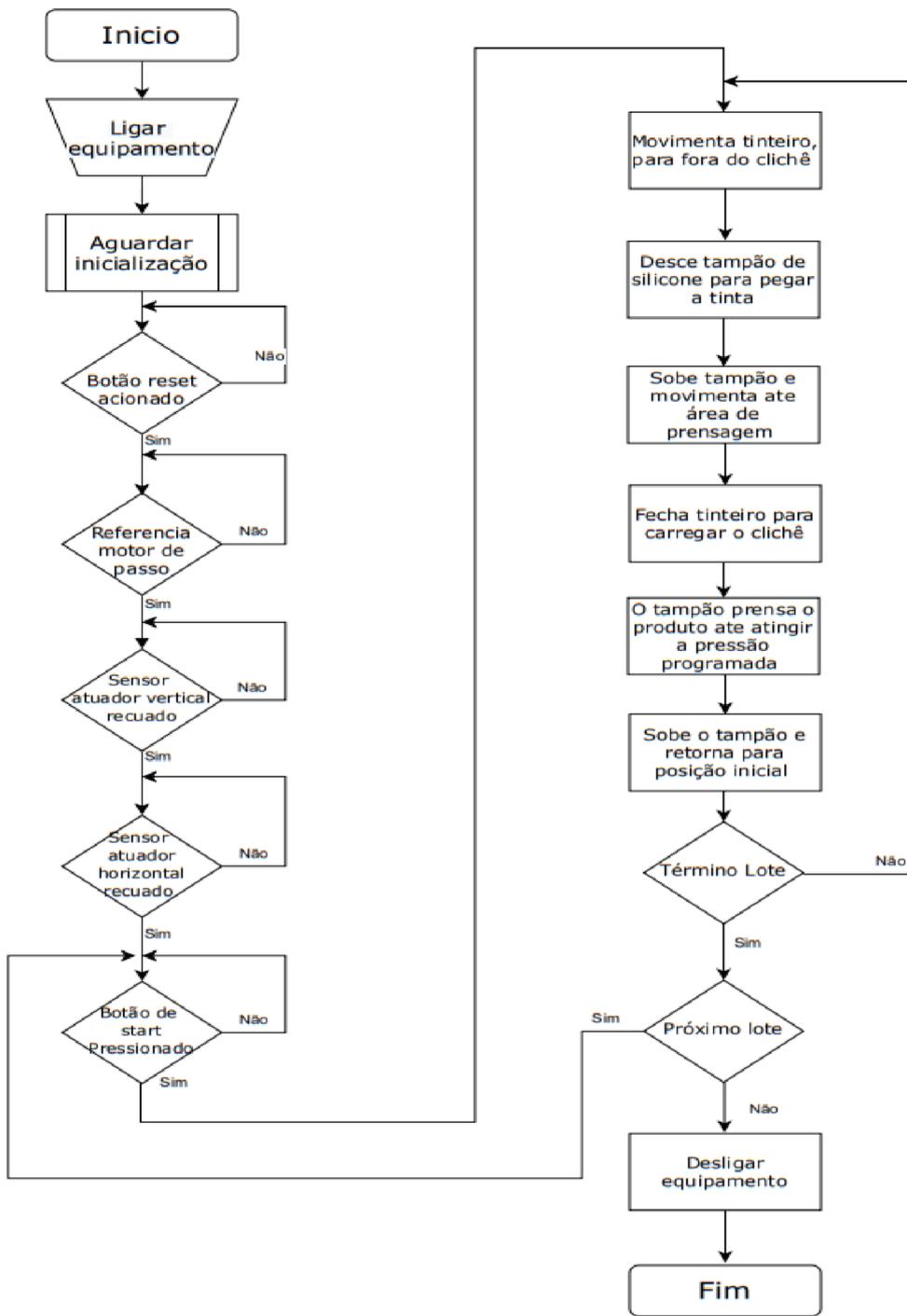


Figura 7- Fluxograma programação CLP

V. RESULTADOS

Primeiramente, modelou-se o conjunto mecânico em CAD, que pode ser observado na figura 8.

