

EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL: reutilização de microcontroladores ARM obsoletos

Gabriel Lucas Paulino, Leonardo Borges Dos Santos, Rayane Depetritz, Rayssa Milena Castro Correia, Wesley Candido da Silva*

RESUMO

Este trabalho apresenta a continuidade de um projeto desenvolvido em parceria com o Grupo F&K, voltado para a reutilização de microcontroladores obsoletos na criação de protótipos educacionais. O estudo focou no microcontrolador STMG070KBT6, integrado a uma placa de circuito impresso (PCI) de fenolite, escolhida por baixo custo, propriedades dielétricas e facilidade de fabricação. Durante o desenvolvimento, foram realizados esquemas, impressão e montagem da placa, bem como testes em máquinas e softwares para validar sua funcionalidade. O protótipo apresentado é uma ferramenta eficiente para o ensino em cursos de elétrica, eletrônica e automação, permitindo a exploração prática de conceitos de programação e integração de sistemas, além de oferecer soluções educacionais de baixo custo, o projeto reforça a sustentabilidade ao reaproveitar componentes descartados, contribuindo para a redução de resíduos eletrônicos. Os resultados obtidos evidenciam o potencial de reutilização de microcontroladores em diferentes aplicações, promovendo tanto o aprendizado técnico quanto o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas ao ensino. O estudo abre perspectivas para a criação de DevKits mais avançados, com aplicações específicas e maior integração com softwares educacionais, atendendo às demandas acadêmicas e industriais.

Palavras-chave: Microcontrolador STMG070KBT6, Placa De Circuito Impresso (PCI), DevKits, Prototipadora PROTO 1S.

SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL EDUCATION: reuse of obsolete ARM microcontrollers

ABSTRACT

This paper presents the continuation of a project developed in partnership with F&K Group, focused on reusing obsolete microcontrollers to develop educational prototypes. The study centers on the STMG070KBT6 microcontroller, integrated into a phenolic printed circuit board (PCB) chosen for its low cost, dielectric properties, and

* Autor correspondente (e-mail): wesley.candido@sistemafiep.org.br

ease of fabrication. The development process included schematic design, PCB printing, and assembly, along with machine and software testing to validate its functionality. The prototype proved to be an effective teaching tool for courses in electrical, electronics, and automation engineering, enabling hands-on exploration of programming and system integration concepts. Besides offering cost-effective educational solutions, the project highlights sustainability by repurposing discarded components, contributing to the reduction of electronic waste. The findings underscore the potential of microcontroller reuse in various applications, promoting technical education and driving the development of new technologies for learning. The study paves the way for designing advanced DevKits with specific applications and enhanced integration with educational software, catering to academic and industrial requirements.

Key words: STMG070KBT6 Microcontroller, Printed Circuit Board (PCB), DevKits, PROTO 1S Prototyper.

1. INTRODUÇÃO

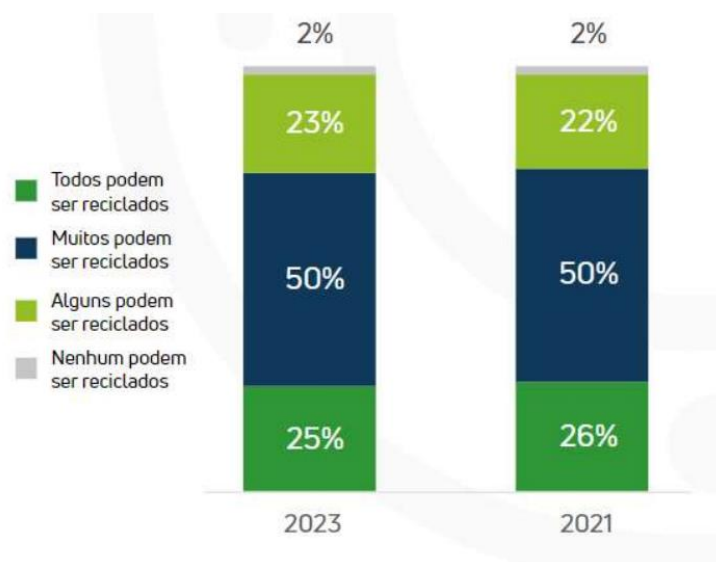
Segundo pesquisa realizada pelo Global Lixo Eletrônico Monitor em 2020, a produção global gerou aproximadamente 53,6 milhões de toneladas de lixo eletrônico, no Brasil gerou-se no período de 2019, 2,1 milhões de toneladas, sendo o país classificado como o maior produtor de *e-waste* da América Latina e o quinto maior do mundo.

