

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA**

CÂMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA

BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

GABRIEL GONÇALVES NETTO

LEONARDO SILVA VARELA

WILLIAM MARQUES PEREIRA

**RETROFITTING DE UMA MÁQUINA CNC PARA MARCAÇÃO A
LASER EM MADEIRA MDF**

FLORIANÓPOLIS, 2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**GABRIEL GONÇALVES NETTO
LEONARDO SILVA VARELA
WILLIAM MARQUES PEREIRA**

**RETROFITTING DE UMA MÁQUINA CNC PARA MARCAÇÃO A
LASER EM MADEIRA MDF**

Trabalho de Projeto Integrador VI
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina .

Professores Orientadores:
Nelso Gauze Bonacorso, Dr. Eng.
Gregory Chagas da Costa Gomes, Me.
Eng.
Evandro Bolzan, Me. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	8
2 – PROJETO INFORMACIONAL.....	9
2.1 – Definição do problema	9
2.2 – O PRODUTO	9
2.2.1 Segurança de Operação.....	11
2.2.2 Comunicação	11
2.2.3 Processo	12
2.2.4 Potência.....	12
2.2.5 Controle	17
2.2.6 Acionamento	22
2.3 – Requisitos do projeto	22
3 – PROJETO CONCEITUAL	23
3.1 Funções do produto	23
3.2 Matriz Morfológica.....	26
3.3 Avaliação das Alternativas.....	28
4 – PROJETO DETALHADO.....	30
4.1 Diagramas	30
4.1.1 Diagrama elétrico de potência	30
4.1.3 Diagrama elétrico de sinais.....	34
4.1.4 Diagrama de acionamento da porta frontal	35
4.1.5 Diagrama elétrico dos sensores Home dos eixos X, Y e Z	36
4.2 Desenhos em CAD das peças fabricadas para uso no <i>retrofitting</i>	36
4.3 Testes preliminares de integração entre a placa de interface e o software de controle.....	44
4.4 Substituição ou instalação de componentes	47
4.5 Revisão das ligações.	49

4.6 Testes de movimentação da máquina	49
4.7 Acesso ao projeto	50
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
Referências	52

Lista de Figuras

Figura 1 - Fonte 42v.	13
Figura 2 - Fusível de vidro.	14
Figura 3 - Motor de passo.	14
Figura 4 - Laser.	15
Figura 5 - Drivers STR8.	15
Figura 6 - Cooler.	16
Figura 7 - LinuxCNC.	18
Figura 8 - Teste de latência LinuxCNC.	19
Figura 9 - Estrutura dos pinos da porta paralela.	20
Figura 10 - Seleção de pinos porta paralela.	20
Figura 11 - Placa de interface.	21
Figura 12 - Estrutura funcional.	24
Figura 13 - Estrutura da subfunção de controle.	24
Figura 14 - Estrutura da subfunção dos drivers.	25
Figura 15 - Estrutura da subfunção dos motores.	25
Figura 16 - Estrutura da subfunção do laser.	26
Figura 17 - Estrutura da subfunção da micro retífica/furadeira.	26
Figura 18 - Diagrama de potência.	31
Figura 19 - Diagrama de intertravamento.	33
Figura 20 - Diagrama de sinais.	34
Figura 21 - Diagrama de acionamento da porta frontal.	35
Figura 22 - Diagrama de sensores Home.	36
Figura 23 - Diagrama de circuito impresso do acionamento da porta frontal da escotilha e sensores fim de curso	37
Figura 24 - Diagrama de circuito impresso dos sensores home.	37
Figura 25 - Case das placas desenvolvidas.	38
Figura 26 - Mancal do motor.	38
Figura 27 - Carretel	39
Figura 28 - Tampa do carretel	39
Figura 29 - Polias	40
Figura 30 - Suporte da polia	40
Figura 31 - Suporte fim de curso.	41

Figura 32 - Gatilho do sensor.....	41
Figura 33 – Placas de acionamento da porta frontal e da placa dos sensores home acopladas no case feito em impressão 3D.....	42
Figura 34 - Mancal do motor produzido em impressão 3D parafusado na estrutura da máquina segurando o motor, carretel impresso em 3D onde fica acoplado o fio nylon que servirá como forma de puxar a escotilha, e tampa do carretel também impressa com impressão 3D.	42
Figura 35 - Polia inferior parafusada na estrutura da máquina.....	43
Figura 36 - Polia superior parafusada na estrutura da máquina.....	43
Figura 37 - Sensor fim de curso inserido no suporte impresso em 3D e com o gatilho encaixa na ponta do fim de curso.....	44
Figura 38 - Demonstrativo dos testes realizados para verificação do funcionamento dos componentes.	45
Figura 39 - Calibração do foco do laser	45
Figura 40 - Testes de marcação a laser na placa de mdf com integração do eixo cartesiano.....	46
Figura 41 - Marcação feita na placa de mdf com trajetória e ativação do laser feitos pelo programa no LinuxCNC.....	47
Figura 42 - Novo layout da parte de potência da máquina.....	47
Figura 43 - Placas de circuito impresso de acionamento da porta e sensores home instaladas.	48
Figura 44 - Motor da porta frontal.....	48
Figura 45 - Conexões drivers → motores.....	49
Figura 46 - Teste de movimentação dos eixos X e Y	50
Figura 47 - QRCode de acesso ao github do projeto	50

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Especificações dos elementos mecânicos utilizados para o acionamento dos eixos.	10
Tabela 2 - Especificações dos dispositivos eletroeletrônicos e dos sensores presentes na máquina de marcação a laser.	10
<i>Tabela 3 - Consumo de alguns componentes presentes no projeto.</i>	<i>16</i>
Tabela 4 - Pinos de conexão placa de interface.....	22
Tabela 5 - Algumas opções de atuadores para automatização da abertura e fechamento da escotilha.	27
Tabela 6 - Diferentes tipos de laser para a marcação da madeira MDF.	27
Tabela 7 - Algumas alternativas/opções de dispositivos de furação.	27
Tabela 8 - Sincronização do eixo “Z”.....	28
Tabela 9 - Avaliação das alternativas de solução para as subfunções do produto. ..	28

1 - INTRODUÇÃO

Cada vez mais, o uso do *retrofitting* é uma alternativa que vem ganhando espaço no cenário industrial global com o desenvolvimento de maquinário preciso e eficiente, além de se tornar uma opção mais viável para problemas do dia a dia das empresas, devido a sua menor exigência de investimento e resultados interessantes. Resultados esses que podem variar desde uma maior precisão ou automatização de algum dos processos primariamente artesanais, além de permitir uma maior “liberdade criativa” para o desenvolvedor do *retrofitting*. Com isso, estudos estão sendo desenvolvidos descobrindo e aprimorando aplicações nesse meio, já que as utilizações ainda tendem a crescer exponencialmente nessa área.

Dentre as atitudes mais frequentes em *retrofitting*, estão a adição de sensores mais precisos para melhorar a qualidade da aplicação do maquinário, a implementação de interfaces digitais para melhor visualização do processo ou programação do equipamento e a capacidade de integrar um outro processo no mesmo aparelho.

2 – PROJETO INFORMACIONAL

Neste capítulo será abordado de forma geral e sucinta os problemas que se espera solucionar, características, restrições, requisitos e especificações gerais da máquina.

2.1 – Definição do problema

A modernização de processos de manufatura é uma tendência global quando se leva em consideração a vertente de crescimento exponencial de demanda e tecnologias para atender essa demanda, o que obriga empresas a adquirir máquinas mais modernas capazes de atender os mais diversos tipos de trabalhos.

Tendo em vista que para acompanhar essa modernização acelerada de maneira com que se faça necessária a compra ou fabricação de máquinas novas do zero, muitas opções se tornam inviáveis monetariamente, sendo assim o *retrofitting* se mostra como uma saída viável e eficaz em muitos casos, por se tratar de uma saída mais barata e eficiente para modernização de máquinas mais antigas.

O desafio do trabalho consiste no *retrofitting* de uma máquina de marcação a laser, a qual inicialmente encontra-se com uma escotilha manual para acesso à mesa da mesma e sem laser funcional nem processo de furação integrado, desse modo, o *retrofit* se faz necessário para atender de forma mais ergonômica, eficaz e inteligente a demanda que a mesma tem.

2.2 – O PRODUTO

A máquina de marcação a laser consiste em uma estrutura cartesiana de 3 eixos (x, y e z) e um gabinete com o circuito eletroeletrônico, toda a estrutura conta com os componentes apresentados na Tabela 1 e Tabela 2 abaixo:

Tabela 1 - Especificações dos elementos mecânicos utilizados para o acionamento dos eixos.

Componente	Nome	Tipo	1 Volta do Motor
Guias de trilho	3856697	Movimento	70mm Y 66mm X
Guias de fusos de esferas		Movimento	5mm
Amortecedor p/ porta (2)	Hardt 50N	Movimento	
Contato p/ home (3)	Chapa de aluminio	Suporte	
Suportes p/ sensores (9)	Peça impressão 3D	Suporte	

Fonte: Moresco, Ternes (2021).

Tabela 2 - Especificações dos dispositivos eletroeletrônicos e dos sensores presentes na máquina de marcação a laser.

Componente	Nome	Tipo	Tensão de Trabalho	Corrente
Fonte <i>Drivers</i>	Akiyama300W	Potência	220V -> 42V	7,1A
Fonte 24V	S25-24	Potência	220V -> 24V	1,1A
Fonte 5V	NES-15-5	Potência	220V -> 5V	3A
Fonte 12V	MCM12V	Potência	220V -> 12V	5A

Componente	Nome	Tipo	Tensão de Trabalho	Corrente
Motores (4)	AK23/10F8FN1.8	Acionamento	5.4V(S)/2V(P)	1A(S)/2A(P)
Laser de corte	Módulo laser	Acionamento	12V	208mA
Drivers (4)	STR8-5000-158	Potência	24V a 75V	2.5A a 8A
Fusíveis (4)		Segurança		7A
Disjuntor	K32a1c20	Segurança	220V	16A
Contatora	CJX2-1810z	Sinal	220V-sinal 24V	18A
Relés	JZD1RC3	Sinal	24V	6A
Botão com LED	M20-1B M20-IL	Sinal	24V	<20mA (LED)
Sensores mecânicos (6)	Uso padrão NC	Sinal	1A	125Vac
Botão Cogumelo	sa1000	Sinal	10A	660V
Botões comuns (2)	LA39J-11B	Sinal	600Vac	10A limite
Chave geral		Sinal	220V	16A
Sensores Opticos (3)	PHCT203	Sinal	30V e 6V	60mA e 70mA
Soquete dos Reles	PRT8M-1	Suporte	12V a 24V	6A

Fonte: Moresco, Ternes (2021).

O mecanismo tem como função a marcação e corte de placas de madeira tipo MDF além de marcação em aços em geral.

Dentro do âmbito mecânico, a melhora adotada será a automatização da escotilha frontal. Já no âmbito eletroeletrônico uma otimização do gabinete quanto a segurança, disposição dos *drivers*, fiação, fontes e afins será abordada. No que se trata do processo da máquina, pelo fato do laser não estar em funcionamento de fato, a integração do mesmo e a incrementação de uma furadeira junto ao laser permitirá

com que a máquina faça uma gama maior de atividades, fazendo desta multifuncional, será desenvolvida.

As dimensões da máquina são 710mm x 700mm x 540mm, área de trabalho do projeto 210mm x 210mm x 200mm e o gabinete 600mm x 800mm x 230mm.

As tensões fornecidas para o funcionamento do sistema são, 220VAC advinda da rede elétrica e 5VCC proveniente do computador do laboratório.

As tensões fornecidas para o sistema mediante as fontes do mesmo são de 42VCC (2 fontes), 24VCC (uma fonte) e 12VCC (uma fonte).

2.2.1 Segurança de Operação

Um sistema de intertravamento consiste em um circuito que impede de cometer-se um erro, ajustando o sistema a um estado seguro caso esse erro ocorra.

Esse mecanismo consiste, basicamente, em uma série de “travas” (contatos normalmente abertos e/ou fechados como: botão de emergência, botão de *start*, sensores fim de curso etc.), que quando ligados em série de maneira correta, só permitem o funcionamento da máquina se tudo estiver em seu devido lugar e funcionando.

Tal mecanismo vai blindar o sistema de eixos de cometer algum equívoco no sentido de ou se mover além dos limites da máquina (forçando a estrutura e danificando os motores) ou de funcionar de maneira dessincronizada (caso do eixo z que tem dois motores) o que causaria empenamento da máquina.

2.2.2 Comunicação

O processo de comunicação do *retrofitting* do projeto será dado através de, um computador com sistema operacional Linux Debian® com o *software* LinuxCNC® instalado neste que se comunicará com os *drivers* da máquina e estes irão se comunicar com os motores e ferramentas (laser e micro-retífica).

O operador deve desenvolver um projeto através do *software* citado acima e colocar para ser executado, após esta etapa os *drivers* deverão interpretar a

programação realizada convertendo está em pulsos para os motores que irão funcionar de forma análoga a programação.

