

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTOS NA PRODUÇÃO E FABRICAÇÃO DE UMA INJETORA DE SILICONE AUTOMATIZADA

Alan Devis Valmordiba, alanvalmorbida@hotmail.com¹

Ana Maria Navarro Barbosa, am-nb96@hotmail.com¹

Athur Raulino Kretzer, Arthur.raulino.kretzer@gmail.com¹

Gabriel Dal Ponte Buligon, gabriel.dalponete@hotmail.com¹

Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino.ifsc@gmail.com¹

Jean Paulo, jean.p.r@gmail.com¹

¹Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC, Campus Florianópolis, Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica – DAMM, Av Mauro Ramos, 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, SC, Brasil.

Resumo: Dadas as necessidades do mercado de trabalho de profissionais de engenharia que possuam versatilidade em propor soluções tecnológicas, os alunos de cursos superiores têm buscado a complementação da teoria com a prática não só em grupos de pesquisa e empresas juniores, como também no próprio currículo acadêmico. Visando atender a necessidade do mercado, o presente artigo busca uma solução alternativa, barata e inovadora para um sistema automatizado de uma injetora de silicone que utiliza como matéria-prima bisnagas comerciais. O desenvolvimento do produto descrito foi realizado através da metodologia de projeto de produtos, composta das etapas de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado desenvolvidos na disciplina de Projeto Integrador Dois do curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina, que tem como intuito integrar e tornar dinâmicas as disciplinas do quinto semestre da graduação para reforçar o ensino. São descritos os processos de fabricação utilizados para a confecção dos elementos da estrutura mecânica além do detalhamento da placa de circuito impresso utilizada como atuador principal do sistema de controle. Ao final foram testados e avaliados os resultados práticos bem como os resultados obtidos após a montagem e integração do sistema mecânico e do sistema de controle.

Palavras-chave: Silicone, Mecatrônica, Fabricação, Controle, Projeto de Produto.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias e de sistemas mecatrônicos que auxiliem na linha de produção tem ganhado grande destaque no mundo industrial. As máquinas são capazes de realizar tarefas que podem ser relativamente simples para os trabalhadores como posicionar um objeto até tarefas mais complexas onde é necessária grande precisão e rapidez por meio delas, no entanto, o processo repetitivo de grandes linhas de produção se torna muito exaustivo para trabalhadores comuns.

Visando atender a necessidade do mercado o projeto proposto aqui busca uma solução alternativa, barata e inovadora para um sistema automatizado de aplicação de silicone (selantes) que atenda aos requisitos de projeto.

Para que o mesmo fosse desenvolvido de modo correto recorreu-se a uma metodologia de projeto que se divide em: projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado.

No capítulo 2 buscou-se o entendimento geral do problema a ser solucionado através do projeto informacional, com isso podem-se levantar as características desejadas. O capítulo 3 traz a segunda etapa de desenvolvimento, o projeto conceitual, no qual o problema principal a ser resolvido foi dividido em funções e suas possíveis soluções foram abordadas e analisadas. O projeto preliminar abordado no capítulo 4 por sua vez foi responsável por determinar a configuração geral do produto. Por último o capítulo 5 abordou o projeto detalhado, no qual a documentação do mesmo foi elaborada para que sua reprodução possa ser realizada, detalhando os ensaios mecânicos realizados e todos os processos de fabricação.

Ao final do desenvolvimento da metodologia citada acima foram feitas as considerações finais do projeto onde foram citados os resultados e as futuras melhorias do mesmo.

2. PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional aqui definido expõe a primeira fase do desenvolvimento de uma injetora automática de silicone. Inicialmente realizou-se um estudo do problema a ser solucionado e em seguida coletou-se informações pertinentes para o desenvolvimento do mesmo. Foram abordadas as características desejadas do produto assim como seus requisitos funcionais a fim de se definir um conceito inicial para o mesmo. Além disso, houve também um estudo de concorrentes (diretos e indiretos) e ao final uma avaliação de mercado. Após a coleta de dados e do estudo de concorrentes, os requisitos foram organizados e transformados em especificações.

2.1. Definição do Problema

O problema definido no projeto é automatizar o sistema de aplicação de silicone, ou seja, alterar o modo de aplicação manual para um que seja automático. Para que isso seja possível foi projetada uma máquina para tal função.

Por definição uma máquina é um conjunto de sistemas e subsistemas que possuem funções definidas e que são formados por elementos de máquina capazes de transformar a energia de entrada em energia mecânica. Seu esquemático é ilustrado pela Fig. (1).



Figura 1. Esquemático da máquina proposta.

Por consequência temos que a máquina desenvolvida transformará a energia recebida para que a sua função global (aplicar silicone) possa ser realizada.