No que se refere a reciclagem desses resíduos, o Global Lixo Eletrônico Monitor, aponta que apenas 17,4% do lixo eletrônico mundial foi reciclado adequadamente em 2019, causando perdas significativas de materiais valiosos e em impactos ambientais negativos, no Brasil essa porcentagem é de menos de 3% do total produzido, a falta de infraestrutura, políticas públicas eficazes e conscientização são alguns dos principais desafios para melhorar essa taxa. O número de *e-waste* é projetado para atingir cerca de 74 milhões de toneladas em 2030.

A Green Eletron em 2023 apontou em uma de suas pesquisas citada pela revista Resíduos Eletrônicos do Brasil, que somente 25% dos entrevistados sabem

que todos os eletroeletrônicos podem ser reciclados, se forem descartados de forma correta, como mostra o gráfico abaixo;

Figura 1 Resultado da pesquisa do conhecimento dos entrevistados, sobre os eletrônicos serem recicláveis



O ritmo impressionante do crescimento da fabricação e consumo de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), combinado à tendência à redução da vida útil das gerações dos diversos EEE (obsolescência programada) leva à produção do chamado lixo eletroeletrônico ou resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE ou waste electrical and electronic equipment – WEEE), que assumiu proporções alarmantes em todo o mundo. Estimativas indicavam que, em 2010, haveria mais de 3 bilhões de computadores obsoletos em todo o mundo. Cerca de 1,5 bilhão de celulares são substituídos por ano. A Organização das Nações Unidas (ONU) estimava que a produção de lixo eletroeletrônico atingiria 150 milhões de t em 2010. O lixo eletroeletrônico cresce a uma velocidade três a cinco vezes maior que a do lixo urbano.

Projetado desenvolvimento de esquemático e impressão de circuito em placa de fenolite, a placa de fenolite, também conhecida como PCI (Placa de Circuito Impresso) de fenolite, é um dos materiais mais utilizados para a fabricação de placas de circuito impresso devido ao seu baixo custo, durabilidade e facilidade de

fabricação. O fenolite é um material composto por camadas de resina fenólica, reforçado por papel celulose, que possui boas propriedades dielétricas, ou seja, permite um bom isolamento elétrico, essencial para a aplicação em circuitos eletrônicos. Em circuitos de baixa e média complexidade, a placa de fenolite é uma opção ideal, especialmente em projetos de prototipagem e pequenos produtos eletrônicos (RUDIGER, 2016).

Apesar de ser amplamente utilizado, o fenolite possui especificações quando comparado a outros materiais, como o FR-4 (fibra de vidro). Este último apresenta maior resistência a temperaturas elevadas, umidade e impactos mecânicos, tornando-se mais adequado para aplicações onde o circuito estará sujeito a condições mais rigorosas. Assim, o fenolite é mais indicado para circuitos de menor complexidade e menor custo, como em protótipos ou dispositivos eletrônicos de consumo. Ainda assim, devido ao seu custo-benefício, o fenolite permanece com uma escolha popular e eficiente para muitos projetos, especialmente entre iniciantes e em ambientes educacionais (SOUZA, 2018). Devido ao objetivo principal do desafio abordado da jornada de aprendizagem, a escolha do fenolite foi feita pelo baixo custo e complexidade para impressão do circuito na mesma.

A F&K Group, é uma empresa brasileira de desenvolvimento e produção de chicotes elétricos e produtos eletrônicos, está localizada na cidade de Londrina, no estado do Paraná. Atualmente a empresa atende diretamente países como a Holanda e Estados Unidos e indiretamente outros países da Europa, Oriente Médio e América Latina.

No processo conduzido pelo Grupo F&K, foram identificadas unidades do microcontrolador modelo G070KBT6, fabricado pela STMicroelectronics, em estado de bancada (obsoletos). Essas unidades estavam inativas no processo devido à sua obsolescência nas informações previamente programadas, resultante das restrições de uso para o produto.

Os microcontroladores em questão possuem programação fixa, o que os tornava incapazes de serem regravados ou reprogramados para o seguimento. Contudo, foi

avaliado pela empresa e pelo grupo estudantil elaborador deste artigo a possibilidade de realizar um estudo detalhado do chip e suas características, para determinar potenciais soluções ou alternativas viáveis para a reutilização e/ou reciclagem desses microcontroladores.