Na programação é necessário fazer com que o computador se comunique com a placa controlador de CNC mach3 via USB, e esta com os *drivers* que interpretem qual coordenada cartesiana a mesa deve alcançar através de pulsos gerados pelo *LinuxCNC*, além de ativar ou desativar o laser durante o processo.

Atualmente a máquina utiliza uma programação para se movimentar entre os eixos X e Y, o eixo Z encontra-se descalibrado devido a necessidade de movimentar os dois motores de forma unilateral, tendo em vista que o melhor funcionamento seria ambos funcionando simultaneamente para uma movimentação correta.

2.2.3 Processo

O processo consistirá em marcações de placas de circuito impresso para o curso e de chapas de madeira de MDF.

A velocidade de impressão do sistema pode variar de acordo com o diâmetro e intensidade da marcação, mas pode alcançar o valor de até 30 mm/s e aproximadamente 1 mm²/s.

Tendo em vista os dados apresentados acima, e a demanda do cliente, a necessidade de produção se faz em média por uma peça de 3600 mm² de área demarcada por hora.

2.2.4 Potência

O sistema de potência da máquina é alimentado pela rede de distribuição de energia, com tensão de corrente alternada de 220 volts. O equipamento é composto por 3 tipos diferentes de fonte de tensão, estas fontes recebem a tensão de 220 volts e transformam para a tensão e corrente necessária para alimentar os dispositivos instalados na máquina, estas fontes de tensão são de 42v (Figura 1), 24v e 12v, todas de corrente contínua.

Figura 1 - Fonte 42v.



Fonte: Dos Autores (2022).

Este sistema de potência conta com defesas físicas que protegem o equipamento de eventuais avarias, oriundas de sobre tensão devido a uma falha na alimentação da rede de distribuição ou da própria fonte de corrente contínua, curtos-circuitos gerados por falha humana ou picos de corrente. Estas proteções são constituídas por fusíveis de vidro semelhantes a Figura 2, os quais contam com uma pequena lâmina em seu interior, a qual é dimensionada para diferentes níveis de corrente, onde caso haja uma das falhas citadas acima, esta lâmina romperá, cortando a passagem de corrente. Além do uso de fusíveis, o equipamento conta com o dispositivo chamado disjuntor, o qual funciona de forma muito parecida com o fusível, tendo como principal diferença o fato do fusível ser um dispositivo destrutivo enquanto o disjuntor pode ser reativado milhares de vezes. Lembrando que o sistema eletrônico da máquina conta com o circuito de intertravamento que foi explicado no tópico 2.2.1.

Figura 2 - Fusível de vidro.



Fonte: Baú da Eletrônica (2022).

A máquina laser cartesiana possui um consumo de energia pequeno se comparado com máquinas industriais deste porte. O consumo de energia é proveniente da potência exigida pela máquina num todo, isso se diz respeito a quantidade de potência que cada dispositivo do equipamento necessita para perfeito funcionamento, a seguir será listado a potência de cada dispositivo empregado na máquina.

- Os motores de passo Akiyama® conforme o da Figura 3 são os que movimentam os eixos, possuem potência específica de 46,2 watts, sendo conectado em paralelo no *driver*. Interessante ressaltar que há configuração de corrente no próprio *driver*, através de microchaves. Nesta versão da máquina, é utilizado o driver configurado com a chave 4 habilitada, o que representa que o driver irá liberar para o motor uma corrente nominal de 1,1 ampere.

Figura 3 - Motor de passo.



Fonte: Dos Autores (2022).

- O Laser (Figura 4) que realiza a gravação da matéria prima, possui potência específica de 2,5 watts e seu funcionamento é garantido através de uma placa de potência.

Figura 4 - Laser.



Fonte: Dos Autores (2022).

- *Driver* STR8 (Figura 5) para motor de passo, tem sua potência relativa ao motor em questão, onde a potência relativa especificamente do *driver* depende de sua eficiência, que neste caso será considerado de aproximadamente 2% em cima do valor requerido pelo motor.

Figura 5 - Drivers STR8.



Fonte: Kalatec (2022).

- O eletroventilador (Figura 6) tem função de auxiliar a refrigeração do gabinete, isso se dá de forma forçada através de um cooler de 9,6 watts.

Figura 6 - Cooler.



Fonte: Dos Autores (2022).

Vale salientar que as fontes de alimentação de tensão e corrente contínua, possuem especificação de potência máxima de 300 watts, como exemplo das fontes de alimentação dos *drivers* dos motores de passo, porém a potência gerada pela fonte será dependente diretamente da necessidade requerida pelo próprio *driver* e motor, ou seja, o fato da fonte de alimentação possuir especificação de potência máxima de 300 watts, não significa obrigatoriamente que a mesma irá trabalhar com sua potência máxima.

Sendo assim, conforme mostra na Tabela 3, levando em consideração a potência total utilizada pelos 4 motores de passo e pelo laser, tem-se a potência total da máquina de 100 watts, cada motor e *driver* juntos representam aproximadamente 21 watts de potência, o laser necessita 2,5 watts, o eletroventilador requer 9,6 watts.

Tabela 3 - Consumo de alguns componentes presentes no projeto.

Componentes	Potência (W)	Quantidade (un.)
Motor de passo	21	4
Laser	2,5	1
Eletroventilador	9,6	1
Motor da porta	12	1

Fonte: Dos autores (2022).

2.2.5 Controle

Há diferentes maneiras de controlar uma máquina cartesiana, principalmente que utilize motores de passo com *drivers* e que conte com eixos retificados lineares para garantir o deslocamento da máquina. A linguagem de programação utilizada neste caso é o Comando Numérico Computadorizado através do Código G, onde há duas principais características que dividem os *softwares* de controle e que fazem uso da linguagem de Código G, essa diferença está principalmente na liberdade de acesso a configurações e protocolos e o custo envolvido. Os *softwares* se distinguem em *Low-End* e *High-End*, resumidamente o programa de controle *High-End* utiliza uma arquitetura que pode ser empregada apenas em computadores dedicados e normalmente são restritos a certo fabricante e certas configurações. Já o *software Low-End* trás toda a comodidade de um programa aberto, com praticidade em implementar produtos de diferentes fabricantes, além de não necessitar de um computador dedicado, ou seja, pode ser utilizado facilmente em um *desktop* comum.

Visando o bom funcionamento do equipamento e o baixo custo do projeto de *retrofitting*, a escolha mais inteligente é sem dúvidas o *software Low-End* e neste caso, o escolhido foi o LinuxCNC (Figura 7). Este programa é desenvolvido por inúmeros usuários através do site do próprio LinuxCNC e é disponibilizado através de um arquivo ISO. Ele conta com um sistema de *kernel* em tempo real que possibilita a interação entre computador e máquina com precisão de milissegundos, além de ser facilmente transportado em um *pendrive* e executado praticamente em qualquer computador. Apesar do *software* não necessitar de um supercomputador, há exigências mínimas para que o controle dos motores seja eficaz e que funções como o interpolamento dos eixos aconteçam de forma sincronizada e sem atrasos. Além disso, dimensionar corretamente o computador ajuda a garantir uma latência com níveis aceitáveis. Segundo Claudio Abilio da Silveira a “Latência é o tempo que o PC leva para parar o que está fazendo naquele instante e responder a um determinado pedido”, pode-se ver um teste de latência na Figura 8, logo é preciso respeitar os seguintes requisitos mínimos:

- Processador 700 MHz x86 (1.2 GHz x86 recomendado);
- 384 MB de RAM (512 MB a 1 GB recomendado);
- 8 GB espaço em disco;

- Placa de vídeo com resolução de pelo menos 1024x768;
- Uma conexão de rede ou Internet (para atualizações e acesso a documentação).

Fonte dos requisitos mínimos: Claudio Abilio da Silveira (2022).

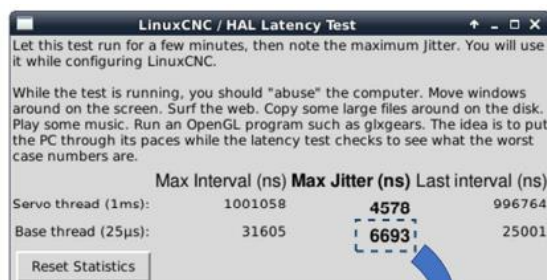
Dentro do próprio *software* do LinuxCNC é possível executar o teste de latência, onde o *software* executa diversas funções que rodam em cima do *thread* Servo e *thread* Base, simulando o processamento de operações de CNC e calculando as velocidades alcançadas pelo *hardware*. Neste teste, o valor mais importante é o *Max Jitter*, sendo este responsável pelas funções *real time* que são necessárias para a geração de pulsos para os motores de passo.

Figura 7 - LinuxCNC.



Fonte: LinuxCNC.org (2022).

Figura 8 - Teste de latência LinuxCNC.



Valores de referência para Max Jitter para Base thread:

- menos de 15.000 a 20.000 ns: resultados ótimos
- de 30.000 a 50.000 ns: bons, mas limitante
- acima de 100.000 ns: não adequado

Fonte: Claudio A. da Silveira (2022).

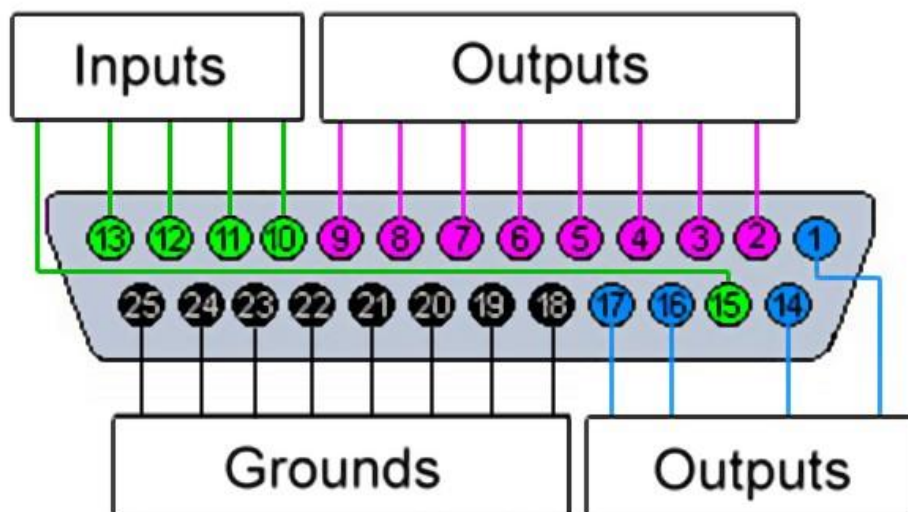
A precisão e qualidade da gravação realizada pelo equipamento é na casa do décimo, tendo excelente repetibilidade. Com o avanço do *retrofitting* e as consequentes melhorias na máquina, busca-se melhorar ainda mais a qualidade dos trabalhos.

2.2.5.1 Configurações do controlador

Para total entendimento do controlador é necessário saber o que ele realmente faz. Entre várias funções, as principais são a configuração do dimensionamento dos eixos e da área de trabalho, velocidade de trabalho, o controle da contagem dos passos dos motores, modos de trabalho com os eixos da máquina (cartesiano, rotativo, delta) e configuração dos pinos da porta paralela.

As entradas e saídas da porta paralela são selecionadas respeitando a estrutura de conexão da própria porta paralela instalada no *desktop*, como também da placa de interface que está instalada no gabinete (Figura 9).

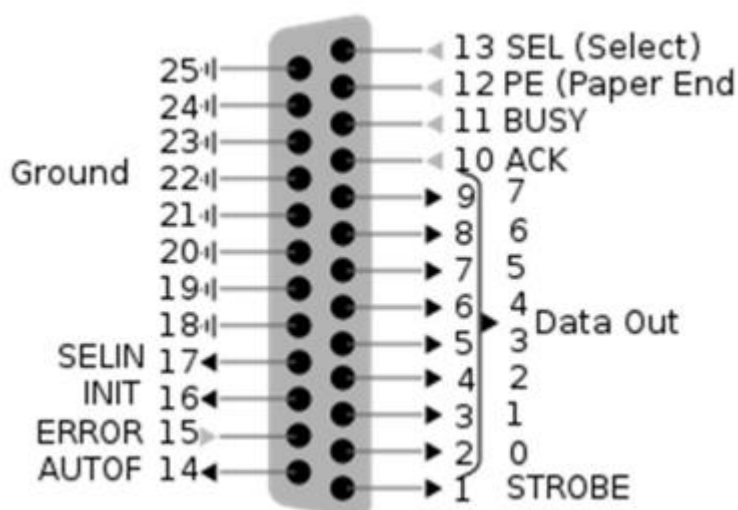
Figura 9 - Estrutura dos pinos da porta paralela.



Fonte: Theremino (2022).

As entradas e saídas para a porta paralela são realizadas através do *software* e é determinado quais os pinos escolhidos para quais funções. De acordo com a Figura 10, há a disponibilidade de 5 entradas e 12 saídas, sendo 8 pinos destinados para aterramento. A ligação dos pinos da porta paralela foram selecionados da seguinte forma:

Figura 10 - Seleção de pinos porta paralela.