2.2. Concorrentes

Após a análise dos concorrentes presentes no mercado observou-se que os mesmos podem ser distribuídos entre duas categorias: concorrentes diretos e indiretos, divisão essa justificada por serem empregados em campos de aplicação e em ambientes de trabalho diferentes.

Dentre as empresas que possuem soluções para setores industriais de forma automatizada a que mais se aproxima do projeto proposto é a Datron, uma empresa alemã com quase 40 anos de mercado, que tem como um de seus diferenciais a possibilidade da alimentação de material a ser aplicado além de possuir máquinas voltadas para diferentes aplicações específicas como por exemplo a PR0400 que foi desenvolvida especialmente para produção de produtos em pequenas séries e para uso em prototipagem ou a IPR0500 que foi produzida para ser integrada em linhas de produção, dentre outras.

Outras opções que permitem a aplicação de silicone de cartuchos comerciais são as pistolas de aplicação manuais, muito utilizadas para vedar vidros e montagem de aquários, podendo ser de acionamento manual, elétrico ou pneumático, no entanto todas possuem uma precisão e repetitividade muito baixa já que todo o controle de vazão de selante e posicionamento dependem do operador.

2.3. Requisitos de projeto

O produto a ser desenvolvido visa automatizar o processo de aplicação de silicone fazendo com o que o mesmo seja de baixo custo e que utilize bisnagas comerciais. Ele também poderá ser utilizado como módulo didático por professores dentro da instituição de ensino que ministram aulas na área mecânica, fenômenos de transportes, projetos integradores e afins.

O aplicador automático de silicone satisfaz a necessidade do mercado de se ter um produto que seja de fácil usabilidade, que consiga uma boa repetibilidade para aplicações industriais e que seja de baixo custo. Dentre essas e outras vantagens que o mesmo deve possuir levantou-se os requisitos de projeto.

Os requisitos foram definidos baseados na análise de mercado realizada a partir dos concorrentes diretos e indiretos e pensando futuramente em uma possível expansão para clientes da indústria.

A seguir são listados os requisitos levantados: **preciso** (o controle de vazão deve ser controlado para que haja precisão na aplicação); **compacto** (como o produto será modular, ele deve apresentar um tamanho pequeno, para que seja adaptado em outras máquinas e que seja transportado de maneira fácil); **repetibilidade** (com uma boa repetibilidade será possível aplicá-lo em linhas de produção); **custo** (deve ser acessível ao cliente e se manter dentro do orçamento do projeto que é de R\$ 600,00); **confiável** (o produto deve garantir que todas as suas funções sejam realizadas da melhor maneira possível para que ele seja confiável ao investidor e também ao operador); **multiuso** (o produto pode ser adaptado em alguma máquina CNC e com qualquer tipo de selante sem perder sua eficiência); **seguro** (o equipamento deve ser seguro ao operador e as pessoas a sua volta); **modular** (o produto é dividido em módulos para facilitar a manutenção); e **material acessível** (o material utilizado no equipamento será as bisnagas vendidas comercialmente em lojas de construção, desde silicones até outros tipos de colas e selantes).

3. PROJETO CONCEITUAL

Esta parte do projeto tem como objetivo definir as funções e subfunções que o produto vai executar baseando-se nas especificações definidas no projeto informacional. Posteriormente buscam-se alternativas viáveis para as subfunções e em seguida formam-se conceitos diferentes para o mesmo produto. Os conceitos são analisados e, a partir de critérios de avaliação, escolhe o mais apropriado.

3.1. Funções do produto

A função principal é definida pela principal ação que o produto irá exercer e traz uma ideia geral de como o equipamento irá trabalhar. A também chamada função global do produto é aplicar silicone de maneira automatizada garantindo uma aplicação precisa e rápida que mantenha a repetibilidade para um maior número de ciclos de aplicação. Com a função principal definida, pode se dividir o produto em outras funções que atendam a sua necessidade principal.

Definido a função principal e as subfunções, foi montada uma estrutura funcional ilustrada pela Fig. (2) que retrata o funcionamento do produto.

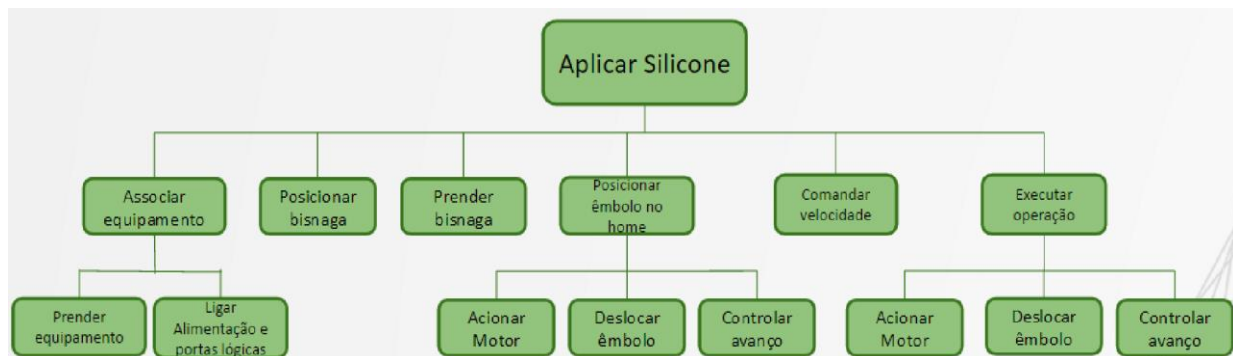


Figura 2. Estrutura funcional.

