

**CENTRO PAULA SOUZA  
ESCOLA TÉCNICA MARTIN LUTHER KING  
TÉCNICO EM MECATRÔNICA - ETIM**

**Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso**

**SÃO PAULO**

**2022**

Rafaela Yuki Shiroma Centenaro

**Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso**  
**Técnico em Mecatrônica**

Monografia apresentada junto ao curso Técnico em Mecatrônica da ESCOLA TÉCNICA MARTIN LUTHER KING, como requisito parcial à obtenção de técnico.

Orientador: Prof. ME. Eng. Paulo Roberto Murger Nogueira

**SÃO PAULO**

**2022**

## **GRUPO**

Carlos Roberto Jacinto Neto

Felipe Augusto de Medeiros Gomes

Fernando Santana Batista

Gustavo Andrade de Sousa

Isabela Alves da Silva

Rafaela Yuki Shiroma Centenaro

**BATISTA**, Fernando Santana; **CENTENARO**, Rafaela Yuki Shiroma; **GOMES**, Felipe Augusto de Medeiros; **JACINTO**, Carlos Roberto Neto; **SILVA**, Isabela Alves da; **SOUSA**, Gustavo Andrade de.

Monografia apresentada junto ao curso Técnico em Mecatrônica da ESCOLA TÉCNICA MARTIN LUTHER KING, como requisito parcial a obtenção de técnico.

Orientador: Prof. ME. Eng. Paulo Roberto Murger Nogueira

Aprovado em: 07/12/2022

Orientador: Prof. ME. Eng. Paulo Roberto Murger Nogueira

Assinatura: \_\_\_\_\_

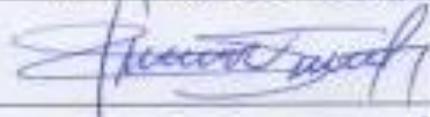


Banca Examinadora

Professor: \_\_\_\_\_

VAGNER SARTI

Assinatura: \_\_\_\_\_



Professor: \_\_\_\_\_

Marcos Antonio Sousa

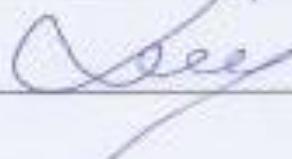
Assinatura: \_\_\_\_\_

Marcos

Professor: \_\_\_\_\_

Daniel Capella Pereira

Assinatura: \_\_\_\_\_



## **DEDICATÓRIA**

Ao nosso professor orientador Paulo Murger, às nossas famílias e aos alunos que futuramente utilizarão a nossa máquina em seus estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em agradecimento a Deus e a todos os que tornaram este projeto possível. Estimamos nossa gratidão aos amigos e familiares que nos apoiaram e às pessoas que contribuíram com ideias, materiais e experiência ao trabalho. Especialmente aos amigos Raúl Cerda e Carlos Oliveira pelas orientações, que iluminaram o caminho nas maiores dificuldades, e a todas as inspirações culturais, que nos mantiveram com os olhos na realidade mesmo durante um trabalho cheio de números.

“Para ser grande, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.”

**Fernando Pessoa**

## RESUMO

Este projeto tem como objetivo construir uma Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso, um dispositivo que movimentava um recipiente com ácido, a fim de corroer uma camada de cobre presente nessas placas, que servem de base para circuitos eletrônicos. Este processo é muito comum na indústria como um todo e é presente em diversas formações técnicas do ramo de eletrônica. Algumas instituições realizam corrosão de PCI manualmente ou em máquinas improvisadas. Portanto, visando também substituir a máquina já existente na Etec Martin Luther King e melhorar a eficiência da corrosão em relação à anterior, o projeto pretende solucionar os problemas enfrentados pelos alunos quando a utilizam, como a falta de proteção contra o ácido corrosivo e o sistema pouco flexível que não permite muitas variações na operação. Por isso, ela conta com sistema de segurança, temporizador e limpeza das placas. Foi construída uma estrutura de madeira e acrílico para acomodar um recipiente plástico, em que as placas são imersas no ácido Cloreto Férrico. O recipiente é preso a um motor que gira alternadamente para passar o líquido na superfície das placas. O tempo e a velocidade da operação são programáveis através de um teclado e um display presentes na parte externa da máquina e controlados por um microcontrolador e um circuito eletrônico. A partir do uso e comparação com a máquina original, foi possível atestar a maior eficiência e praticidade no dispositivo produzido, diminuindo o tempo de cada processo e aumentando a quantidade de placas corroídas por vez.

**Palavras-chave:** PCI; circuito impresso; cloreto férrico; automação; microcontrolador.

## ABSTRACT

This project aims to build a Printed Circuit Corrosion Board Machine, a device that moves a container with acid to corrode the copper layer present on these boards, which are the basis for electronic circuits. This process is very usual in the industry in general, and it is present in several technical formations in the field of electronics. Some institutions perform PCB corrosion manually or using improvised machines. Therefore, also aiming to replace the existing machine at Etec Martin Luther King, and to improve the corrosion efficiency in relation to the previous one, the project intends to solve problems faced by the students when using it, such as the lack of protection against the corrosive acid and the not flexible system that does not allow many variations in the operation. The machine includes a safety system, a timer, and a way to clean the boards. The group built a wooden and acrylic structure to accommodate a plastic container, in which the boards are immersed in Ferric Chloride acid. The container is attached to a motor that rotates alternately to scrub the liquid over the surface of the boards. The timing and speed of the operation are programmable via a keyboard and a display on the outside of the machine, and a microcontroller and an electronic circuit control them. By using and comparing the performance of this machine with the original one, it was possible to attest a greater efficiency and practicality in the produced device, reducing the time of the process and increasing the number of corroded boards at a time.

**Keywords:** PCB; printed circuit; ferric chloride; automation; microcontroller.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Placa de Circuito Impresso.....	16
Figura 2: Placa de Circuito Impresso Artesanal.....	17
Figura 3: Fábrica de Circuito Impresso em Salto, SP.....	18
Figura 4: Proteção de Acrílico do Protótipo.....	24
Figura 5: Recipiente Plástico 4,5L.....	25
Figura 6: Recipiente para limpeza das placas.....	26
Figura 7: Colmeia Plástica.....	26
Figura 8: Tampão de PVC.....	27
Figura 9: Fontes Chaveadas usadas no protótipo.....	32
Figura 10: Circuito Regulador soldado na Placa de Fenolite.....	33
Figura 11: Resistores de 220 $\Omega$ e 3600 $\Omega$ .....	34
Figura 12: Capacitor de 100 $\mu$ F.....	35
Figura 13: Esquema de um relé.....	36
Figura 14: Estrutura e Simbologia do Diodo.....	36
Figura 15: Estrutura e Simbologia do LED.....	37
Figura 16: Fusível 5x20mm 9A.....	39
Figura 17: Botão de Emergência com Trava 22 mm.....	40
Figura 18: Parte Elétrica.....	41
Figura 19: Pinos do Arduino Pro Mini.....	44
Figura 20: Teclado Matricial Rígido.....	45
Figura 21: Esquema do Display de 7 segmentos.....	46
Figura 22: Circuito Catodo Comum e Anodo Comum.....	46
Figura 23: Frente da Máquina.....	47
Figura 24: Apresentação da Máquina pronta na ExpoTCC.....	49
Figura 25: Grupo e Orientador.....	50

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
Relevância.....	12
Problema.....	12
Hipóteses.....	13
OBJETIVOS .....	14
Objetivos Gerais .....	14
Objetivos Específicos .....	14
JUSTIFICATIVA.....	15
1. PCI E SUA IMPORTÂNCIA .....	16
2. O PROCESSO DE CORROSÃO.....	19
3. O FUNCIONAMENTO DA NOSSA MÁQUINA.....	20
4. ESTRUTURA .....	23
5. PARTE MECÂNICA .....	28
6. PARTE ELÉTRICA.....	30
7. PROGRAMAÇÃO.....	42
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
10. APÊNDICES.....	54

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretende aplicar os conhecimentos obtidos ao longo do curso de mecatrônica, área que ganha, a cada ano, mais e mais ênfase no mercado, provando-se fundamental para os avanços nos setores industriais e tecnológicos. O projeto a ser realizado, portanto, trata-se de uma Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso, a qual utilizamos durante o próprio curso.

A máquina proposta irá fazer com que a camada de cobre presente em placas de fenolite (usadas em prototipagem) seja corroída, por meio da submersão destas em ácido Cloreto Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ). A reação ocorre através do movimento do líquido, que, com a placa mergulhada nele, atrita com o cobre e o dissolve. No entanto, ao conversar com alguns professores do curso, notamos melhorias que poderiam ser realizadas no projeto para tornar o processo mais rápido e eficiente.

Ao longo do processo de corrosão, o mecanismo executará um movimento de rotação alternada do recipiente em torno do próprio eixo, para que o atrito entre o ácido e a placa seja maior. A fim de evitar respingos de ácido no operador e na bancada de trabalho durante esse movimento, haverá uma cobertura de acrílico para tampar a máquina e proteger o operador. Os cuidados e instruções de uso da máquina integram também os elementos do projeto, em forma de um guia rápido de uso.

É também um objetivo do trabalho que a máquina seja utilizável pelos próprios alunos da Etec Martin Luther King nos anos seguintes à conclusão dele. Portanto, é fundamental adicionar recursos direcionados ao uso na instituição, como um temporizador e um sinal sonoro de aviso ao término da operação. A estrutura da máquina também contará com um recipiente com água para lavagem da placa após a corrosão, assim eliminando a necessidade de transporte dela e a contaminação por  $\text{FeCl}_3$ .

## **Relevância**

A formação técnica é um grau de instrução obtido entre a formação básica e o ingresso na vida acadêmica formal. Aqueles que completam essa fase de ensino, por meio de curso técnico ou profissionalizante, ganham a certificação para atuarem em determinada área e a exercerem como ofício. No estado de São Paulo, a principal rede de ensino técnico público é o Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS). Assim, as Etec's e Fatec's oferecem ensino técnico e tecnólogo gratuitamente à população.

Na Escola Técnica Martin Luther King, situada no bairro do Tatuapé, Zona Leste de São Paulo, os cursos de indústria representam mais de 500 alunos da instituição, distribuídos entre Mecânica, Mecatrônica, Automação Industrial e Manutenção Automotiva. Sendo de fundamental importância a realização de aulas práticas para a conclusão de todos esses cursos, também é necessária a infraestrutura adequada a cada componente curricular.

A Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso é um dispositivo amplamente utilizado nos cursos de indústria, pois facilita a execução de projetos eletrônicos com placas de cobre. Apesar de substituir o trabalho manual dos alunos, a corrosora que a Etec Martin Luther King possui se encontra em estado precário e até perigoso para os alunos.

Portanto, este projeto se mostra útil e relevante às demandas da escola ao possibilitar maior ergonomia, segurança, rapidez, eficiência e praticidade aos estudantes e professores, juntamente expandindo a infraestrutura da instituição para contribuir com a disponibilidade do ensino técnico, que vem crescendo mais e mais.

## **Problema**

Em 2011, um grupo de TCC do curso de mecânica da Etec Martin Luther King construiu uma Máquina Corrosora de PCI para ser usada nas aulas práticas da instituição. Desde então, essa máquina vem sendo utilizada por diversos alunos e professores, todos os anos, em seus projetos.

Contudo, em decorrência do mau uso e da idade da máquina, seu processo foi perdendo praticidade e passou a oferecer alguns riscos a quem a opera. O dispositivo é pesado e de difícil mobilidade, além de não possuir qualquer sistema de segurança quanto à contaminação por Cloreto Férrico, que pode causar irritação na pele e outros danos à saúde.

O movimento linear e brusco com que a máquina realiza a corrosão também vem a ser um problema, pois pode danificar as placas. Existem diversas tecnologias mais atuais e eficazes que podem ser modificadas e adicionadas ao princípio da corrosora original, proporcionando uma melhor experiência a esses alunos.

### **Hipóteses**

Pretende-se demonstrar que, ao integrar novas funcionalidades à Máquina Corrosora de PCI, é possível melhorar seu desempenho e conferir maior segurança aos estudantes que a utilizarem.

Supõe-se que a mudança no movimento e o controle de tempo e velocidade serão fundamentais não só para a corrosão em si, mas também para despertar o interesse daqueles que trabalharem com a máquina à automação realizada.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Gerais**

- Construir uma Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso para uso dos alunos da Etec Martin Luther King, visando a qualidade de aprendizado e a segurança dos alunos.
- Otimizar o tempo de corrosão das placas e aprimorar a infraestrutura dos cursos da área de indústria.

### **Objetivos Específicos**

- Aplicar conhecimentos adquiridos no curso técnico nas áreas de mecânica, eletrônica e programação;
- Ampliar conhecimentos sobre o processo de corrosão de PCI;
- Programar um microcontrolador para automatizar o temporizador da máquina;
- Adicionar recipiente para limpeza das placas após a corrosão;
- Entender as propriedades físicas do Percloroeto de Ferro e dos outros materiais utilizados no protótipo;
- Conhecer e estudar cada parte integrante de um projeto mecatrônico;
- Avaliar as vantagens de uma Máquina Corrosora de PCI programável em relação à original, que não tem processador próprio.

## JUSTIFICATIVA

A Mecatrônica é um ramo da engenharia que compreende aspectos de mecânica, eletrônica, programação e controle. Sua principal aplicação se dá na produção de máquinas e sistemas para automatizar processos industriais, ou seja, substituir o trabalho humano em atividades que ameaçam sua integridade física ou limitam sua capacidade física e intelectual.

Escolhemos executar este projeto como Trabalho de Conclusão de Curso em Mecatrônica pois ele abrange, em certo grau, cada uma das disciplinas ministradas ao longo de seus três anos de duração. Por meio dele, somos capazes de colocar em prática conteúdos interessantes da área de mecatrônica e demonstrar domínio sobre as práticas necessárias para tornar-se um técnico qualificado.

Nós, do grupo, acreditamos que, ao efetuar o presente trabalho, alcançaremos uma realização não somente acadêmica, como também profissional e humana. É prezado por todos os integrantes do grupo poder contribuir com nossa instituição de ensino, podendo deixar um legado à Etec e a seus futuros alunos. A Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso, ou **CharlotteFeCI<sup>3</sup>**, atinge todos esses objetivos e se revela como um passo importantíssimo na jornada de certificação como Técnicos em Mecatrônica.

## 1. PCI E SUA IMPORTÂNCIA

As Placas de Circuito Impresso, também conhecidas em inglês pela sigla PCB, são placas utilizadas para a montagem de circuitos eletrônicos, onde são soldados os componentes para que funcionem de acordo com o planejado e ainda mantenham um grau de organização, evitando o excesso de fios e coisas soltas, que podem sofrer danos mais facilmente.

Um circuito impresso consiste em uma placa constituída por material isolante, como o fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, composite, ou fibra de alumínio, revestida com uma fina camada de cobre, onde os componentes serão soldados através de pequenas perfurações. Essa camada de cobre será corroída para formar trilhas padronizadas e servir como condutor de eletricidade para os componentes, enquanto o resto da placa funciona como isolante. Essa estrutura permite que o circuito funcione exatamente como deve e não haja corrente escapando para os componentes de forma indevida, já que isso pode queimá-los e inutilizá-los.

As placas PCB foram criadas para substituir as antigas pontes de terminais, em busca de maior praticidade e eficiência, e, devido a isso, atualmente quase todos os produtos eletrônicos possuem uma placa desse tipo em sua composição.

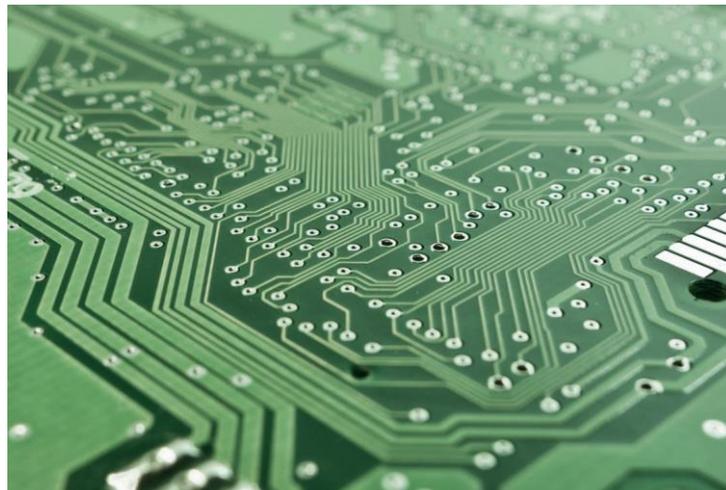


Figura 1: Placa de Circuito Impresso  
Fonte: Pixabay.com

O maior esforço na criação dessas placas se encontra na elaboração do design das trilhas, já que cada projeto exige um tipo de padronização e organização delas. Logo, esse processo requer uma atenção e cuidado maiores, onde se recomenda a utilização de um software para a criação manual do desenho a ser reproduzido na

placa. A partir daí, a fabricação e montagem podem ser feitos de maneira automatizada, em máquinas próprias para o serviço.

A tecnologia utilizada nos circuitos impressos começou a ser desenvolvida no século XX, e envolveu nomes como Thomas Edison, Albert Hanson, Arthur Berry e Charles Ducas. A invenção definitiva é creditada ao engenheiro austríaco Paul Eisler, no final da década de 30, quando trabalhava em um rádio. As PCBs começaram a ser produzidas com maior intensidade ao longo da Segunda Guerra, graças à necessidade de um tipo de circuito para mísseis que suportasse o impacto de ser disparado.

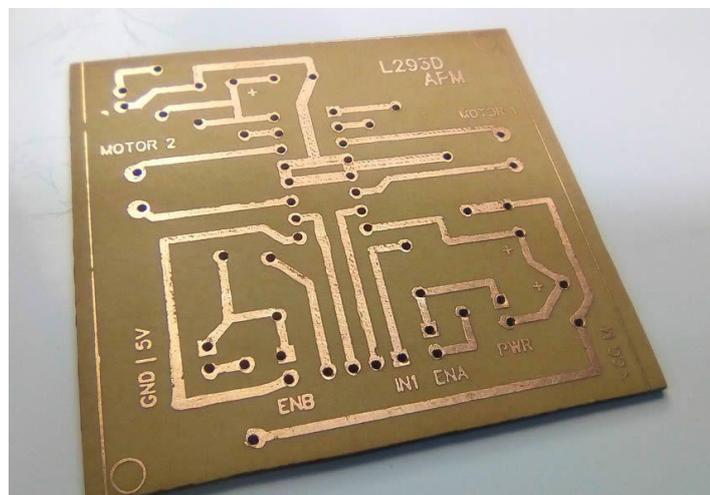


Figura 2: Placa de Circuito Impresso Artesanal  
Fonte: tecnicas.com

### 1.1. Fabricação de PCI na indústria

As placas PCB eram, inicialmente, elaboradas e executadas manualmente, usando mylar claro para criar uma fotomáscara, comumente três ou quatro vezes o tamanho real. A partir do diagrama esquemático, os componentes tinham as pads de seus pinos dispostas no mylar e, em seguida, os traços eram encaminhados para ligar as pads. Traços eram feitos com fita autoadesiva. Para fabricar a tábua, a fotomáscara foi reproduzida sobre um revestimento fotorresistente nas placas em branco revestidas com cobre.

Atualmente, as placas para uso industrial são elaboradas em computadores utilizando software dedicado, como o *Gerber layer images*, *Gerber* ou *Excellon drill files* e o *IPC-D-356 netlist*. O design é elaborado no programa, assim como a disposição e especificações dos componentes. Após esse arquivo ser finalizado, é

enviado para o software de FAC (*Fabricação Assistida por Computador*), que irá revisar e corrigir todas as informações, adaptando-as para a escala exata de fabricação e, só então, as placas serão fabricadas de fato.



Figura 3: Fábrica de Circuito Impresso em Salto, SP  
Fonte: Montecnica

## 1.2. Fabricação de PCI Artesanal

Para a realização de projetos mais simples, individuais e prototipagem, é possível utilizar de mecanismos e ferramentas mais acessíveis ao público. Em cursos técnicos como o nosso, por exemplo, o processo de elaboração e criação de uma placa faz parte da grade curricular, e para isso devemos contar com métodos que estejam ao nosso alcance, já que o maquinário industrial demanda alto custo de compra e manutenção.