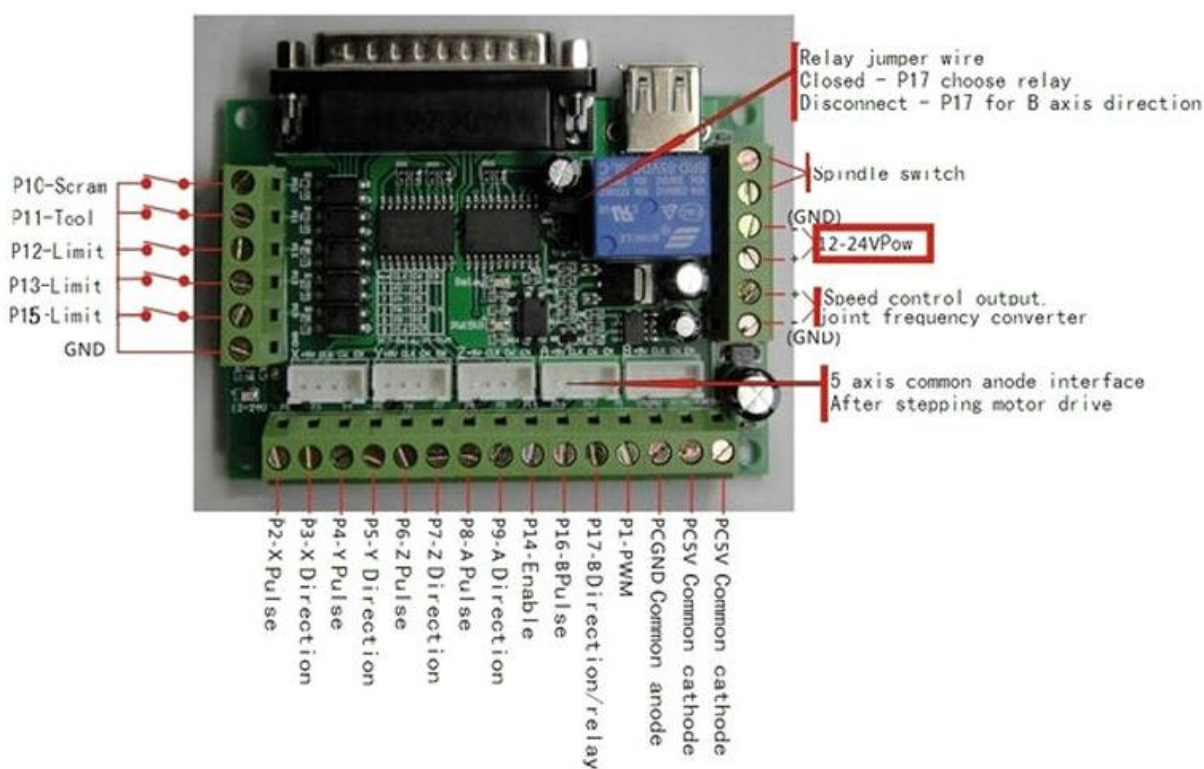


Fonte: Moresco, Ternes (2021).

O hardware responsável por fazer a interface entre o *LinuxCNC* e os atuadores da máquina é a placa de interface (Figura 11), que funciona basicamente como uma ponte entre o computador e os drivers. A ligação dos pinos na placa (Tabela 4) é simples e intuitiva, uma vez que cada pino na placa conta com seu nome e função. Exemplo é o pino 2 da placa, que traz seu nome como “xclk”, ou seja, Clock do eixo x. Pode-se entender Clock como Passos, referente aos passos do motor.

Além de “ponte” entre o computador e os drivers, a placa de interface conta com um sistema de proteção que isola os sinais de entrada dos sinais de saída. Isto se dá através de opto acopladores que transferem sinais elétricos através da emissão de luz. Desta forma, sobre tensões ou curtos-circuitos não afetam o sistema receptor de sinal.

Figura 11 - Placa de interface.



Fonte: Aliexpress (2022).

Tabela 4 - Pinos de conexão placa de interface.

Pino	Conexão	Nome
1	Entrada	Botão de Início
2	Saída	Passos X
3	Saída	Direção X
4	Saída	Passos Y
5	Saída	Direção Y
6	Saída	Passos Z
7	Saída	Direção Z
8	Saída	Laser
9	Saída	Enable
10	Entrada	Parada de Emergência
11	Entrada	Intertravamento
12	Entrada	Home X
13	Entrada	Home Y
14	Entrada	Home Z
15	Entrada	Fault

Fonte: Dos Autores (2022).

2.2.6 Acionamento

Atualmente existe um microcontrolador e 4 *drivers* para acionamento dos motores, tendo em vista a necessidade de mais um motor CC para o acionamento de abertura e fechamento da escotilha que dá acesso à parte frontal da máquina.

Serão utilizados acionamentos elétricos para os *drivers* relés individuais para acionamento e alternância do laser/micro retífica e para abrir/fechar a escotilha.

2.3 – Requisitos do projeto

Levando em consideração as novas propriedades do *retrofitting* da máquina laser, os requisitos que se deve atender ao final do projeto são os seguintes:

- Portabilidade.
- Praticidade de manuseio.
- Praticidade de manutenção.
- Automatização.
- Eficiência.
- Resistência.
- Integração de processo inacabado e de um novo.

3 – PROJETO CONCEITUAL

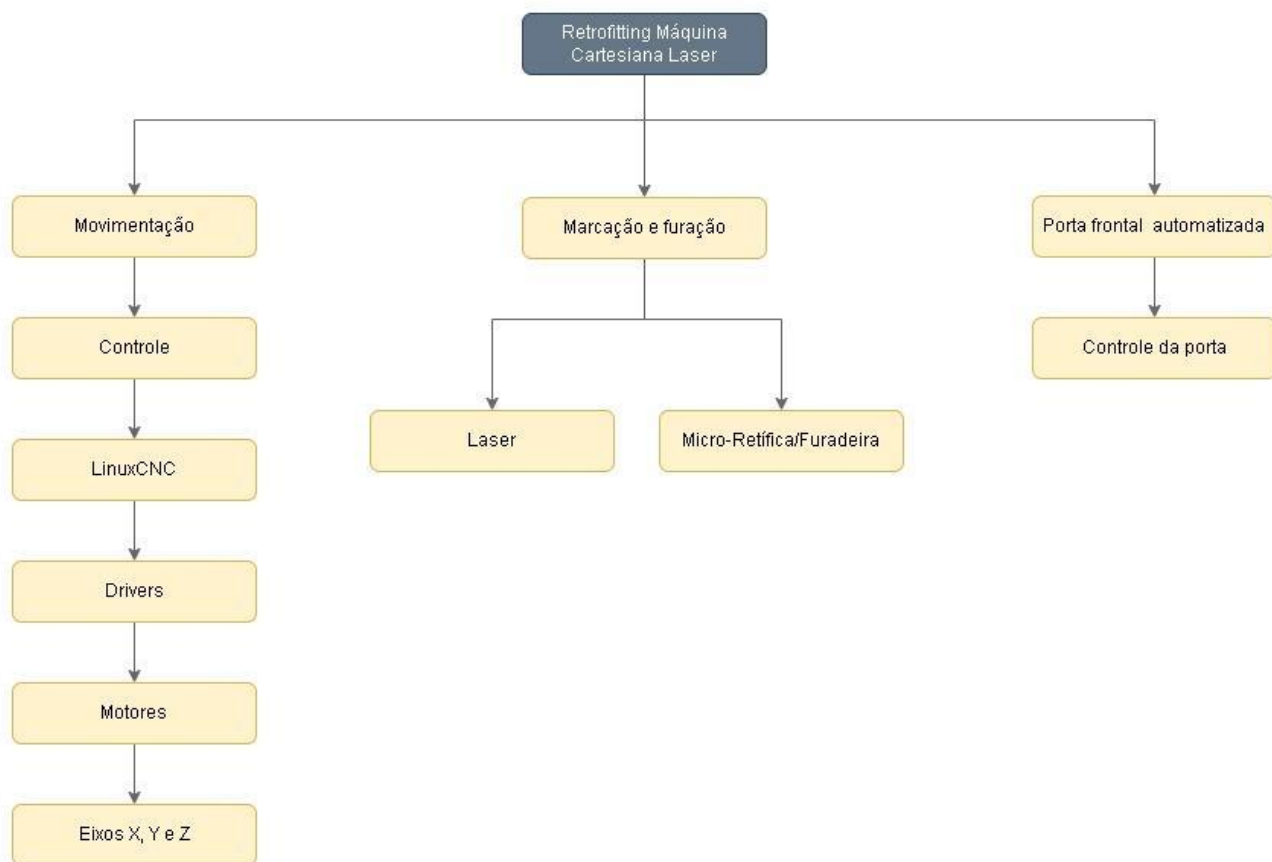
Neste capítulo, serão abordadas as funções principais do produto, a sua estrutura funcional entre as partes do mesmo, matriz morfológica, algumas opções que se mostraram disponíveis no quesito composição das partes do produto e alternativas de uso do produto.

3.1 Funções do produto

O produto atende as necessidades de produção de artigos em madeira que necessitam de marcação a laser (Figura 12), como já citado anteriormente será realizada desenvolvido uma programação (Figura 13) para controlar todo o processo através de *drivers* (Figura 14), onde a matéria prima desloca-se através de uma mesa móvel nos sentidos dos eixos X e Y, já o laser de marcação movimenta-se no sentido vertical (eixo Z) (Figura 15) e isso é necessário para atender a diferentes espessuras de madeiras como também o diâmetro de marcação do laser.

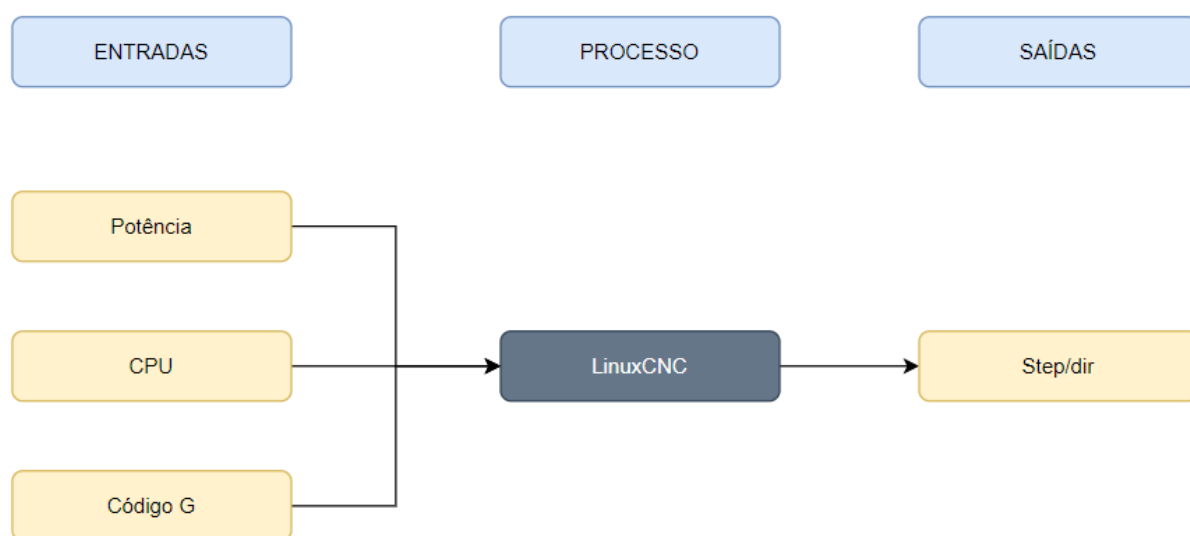
Buscando atender novas exigências de funcionamento e projeto, o *retrofitting* da máquina cartesiana visa além da marcação laser (Figura 16), realizar furos de diâmetros pequenos através de uma micro retifica/mini furadeira (Figura 17). Além disso, a automatização da abertura da porta frontal é necessária para que novas soluções futuras sejam empregadas, como por exemplo, a entrada e saída da matéria prima com uso de um braço mecânico robótico. Note que o *retrofitting* realizado neste semestre, não contempla a implementação de um braço robótico, sendo esta citação apenas para exemplificar a necessidade da automatização da porta frontal.

Figura 12 - Estrutura funcional.