A partir da estruturação das funcionalidades do produto, partiu-se para a próxima etapa do projeto: a Matriz Morfológica.

3.2. Matriz Morfológica

Com as funções bem definidas, foi possível desenvolver uma matriz morfológica que busca diferentes alternativas para as subfunções determinadas anteriormente onde a busca das alternativas foi realizado um brainstorming entres os integrantes do grupo.

A Tabela (1) ilustra as alternativas da matriz morfológica de forma simplificada.

Tabela 1. Matriz morfológica simplificada.

PARÂMETROS	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C	ALTERNATIVA D
Prender a máquina	Ímãs	Parafusos	Ventosas	Gancho
Alimentação	Baterias	Fonte	Rede elétrica	Solar
Posicionar a bisnaga	Manual	Manipulador	Pistão	Mola
Prender a bisnaga	Sargento	Braçadeira	Cinta	Tubo vazado
Acionamento	Motor de Passo	Motor CC	Servo Motor	Motor CA
Controle	Visual	PID	Histerese	Microcontrolador
Comandar velocidade	Analógico	Interface gráfica	Digital	Alavanca
Deslocar êmbolo	Pinhão e cremalheira	Pistão	Guia linear	Fuso/castanha

Com a matriz morfológica construída corretamente pode-se observar mais facilmente as alternativas propostas para cada subfunção e assim selecionar a mais adequada ao produto a partir da avaliação das mesmas. A avaliação de cada alternativa foi realizada avaliando os seguintes critérios: Economia, segurança, confiabilidade e operabilidade. Os critérios foram selecionados, pois eles se enquadram no perfil do projeto por ele ser um protótipo de baixo custo que visa ser modular e seguro.

Após realizar pesquisas na internet e conversar com os professores da instituição foram dadas notas de 0 a 10 para cada alternativa (0 para o menos adequado e 10 para o apropriado no critério avaliado) e em seguida somadas para serem comparadas entre elas.

Com as notas definidas, foram desenvolvidos três conceitos de produto utilizando as alternativas com melhores desempenhos na avaliação. Os conceitos definidos podem ser observados na Tab. (2).

Tabela 2. Conceitos do produto.

PARÂMETROS	CONCEITO A	CONCEITO B	CONCEITO C
Prender a máquina	Parafusos	Ímãs	Parafusos
Alimentação	Fonte	Bateria	Bateria
Posicionar a bisnaga	Manual	Mola	Manual
Prender a bisnaga	Tubo vazado	Mola	Tubo vazado
Acionamento	Motor CC	Servo Motor	Motor de Passo
Controle	Histerese	Microcontrolador	Microcontrolador
Comandar velocidade	Analógico	Digital	Analógico
Deslocar êmbolo	Cremalheira	Guia linear	Fuso e castanha

Dentre os 3 conceitos definidos, o conceito A foi definido como o melhor após uma avaliação entre eles. Para justificar essa tomada de decisão realizou-se um método de comparação entre os 3 conceitos tomando o conceito A como referência. Os valores atribuídos para cada um equivale a “+1” caso o conceito seja uma solução melhor que o A, “-1” caso ele seja pior e “0” se for igual. O método de comparação citado acima é ilustrado pelo Tab. (3).

Tabela 3. Método de comparação entre conceitos.

PARÂMETROS	CONCEITO A	CONCEITO B	CONCEITO C
Prender a máquina	0	-1	0
Alimentação	0	-1	-1
Posicionar a bisnaga	0	-1	0
Prender a bisnaga	0	0	-1
Acionamento	0	0	1
Controle	0	-1	-1
Comandar velocidade	0	-1	0
Deslocar êmbolo	0	-1	-1

TOTAL	0	-6	-3
--------------	----------	-----------	-----------

Observando os resultados extraídos do quadro de comparações, tem-se que o conceito A é realmente o mais apropriado para o produto levando em consideração os requisitos e as alternativas levantadas até o momento.

4. PROJETO PRELIMINAR

A terceira parte do projeto apresenta a configuração do produto utilizando o que já foi definido anteriormente nas etapas informacional e conceitual.