Para a confecção de placas de modo artesanal (sem o uso de máquinas industriais), o processo se torna extremamente manual, e se baseia nas seguintes etapas:

- Elaboração do circuito.
- Esboço do desenho a ser feito na placa.
- Perfuração da placa nos moldes do desenho.
- Execução o desenho e cobertura com tinta resistente à corrosão.
- Levar a placa ao banho corrosivo.
- Retirada da placa do banho corrosivo e higienização dela.
- Encaixe e soldagem dos componentes nas trilhas formadas.

## 2. O PROCESSO DE CORROSÃO

Para o banho corrosivo, o agente mais comum a ser utilizado é o Percloro de Ferro ( $\text{FeCl}_3$ ), que será a base do nosso projeto. Quando dissolvido em água, esse composto sofre hidrólise e libera calor, e a solução ácida resultante é ideal para ser usada como floculante ou fresadora para metais ricos cuprosos em circuitos impressos.

Para manusear o líquido, são necessários recipiente e bastão de plástico ou vidro, além de ser recomendado o uso de luvas e óculos de proteção para diminuir ao máximo o risco de acidentes. É fundamental que a substância seja dissolvida na água em temperatura ambiente, não se pode derramá-la no percloro ou dissolvê-lo em água quente, pois a reação torna-se violenta e pode causar ferimentos.

Os passos para executar o processo de corrosão são definidos em:

- I. Forrar (sempre forre o lugar a ser utilizado com plástico, papelão ou madeira, para que o ácido não o danifique caso espirre).
- II. Utilizar recipiente de vidro ou plástico.
- III. Preparar a solução dissolvendo-a na proporção certa de água (1:1 ou 1:2).
- IV. Colocar proteção (luvas, máscara e óculos de proteção para evitar contato direto e inalação dos gases liberados).
- V. Mergulhar a placa na solução corrosiva (o movimento e o aquecimento controlado da solução tornam o processo mais eficiente, por isso há atenção especial a eles em nosso projeto).
- VI. Aguardar o término do processo (após cerca de 5 minutos, a placa deve estar numa coloração mais clara, o que significa que a corrosão terminou e a mesma pode ser retirada do recipiente).
- VII. Retirar e higienizar a placa com água em um recipiente separado.

### 3. O FUNCIONAMENTO DA NOSSA MÁQUINA

A partir da pesquisa realizada, foi necessário decidir qual a exata operação desejada da máquina. Desta maneira, cada parte do trabalho apontava para o mesmo fim, facilitando a organização e administração das tarefas.

A descrição final e oficial do funcionamento da Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso segue:

O operador conecta na tomada o cabo de alimentação, presente na parte de baixo da caixa. A energia chega no circuito, o que faz acender um LED azul. O display, localizado na frente da máquina, mostra a tela de inicialização:

“CHARLOTTE FeCl<sub>3</sub>  
MÁQUINA CORROSORA  
DE PLACAS DE  
CIRCUITO IMPRESSO”.

Se o recipiente estiver vazio, o operador deve despejar a mistura de água com Cloreto Férrico até a marcação indicada no recipiente. Com a solução na máquina, podem ser mergulhadas as placas a serem corroídas, presas por um barbante e divididas pela grade plástica.

É necessário tampar o recipiente para evitar respingos da solução ácida no interior da caixa. Depois, encaixa-se a proteção de acrílico para manter a estrutura fechada. O display sinaliza que o operador pode prosseguir com a programação, com a seguinte mensagem:

“INSIRA COMANDOS  
  
SET TIMER:  
SET VELOC:”

Cada botão de um teclado matricial de tamanho 3x4 indica uma funcionalidade diferente. O operador deve escolher, a partir da interface, o tempo (em minutos) e a velocidade (lento, médio ou rápido) que serão usados no processo da corrosão.

Tabela 1: Funções do Teclado

Tecla	Funcionalidade
1	Define tempo de 05 minutos.
2	Define tempo de 08 minutos.
3	Define tempo de 12 minutos.
4	Define a velocidade da operação em Lento.
5	Define a velocidade da operação em Médio.
6	Define a velocidade da operação em Rápido.
7	Mostra o Painel de Ajuda.
8	Efetua um teste do sinal sonoro.
9	Define a configuração padrão (05 minutos em velocidade média).
0	Apaga os dados já configurados e reinicia o menu.
#	Salva os dados e inicia a operação.
*	Adiciona 01 minuto ao temporizador durante a operação.

Assim que cada propriedade foi definida e confirmada pelo botão “#”, a operação é iniciada. A partir desse momento, todo o sistema permanecerá funcionando como determinado até o final do tempo. O motor gira de maneira alternada, movimentando o recipiente com o ácido, na velocidade indicada. Um display numérico de quatro dígitos mostra o tempo restante para o término da operação, enquanto o display LCD mostra a mensagem:

“CHARLOTTE FeCl<sub>3</sub>  
AGUARDE O  
TÉRMINO DA  
OPERAÇÃO...”

Ao fim da operação, soa-se um sinal de aviso e o display indica, piscando:

“OPERAÇÃO  
TERMINADA”

Então, o operador pode abrir a caixa protetora, destampar o recipiente e emergir as placas, puxando-as pelo barbante, a fim de colocá-las no recipiente lateral, que deve conter apenas água. Depois de lavadas, as placas estão prontas para serem furadas e receberem os componentes de seu circuito.

Se, durante a operação, o botão “0” for pressionado, a operação é interrompida e finalizada, sem desligar o circuito. Se, a qualquer momento, o botão de parada de emergência for ativado, a energia do circuito é cortada e toda a máquina desliga, interrompendo imediatamente todo o funcionamento do dispositivo.

## 4. ESTRUTURA

A estrutura externa da máquina é composta por uma caixa de MDF encaixada em outra de acrílico. Dentro delas, está fixado o motor com o recipiente em que ocorre a corrosão, além do pote para limpeza das placas e uma caixa plástica onde fica o circuito eletrônico da máquina.

Componentes Estruturais:

- MDF Duratex Gianduia Trama 18 mm.
- Acrílico Transparente 04 mm.
- Recipiente Plástico 4,5 L, para corrosão.
- Recipiente Plástico 460 ml, para limpeza.
- Colmeia Plástica para Divisória de Aquários.
- Tampão de Esgoto PVC 200 mm.
- Caixa Plástica Patola.

### 4.1. MDF Duratex Gianduia Trama 18 mm

O MDF é um tipo de compensado que se diferencia da madeira por misturar aditivos e resinas sintéticas em sua composição. O modelo escolhido para ser utilizado no projeto conta, em sua composição, com o MDF Ultra Premium, da marca Duratex, que possui altíssima resistência à umidade e dupla proteção. Isto possibilita que o material entre em contato com respingos de líquido sem ser danificado, mesmo em longo prazo.

As dimensões da caixa de madeira são: 35 cm de largura, 45 cm de comprimento e 11 cm de altura. As bordas superiores contêm um canal em que a parte de acrílico é encaixada.

A caixa possui dois pés de apoio de 09 centímetros de altura, que se estendem por todo o comprimento dela.

#### 4.2. Acrílico Transparente 04 mm

O acrílico se trata de um termoplástico, um material rígido transparente, translúcido ou opaco. Termoplásticos são uma categoria de plástico que permanece sólido quando em temperatura ambiente e adquire forma viscosa e maleável quando submetido a elevadas temperaturas, o que possibilita ser remodelado e reciclado com facilidade.

Escolhemos o acrílico pois oferece alta resistência e é um material leve, facilitando a montagem e transporte da máquina. As dimensões usadas para a caixa em nosso projeto são: 35 cm de comprimento, 45 cm de largura e 20 cm de altura, com espessura de 4mm. A caixa de acrílico serve como tampa da caixa de MDF e proteção contra respingos de Cloreto Férrico.



Figura 4: Proteção de Acrílico do Protótipo

#### 4.3. Recipiente Plástico 4,5L, para corrosão

Todo o processo de corrosão acontece dentro de um recipiente, em que fica o ácido Cloreto Férrico e que é movimentado pelo motor. Este componente deve possibilitar um movimento circular em volta do próprio eixo e não pode ocupar muito espaço. Portanto, foi escolhido um recipiente mais alto, em que se podem colocar as

placas uma sobre a outra, em mais de um andar, para aproveitar melhor o espaço disponível.

O recipiente utilizado é o modelo 2834 da marca Plasútil. É um pote redondo, feito de Polipropileno PP, com fechamento rosca. Ele possui 19,8 cm de diâmetro e 21,7 cm de altura, com capacidade para 4,5 litros. O polipropileno é um material apropriado para estar em contato com o Cloreto Férrico e não corre risco de ser corroído junto com as placas, além de acomodar bem o líquido aquecido e os demais compostos que são liberados durante o processo.



Figura 5: Recipiente Plástico 4,5L

#### **4.4. Recipiente Plástico 460 ml, para limpeza**

Após a corrosão ser realizada, é necessário lavar as placas corroídas com água, a fim de retirar o Cloreto Férrico delas. Para tanto, o projeto inclui um recipiente menor, dentro da mesma caixa, para realizar a limpeza das placas sem deslocar os materiais por distâncias muito longas.

Neste caso, o recipiente escolhido é o modelo 154 da Nitronplast, com capacidade de 460 ml e dimensões de 9,5 cm de largura, 14 cm de comprimento e 6,5 cm de altura. O pote contém travas em sua tampa e também é feito de Polipropileno PP.



Figura 6: Recipiente para limpeza das placas

#### 4.5. Colmeia Plástica para Divisória de Aquários

Para construir a elevação no recipiente maior em função de correr mais de uma placa por vez, seria necessário encontrar uma estrutura plástica que pudesse ir dentro do recipiente com ácido, sem ser danificado. A solução encontrada se deu em uma Colmeia Plástica para Divisória de Aquários, que se assemelha a uma grade e que atende aos requisitos.

A colmeia plástica usada no protótipo tem medidas: 15 cm de largura, 30 cm de comprimento e 0,8 cm de espessura. Ela foi cortada para caber no recipiente e colada a um cano de PVC, que forma um cabo para puxá-la quando o processo é finalizado.