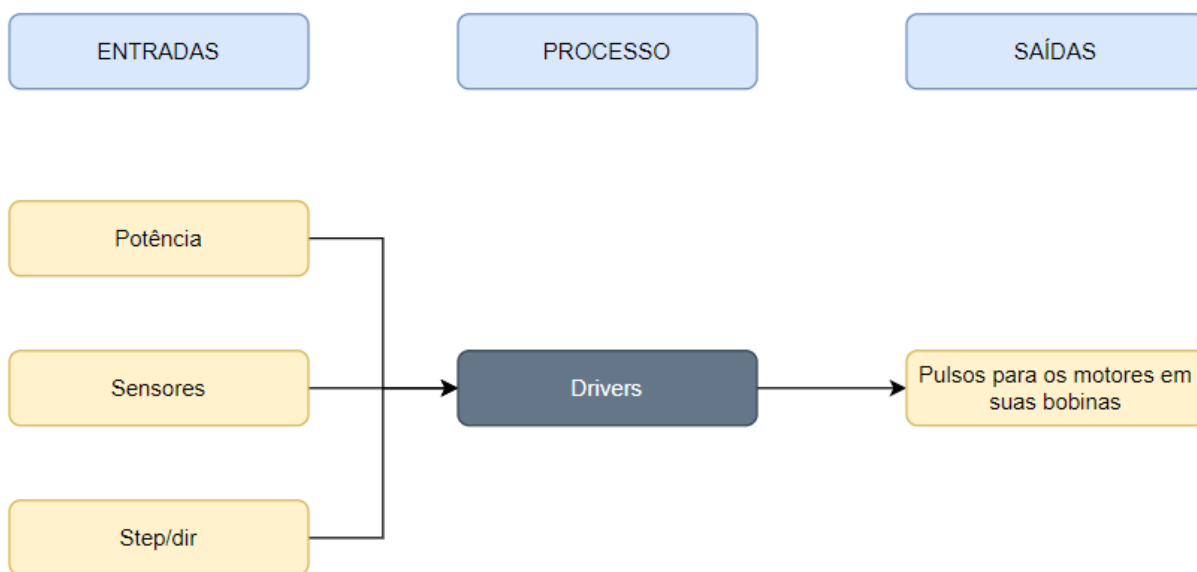
Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 13 - Estrutura da subfunção de controle.



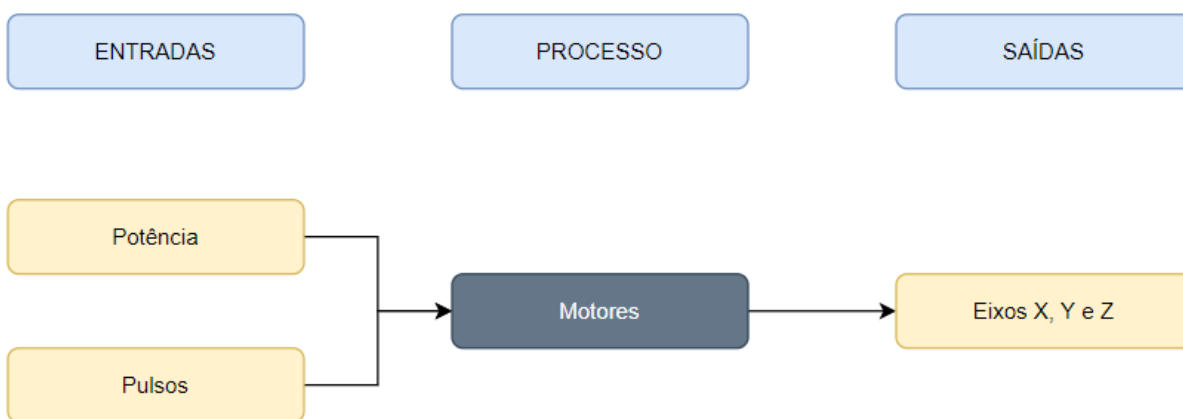
Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 14 - Estrutura da subfunção dos drivers.



Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 15 - Estrutura da subfunção dos motores.



Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 16 - Estrutura da subfunção do laser.



Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 17 - Estrutura da subfunção da micro retífica/furadeira.



Fonte: Dos Autores (2022).

3.2 Matriz Morfológica

Neste tópico, através das tabelas 4, 5, 6 e 7, serão abordadas as opções que foram encontradas para os mecanismos constituintes do projeto, ampliando assim as possibilidades de combinações e recombinações que o produto pode ter.

Tabela 5 - Algumas opções de atuadores para automatização da abertura e fechamento da escotilha.

Alternativas para a solução - automatização da escotilha		
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Atuador sendo cilindro pneumático	Atuador sendo servo motor	Atuador sendo motor CC
		

Fonte: Dos Autores (2022).

Tabela 6 - Diferentes tipos de laser para a marcação da madeira MDF.

Alternativas para a solução - implementação do laser no dispositivo		
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Laser dióxido de carbono (CO ₂)	Laser de fibra	Laser de diodo
		



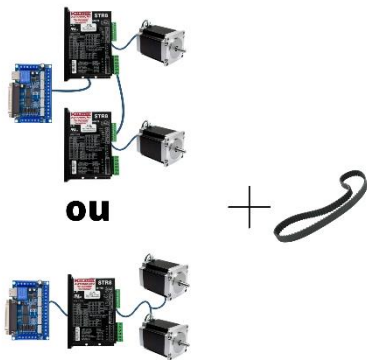
Fonte: Dos Autores (2022).

Tabela 7 - Algumas alternativas/opções de dispositivos de furação.

Alternativas para a solução - implementação de uma furadeira		
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Micro retífica	Minifuradeira	Laser de corte
		

Fonte: Dos Autores (2022).

Tabela 8 - Sincronização do eixo "Z".

Alternativas para a solução - sincronização do eixo "Z"		
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Conexão de dois motores a partir de drivers em paralelo.	Conexão de dois motores, utilizando um único driver.	Sincronização por meio de correia dentada.
		

Fonte: Dos Autores (2022).

3.3 Avaliação das Alternativas

A partir do tópico anterior, utilizaremos as tabelas para o desenvolvimento da Tabela 8, que visa expressar qual a melhor alternativa para este projeto de *retrofitting*.

Tabela 9 - Avaliação das alternativas de solução para as subfunções do produto.

Avaliação da subfunção Automação da Escotilha				
Alternativas	Segurança	Economia	Confiabilidade	Total
Atuador sendo cilindro pneumático.	10	6	7	23
Atuador sendo servo motor.	7	8	10	25
Atuador sendo motor CC.	8	9	10	27
Avaliação da subfunção da Implementação do Laser no Dispositivo				
Alternativas	Segurança	Economia	Confiabilidade	Total

Laser dióxido de carbono (CO2).	5	5	9	19
Laser de fibra.	7	3	10	20
Laser de diodo.	7	9	8	24
Avaliação da subfunção da Implementação de uma Furadeira				
Alternativas	Segurança	Economia	Confiabilidade	Total
Micro retífica.	8	8	8	24
Mini Furadeira.	8	8	8	24
Laser de corte.	10	2	10	22
Avaliação da subfunção da sincronização do eixo “Z”				
Alternativas	Segurança	Economia	Confiabilidade	Total
Conexão de dois motores a partir de drivers em paralelo.	9	10	9	28
Conexão de dois motores, utilizando um único driver.	5	5	6	16
Sincronização por meio de correia dentada.	7	7	8	22

Fonte: Dos Autores (2022).

4 – PROJETO DETALHADO

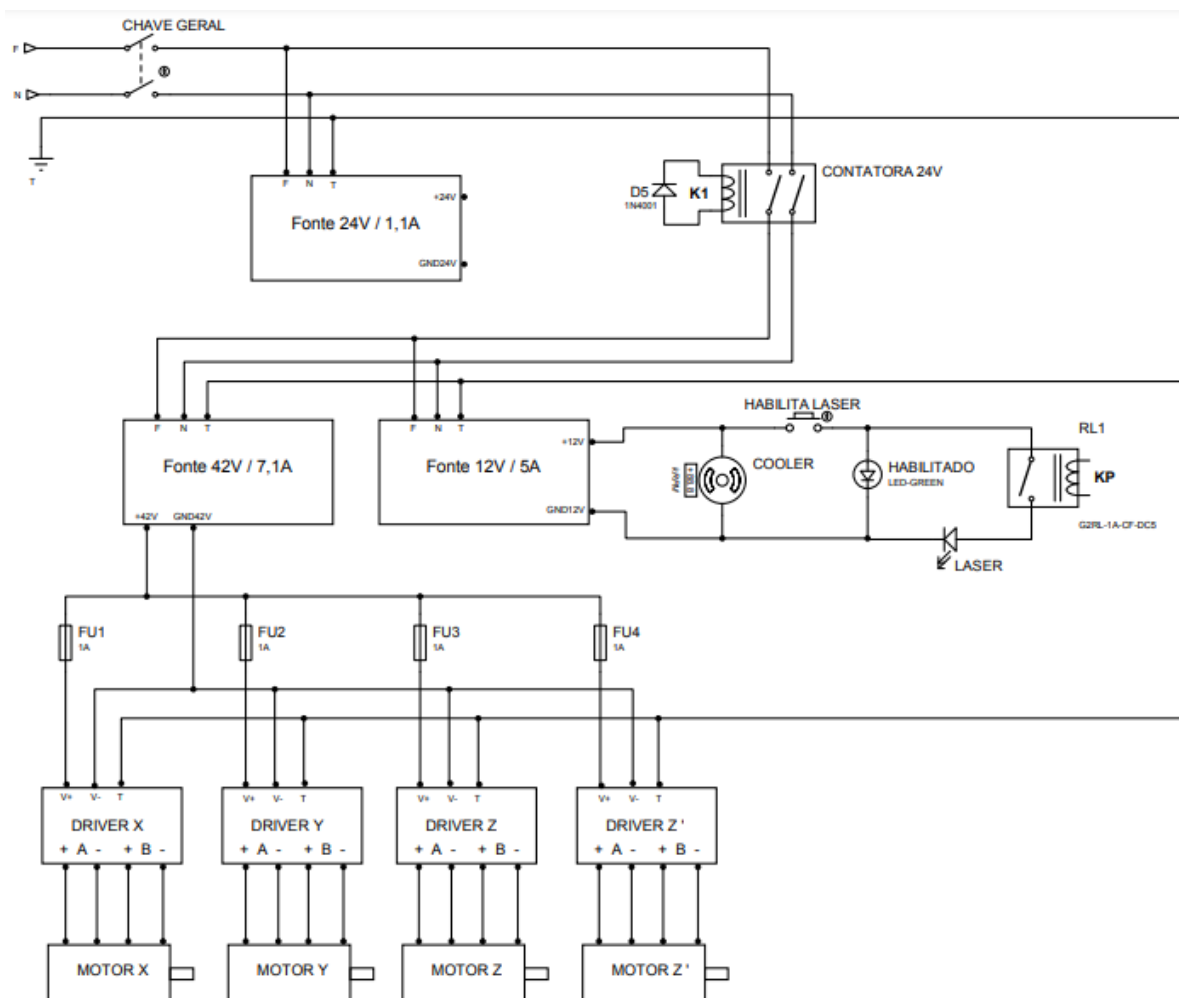
4.1 Diagramas

Neste subcapítulo será tratado de todos os diagramas desenvolvidos para a execução deste projeto.

4.1.1 Diagrama elétrico de potência

O diagrama elétrico de potência (figura 17) demonstra as ligações responsáveis por energizar os componentes que compõem a máquina. Na parte superior esquerda, é possível ver a entrada de fase 220V e neutro, além do aterramento. A fonte de alimentação de 24V é o primeiro item a ser energizado, inclusive antes da própria contatora, esta que é energizada logo em seguida. Um diodo fazendo o papel de “roda livre” está posicionado nos dois polos da bobina da contatora. Logo em seguida as fontes de energia de 42V e de 12V recebem alimentação, energizando os *drivers*, o relé e consequentemente o laser e o *cooler*. Um botão está localizado em série com o relé responsável em alimentar o laser, ou seja, ele libera ou não a passagem de elétrons neste fio. O motivo pelo qual este botão existe é permitir que o operador rode o programa e simule o funcionamento e deslocamento da mesa, sem que o laser ligue. Fusíveis são encontrados na entrada positiva do *drivers*, eles têm a função de proteger os *drivers* de picos de correntes ou curtos-circuitos. Os motores foram ligados com suas bobinas em paralelo.

Figura 18 - Diagrama de potência.