A aplicadora de silicone foi projetada de forma modular, ou seja, apresenta módulos distintos que se relacionam para executar suas funções. A escolha teve em vista o barateamento do produto, pois será montado separadamente, garantido ainda que no futuro que o produto possa ter algum módulo modificado separadamente, não afetando os outros. Os módulos citados anteriormente são: módulo estrutural, de movimentação e eletrônico.

O módulo estrutural tem como objetivo dar sustentação e rigidez aos outros módulos, assim como as bisnagas que serão utilizadas no equipamento.

A parte de movimentação do produto é a que movimentará o êmbolo para a saída de silicone da bisnaga a partir da utilização do pinhão e cremalheira.

O módulo eletrônico tem como função acionar o módulo de movimentação do produto garantindo seu funcionamento conforme a necessidade do operador.

Ao final do desenvolvimento dos módulos citados acima foi possível agrupá-los para que o produto final fosse acabado. A Figura (3) ilustra o conceito final do projeto.



Figura 3. Produto Final

Os módulos são montados de maneira dependente, contudo, são relacionados em uma ordem para executar sua função em conjunto.

- O módulo estrutural mantém todas as outras peças unidas;
- O material é inserido no tubo e a tampa inferior é fechada;
- A chave é acionada, o motor faz a cremalheira descer e empurrar o êmbolo na bisnaga, fazendo o material sair;
- O knob pode ser girado, fazendo a velocidade de saída ser maior ou menor;
- A cremalheira chega ao fim do curso, fazendo o motor parar e logo após, subir em velocidade máxima para chegar ao limite superior, também delimitado por um sensor de fim de curso.
- A bisnaga pode ser retirada do tubo e substituída por outra se for necessário.

Com isso foi possível criar uma imagem que mostra como os módulos se relacionam pela Fig. (4).

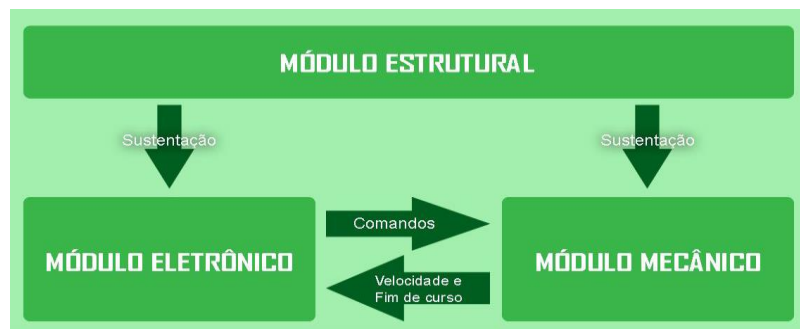


Figura 4. Relacionamentos do produto

O módulo estrutural dá sustentação aos outros dois módulos, que interagem entre si, onde o módulo de movimentação envia informações do fim de curso ao módulo eletrônico e este transmite o movimento a cremalheira.

5. PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado é última fase do desenvolvimento do produto que visa gerar a documentação necessária para que o mesmo possa ser reproduzido novamente. Ele contém todas as peças que necessitam serem fabricadas assim como seu processo de fabricação, instruções de montagem e os ajustes que forem necessários.

Nessa seção ainda são encontradas as especificações dos produtos padronizados que foram comprados e os ensaios elétricos e mecânicos que foram realizados para que o projeto pudesse ser concluído. No entanto os desenhos técnicos e as especificações dos produtos padronizados não estão disponíveis no presente artigo

5.1. Investigação da força de aplicação do silicone

De modo a especificar as características de tamanho, potência e torque para o motor bem com o sistema de transmissão, foi feito um ensaio mecânico com uma bisnaga de silicone comercial. Utilizou-se uma prensa, uma placa e um programa de aquisição de dados desenvolvidos pelo ADeMCI (Avaliação do desempenho de motores de combustão interna), um paquímetro digital, um computador com entradas USB, uma célula de carga de 100 kg, um Arduino e o software Excel para investigar se a força necessária para aplicar o silicone estava relacionada com a velocidade de avanço do êmbolo.

Na montagem do sistema, o paquímetro digital foi associado à prensa para se obter o avanço em milímetros do êmbolo durante a aplicação da força, a montagem está ilustrada pela Fig. (5-A). Por limitações técnicas, a aplicação da força na bisnaga foi feita de modo manual sendo ilustrada pela Fig. (5-B), porém o sistema de aquisição informava em tempo real no console do Arduino o módulo da força aplicada convertida em kg.f, tornando possível para o operador manter uma força média com pouco desvio em função do tempo.