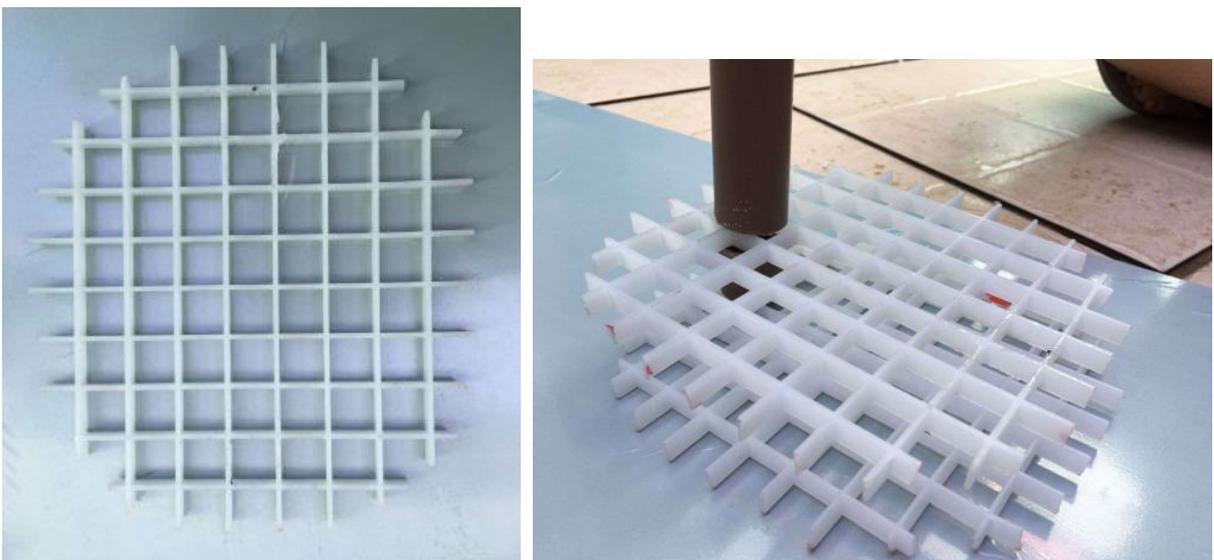


Figura 7: Colmeia Plástica

#### 4.6. Tampão de Esgoto PVC 200 mm

A junção entre o motor e o recipiente também não poderia ser feita diretamente. Para dar mais sustentação à estrutura e deixar que o recipiente fosse removível para o descarte do líquido, há entre o recipiente e o eixo do motor um tampão de cano de PVC de 200 mm de diâmetro.

Na base do tampão, há quatro parafusos que o ligam ao eixo, dando estabilidade no momento da rotação. Já em suas bordas, outros quatro parafusos, com distância de  $\frac{1}{4}$  da circunferência entre si, são responsáveis pela fixação e ajuste do recipiente no tampão. Eles podem ser removidos e rosqueados no tampão para se ajustarem ao recipiente.



Figura 8: Tampão de PVC

#### 4.7. Caixa Plástica Patola

A Caixa Plástica é o principal meio de comportar um circuito eletrônico de fins não-industriais, sendo adequada para prototipagem, projetos artesanais, didáticos e caseiros. Serve para que o circuito permaneça seguro de impactos e interferências externas, pois, ao ficar exposto, pode sofrer danos e prejudicar o funcionamento do equipamento. A empresa Patola é a maior fornecedora desse tipo de componente no Brasil e em diversos países, produzindo caixas de diversos formatos e tamanhos, com diversas aplicações.

Foi empregada no projeto da Máquina Corrosora uma caixa Patola de medidas 12 x 12 x 5 cm para acomodar a sua parte elétrica.

## 5. PARTE MECÂNICA

O principal processo mecânico deste trabalho é a movimentação do motor, que faz o líquido atritar com a camada de cobre das placas de circuito impresso. O motor está acoplado ao tampão de PVC por meio de um eixo de alumínio e outros elementos de fixação. Há também as junções de outros componentes com a caixa de madeira, que foram feitas como parafusos e porcas.

Componentes Mecânicos:

- Motor
- Eixo
- Elementos de fixação

### 5.1. Motor

A grande maioria dos movimentos executados por dispositivos mecânicos é feita por meio de motores e atuadores, que transformam energia elétrica em mecânica. Ao energizar um motor, a corrente que passa pelos fios atua na produção de força mecânica, que impulsiona seus mecanismos internos. Essa força passa por diversas engrenagens dentro de uma caixa de redução, que diminui a velocidade de rotação do eixo e aumenta sua força.

O motor utilizado no projeto é alimentado com tensão de 24 volts em corrente contínua. Nas condições da ligação elétrica feita, ele gira com torque suficiente para sustentar e movimentar o recipiente cheio de líquido, que pesa cerca de dois quilogramas.

### 5.2. Eixo

Como elemento de transmissão de movimento, foi necessário usinar um eixo de alumínio e acoplá-lo ao eixo do próprio motor. A partir de uma bolacha tarugo de metal, foi feito um furo central, que encaixa no motor, e outros quatro furos levam os parafusos que ligam esse eixo ao tampão de esgoto.

A usinagem do tarugo de alumínio foi feita na Etec Martin Luther King, com a ajuda de alguns professores dos cursos de mecânica.

### **5.3. Elementos de fixação**

As conexões entre os materiais foram realizadas por meio de alguns elementos de fixação. Os principais deles foram os parafusos, seguidos de porcas e arruelas de apoio. Outros componentes foram colados ou encaixados, de acordo com a necessidade do projeto.

### **5.4. Montagem da Parte Mecânica**

Com a estrutura pronta, o motor foi fixado embaixo da caixa, através da furação adequada e com os parafusos menores. Seu eixo próprio atravessa o fundo do MDF e se encaixa ao eixo fabricado pelo grupo, fixado por uma estria metálica. Tudo isso se junta com o tampão de PVC e com o recipiente maior por meio dos parafusos maiores. Agora, resta a montagem da parte elétrica, que faz funcionar o motor, e da inteligência que a controla por lógicas de programação.

## 6. PARTE ELÉTRICA

A energia elétrica é parte essencial de qualquer projeto mecatrônico, pois é o que faz funcionar cada um de seus componentes. Para ligar o motor à tomada e ao programa que o controla, são necessários alguns circuitos elétricos e diversos componentes eletrônicos.

Componentes eletroeletrônicos:

- Fio elétrico rígido
- Placa de Fenolite
- Fonte chaveada
- Circuito Regulador de Tensão
- Fusível
- Botão de emergência com retenção

### 6.1. Fio elétrico rígido

Um componente fundamental para a construção do circuito elétrico são os fios de cobre, material altamente condutor de energia elétrica. O fio rígido, usado no projeto, é feito de fios de ligações metálicas envoltos por uma capa isolante.

A espessura do fio varia com a quantidade de corrente usada nele. Por segurança, é utilizado um fio de cinco milímetros de espessura, que suporta até 30 Amperes, enquanto a corrente máxima do circuito só chega a 10 Amperes.

Outra opção seria a de um fio elétrico flexível. O funcionamento dos dois é o mesmo, porém o tipo flexível é mais utilizado para fazer possíveis emendas e ajustes, pois possui mais de um fio de cobre. Já o rígido acaba por ser mais barato e não prejudica o projeto, pois todas as emendas são feitas com solda.

## **6.2. Placa de Fenolite**

A placa de Fenolite é um modelo de Placa de Circuito Impresso de baixo custo, usado para protótipos e projetos simples, de aplicação caseira. Tem por função ligar os componentes de forma adequada, evitando o uso excessivo de fios e permitindo maior organização. No nosso projeto, será utilizada uma placa de fenolite de 10 cm x 9 cm, para comportar o circuito regulador de tensão e outras ligações para LED e buzzer.

## **6.3. Fonte Chaveada**

A energia que vem da tomada é padronizada para corrente alternada de 110 ou 220 Volts. Contudo, os componentes elétricos da máquina são alimentados por corrente contínua, de variados valores. Para fazer essa alteração no tipo da corrente, usamos duas fontes chaveadas, que transformam a corrente em 16 e 05 Volts, contínua.

Uma fonte de alimentação chaveada, também chamada de Switched-Mode Power Supply (SMPS), é uma unidade de um equipamento, utilizado para alimentar cargas elétricas, que agrupa um regulador chaveado. Em outras palavras, um circuito controlador interno capaz de chavear a corrente, evitando oscilações.

A ideia é manter a tensão de entrada e saída bastante estabilizadas. Este é um dispositivo que é facilmente utilizado na substituição de fontes de energia linear quando há a necessidade de um equipamento com maior eficiência, maior leveza e menor tamanho.

A fonte maior que integra o circuito é usada para alimentar o motor, pois este elemento necessita de maiores valores de tensão e corrente. Já a segunda fonte utilizada é responsável por alimentar o microcontrolador e outros componentes menores, como o Display, as luzes e o sinal sonoro, que consomem bem menos energia e correriam o risco de serem queimados pela fonte maior.

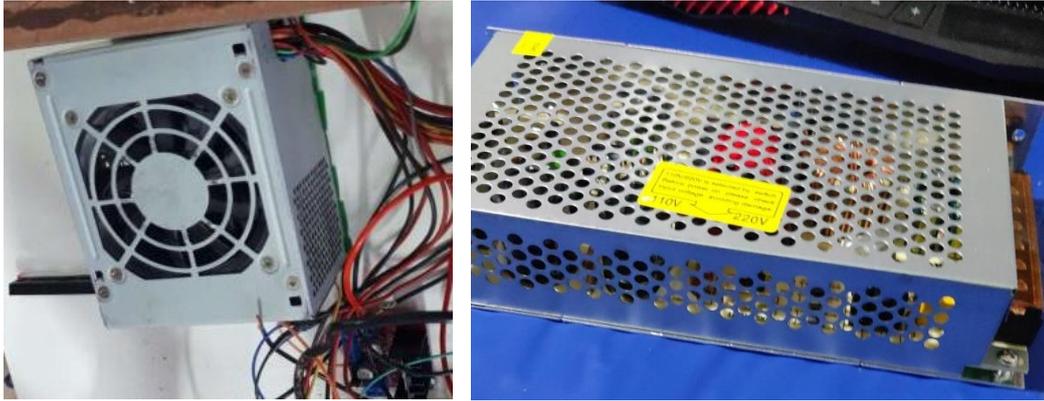


Figura 9: Fontes Chaveadas usadas no protótipo

#### 6.4. Circuito Regulador de Tensão

Com a Fonte Chaveada em 24 Volts, é possível ligar o motor com a alimentação adequada. Todavia, outros componentes do projeto demandam outros valores de tensão e corrente e, para isso, é usado um Circuito Regulador de Tensão. Este circuito baseia-se na resistência de alguns componentes que consomem a tensão nas entradas, diminuindo-a em sua saída.