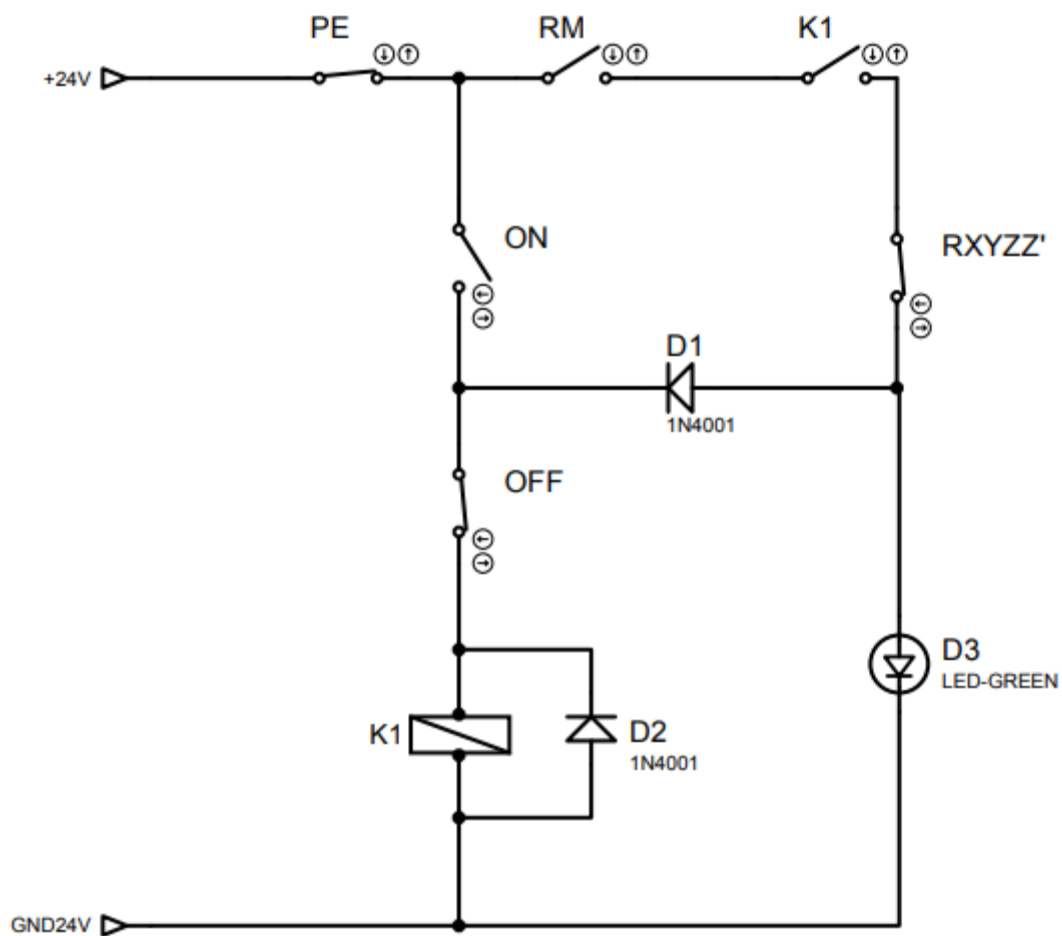


Fonte: Dos autores (2022).

4.1.2 Diagrama elétrico de intertravamento

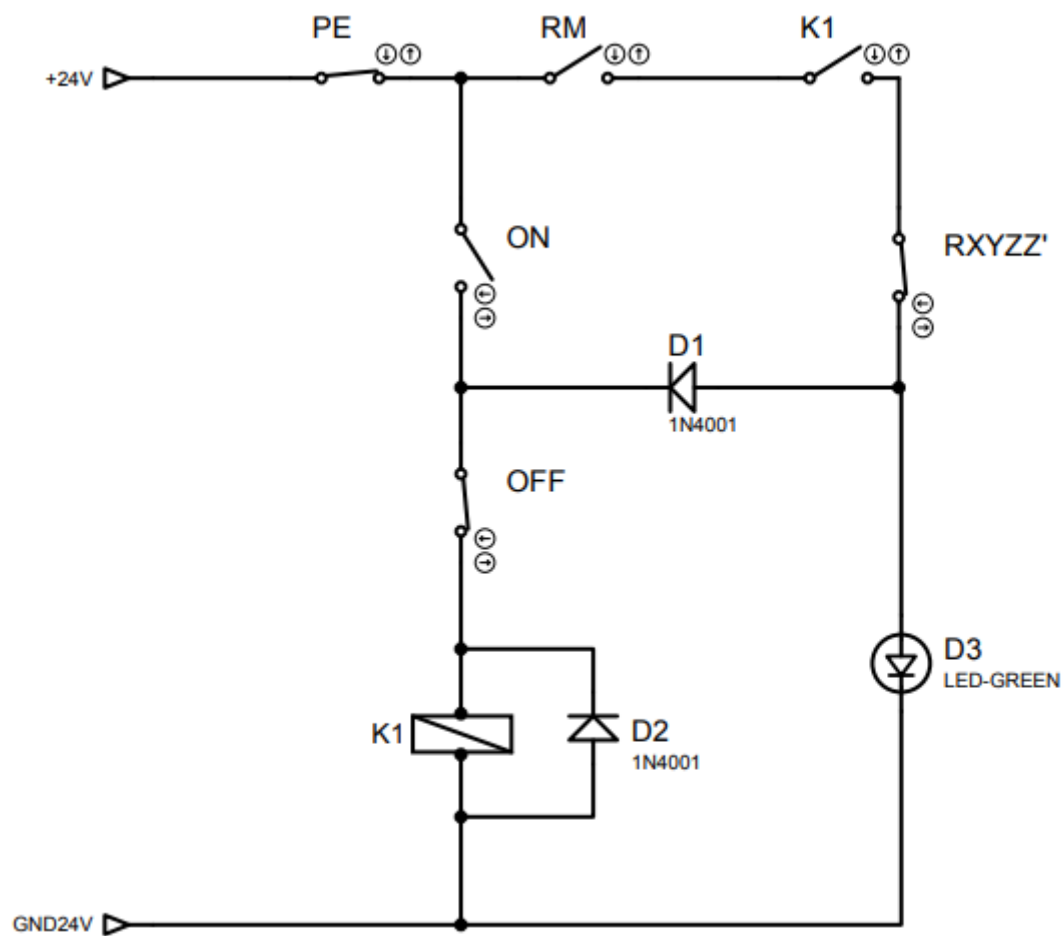
O diagrama elétrico de intertravamento tem o objetivo de proteger o equipamento contra falhas conhecidas e desconhecidas. Falhas conhecidas podem ser entendidas como falhas que comuns de acontecer, como por exemplo, a função *Fault* dos *drivers* (chave RXYZZ' figura18). Esta função interrompe o funcionamento do equipamento, avisando o operador que algo está errado com os motores ou com o próprio *driver*. O sistema de intertravamento precisa ser montado de forma inteligente para que o botão de emergência esteja apto a parar a máquina quando problema desconhecido aparecer. Além destes itens de segurança, este circuito possui um botão de Ligar (*on*) que possui uma retenção conectada paralelamente. Um Led faz a função de sinalizar para o operador que o sistema de intertravamento está trabalhando sem falhas e que a máquina pode operar sem problemas.

Figura 18 - Diagrama de intertravamento.



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 19 - Diagrama de intertravamento.

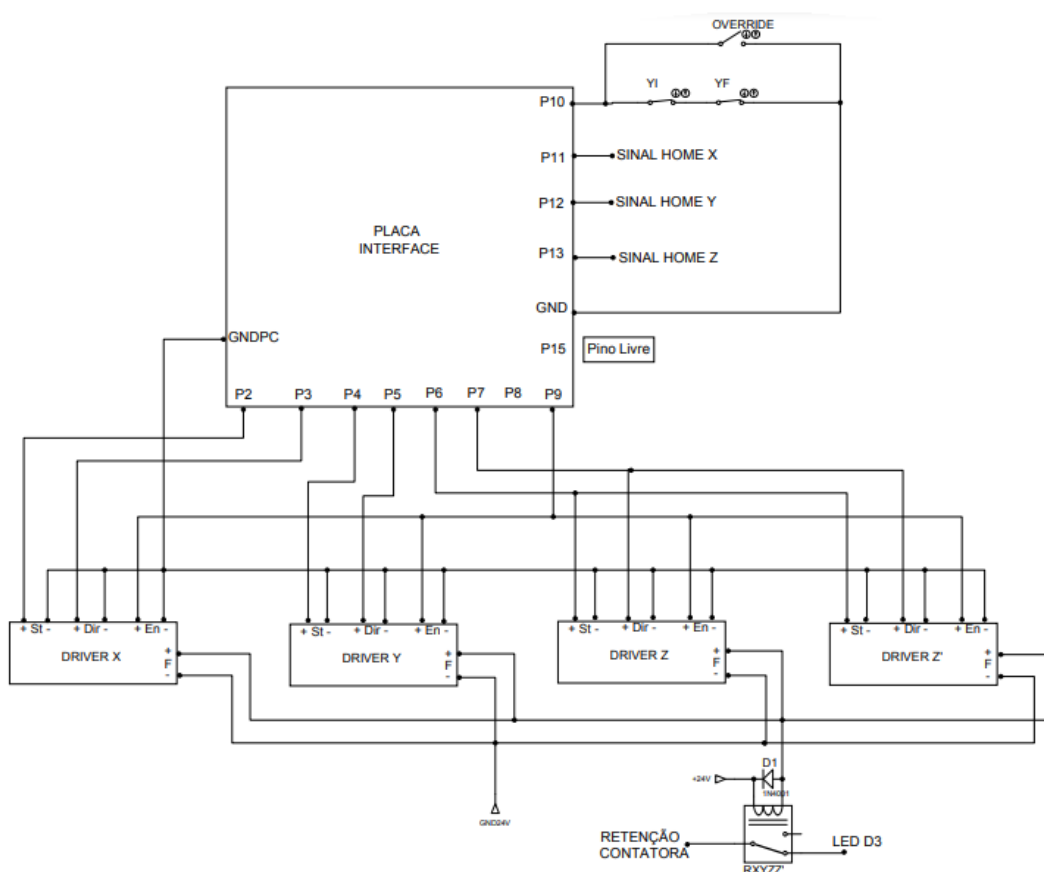


Fonte: Dos autores (2022).

4.1.3 Diagrama elétrico de sinais

O diagrama de sinais demonstra as ligações e saídas de sensores e de comandos a placa. O *override* funciona como um *by pass*, onde caso a mesa se desloque e chegue no fim de curso, é possível utilizar este botão para mover a mesa e retornar para posição. Os sensores ópticos fazem a função de *Home* da máquina, referenciando a mesa em relação a estes sensores. O Diagrama de Sinais é responsável pelo controle dos motores, através dos pinos *Step* e *Dir* dos *drivers*. Além disso, é possível encontrar o relé responsável por controlar o sistema de intertravamento dos *Faults*.

Figura 20 - Diagrama de sinais.

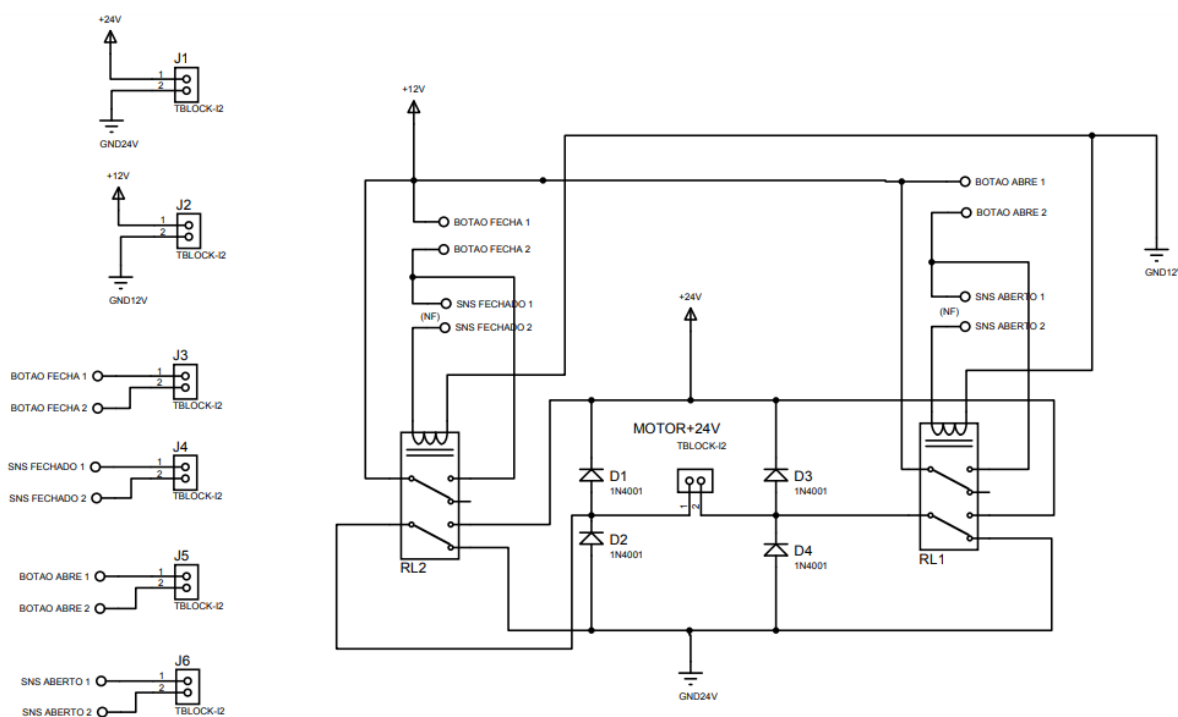


Fonte: Dos autores (2022).

4.1.4 Diagrama de acionamento da porta frontal

Neste diagrama é feito o controle do motor elétrico de corrente contínua que movimenta a porta frontal da máquina de marcação Laser. O motor é alimentado pela fonte de 24V, e o acionamento dos relés é feito pela fonte de 12V. O circuito conta com dois botões, um para abrir e outro para fechar. Além disso, foram utilizados dois sensores de fim de curso, conectados em modo normalmente fechado. Em outras palavras, o operador solicita que a porta abra, e quando a mesma atinge o fim de curso, o motor desliga. Este circuito foi construído através da fresadora LPKF, que usinou a placa para que os componentes pudessem ser soldados. Os botões estão localizados na parte frontal do gabinete.