Foi necessário também fabricar uma peça para posicionar a bisnaga de silicone na célula de carga, porém também por limitações técnicas, a célula de carga não ficou sensível somente a uma força axial como também uma força de torque pela característica de montagem do sistema, a Fig. (5-C) indica as forças no sistema. Dada a necessidade do projeto de se estimar a força de aplicação sem uma tolerância ou confiabilidade específica, foi desconsiderado o erro provocado pela aplicação de torque na célula de carga, também, espera-se que o erro seja na forma de um ganho na sensibilidade da célula de carga, indicando, portanto, um valor acima do real e não abaixo. A medida tomada para não inviabilizar o protótipo foi superdimensionar o motor elétrico a partir das informações adquiridas.

Em tempo real, a placa de aquisição de dados sendo representada pela Fig. (5-D) capturava o sinal do paquímetro digital em paralelo com os sinais da célula de carga e as enviava para o Arduino, que lia os sinais digital e analógico, e convertia os mesmos para os valores em milímetros e kgf, respectivamente, em seguida exibia no console da comunicação serial ambos os dados em colunas para poderem ser armazenados em um arquivo de texto e enviados ao Excel para serem correlacionados por análise estatística. Dada a imprecisão do sistema, não foram levantados dados sobre a velocidade de deslocamento, porém foi possível analisar a linearidade do deslocamento e a aplicação constante de força. As aquisições foram feitas a cada 100 ms.

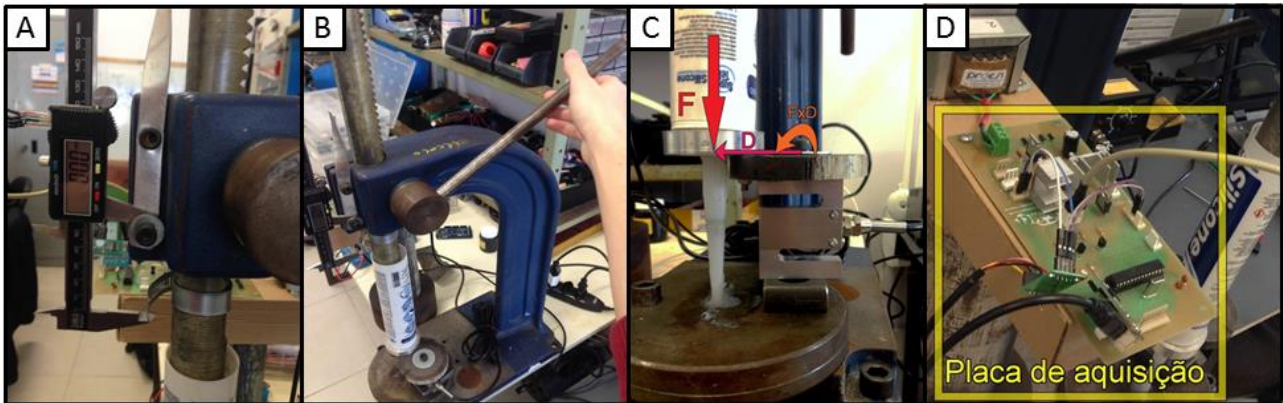


Figura 5. Ensaio mecânico: A- Associação paquímetro-prensa; B- Alavanca da prensa acionada manualmente; C- Célula de carga, bisnaga de silicone, peça e seu sistema de forças simplificado; D - Placa de Aquisição de dados.

É de conhecimento que o fluido possui inércia e viscosidade, sendo assim, existe uma força tal que o fluido passa a se movimentar e mantém uma velocidade constante. Dessa forma, observando a resposta do sistema de aquisição foram aplicadas forças constantes que variavam 5 kgf entre si até que se notar um avanço do êmbolo. A força encontrada foi de 20 kg.f para um deslocamento constante, como mostram os gráficos gerados no Excel na Fig. (6).

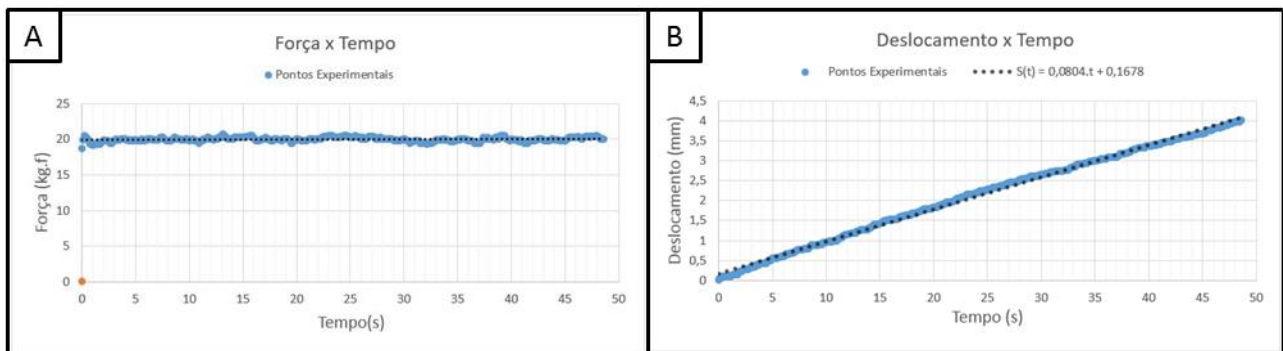


Figura 6. Gráficos: A- Força X Tempo; B- Deslocamento X Tempo.