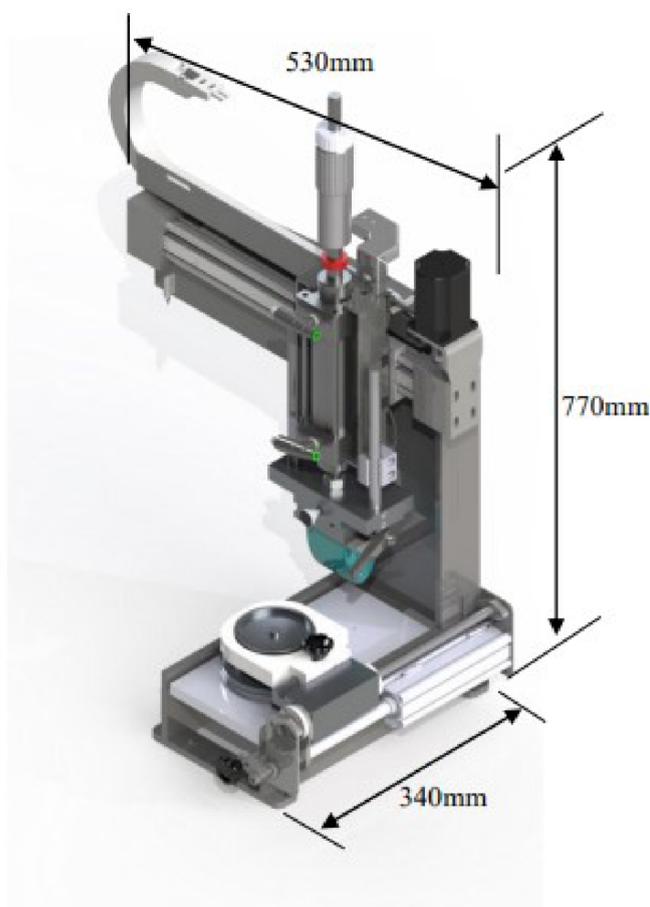


Figura 8 - Projeto mecânico máquina de tampografia

Como o conjunto mecânico modelado apresentou os resultados esperados - o curso mecânico dos conjuntos não apresentou colisões, sendo possível realizar a montagem de todos os conjuntos, bem como, a interferência entre as peças ficou de acordo com o projetado - o projeto foi aprovado, dando-se início a produção e compra dos componentes necessários.

Todo o processo de produção das peças desenhadas foi acompanhado de perto. Esse processo demorou em torno de quatro semanas, levando-se em conta desde a compra da matéria prima até a finalização das peças.

Uma vez concluídas as peças, iniciou-se a montagem do conjunto mecânico. O sistema mecânico real da máquina possui 48 kg de massa total, largura de 530 mm, com uma altura total de 770 mm e uma profundidade de 340 mm. Na figura 9 pode-se observar o sistema mecânico montado.

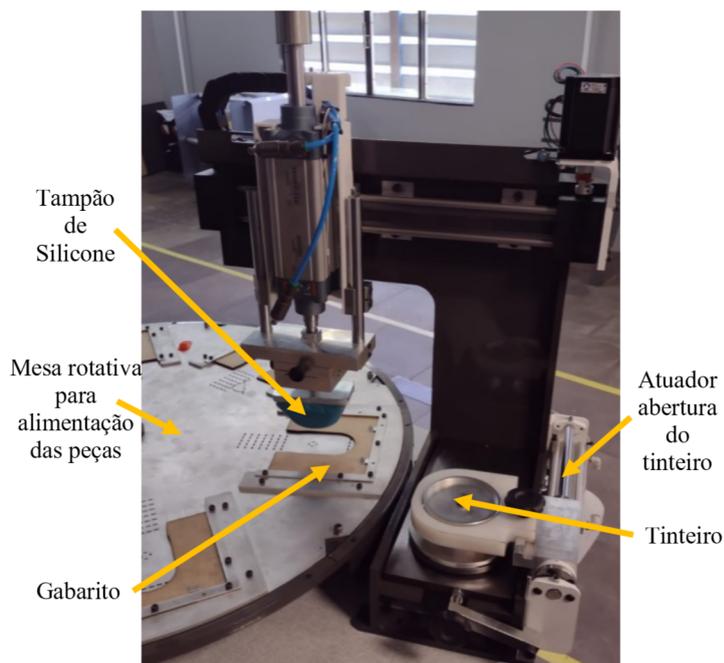


Figura 9 - Sistema mecânico montado

Em seguida, foi elaborada a lógica de programação e o esquema elétrico, resultando na montagem do quadro de comando mostrado na figura 10.