Figura 21 - Diagrama de acionamento da porta frontal.

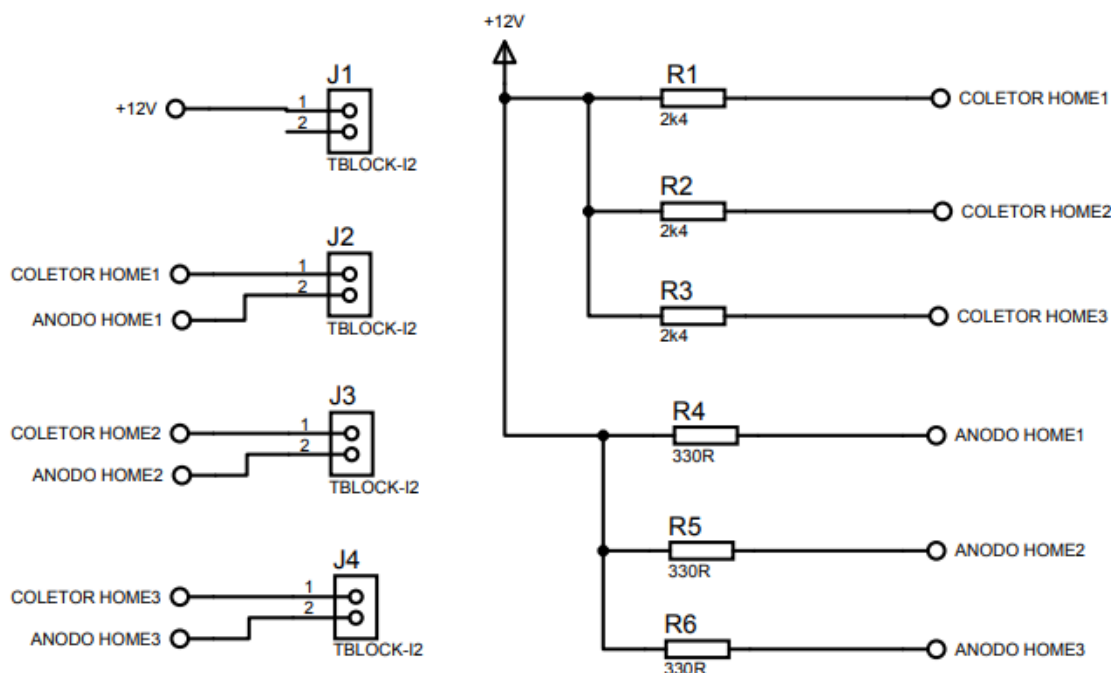


Fonte: Dos autores (2022).

4.1.5 Diagrama elétrico dos sensores Home dos eixos X, Y e Z

Este circuito faz a conexão dos fios positivos dos sensores ópticos *Home*. Estes sensores são alimentados pela tensão de 12V e são necessários devido à especificação do sensor.

Figura 22 - Diagrama de sensores Home.



Fonte: Dos autores (2022).

4.2 Desenhos em CAD das peças fabricadas para uso no *retrofitting*

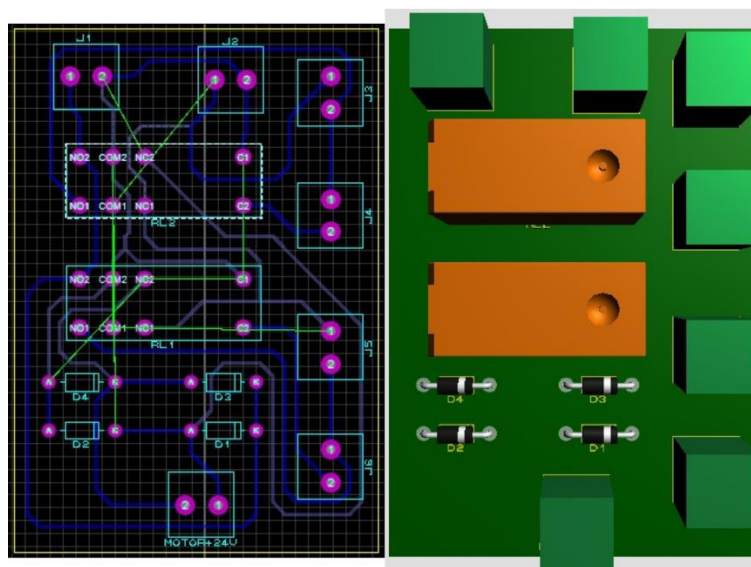
Durante a trajetória de desenvolvimento do projeto ocorreu a necessidade de fabricação de algumas peças para o funcionamento deste, de acordo com a ideia de *retrofitting* uma das etapas do projeto foi realizar a automatização da abertura e fechamento da escotilha frontal do gabinete.

Com exceção das placas de acionamento da porta frontal e da placa dos sensores home que foram esboçadas através do *software Protheus*, as demais peças foram desenhadas com o auxílio do *software SolidWorks* e produzidas com impressão 3D.

Para atender a necessidade citada no primeiro parágrafo, foi elaborado e fabricado uma placa (Figura 23) para funcionamento desta função, do mesmo modo

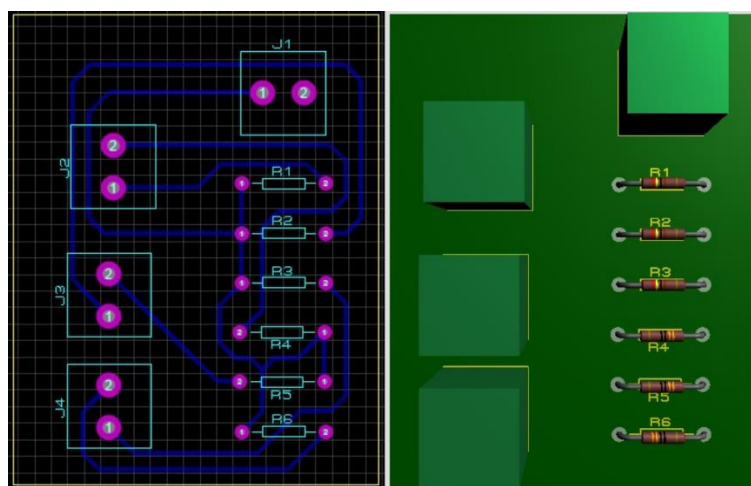
que, foi projetado uma case (Figura 25), onde está e a placa dos sensores *home* (Figura 24) ficam acopladas, para que não fiquem soltas dentro do gabinete.

Figura 23 - Diagrama de circuito impresso do acionamento da porta frontal da escotilha e sensores fim de curso



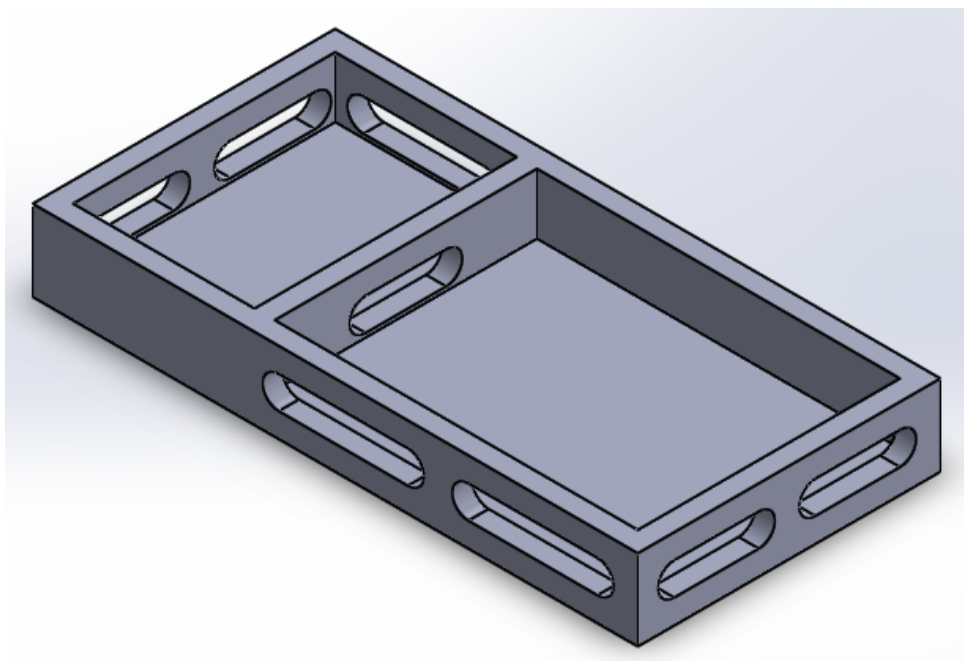
Fonte: Dos autores (2022).

Figura 24 - Diagrama de circuito impresso dos sensores home



Fonte: Dos autores (2022).

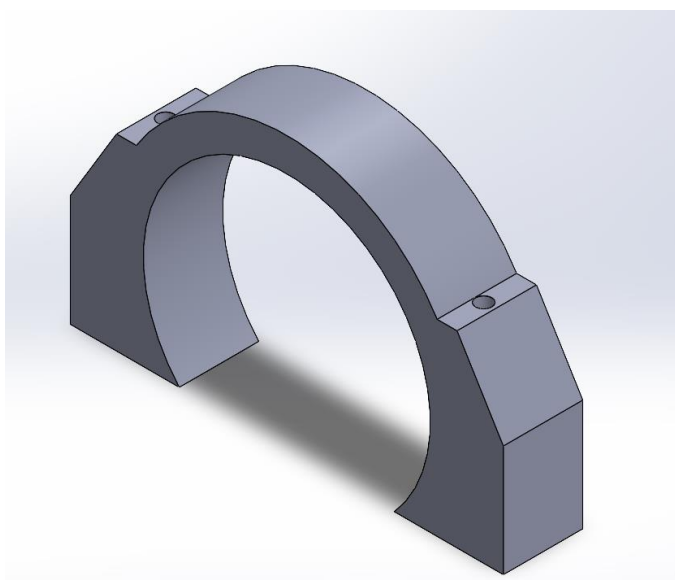
Figura 25 - Case das placas desenvolvidas.



Fonte: Dos autores (2022).

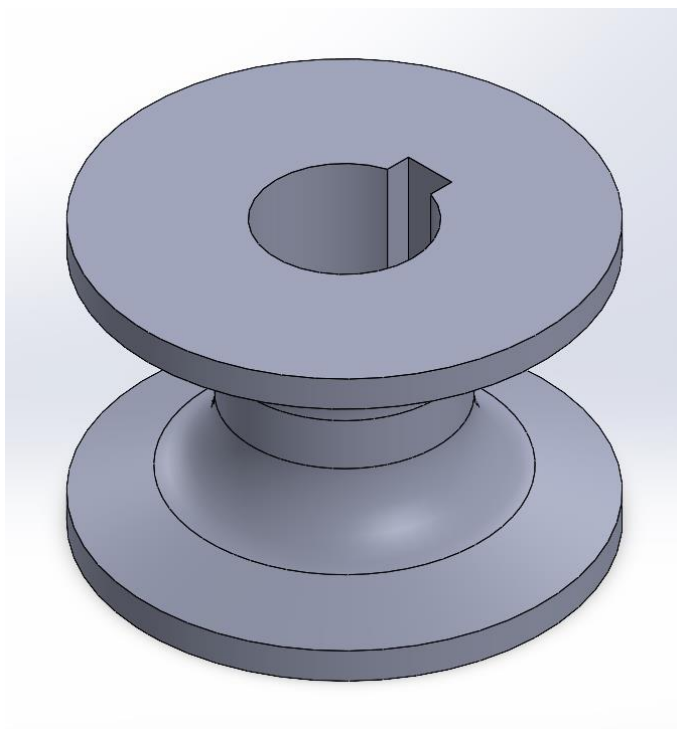
Para a fixação do motor dentro da estrutura foi idealizado um mancal (Figura 26), juntamente com este foi criado um carretel (Figura 27) onde o fio nylon é preso e por fim uma tampa do carretel (Figura 28) para melhor estabilização do carretel juntamente a haste do motor.

Figura 26 - Mancal do motor.



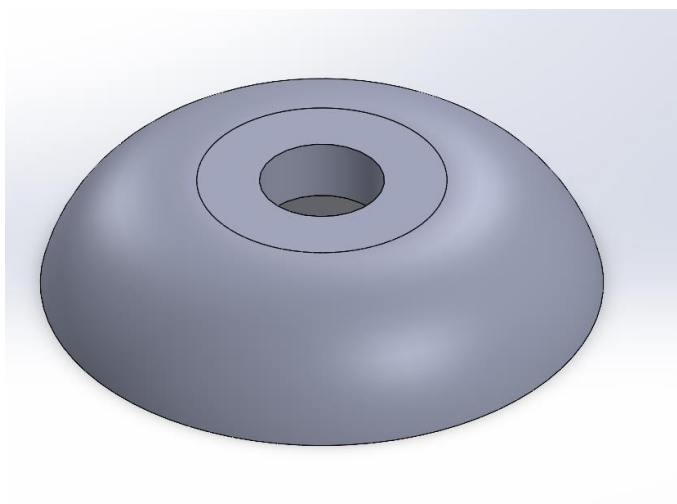
Fonte: Dos Autores (2022).