A partir daí, buscou-se um sistema que transmitisse uma força de 30 kgf ou mais, para compensar a imprecisão do ensaio e também permitir a utilização de bisnagas comerciais com fluidos mais viscosos.

5.2. Desenvolvimento dos Módulos

Como o módulo estrutural é responsável por dar toda a sustentação que o projeto necessita, o mesmo deve possuir a rigidez necessária para suportar o torque exercido pelo motor na bisnaga de silicone além do próprio peso de toda a estrutura. Por conta disso os materiais foram escolhidos de acordo com suas características mecânicas e físicas.

Dentre os materiais escolhidos estão o alumínio, que oferece uma boa relação de resistência e peso, o aço inox, que foi reaproveitado de outro projeto da instituição e possui alta resistência, e a bucha de latão, que garante o posicionamento da cremalheira e a permite deslizar pelo seu baixo coeficiente de atrito.

Boa parte do módulo estrutural teve que ser fabricada, dentre os processos utilizados podem ser citados: fresamento, fresamento CNC, torneamento, eletroerosão a fio, retificação e abertura de roscas com machos. Todos os processos foram feitos dentro do IFSC. Na Figura (7) é possível observar algumas peças e seus processos de fabricação.

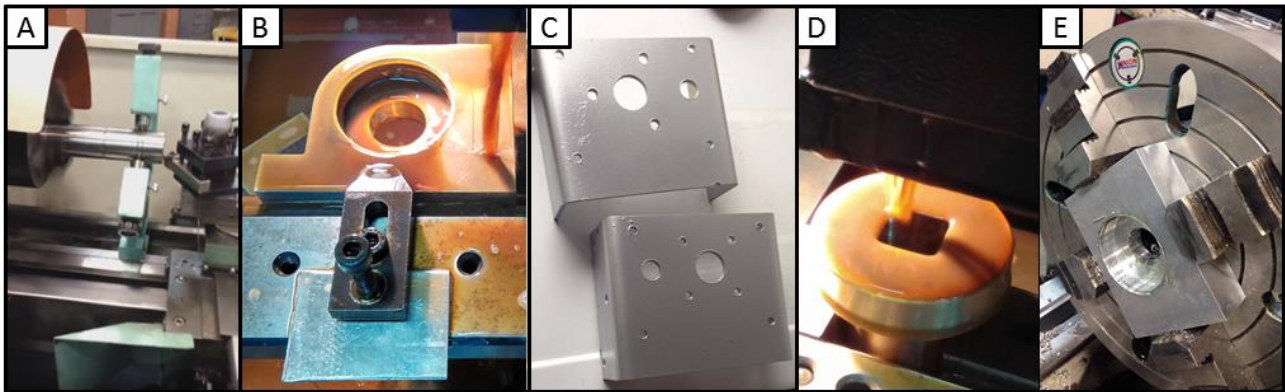


Figura 7. Processos de fabricação e peças.

Em “A” (Fig. (7)) é possível observar o torneamento do tubo de inox que foi reaproveitado para compor o corpo da máquina que dá suporte às bisnagas de silicone. Já em “B” e “D” está ilustrado o processo de eletroerosão a fio, no primeiro para fabricar os suportes do tubo de inox e no segundo para fabricar o furo quadrado na bucha de latão no qual passa a cremalheira. Na seção “C” estão apresentadas as chapas de fixação do motor dobradas que foram reaproveitadas e furadas na fresa. Na última imagem, “E”, é ilustrado o processo de abertura de rosca em um torno com uma placa de quatro castanhas em um dos dois suportes para o tubo inox.

O módulo de movimentação descrito no projeto preliminar visa interagir o acionamento do motor com o sistema de transmissão para que possa haver a liberação do silicone a partir de um êmbolo localizado em uma extremidade da cremalheira que transmite o torque necessário para movimentar o sistema. A Figura (8) ilustra detalhes do módulo.

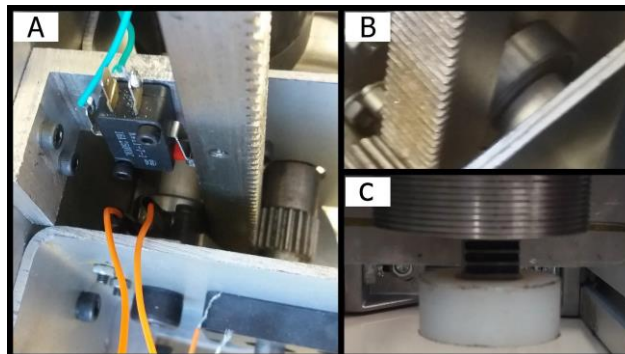


Figura 8. Módulo de Movimentação.