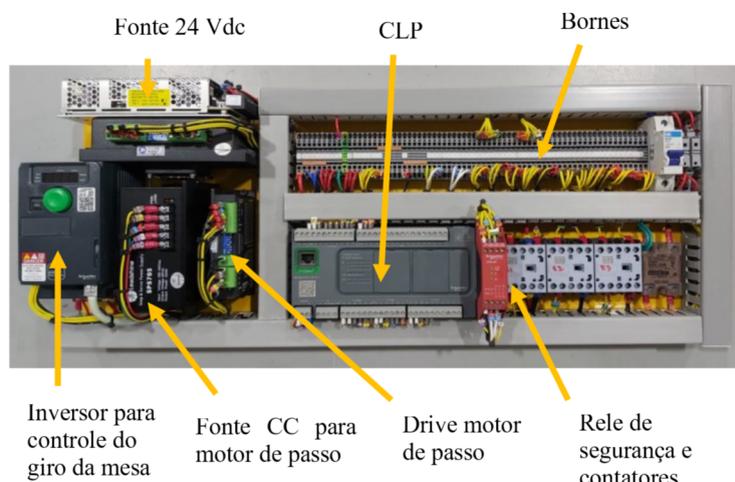


Figura 10 - Painel de controle

Após a montagem mecânica e do sistema de controle estarem concluídas, o painel de controle foi integrado ao projeto mecânico e foram realizados testes, com base nas rotinas mostradas nos fluxogramas de programação.

Toda a montagem mecânica e os códigos elaborados para o controle da máquina puderam ser testados. Nesta etapa, constatou-se que todos os componentes mecânicos estavam

funcionando de forma satisfatória e condizente com o que era esperado pelas simulações realizadas nos softwares utilizados.

Em relação a programação, pequenos ajustes tiveram que ser feitos para aprimorar a referência do motor de passo, criando-se uma nova rotina para que o motor estivesse sempre posicionado à frente do sensor que realiza a referência.

Ainda, alguns *delays* foram acrescentados para que os movimentos se tornassem mais suaves, garantindo uma melhor qualidade do produto final. Os *delays* foram inseridos após os movimentos horizontais e têm como função reduzir a vibração dos conjuntos.

Na figura 11 é possível ver o motor de passo, o acoplador, o sistema mecânico horizontal e o sensor de referência.

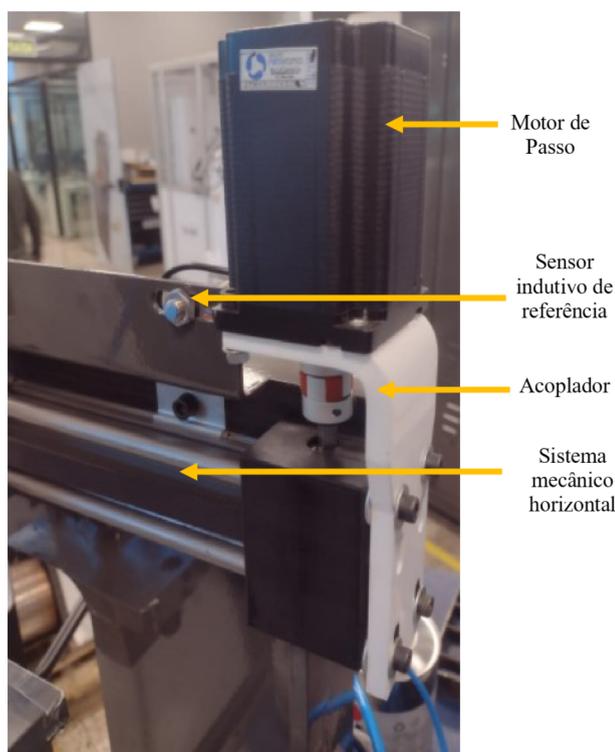


Figura 11 – Movimentador Horizontal

Quanto ao funcionamento do projeto, ao ligar a máquina ela faz a referência do motor de passo, posicionando-se no ponto de início. Após efetuada a programação, ela opera em modo automático, realizando os seguintes movimentos:

a) pegar a tinta; b) subir; c) movimentar-se até o ponto de transferência/prensagem; d) realização da prensagem; e e) retorno ao local de início. Esse processo pode ser visualizado através do vídeo produzido pelo Autor.²

² Vídeo disponível no *link*:

https://drive.google.com/file/d/1Tdb5L0k2g_sLKS6bLCmrsTPXm9L8GIg8/view?usp=sharing.