O objetivo desse trabalho consiste em abordar a utilização do microcontrolador como componente de circuito impresso juntamente com os demais componentes soldados na placa. Para isso, será realizado o desenvolvimento de placa protótipo que possibilite a programação do microcontrolador modelo STMG070KBT6, realizando a interação do chip como os demais componentes da placa, voltado a dinâmicas de estudos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

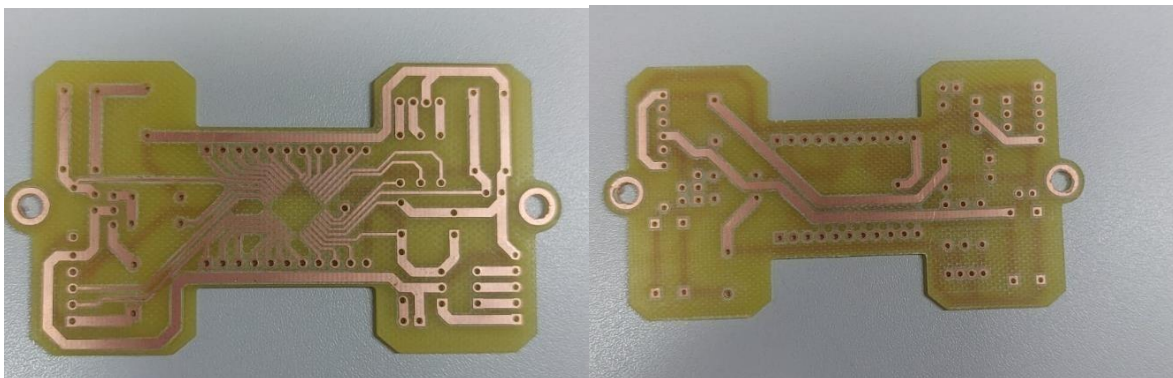
2.1. PCI - Placa de Circuito Impresso (*PCB - Printed Circuit Board*)

Nas publicações estudadas, relacionados ao assunto credita a invenção do circuito impresso a um engenheiro austríaco chamado Paul Eisler (1907 - 1995) que em 1936, enquanto trabalhava na Inglaterra, patenteou um método de se corroer uma camada de cobre depositada sobre uma superfície isolante (MEHL, s.d). Existe também registro de uma patente norte-americana de 1925, em nome de Charles Ducas, que propunha depositar uma tinta condutiva sobre um substrato isolante, que deu origem à expressão “Circuito Impresso”.

No entanto, a primeira vez que os circuitos impressos foram usados de uma forma mais ampla foi por volta de 1943, quando foram empregados em equipamentos de rádio para uso militar, onde era essencial que o circuito funcionasse em situações extremamente adversas. Após a Segunda Guerra Mundial os circuitos impressos foram usados em outras aplicações e, com o advento dos transistores, tornou-se a forma mais comum de construção de circuitos transistorizados (Chaves, 2023).

O material que compõe a base, chamado laminado, de uma PCI pode ter diferentes composições, por exemplo, fenolite (papelão impregnado com resina fenólica), fibra de vidro, resinas epóxi, composite (mistura de resina fenólica com a fibra de vidro) e materiais cerâmicos.^{10,13} O laminado é recoberto por uma fina camada de cobre (Vianna & Mantovano, 2012). Os circuitos integrados e as outras partes eletrônicas são unidos ao laminado por soldagem por meio de uma liga eutética contendo chumbo e estanho, as conexões entre os componentes ocorrem do lado contendo cobre, através de caminhos condutores, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - PCI - Placa de Circuito Impresso (Frente e verso)



2.2. Buzzer

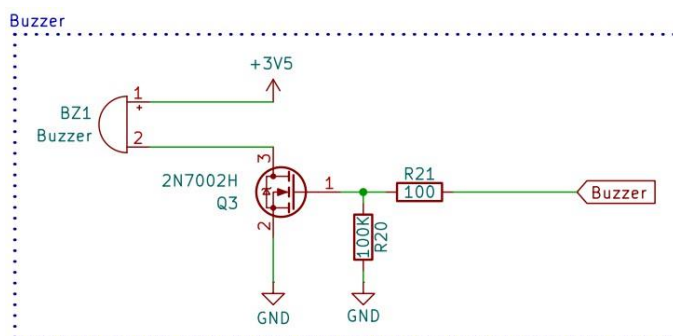
Buzzers são dispositivos eletromecânicos ou piezoelétricos utilizados para gerar sons audíveis em diferentes frequências, são amplamente aplicados em circuitos eletrônicos para emitir alertas sonoros, notificações ou sinais. O funcionamento básico de um *buzzer* varia de acordo com o tipo:

Buzzer Piezoelétrico: Utiliza um cristal piezoelétrico que vibra ao receber uma tensão alternada, produzindo som. Este tipo de *buzzer* é eficiente em consumo de energia e ideal para dispositivos portáteis ou de baixo consumo.