O motor de vidro elétrico foi escolhido devido ao torque proporcionado pelo mesmo e também pela sua geometria. Ele foi fixado em uma das abas de fixação e, em seu eixo, foi acoplado outro eixo para que o pinhão pudesse ser alocado.

Para o acoplamento do eixo do pinhão ao eixo do motor utilizou-se a rosca M6 que já vem no eixo do motor fazendo-se rosca no eixo do pinhão e para que ambos não viessem a desrosquear-se durante a utilização do equipamento. Utilizou-se um parafuso allen sem cabeça M4x5 rosqueado no eixo do motor pressionando a parte não roscada do eixo do motor. O eixo foi obtido através do processo de torneamento, furação (para o parafuso sem cabeça) e fresamento para fazer um corte para acoplamento do pinhão.

O sistema de transmissão composto pela cremalheira e pelo pinhão Fig. (8 - A) estavam disponíveis na instituição. A escolha desse sistema se deu pelo fato da alta eficiência na transmissão e também pela disponibilidade do mesmo no IFSC.

O fato de a cremalheira apresentar um comprimento relativamente grande, durante sua movimentação a mesma pode apresentar flexão devido ao seu próprio peso e pela ação da gravidade, por conta disso foi utilizado um rolamento na parte de trás da cremalheira para dar sustentação à ela durante seu acionamento Fig. (8 - B).

O êmbolo utilizado foi fabricado em polietileno e possui uma geometria cilíndrica para facilitar sua inserção no tubo de silicone Fig. (8 - C).

A função do Módulo eletrônico é comandar o motor para fazer a subida e descida da cremalheira, respeitando os fins de curso para parar o sistema quando for necessário assim como o potenciômetro para modificar a velocidade de descida.

As partes principais do sistema eletrônico são o Driver L298 e o controle PWM do Sg3524, pois ambas as partes que controlam o motor, recebendo os sinais e fazendo o motor girar. Para o controle em malha aberta do sistema foi desenvolvida uma placa de circuitos em conjunto com o professor Jean.

Para a segurança do projeto foram colocados dois sensores de fim de curso no início e fim do curso da cremalheira Fig. (8 - A), fazendo com que o sistema desligue nesses dois pontos. Para isso foi colocado um relé junto com a chave alavanca, que ativa a subida ou descida da cremalheira, permitindo que somente a chave de subida funcione quando a cremalheira estiver no fim do curso e vice-versa.

O programa utilizado para projetar a placa foi o Proteus, software que possibilita não só a criação do esquemático como o layout da placa.

5.3. Ensaios

Para que fosse possível validar o projeto eletrônico foi necessário realizar ensaios específicos no osciloscópio. Os mesmos são descritos em detalhes a seguir.

Antes de ligar a placa ao sistema, foi feito um ensaio para observar o funcionamento do controle de PWM. Para isso, foi utilizado um osciloscópio para verificar os sinais de saída do SG3524 em diferentes razões cíclicas (duty cycles). O Driver L298 não foi conectado nessa parte dos ensaios para não danificá-lo devido a algum erro na saída do controlador.

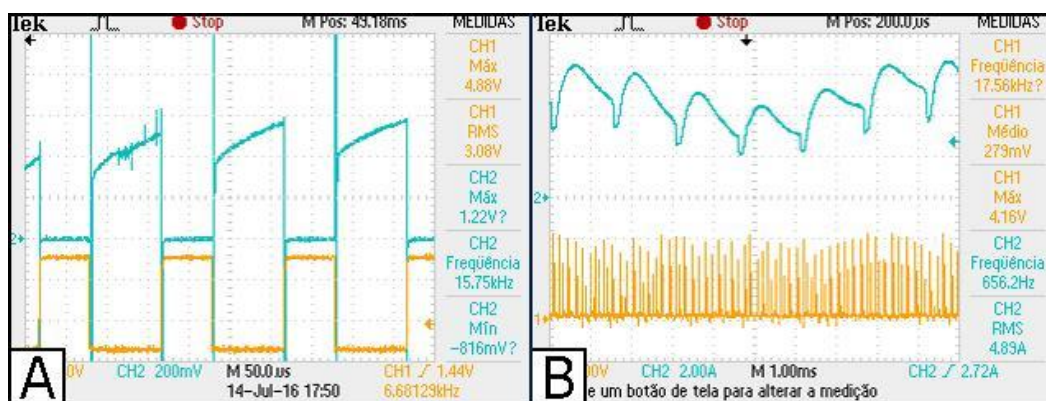


Figura 9. Ensaio Elétrico.