Conforme a Tabela 1 apresentada neste trabalho, que demonstra os cálculos de tempo de ciclo e produtividade, era esperado que a produtividade da máquina para produção contínua fosse em torno de 7.700 peças por turno.

Porém, como foram acrescentados alguns *delays*, a produtividade em ciclo contínuo ficou em torno de 6.300 peças por turno. Isso porque, o conjunto de movimento horizontal não conseguiu atingir a velocidade máxima especificada, já que houve perda de torque com o aumento da velocidade, sendo necessário entrar em contato com o fornecedor.

Após o fornecedor verificar que o problema residia no fato de que as buchas utilizadas no conjunto horizontal não eram compatíveis com as especificações do projeto, estas foram substituídas, permitindo a retirada de alguns *delays* que haviam sido acrescentados e aumentando a produtividade.

A tabela 5 demonstra a produtividade alcançada após os ajustes realizados.

Cálculos de produção			
Operação	Tempo 1 ciclo	Tempo contínuo	Ciclo contínuo após montagem protótipo
Abrir clichê	0,6 s	0 s	0 s
Descer tampão	0,3 s	0,3 s	0,35
Pegar tinta	0,2 s	0,2 s	0,2
Subir tampão	0,2 s	0,2 s	0,45
Movimentar conjunto	0,8 s	0,8 s	0,5
Descer tampão	0,3 s	0,3 s	0,36
Transferência	0,2 s	0,2 s	0,17
Subir tampão	0,4 s	0,4 s	0,2
Movimentar conjunto	0,8 s	0,8 s	0,6
Troca peça	1,5 s	0,9 s	0
Total/peça	5,3 s	4,1 s	2,83 s
Peças/Dia (8,8 horas)	5977 peças	7727 peças	Mais de 11 mil peças

Tabela 5 – Cálculos de Produção

No entanto, ainda que considerada a produção contínua de cerca de 6.300 peças por turno, anterior aos ajustes, o projeto teria atingido seu objetivo, pois a versão manual da máquina de tampografia apresenta uma produção média contínua de 4.000 peças por turno.

Ademais, a maior produtividade não é o único benefício da automatização da máquina. Com o processo automatizado há um ganho considerável na qualidade e padronização final do produto, pois o controle do tempo e da velocidade de cada operação não fica mais na mão do operador. Outra vantagem é que não há mais a necessidade de mão de obra especializada, pois o operador apenas repõe o material na máquina e realiza a programação, sendo que a máquina opera de modo automático. Também houve redução de desperdício de material, pois, na versão manual, toda vez que o operador cometia um erro no tempo de pegar, largar, ou prensar a peça, esta ficava com má qualidade, sendo necessário retrabalhá-la ou refugá-la, o que não ocorre no processo automático.

Por fim, apesar de o investimento necessário para a automatização da máquina equivaler à aproximadamente o

dobro do valor gasto na compra da máquina de tampografia manual, o projeto mostrou-se vantajoso considerando os resultados obtidos demonstrados anteriormente.

Verificou-se que os benefícios apresentados compensam a curto prazo – menos de um ano - o valor investido. Tanto é assim, que atualmente a empresa Máquinas Sazi avalia iniciar a produção, para comercialização, da máquina automática de tampografia.

VI. CONCLUSÃO

Em linhas gerais o projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um projeto de automação de uma máquina de tampografia empregada no processo produtivo de uma empresa do setor metalúrgico, visando aumentar a padronização e a qualidade final do produto e reduzir os desperdícios e o tempo de produção.

O desenvolvimento do trabalho possibilitou integrar diversas áreas de conhecimento aprendidas no decorrer do curso de engenharia de controle e automação.

Pode-se perceber que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. O projeto mecânico e a integração de componentes foram realizados com sucesso. O objetivo do projeto foi atingido, pois a máquina funciona de acordo com o esperado.

Nesse sentido, destaca-se que, no processo manual de tampografia, anteriormente utilizado, era necessário que o operador abastecesse as peças, regulasse a posição do material, controlasse o tempo e a velocidade de cada operação e supervisionasse cada etapa da produção. Já com a automatização da máquina, esta passou a ter a capacidade de controle de suas operações, fazendo com que o operador apenas abasteça as peças e supervisione a ação dos sistemas automatizados.