Os reguladores de tensão mais utilizados são os CI's (Circuitos Integrados) da linha 78XX, para tensões positivas, e da linha 79XX, para tensões negativas. Para ligar o microcontrolador e os demais dispositivos eletrônicos conectados a ele, é usado o regulador 7805.

Tabela 2: linha 78XX e voltagem de saída de cada modelo

##### LINE-UP

ITEM	OUTPUT VOLTAGE (Typ.)	UNIT
KIA7805AP	5	V
KIA7806AP	6	
KIA7807AP	7	
KIA7808AP	8	
KIA7809AP	9	
KIA7810AP	10	
KIA7812AP	12	
KIA7815AP	15	
KIA7818AP	18	
KIA7820AP	20	
KIA7824AP	24	

Fonte: AllDatasheet

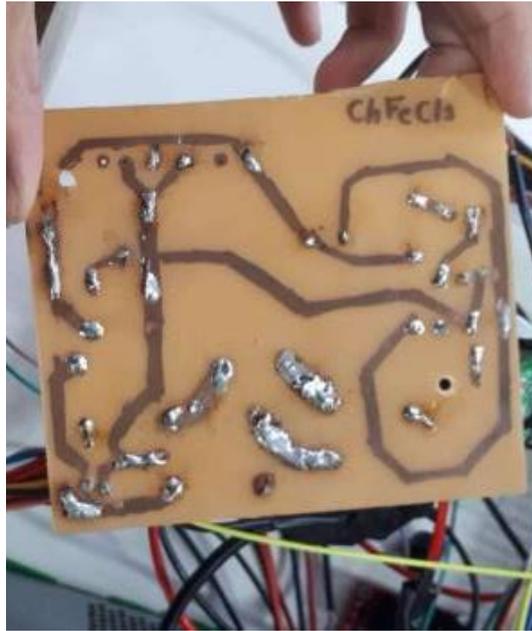


Figura 10: Circuito Regulador soldado na Placa de Fenolite

O Circuito Regulador de Tensão ainda conta com outros componentes para que funcione corretamente. São eles:

- Resistores
- Capacitores
- Relés
- Diodos
- Transistores

#### 6.4.1. Resistor

Resistores são componentes feitos de materiais de alta resistência elétrica, com o propósito de controlar a passagem de corrente em circuitos elétricos por meio do efeito Joule, transformando energia elétrica em energia térmica. Os primeiros resistores eram conhecidos como resistores de fio consistiam de um enrolamento feito de materiais como o Constantânio, ligas de cobre que eram alojadas sobre uma base de cerâmica.

A unidade do Sistema Internacional de Medidas para resistência elétrica é o Ohm ( $\Omega$ ). Cada resistor tem um valor de resistência, ou carga, que produz uma queda na tensão que passa por ele.

São usados no circuito montado para o projeto resistores de valores: 56, 220, 3600 e 5600 ohms.



Figura 11: Resistores de 220  $\Omega$  e 3600  $\Omega$   
Fonte: Baú da Eletrônica

#### 6.4.2. Capacitor

Capacitores são componentes que reagem à passagem de corrente elétrica, capazes de acumular cargas. Seu potencial para acumular mais ou menos carga é chamado de capacitância, e o capacitor serve para armazenar energia e descarregá-la posteriormente, como uma bateria. Quando é aplicada tensão entre suas placas condutoras, um lado armazena cargas positivas e o outro, cargas negativas, criando, com isso, um campo elétrico dentro do capacitor e um desequilíbrio de cargas. Esse desequilíbrio é o que permite o acúmulo de energia e possibilita o funcionamento do componente.

O primeiro capacitor primitivo foi construído em 1746, por Pieter van Musschenbroek, na Universidade de Leiden. Por seu local de origem, foi chamado de Garrafa de Leiden, e consistia numa garrafa de vidro preenchida por água ou outro líquido. A garrafa era tampada com uma rolha atravessada por um fio condutor, que entrava em contato com a água e fazia com que a carga ali se acumulasse.

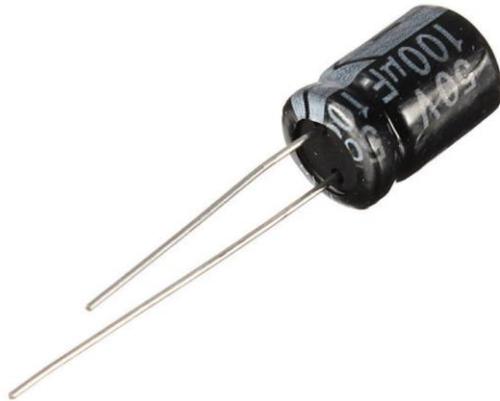


Figura 12: Capacitor de 100 $\mu$ F  
Fonte: Baú da Eletrônica

### 6.4.3. Relé

O relé é um componente elétrico que serve como interruptor eletromecânico, para ligar ou desligar dispositivos de diversas maneiras. Costuma ser ligado a dois circuitos para efetuar a comutação entre eles, através de seu acionamento: em um relé eletromecânico, alimenta-se a bobina para que o contato se feche. Quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, cria-se um campo magnético que atrai a alavanca interna, responsável pela mudança de estado dos contatos, e possibilita o funcionamento do segundo circuito. Ao suspender a corrente, o campo também desaparece, fazendo a alavanca voltar à posição original e fechar o contato.

O primeiro relé eletromagnético foi criado por Joseph Henry nas primeiras décadas do século XIX e a partir da segunda metade do século XX começaram a surgir outros tipos. Na década de 50 aparecem os relés de estado sólido, e nas décadas 80 e 90 surgem os relés digitais, que trabalham com microprocessadores para analisar os sinais e informações.

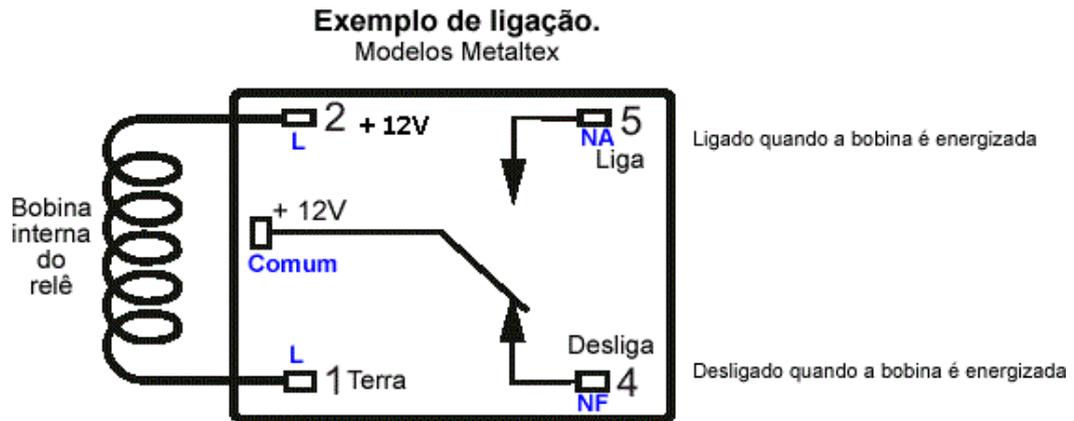


Figura 13: Esquema de um relé  
Fonte: Metaltex

#### 6.4.4. Diodo

Um diodo é um componente eletrônico semicondutor que permite a passagem de corrente em apenas um sentido, respeitando sua polaridade. Ele é um dispositivo com dois terminais, que flui corrente do anodo para o catodo.

São normalmente fabricados com um cristal semicondutor de silício ou germânio com uma junção dividida em duas partes que possuem dopagens distintas e são separadas por uma camada de depleção. Assim, cada uma dessas duas regiões terá características relativamente diferentes, formando uma junção PN (positivo-negativo). Como todo componente eletrônico, o diodo não é um dispositivo ideal, apresentando uma resistência interna (queda de tensão) que varia de acordo com o material de que é feito.

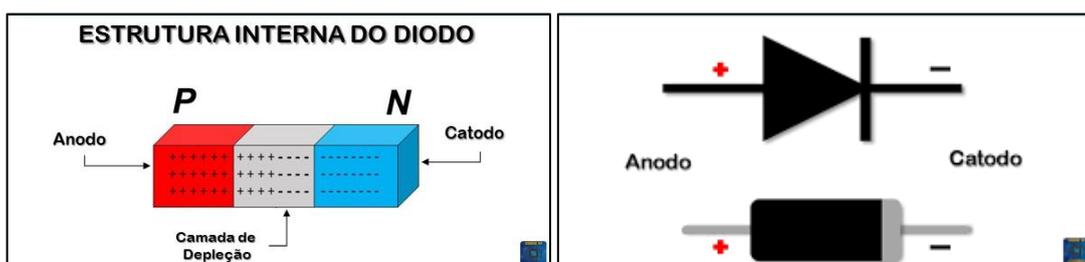


Figura 14: Estrutura e Simbologia do Diodo

#### 6.4.4.1. LED

Um LED, light emitting diode (ou em português, diodo emissor de luz), é um dispositivo eletrônico semiconductor que emite luz visível à passagem de corrente elétrica. O LED, assim como sua sigla sugere, é um tipo de diodo, contendo uma junção PN semicondutora, a qual conduz corrente em apenas um sentido.

Seu funcionamento se baseia no movimento dos elétrons na região tipo N, que após chegar ao LED uma tensão mínima de atuação (entre 1,5 a 3,3V), se combinam com lacunas da região P, como consequência, ocorre a liberação de energia, criando um fóton e então a emissão de luz.

Não são usados LEDs no circuito regulador de tensão, mas o projeto usa um desses dispositivos para indicar ao operador que a máquina está energizada.