Na Figura (9 – A) pode ser observada em amarelo a saída do sinal PWM em Volts e a corrente em azul em mA, que são modificados conforme o posicionamento do potenciômetro. Os testes de PWM foram promissores, garantindo que o sinal a ser enviado para o driver seria o correto.

O Driver foi então colocado no soquete dele, o motor foi conectado na placa para testar se o sinal seria transmitido a ele e o eixo foi preso ao motor, para observar a subida e descida da cremalheira. Foi utilizada uma ponte normal do osciloscópio na placa para observar o sinal da tensão no driver e uma sonda alicate para medir a corrente no motor.

O controle da chave alavanca junto com o relé funcionou simulando os fins de curso somente nos fios soldados à placa, encostando e soltando os fios quando necessário.

Novamente os testes foram bem sucedidos. Na Figura (9 – B) podem ser observadas as tensões em amarelo e a corrente em azul, onde obteve-se um valor em true RMS de 4A a 5A. Com esses resultados pode-se passar para o teste final.

O último teste feito foi de observar a saída de silicone utilizando a placa de circuitos conectada ao motor. Nesse teste os fins de curso estavam conectados à placa.

Para a simulação, a cremalheira foi posicionada no fim de curso superior, a tampa inferior aberta para colocar a bisnaga de silicone e depois ser fechada. Foi utilizado menos de 50% da potência do motor e o silicone já saiu da bisnaga.

6. Considerações Finais

O projeto final foi alcançado com sucesso, concluindo o protótipo da aplicadora de silicone e, ao mesmo tempo, aplicando os conceitos aprendidos durante o módulo, no entanto, modificações do produto idealizado no papel tiveram que ocorrer. Na figura (10) pode-se observar o projeto completo e o resultado atingido com a aplicação do silicone.

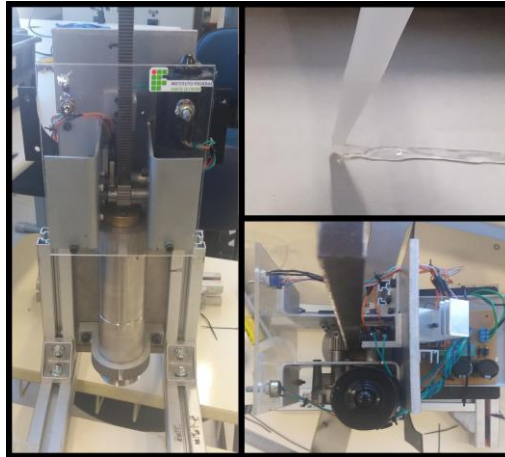


Figura 10. Ensaio Final e Estrutura Completa.

Durante a etapa de fabricação do produto tentou-se ao máximo seguir os desenhos técnicos e o modelo CAD, no entanto, como há incertezas e variáveis presentes na fabricação, pequenas alterações tiveram que ser feitas com o intuito de melhorá-lo, também devido às limitações de materiais disponíveis no IFSC e do orçamento do projeto.

Para o futuro, foram pensadas outras propostas para a melhoria do equipamento, como a utilização de um pistão hidráulico, que poderia reduzir o peso do equipamento. Seguindo o mesmo raciocínio, materiais mais leves, como polímeros, podem ser utilizados em peças que não possuem mecânica crítica e as outras peças podem ter suas dimensões reduzidas, como é o caso dos suportes do tubo em alumínio e da cremalheira, que pode ser reduzida até o limite do sensor de fim de curso de subida.

A parte elétrica satisfaz o processo, mas uma melhoria possível é fechar a malha de controle de velocidade e adicionar um painel elétrico que indique se a máquina está ligada ou se ela apresenta problema, e a velocidade de deposição de silicone.

7. AGRADECIMENTOS

Ao IFSC pelo apoio com os materiais e laboratórios para o processo de fabricação. Ao Professor Jean pelo tempo e esforço dedicados a fabricação do módulo eletrônico. Ao Professor Aurélio por toda orientação dada ao longo do semestre. Ao Professor Widomar por esclarecer o extenso mundo de projeto de produtos. Aos colegas Michel e João pelo o grande auxílio com os ensaios mecânicos.

8. REFERÊNCIAS

- Carpes Jr., W.P., Introdução ao projeto de produtos, Porto Alegre: Bookman, 2014.
Keith Nisbett, R.B., Elementos de Máquinas de Shigley, 10. ed. [S.l.]: Grupo A, 2016.
Norton, R., Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada, 4. ed. [S.l.]: [s.n.].
Ullmann, F., Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Berlim: [s.n.], 1914.
Datron. Disponível em <www.datron.com>.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.