Buzzer Eletromecânico: Composto por uma bobina e um diafragma metálico, funciona como um pequeno alto-falante, é mais robusto, mas consome mais energia, sendo indicado para aplicações que desativam sons mais altos.

Os *buzzers* geralmente são acionadas por um circuito de controle, como um *mosfet* ou transistor, o que permite o gerenciamento preciso de energia e isolamento dos componentes restantes do circuito. Resistores *pull-up* ou *pull-down* podem ser usados para evitar estados indesejados em sinais de controle, garantindo estabilidade no funcionamento do *buzzer* (Sedra & Smith, 2020). Os referidos dispositivos estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - PCI – Esquemático de um buzzer



2.3. Push buttons de 4 terminais

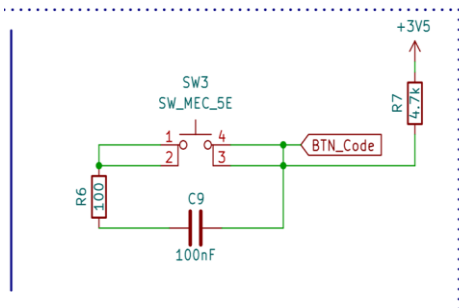
São componentes fundamentais em circuitos eletrônicos, utilizados como *switches* momentâneos para iniciar ou interromper o fluxo de corrente, suas características incluem a presença de dois pares de terminais, que permitem maior flexibilidade em aplicações, como redundância de sinal ou controle simultâneo de diferentes partes do circuito.

Segundo Rockis (2001), os *push buttons* conectam-se a dispositivos de controle, como relés ou bobinas, permitindo o acionamento de cargas em sistemas industriais. Resistores de *pull-up* ou *pull-down* são frequentemente incorporados para estabilizar

o sinal elétrico e evitar estados indesejados ou flutuantes nos circuitos digitais. Ainda, Rockis destaca que o *bouncing*, fenômeno comum em *switches* mecânicos devido à oscilação dos contatos, pode causar múltiplos pulsos indesejados no circuito, isso é tratado por meio de técnicas de *debouncing*, como a utilização de filtros RC ou algoritmos implementados em microcontroladores para eliminar os sinais espúrios.

Rockis (2001) também aponta que esses dispositivos são amplamente empregados em controles industriais, como sistemas de partida de motores, além de aplicações em interfaces de usuário, onde interagem com microcontroladores para acionar LEDs, relés e outros dispositivos. A configuração de 4 terminais permite maior flexibilidade ao projetista, seja para separar os sinais de entrada e saída ou para criar caminhos redundantes.

Figure 4 Esquemático Push button



2.4.LED RGB

Os *LEDs RGB* de três cores combinam as cores primárias vermelho, verde e azul, o que possibilita a criação de uma vasta gama de tonalidades, através do ajuste da intensidade de cada uma dessas cores, é possível gerar até 16,7 milhões de cores diferentes, tornando-os altamente versáteis para diversas aplicações, desde iluminação decorativa até displays digitais.

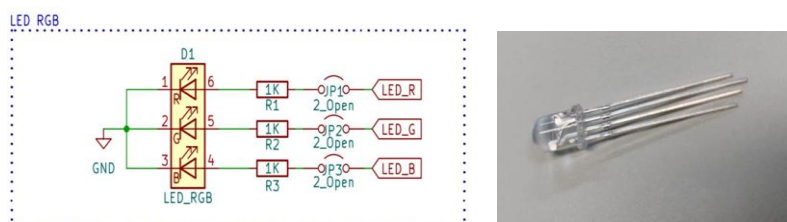
Esses *LEDs* possuem quatro terminais: um para cada cor (vermelho, verde e azul) e um pino comum, que pode ser de ânodo ou cátodo, dependendo da

configuração do *LED*, a modulação de largura de pulso (*PWM*) é amplamente utilizada para controlar a intensidade de cada cor, permitindo a variação das tonalidades em tempo real. Além disso, sistemas como o Arduino podem ser usados para programar a transição suave entre as cores, criando efeitos dinâmicos e interativos.