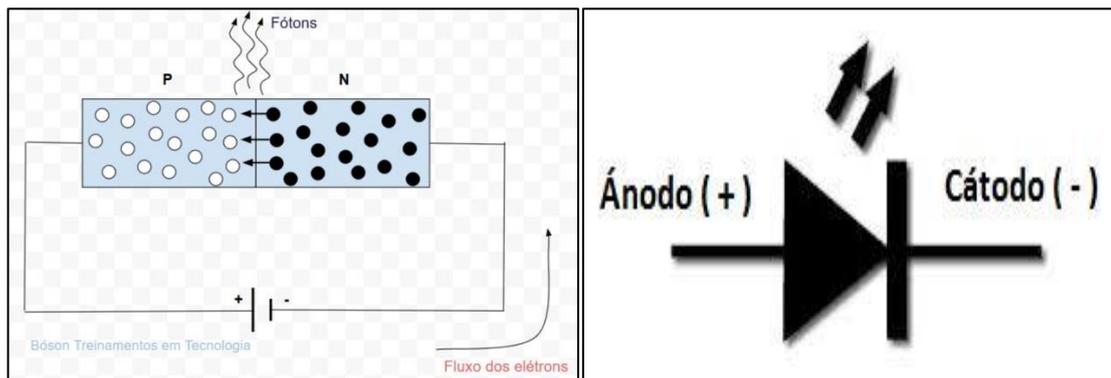


Figura 15: Estrutura e Simbologia do LED

É possível controlar a cor emitida pelo dispositivo através de um processo chamado dopagem, que varia com o tipo de semiconductor que o LED é feito.

#### 6.4.5. Transistor

Um transistor é um dispositivo eletrônico semiconductor de três camadas, feito normalmente de silício ou germânio, utilizado em circuitos destinados à amplificação de corrente elétrica ou servindo como chave para acionamentos. Quando na função de amplificador, os transistores são alimentados por uma baixa corrente elétrica de

entrada (corrente de base), e assim liberando uma corrente elétrica de saída (corrente de emissor) com maior intensidade, produzindo um ganho no dispositivo.

Um transistor pode ser criado pela união de três materiais semicondutores obtidos pela adição de impurezas, alternando entre os do tipo P (que apresentam a polaridade positiva) e do tipo N (que apresentam a polaridade negativa). Desta forma são originados os dois tipos principais de transistores usados na eletrônica, que são o transistor PNP e o transistor NPN.

Os três terminais do transistor bipolar de junção são denominados base, coletor e emissor. O terminal da base é responsável por controlar o processo de condução, enquanto que o emissor e o coletor são os terminais de entrada e saída da corrente principal de condução.

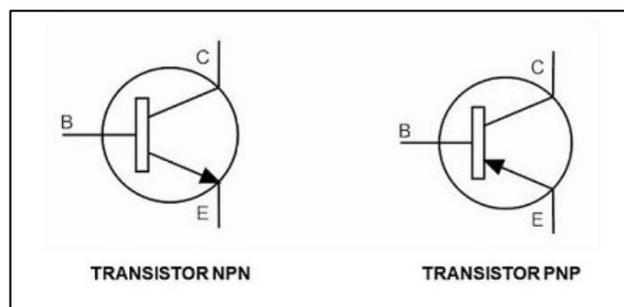


Figura 22: Simbologia do Transistor

Seu funcionamento se baseia no controle da passagem de elétrons em seu interior, e por serem de materiais semicondutores, geralmente são dopados com materiais que lhe oferecem cargas elétricas extras, facilitando sua condução de eletricidade. Essa dopagem é um processo em que se substituem os átomos de silício (material do semicondutor) por outros átomos, como fósforo, boro, gálio e outros. Existem dois tipos de dopagem: a dopagem tipo-n e tipo-p. Na dopagem tipo-n (carga negativa), adicionam-se átomos à rede cristalina do silício, capazes de fornecer um excesso de elétrons. Já na dopagem tipo-p (carga positiva), adicionam-se átomos que causem uma carência de elétrons.

Existem diferentes tipos de transistores, como os de junção e os FET, sendo formados por três camadas de silício em diferentes dopagens, se diferenciando também pelo tipo de acionamento, sendo por corrente elétrica ou por tensão elétrica.

Um papel importante dos transistores no projeto é o próprio acionamento do motor. É utilizado um IRF540, transistor do tipo MOSFET que faz a ligação da fonte chaveada maior com os terminais do motor, a cada vez que ele deve ser movido ou parado.

### 6.5. Fusível

O fusível é um dispositivo que interrompe a passagem de corrente, protegendo a rede contra eventuais curtos-circuitos e sobrecargas que podem ocorrer. Ele foi criado em 1879, tendo sua patente registrada por Thomas Edison, graças à necessidade de um meio de proteger o sistema de iluminação que vendia para as grandes cidades.

Os primeiros fusíveis eram fios de platina, que romperiam quando a corrente atingisse um certo nível. Nas décadas seguintes, o design foi melhorado: possuía uma bola de chumbo ou estanho apoiada por um par de fios de ferro, que derretiam e caíam antes que o fio seja estourado. Outra desconexão rápida era o método que utilizava molas de papel alumínio soldadas juntas.

Atualmente o fusível é composto de um tubo com uma liga metálica dentro, normalmente o chumbo, que no momento de uma sobrecarga aquece e se rompe, evitando um curto-circuito ou até mesmo um incêndio. É um componente descartável e deve ser trocado sempre que se rompe, não pode ser consertado.

O fusível utilizado no projeto tem capacidade de 9 Amperes e foi instalado em local acessível ao usuário da máquina para ser facilmente trocado.



Figura 16: Fusível 5x20mm 9A

## 6.6. Botão de Emergência com Retenção

O botão cogumelo de emergência é utilizado para desligar a máquina em caso de mau funcionamento ou acidentes. O botão possui retenção e, após ser pressionado, permanece travado. Para destravá-lo, basta rotacioná-lo em torno de seu eixo e ele retornará à sua posição original. O cogumelo deve estar sempre visível e ao alcance do operador, para permitir interrupção abrupta da máquina quando necessário.

Para garantir o desligamento de todo o sistema a partir do botão de emergência, ele foi ligado em conjunto às duas fontes chaveadas, possibilitando o corte da energia elétrica em ambas ao mesmo tempo.



Figura 17: Botão de Emergência com Trava 22 mm  
Fonte: Mamute Eletrônica

## 6.7. Montagem da Parte Elétrica

Todo o conjunto de componentes eletroeletrônicos foi organizado e montado na estrutura já construída. A placa de fenolite com o circuito regulador de tensão e suas ligações com fios foram acomodados dentro da caixa patola, sob o fundo da madeira. Da placa, foram soldados fios para ligarem a ponte H e as fontes chaveadas. O botão de emergência foi conectado às duas fontes por um cabo maior e ficou visível e facilmente acessível pelo lado externo da máquina, assim como o fusível de segurança. Já a Pastilha Peltier foi fixada no fundo do recipiente do ácido e ligada à fonte maior.



Figura 18: Parte Elétrica

Com a parte elétrica montada, é possível ligar e desligar o sistema, fazer o motor girar e até acionar o aquecimento. Porém, a máquina ainda não se controla sozinha, não pode medir tempo nem se comunicar com o operador. Para tanto, a programação finaliza as partes integrantes do projeto, realizando o último passo para atingir o objetivo principal do trabalho.

## 7. PROGRAMAÇÃO

O Controle e a Automação são os dois principais pilares da Mecatrônica. É com eles que se pode diminuir a ação humana em diversas atividades, a fim de evitar riscos aos operadores e potencializar a eficiência delas. São numerosas as maneiras de automatizar um processo, mas a programação com microcontroladores é uma das mais utilizadas.

O modelo antigo da Máquina Corrosora de PCI é controlado apenas por um potenciômetro, que regula a intensidade da corrente que passa pelo motor, aumentando ou diminuindo sua velocidade. Não é possível determinar o tempo de atividade da máquina, nem desligá-la automaticamente. As lógicas escritas pelo grupo tornam isso possível.

A partir das lógicas de programação, o usuário pode dar informações à máquina e ser respondido por ela, dentro dos limites da interface contruída. Ao apertar botões, são enviados os comandos para personalizar a operação e, em uma tela, é possível ler o que está sendo mandado. Além disso, o temporizador é acompanhado por um display numérico e um sinal sonoro é acionado ao término do processo.

Componentes das lógicas de programação:

- Microcontrolador.
- Teclado Matricial.
- Display de Cristal Líquido.
- Display de 7 segmentos (TM1637).
- Buzzer.

### 7.1. Microcontrolador

Um microcontrolador é um chip inteligente, uma espécie de pequeno computador que funciona por meio de um circuito integrado único. Ele possui núcleo de processador, portas de entrada e saída que podem ser programadas, e muitas vezes memórias do tipo RAM, NOR flash ou PROM, as quais são incluídas no chip.

Ele serve para controlar sistemas eletrônicos não digitais, isso porque eles não possuem, geralmente, um sistema operacional; os programas rodam diretamente no chip. Por isso, ele costuma ser usado na automação e controle de periféricos e produtos, como em controles remotos, eletrodomésticos, controles de carros, brinquedos e outros tantos dispositivos automatizados.

Os circuitos eletrônicos ganharam muitas vantagens com os microcontroladores, desde custos mais baixos de projeto e construção, consumo de energia mínimo e facilidade de programação até sistemas compactos e praticidade para reposição.

Em 1971, o primeiro microcontrolador foi inventado por 2 engenheiros na Texas Instruments, de acordo com o Instituto Smithsonian. Gary Boone e Michael Cochram criaram o TMS 1000, que era um microcontrolador de 4 bits com ROM e RAM incorporados. Utilizado internamente pela empresa nas suas calculadoras, de 1972 a 1974, e melhorado ao longo dos anos.

Durante os anos 90, se tornaram disponíveis microcontroladores com memórias ROM (EEPROM) eletricamente apagáveis e programáveis, tal como a memória flash. Esses microcontroladores poderiam ser programados, apagados e reprogramados utilizando somente sinais elétricos. Ao transpor essa limitação, seus dispositivos poderiam ser atualizados com novos softwares sem a necessidade de serem devolvidos ao fabricante.

Com os avanços tecnológicos, a quantidade de sistemas embarcados (independentes e encapsulados) no mundo aumentou consideravelmente e, em favor disso, os microcontroladores se popularizaram e são hoje parte importante da vanguarda na indústria. Cada vez mais acessível, o conhecimento sobre linguagens de programação criou um grande leque de possibilidades para automação doméstica, para projetos simples e úteis a todos os públicos.

O microcontrolador escolhido para ser utilizado em nosso projeto é a Placa Arduino Pro Mini, um microcontrolador baseado no ATmega328P. Essa opção se deu pela familiaridade com o sistema Arduino e a Linguagem C de programação, estudados pelo grupo no curso, e pela boa aplicação do modelo ao trabalho. A placa

possui saídas 14 digitais e 8 entradas analógicas, além de ser mais indicado a projetos Stand-Alone (independentes de outros dispositivos) e muito compacto.