Figura 27 - Carretel



Fonte: Dos autores (2022).

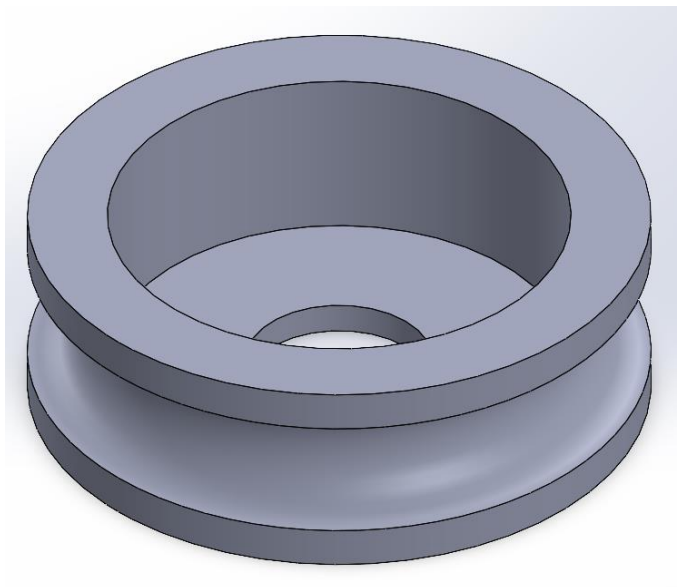
Figura 28 - Tampa do carretel



Fonte: Dos autores (2022).

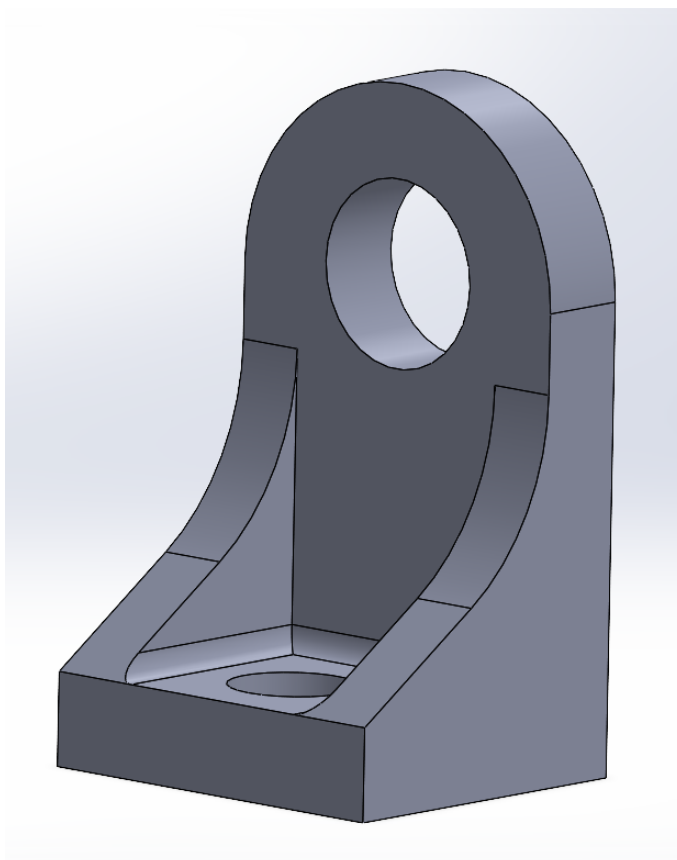
O movimento de alavanca da porta foi utilizado através do método de polias para que a força exercida pelo motor seja menor, desse modo, foi fabricado uma polia (Figura 29) e o suporte da polia (Figura 30) para fixação da mesma.

Figura 29 - Polias



Fonte: Dos autores (2022).

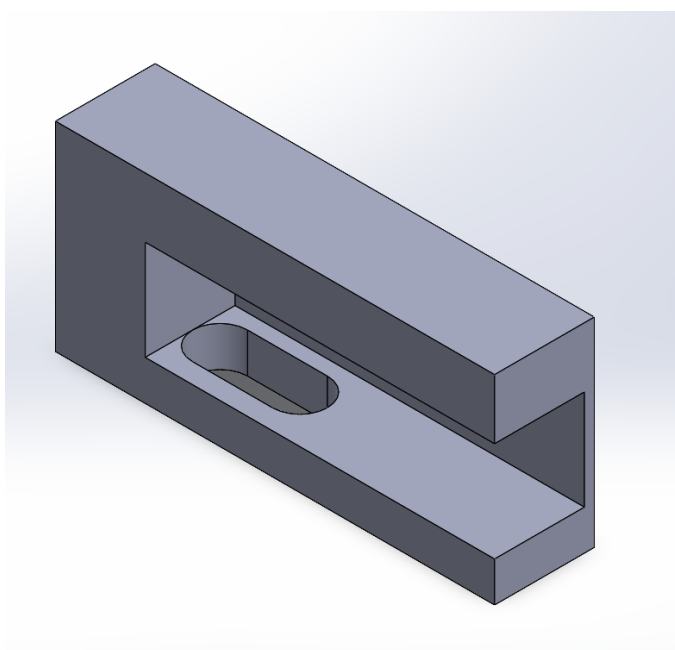
Figura 30 - Suporte da polia



Fonte: Dos autores (2022).

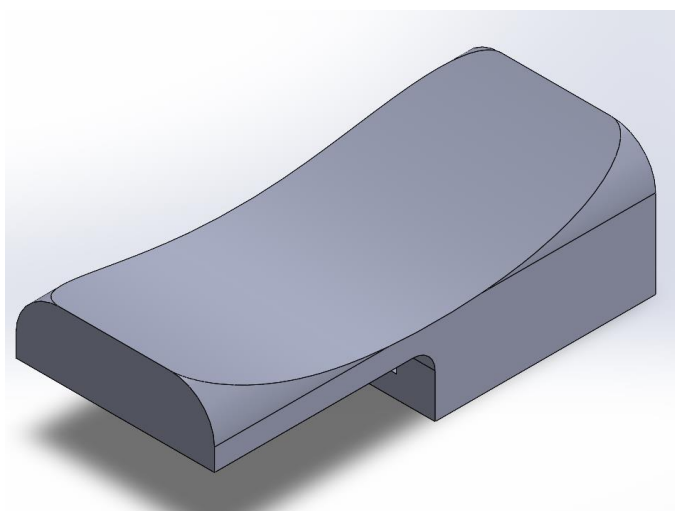
Para que a escotilha pare de abrir em determinada altura foi necessário a inclusão de um fim de curso na parte interna da porta, em vista disso, foram criadas duas peças, o suporte para o fim de curso (Figura 31), onde ele ficará preso e o gatilho (Figura 32) que auxiliará exercendo menos força no pressionar do fim de curso e o seu formato evitará que o nylon escape de pressionar o mesmo.

Figura 31 - Suporte fim de curso.



Fonte: Dos autores (2022).

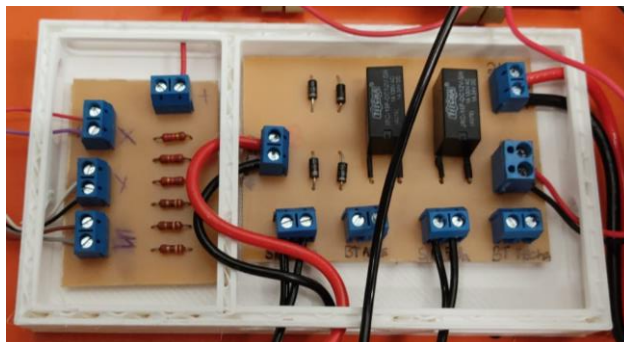
Figura 32 - Gatilho do sensor.



Fonte: Dos autores (2022).

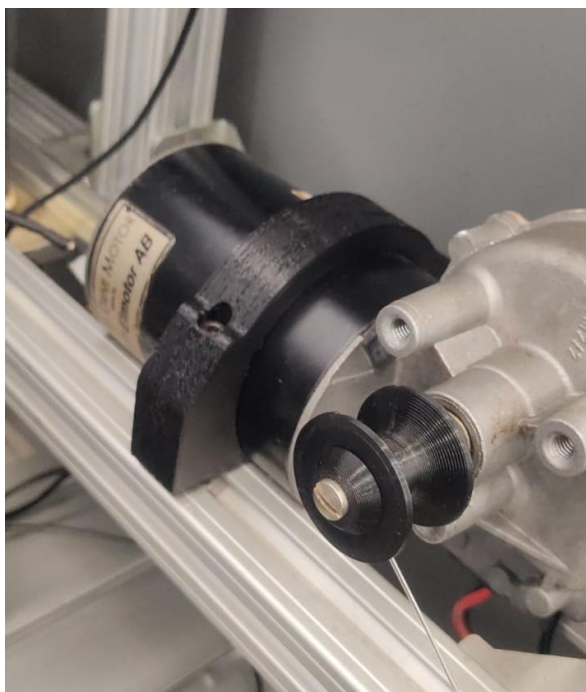
Após a fabricação de todas as peças citadas neste subcapítulo, todas elas foram implementadas na máquina, como pode ser visto abaixo da Figura 33 até a Figura 37.

Figura 33 – Placas de acionamento da porta frontal e da placa dos sensores home acopladas no case feito em impressão 3D.



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 34 - Mancal do motor produzido em impressão 3D parafusado na estrutura da máquina segurando o motor, carretel impresso em 3D onde fica acoplado o fio nylon que servirá como forma de puxar a escotilha, e tampa do carretel também impressa com impressão 3D.



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 35 - Polia inferior parafusada na estrutura da máquina



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 36 - Polia superior parafusada na estrutura da máquina



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 37 - Sensor fim de curso inserido no suporte impresso em 3D e com o gatilho encaixa na ponta do fim de curso.

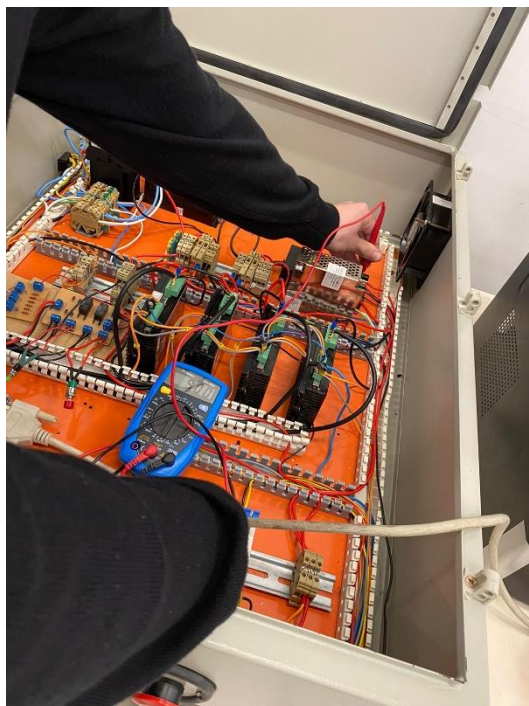


Fonte: Dos autores (2022).

4.3 Testes preliminares de integração entre a placa de interface e o software de controle

Os testes preliminares iniciaram na quarta semana de projeto, foram testados os componentes (Figura 38), fontes, drivers e demais componentes periféricos, onde a equipe obteve resultados satisfatórios, ao notar que grande maioria dos componentes estavam funcionando apesar das conexões estarem desorganizadas.

Figura 38 - Demonstrativo dos testes realizados para verificação do funcionamento dos componentes.



Fonte: Dos autores (2022).

Na quinta semana começaram os testes com o laser, como pode ser observado na Figura 39, antes de tentar realizar qualquer tipo de desenho, foram feitas marcações para calibrar o mesmo, inicialmente as marcas estavam saindo no formato de elipse, conforme eram realizados ajustes no foco da lente, aproximando e afastando a mesma do emissor de luz, alcançando o foco ideal, mantendo a marcação não mais como uma elipse mas como um ponto.

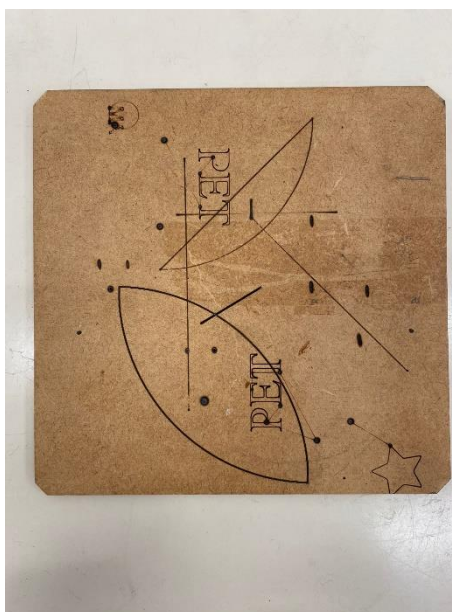
Figura 39 - Calibração do foco do laser



Fonte: Dos autores (2022).