Ainda são necessárias algumas melhorias na máquina com relação à questão de segurança e proteção do equipamento e à parte estética, pois o protótipo desenvolvido visou tão somente comprovar o funcionamento da máquina automatizada e suas vantagens em relação à versão manual.

Por exemplo, para tornar a máquina mais segura, será colocado na parte traseira da máquina uma carenagem fixa para impedir o acesso do operador as áreas com risco. Já na parte frontal, será colocado uma capota móvel, composta por uma chapa perfurada fechada com acrílico, para permitir a visualização dos movimentos. Também será instalado um sensor magnético de segurança para monitoramento. E, com relação a parte estética, serão realizados os acabamentos da máquina.

Enfim o projeto se provou exequível, em conformidade com o proposto no Trabalho de Conclusão de Curso I, e mostrou-se vantajoso, pois o investimento necessário para a automatização da máquina é compensado pela melhoria do processo produtivo, como o aumento da produção em cerca de 30%, maior qualidade e padronização das peças

tampografadas e diminuição dos desperdícios e refugos, além de não ser mais necessária mão de obra especializada na operação.

REFERÊNCIAS

- [1] CAMPOS, Murilo Franco de. Projeto de Automação Industrial de Máquina Misturadora para a Produção de Telhas de Concreto. 2012. Disponível em: http://www.tcc.sc.usp.br/index.php?option=com_jumi&fileid=11&Itemid=172&id=F7A65959491F. Acesso em: 20 jan. 2021.
- [2] CAPELLI, A. Automação Industrial. Ed. Érica: São Paulo, 2007. Cap. 1.
- [3] COELHO, Miguel Ângelo Meira. Estudo das variáveis e implementação de melhorias no processo de tampografia. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Braga, Portugal. 2016. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/65282/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%2B55669%2BMiguel%2BCoelho.pdf>. Acesso em: 21/01/2021.
- [4] DAVILA, Tony. As regras da inovação, como gerenciar, como medir e como lucrar. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [5] MARAFON, Carine et al. Benefícios do Investimento em Automação no Processo de Empacotamento de Farinha de Trigo. 2018. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/200>. Acesso em: 09 jan. 2021.
- [6] MICROPRINT. The pad printing book. Schaffhausen, Switzerland. 2017. Disponível em: <http://www.microprint.ch/pdf/The-pad-printing-book.pd>. Acesso em: 21/01/2021.
- [7] MORAES, Cicero Couto; CASTRUCCI, Plínio de Ladro. Engenharia de automação industrial. 2007. 2ª Edição.
- [8] OVERANDBACK. Pad Printing - 2 color | Overandback. Youtube, 19 jan. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wuBREsrMzc8>. Acesso em: 27/07/2021.
- [9] PRÖLL. Pröll Innovative Inks & Functional Lacquers. Disponível em: https://cdn.proell-inks.com/5/f/6/8/5f68cf1c8fd4b3392a52312a4d96e0e55c39f276/Pad_Printing_Theory_and_Practice.pdf. Acesso em: 09 jan. 2021.
- [10] SANTOS, Diego Maradona dos. Projeto de Automação de uma Máquina de Transversinas para Carrocerias de Caminhões (TCCA) para a Empresa Carrocerias São Miguel Ltda. 2012. Disponível em: <http://extranet.uniarp.edu.br/acervo/Biblioteca%20Digital%20PDF/Engenharia%20de%20Controle%20e%20Automa%C3%A7%C3%A3o/TCC/Projeto%20de%20automa%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma%20m%C3%A1quina%20de%20transversinas%20para%20carroceria%20de%20caminh%C3%A3o.%20Diego%20Maradona%20dos%20Santos.%20202012.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- [11] TECA-PRINT. The pad printing process. Thayngen, Switzerland. 2021. Disponível em: https://teca-print.com/pdf_eng/Tampondruckverfahren/The_pad_printing_process_706-000-465.pdf. Acesso em: 22/01/2021.
- [12] VIDAL, Francisco José Targino; VILELA, Paulo Sérgio da Câmara. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Revista Redes para Automação Industrial – DCA-2401/Maio de 2003. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DC A447/trabalho1/trabalho1_19.pdf. Acesso em 23/01/2021.