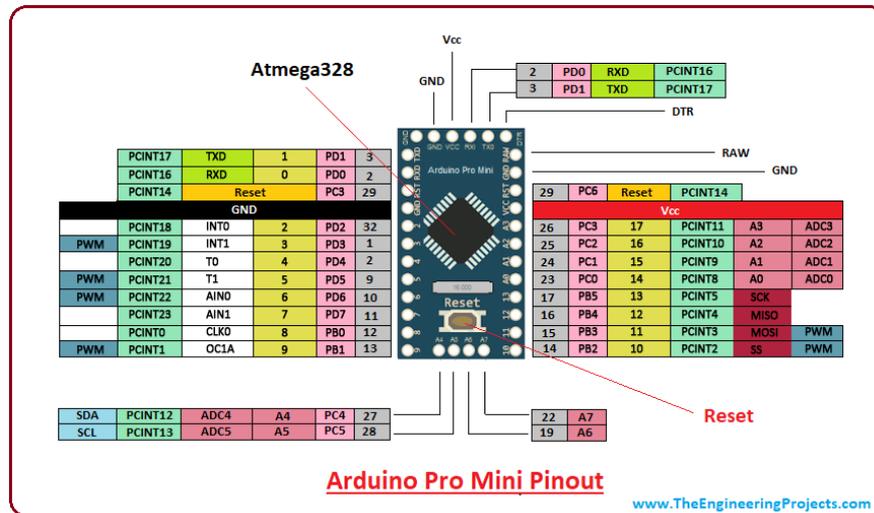


Figura 19: Pinos do Arduino Pro Mini  
Fonte: The Engineering Projects

## 7.2. Teclado matricial

O teclado matricial é um componente responsável pela interação do usuário com a máquina, comunicando-se com ela ao pressionar seus botões. As teclas deste componente são dispostas em linhas e colunas, a fim de formar uma matriz, dando origem ao nome “matricial”. Ao pressionar um botão, este conecta sua linha e coluna correspondentes e gera um sinal ao microcontrolador.

A leitura das teclas apertadas se dá pela técnica de Multiplexação, que consiste em poder receber informações de dispositivos diferentes através do mesmo canal. As colunas são os dispositivos, que lêem as informações mandadas pelas linhas.

Foi escolhido para o projeto um teclado matricial de 12 botões, dispostos em 4 linhas e 3 colunas. As teclas mostram os números de 0 a 9, além de um asterisco (\*) e uma cerquilha (#).



Figura 20: Teclado Matricial Rígido  
Fonte: Baú da Eletrônica

### 7.3. Display de Cristal Líquido

Um LCD, Liquid Crystal Display (ou em português, Tela de Cristal Líquido), é um dispositivo eletrônico destinado à exibição de informações, como textos, imagens ou vídeos. Este display constitui-se de algumas camadas, sendo essas o backlight (luz de fundo), a tela de cristal líquido, os filtros polarizadores e uma tela de vidro.

O backlight funciona como fonte de luz através de LEDs, iluminando o primeiro polarizador, que redireciona a onda. Após isso, a luz chega às telas de cristal líquido, que, por influência de eletrodos, controlam a orientação da onda e sua intensidade, enviando-a ao segundo polarizador, que permite à passagem de luz aos pixels. Caso os eletrodos sejam acionados em seu máximo, o polarizador bloqueia o restante da forma da onda de luz, tornando a informação exibida totalmente escura.

Cada pixel é composto de três subpixels RGBs (vermelho, verde e azul), e as cores são produzidas de acordo com a intensidade com que a luz atinge esses subconjuntos. Assim, a última etapa na exibição de um LCD é feita pelos pixels espalhados pela tela de vidro, que produzem cor e formam a imagem que será vista pelo operador.

O LCD que melhor atende nosso projeto é um modelo de 16 colunas x 4 linhas, baseado na quantidade de informação que precisamos exibir simultaneamente.

#### 7.4. Display de 7 segmentos (TM1637)

Um display de 7 segmentos é um dispositivo eletrônico que possui sete LEDs internos, tendo como finalidade mostrar informações alfanuméricas (binário, octadecimal, decimal ou hexadecimal) em formato de números (0 a 9) ou em algumas letras rudimentares. Seus segmentos são identificados por letras de “a” a “g” e o ponto decimal como “dp”.

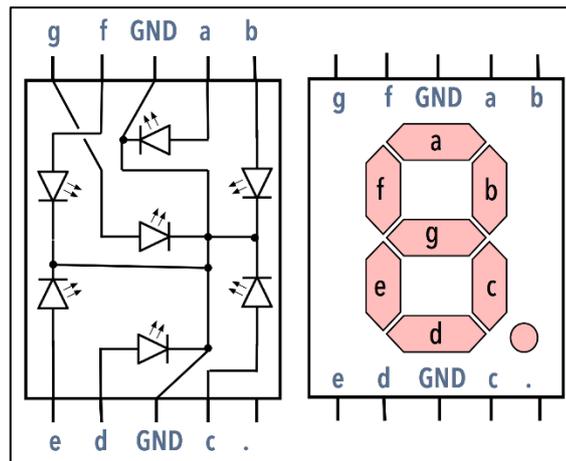


Figura 21: Esquema do Display de 7 segmentos

Sua organização interna dos displays de 7 segmentos pode ser na forma de catodo comum, ou anodo comum. A configuração catodo comum é a forma de ligação em que todos os catodos dos LEDs são conectados em um único terminal. Já a configuração anodo comum é a forma de ligação em que todos os anodos dos LEDs são conectados em um único terminal.

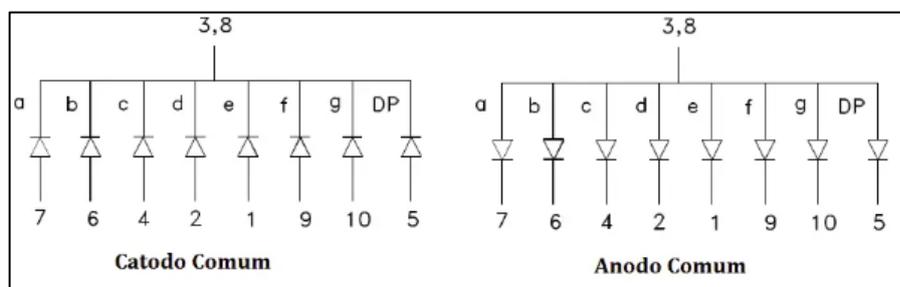


Figura 22: Circuito Catodo Comum e Anodo Comum

Para os circuitos de acionamento dos displays de 7 é necessário ter uma fonte elétrica para permitir o fluxo de energia através dos LEDs, resistores para

limitar a corrente em cada LED e assegurar que o brilho seja o suficiente, e um seletor de segmentos, que determina quais os segmentos que deverão ser ligados (normalmente utilizado micro controladores para esta função).

Os displays de 7 segmentos podem ser encontrados em várias opções de encapsulamento, contendo um, dois, três ou mais dígitos por componente, além de serem comercializados com LEDs de cores variadas, como verde, vermelho ou azul. Também existem versões de alto brilho, e com tamanhos físicos diferentes.

### 7.5. Buzzer

O buzzer se trata de um componente eletrônico capaz de gerar frequências na faixa de 1 a 7 kHz, através de eletromagnetismo. Ele possui uma bobina interna que funciona como eletroímã quando eletrificada, e um ímã permanente em formato de anel. Quando o buzzer recebe corrente elétrica, tem-se um ímã de campo variável (a bobina) dentro do raio de atuação de um campo permanente, o que gera forças de repulsão e atração, resultando na movimentação da bobina e do diafragma e na produção de ondas sonoras.

O tipo de buzzer utilizado é o ativo, que não necessita de um circuito externo para gerar som, sendo necessária apenas a alimentação apropriada. Além disso, a frequência da vibração pode ser alterada, recurso presente no teste do buzzer, apertando a tecla 8, que toca uma melodia pré-programada.



Figura 23: Frente da Máquina

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pretendeu construir uma Máquina Corrosora de Placas de Circuito Impresso para substituir o dispositivo presente na Etec Martin Luther King, adicionando novas funcionalidades a ele, por meio dos conhecimentos em Mecânica, Eletrônica e Programação adquiridos no Curso Técnico em Mecatrônica.

Para melhorar a eficiência do processo de corrosão das placas, foi necessário compreender as propriedades de diversos materiais, a fim de combinar os componentes corretos para a execução do projeto, que otimizassem o tempo e a praticidade do uso da máquina. Após vasta pesquisa, cada parte do dispositivo foi pensada e montada visando a operação ideal, que propunha maior segurança, personalização da atuação e rapidez.

A começar pelo exterior da máquina original, seu peso e formato dificultavam o transporte pelas salas da Etec, além de ocupar muito espaço nos armários onde era guardada. Este problema foi solucionado com uma estrutura mais leve e compacta, feita em maior parte de acrílico, que protege do ambiente, e que possui pés para apoio fora dos armários. Além disso, todo o sistema elétrico foi acomodado embaixo da caixa, retirando o risco de ser danificado pelos respingos de ácido.

Em segundo lugar, o formato do recipiente foi repensado para poder receber mais placas por vez. O pote mais alto e com dois andares possibilita muito mais corrosões simultâneas, sem precisar gastar mais componentes químicos nem usar tanto espaço. O movimento circular, que aproveita o formato cilíndrico do recipiente, é ideal para que o ácido atrite constantemente pelo cobre das placas. Outro resultado se deu pela praticidade de poder lavar as placas recém-corroídas na própria máquina, sem deslocar os componentes para maior segurança do usuário. O recipiente para limpeza acabou sendo um pouco pequeno, mas há espaço no interior da caixa de madeira para uma melhoria nesse sentido.

Além disso, vale ressaltar que todo o circuito ficou mais seguro, atendendo a normas internacionais de fabricação, como a implementação do botão de parada de emergência e do fusível.

Por fim, o lado mais interessante do trabalho foi integrar a automação a um dispositivo usado no próprio curso. Isso foi feito por meio de lógicas de programação e dispositivos de interface que fazem a ponte de comunicação entre o operador e a máquina. Agora, é possível escolher como a corrosão é feita, de acordo com a necessidade de cada caso. Isso é muito importante não só para a otimização do processo, mas também para a integração e interesse dos alunos da instituição pelo funcionamento da Máquina Corrosora.