Na décima segunda semana foi aprofundada a integração entre a movimentação sobre os eixos cartesianos e o laser para marcação das placas de mdf, pode notar-se através da Figura 40 a evolução das marcações, onde inicialmente eram apenas elipses, com o ajuste da lente passou a fazer pontos e sequencialmente com a integração formas como linhas contínuas, meia lua e até um formato de “folha”.

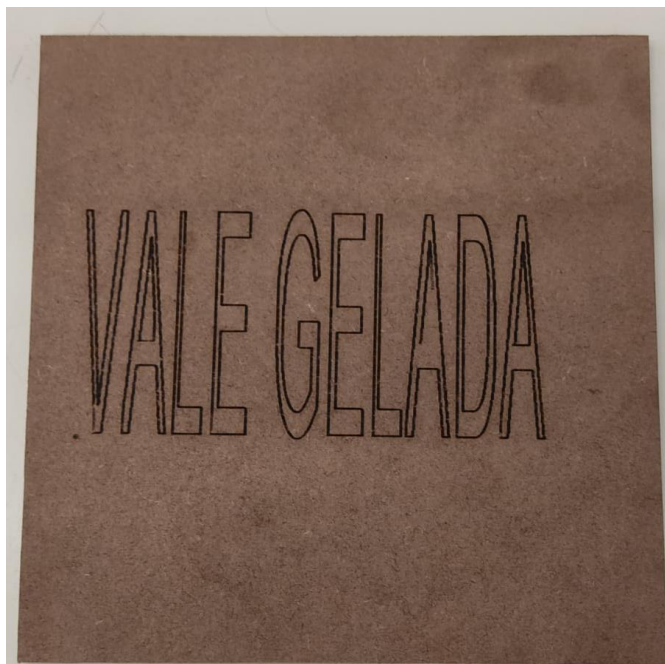
Figura 40 - Testes de marcação a laser na placa de mdf com integração do eixo cartesiano



Fonte: Dos autores (2022).

Na décima sexta semana, é notável a evolução dentro dos testes de marcação a laser, como mostrado na Figura 41 a marcação não foi feita apenas de forma “aleatória”, mas sim através de um código desenvolvido para desenhar um “VALE GELADA”, ligando e desligando o laser de marcação entre as letras.

Figura 41 - Marcação feita na placa de mdf com trajetória e ativação do laser feitos pelo programa no LinuxCNC.

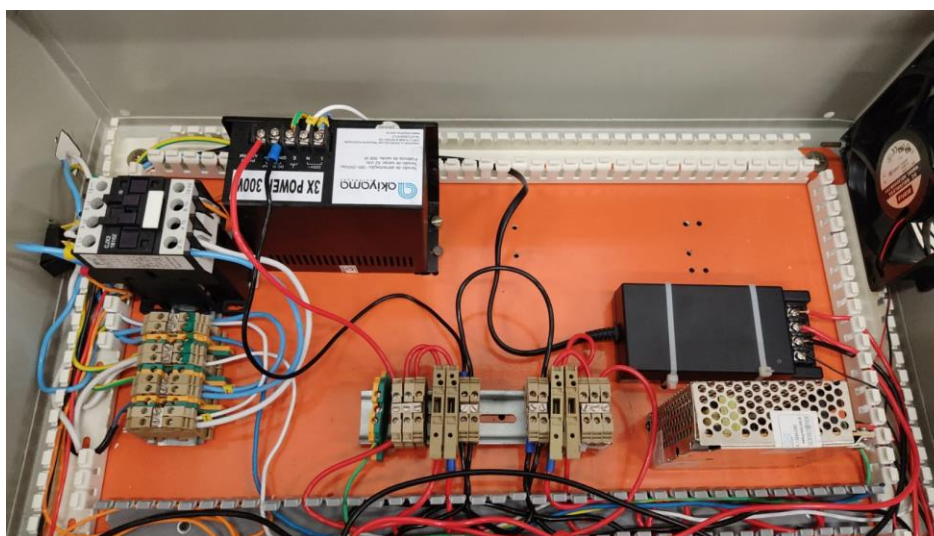


Fonte: Dos autores (2022)

4.4 Substituição ou instalação de componentes

Como apresentado na Figura 42 foi retirada uma das fontes de 24V que se tinha no gabinete, já que a mesma se encontrava desnecessária por questão de um superdimensionamento feito anteriormente pelos desenvolvedores iniciais do projeto.

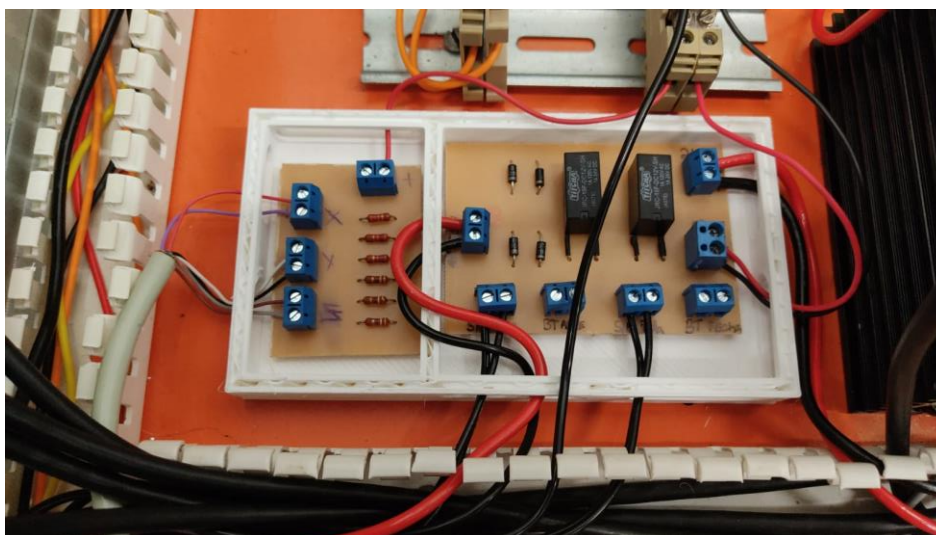
Figura 42 - Novo layout da parte de potência da máquina.



Fonte: Dos autores (2022).

Com apoio do laboratório de PI foram desenvolvidas e instaladas duas placas (da esquerda para direita) acionando os sensores de home e o sistema de acionamento da porta. Como demonstrado na Figura 43.

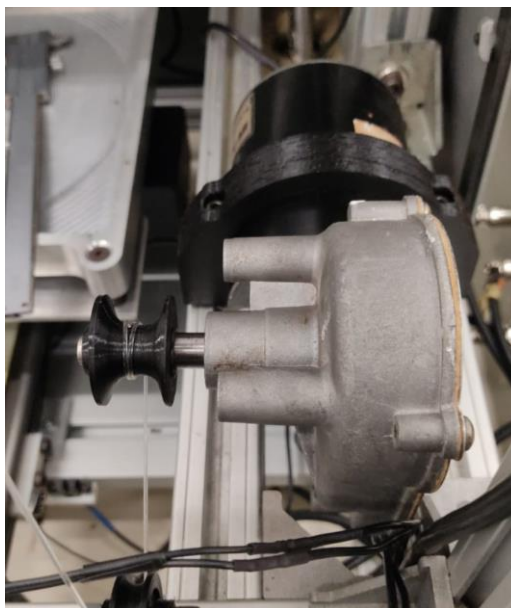
Figura 43 - Placas de circuito impresso de acionamento da porta e sensores home instaladas.



Fonte: Dos autores (2022).

A Figura 44, representa a relação motor e dispositivo do mesmo que foram inseridos na estrutura da máquina, motor esse que é o atuador no processo de abertura e fechamento da porta frontal, melhoria do *retrofitting*.

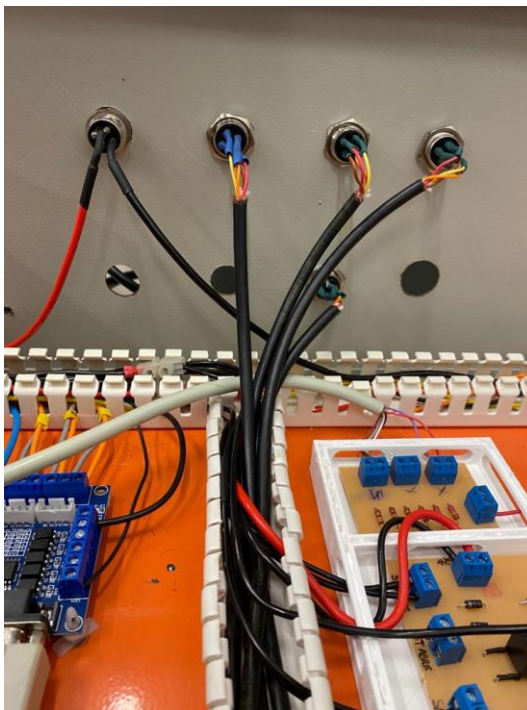
Figura 44 - Motor da porta frontal.



Fonte: Dos autores (2022).

Devido ao fato de encontrar-se uma fiação desorganizada e mal planejada quando se tratava das ligações drivers → motores, foram refeitas todas as conexões dos *drivers* com os motores por meios de cabos conectores 4 vias, como demonstrado na Figura 45.

Figura 45 - Conexões drivers → motores.



Fonte: Dos autores (2022).

4.5 Revisão das ligações.

Por meio de um multímetro, todas as ligações foram testadas tanto com, quanto sem potência, para se ter certeza de que tudo propendia a funcionar perfeitamente antes de energizar a máquina por completo e executar uma marcação em si. Como mostrado no item anterior, algumas conexões como as dos drivers→motores, tiveram que ser refeitas, melhoradas ou receber algum tipo de manutenção.

4.6 Testes de movimentação da máquina

A partir da quarta semana foram realizados testes de movimentação dos eixos cartesianos, deslocando a mesa para pontos aleatórios nos eixos x e y do plano como pode ser notado através do link abaixo e da Figura 46.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração todos os dispositivos desenvolvidos, conteúdos abordados, experiências adquiridas e resultados alcançados, mesmo não conseguindo o objetivo de integrar uma micro retífica no processo (devido à falta de recursos), é de comum acordo da equipe que o resultado foi adequado e satisfatório, uma vez que laser e escotilha frontal estão funcionando perfeitamente, além do gabinete da máquina estar muito mais organizado e limpo.

Como possíveis sugestões para uma equipe subsequente que selecione a máquina de marcação a laser como projeto para a disciplina de Projeto Integrador VI da 9ª fase do curso de Engenharia Mecatrônica, a equipe sugere uma automatização do processo “Retirar e colocar” chapas de MDF para marcar, além de adquirir um laser mais moderno com capacidade de regulação de foco e intensidade.

Referências

MORESCO, Henrique T.; MENDES, Lucas M.; WILLEMANN, Matheus R. **.Parvus Eternus: retrofit de máquina. Retrofit de Máquina.** 2022. Disponível em: <https://github.com/Luctins/pi6>. Acesso em: 20 abr. 2022.

APPLIED MOTION (Usa & Canada). **Driver Step Motor STR8.** 2022. Disponível em: <https://www.applied-motion.com/products/stepper-drives/str8>. Acesso em: 04 maio 2022.

LINUXCNC. **LinuxCNC.** 2022. Disponível em: <https://linuxcnc.org/>. Acesso em: 11 maio 2022.

THEREMINO. **Theremino StepperDriver.** 2022. Disponível em: <https://www.theremino.com/pt/hardware/adapters>. Acesso em: 13 maio 2022.

GITHUB. **OpenSource GitHub LinuxCNC.** 2022. Disponível em: <https://github.com/LinuxCNC/linuxcnc>. Acesso em: 29 abr. 2022.

KALATEC (Brasil). **Drive de Motor de Passo STR8.** 2022. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br/drive-de-motor-de-passo-str8/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

ELETRÔNICA, Baú. **Fusível de Vidro 5x20 - 5A 250V.** Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/fusivel-de-vidro-5x20-5a-250v.html>. Acesso em: 11 abr. 2022.

10W 450nm Laser Cabeça Gravação Módulo Diodo Marcação Madeira Corte Para. Disponível em: <https://www.submarino.com.br/produto/74031283>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CONJUNTO de cabeça de laser CO2, cabeça de laser para máquina de gravação a laser, lente de foco Dia.20mm FL.63.5 / 101.6mm. Disponível em:

<https://www.americanas.com.br/produto/2136951606?style=Com%20placa%20fixa>.

Acesso em: 11 abr. 2022.

RAVICORTE (Brasil). **Corte a Laser**. 2022. Disponível em:

<https://ravicorte.com.br/site/servicos/corte-a-laser>. Acesso em: 10 maio 2022.

DIRECT INDUSTRY. **Módulo de laser de fibra óptica ALBALUX FM**. 2022.

Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/laser-components/product-36263-2263861.html>. Acesso em: 20 abr. 2022.

LYBGA & LYCNC ENGRAVING MACHINE STORE (China). **Máquina de gravação**

CNC Laser. 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/33042193580.html>.

Acesso em: 01 maio 2022.