Com isso, podemos afirmar que este trabalho é concluído com sucesso, atingindo todos os objetivos propostos e confirmando a hipótese de que o desempenho da Máquina Corrosora de PCI poderia ser muito melhorado com algumas tecnologias diferentes. Cometemos alguns erros em execução e organização, mas sabemos contornar todas as dificuldades e entregamos os resultados com grande satisfação.



Figura 24: Apresentação da Máquina pronta na ExpoTCC



Figura 25: Grupo e Orientador

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Recuperando Percloroeto de Ferro Usado, conteúdo disponível em:

<https://www.altanatubes.com.br/webstore/?c=313&t=Recuperando-percloroeto-de-ferro-usado>

Acessado em 21 de maio de 2022 às 19h

Como Fazer Sua Própria Placa de Circuito Impresso, conteúdo disponível em:

<https://blog.fazedores.com/como-fazer-suas-proprias-pcbs-placas-de-circuito-impresso/>

Acessado em 21 de maio de 2022 às 19h

Tudo o que você precisa saber sobre o Percloroeto de Ferro, conteúdo disponível em:

<https://www.kmabrasil.com.br/blog/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-percloroeto-de-ferro>

Acessado em 21 de maio de 2022 às 19h

Site oficial da Etec Martin Luther King, conteúdo disponível em:

<https://etecmlk.cps.sp.gov.br>

Acessado em 03 de junho de 2022 às 11h23

Engenharia de Controle e Automação, conteúdo disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia\\_de\\_controle\\_e\\_automação](https://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_controle_e_automação)

Acessado em 10 de junho às 14h31

Recipiente Plástico 4,5L Plasútil:

<https://www.lojaplasutil.com.br/pote-45-l-rosca-branco2>

Acessado em 28 de setembro às 20h12

Recipiente 460 ml Nitronplast:

<https://www.nitron.com.vc/potes/pote-com-travas-460-ml>

Acessado em 07/11/2022 às 11h23

Circuito Impresso, conteúdo disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito\\_impresso](https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_impresso)

Acessado em 02 de outubro às 19h20

IPC-2251 Task Group (D-21a): Design Guide for the Packaging of High-Speed Electronic Circuits (PDF). Novembro de 2003

Making a PCB – PCB Manufacture step by step – Eurocircuits, conteúdo disponível em:

<https://www.eurocircuits.com/making-a-pcb-pcb-manufacture-step-by-step/>

Acessado em 02 de outubro, às 19h43

Displays de LED de 7 segmentos, conteúdo disponível em:

[https://embarcados.com.br/displays\\_led\\_7\\_segmentos/](https://embarcados.com.br/displays_led_7_segmentos/)

Acessado em 09 de outubro de 2022 às 14h56

Como Funciona o LCD?, conteúdo disponível em:

<https://www.orientdisplay.com/pt/knowledge-base/lcd-basics/how-liquid-crystal-displays-work/>

Acessado em 12 de outubro de 2022, às 16h03

Khandpur, R. (7 de setembro de 2005). *Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, and Assembly* (em inglês) 1 ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education. pp. 373–378. ISBN [9780071464208](https://www.isbn-international.org/number/9780071464208)

MDF Ultra Premium, Duratex, conteúdo disponível em:

<https://www.duratexmadeira.com.br/composicoes/madefibra-mdf-ultra-premium-resistente-a-umidade/>

<https://www.duratexmadeira.com.br/produtos/gianduia-linha-trama/>

Acessado em 07 de novembro às 10h17

Datasheet Reguladores de Tensão:

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/69437/KEC/7805.html>

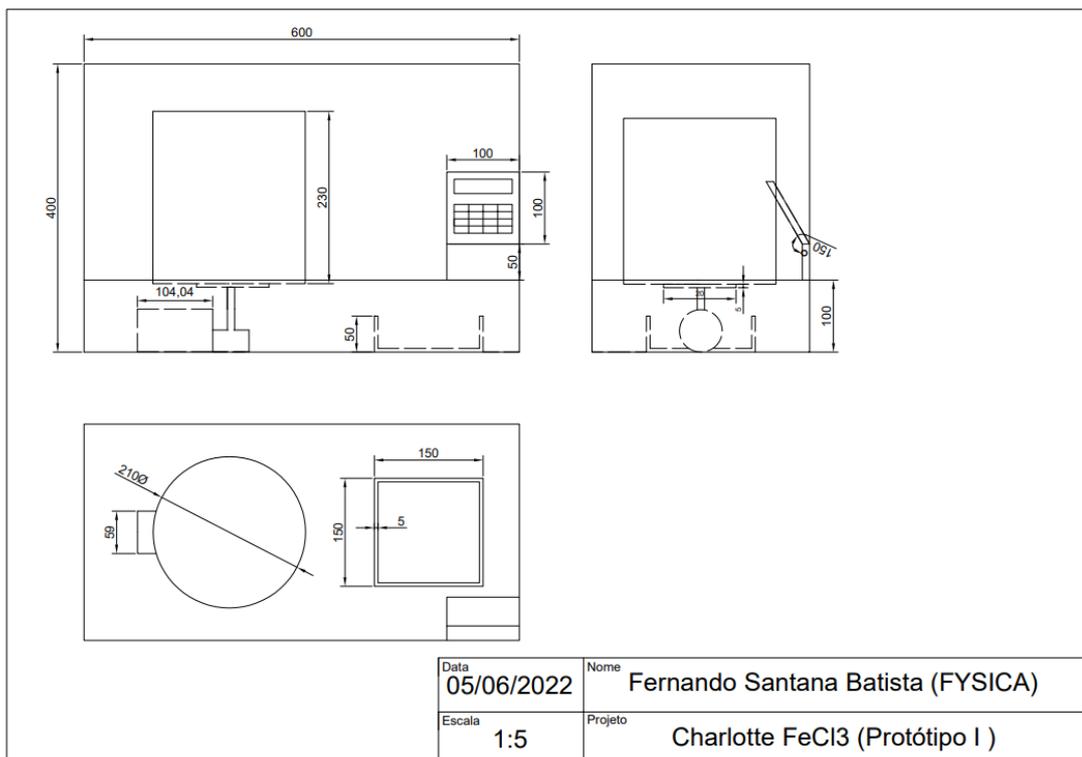
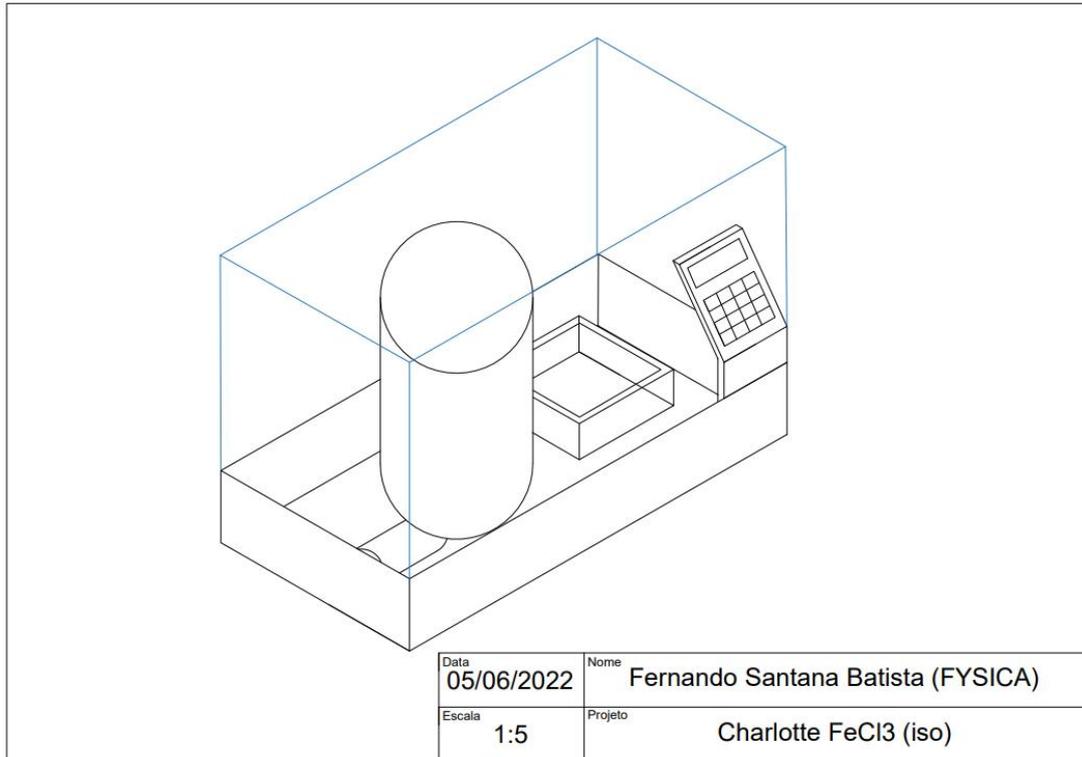
Acessado em 07 de novembro às 21h35

WENDLING, Marcelo – CI Reguladores de Tensão – UNESP - 2009

SOUZA, Vitor Amadeu – Projetos microcontrolados com efeito Peltier – 2013

## 10. APÊNDICES

Desenhos Técnicos do visual esperado da máquina projetados pelo integrante do grupo Fernando Santana Batista, em forma isométrica e suas respectivas vistas ortogonais.



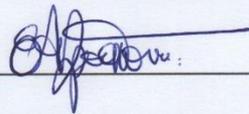


**11. FOLHAS DE REVISÃO****Folha de Revisão de Língua Portuguesa**

ESTA MONOGRAFIA FOI REVISADA PELA PROF.<sup>a</sup> Edilaine  
Aparecida Raposo Loures,  
RG: 204570384, DA INSTITUIÇÃO Colégio Sena  
de Miranda.

São Paulo, 21 de novembro de 2022.

Assinatura: \_\_\_\_\_



**Folha de Revisão de Língua Inglesa**

ESTA MONOGRAFIA FOI REVISADA PELA PROF.<sup>a</sup> FABIANA  
CARDENUTO SAES  
RG: 19.978.539-9, DA INSTITUIÇÃO ETEC MARTIN  
LUTHER KING.

São Paulo, 28 de novembro de 2022.

Assinatura: Fabiana C. Saes.