De acordo com diversos estudos e tutoriais técnicos, o controle preciso das cores pode ser empregado em uma série de aplicações práticas como no controle de iluminação ambiental, com diferentes parâmetros, temperatura ambiente, ou em displays, usados em televisores e painéis publicitários, por fim o uso de *LEDs RGB* também é comum em sistemas de feedback visual, oferecendo uma interface intuitiva para o usuário.

Esses componentes são essenciais para criar experiências visuais imersivas e eficientes em termos de consumo energético, com suas aplicações se expandindo cada vez mais em tecnologias como displays *OLED* e sistemas de iluminação inteligente.

Figura 5 Esquemático LED RGB



O conector USB tipo C tem formato simétrico permitindo a conexão reversível, simplificando a experiência do usuário, o componente oferece uma capacidade de transmissão de dados (até 10 Gbps) e fornecimento de energia (até 100W). A montagem do conector USB Tipo C em placas de circuito impresso (PCIs) exige atenção às especificações elétricas e mecânicas, como a capacidade de suportar correntes elevadas e a resistência física ao uso constante, para garantir a integridade do sinal e a eficiência do circuito, ferramentas de design, como o Altium Designer, são utilizadas para modelar e simular a integração do conector na PCB, assegurando a

correta distribuição de energia e dados sem comprometimento do desempenho do sistema (Phoenix Contact, 2023; Altium, 2023).

Figura 6 Conector PCI tipo C

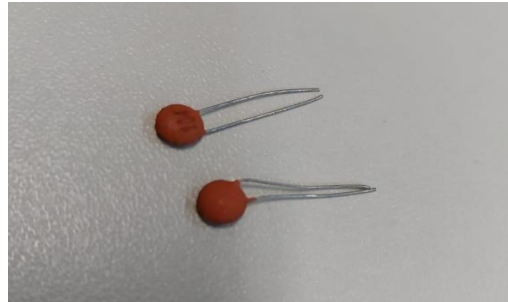


2.5 Capacitores

São amplamente utilizados para desacoplamento de sinais, armazenamento de energia e controle de transientes elétricos, a escolha do capacitor adequado e seu correto posicionamento no layout da PCI são essenciais para o desempenho ideal do circuito, reduzindo interferências eletromagnéticas (EMI) e melhorando a estabilidade de operação.

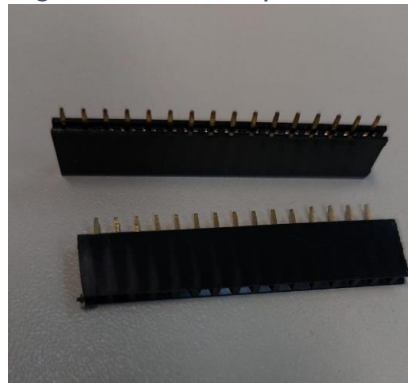
Os capacitores de cerâmica multicamada (MLCC) são utilizados devido à sua alta eficiência, tamanho reduzido e baixo custo, são eficazes em aplicações de alta frequência onde a baixa indutância é essencial. Por outro lado, capacitores eletrolíticos são preferidos em aplicações que requerem alta capacitância, como em fontes de alimentação de baixa frequência (Raisa, 2023; Newton C. Braga, 2023).

O posicionamento dos capacitores, especialmente os de desacoplamento, próximos aos circuitos integrados é fundamental para melhorar a resposta do sistema e minimizar indutâncias parasitas, o uso de múltiplos capacitores em paralelo pode compensar frequências diferentes e melhorar a distribuição de energia em toda a PCI. Ferramentas como o Altium Designer ajudam a otimizar o layout e selecionar os componentes adequados, garantindo eficiência e confiabilidade no design final (Altium, 2023)

Figura 7 Capacitores

2.6. Barra de pinos Fêmea 11 vias - conector empilhável

Conforme citado por Rezende (2021) a barra de pinos fêmea de 11 vias é um conector amplamente utilizado em sistemas eletrônicos para interconexão entre placas de circuito impresso (PCIs), sendo especialmente útil em projetos modulares. Com espaçamento padrão de 2,54 mm entre os pinos, ela permite empilhamento de placas, promovendo economia de espaço e flexibilidade no design de circuitos, sua construção é composta por terminais metálicos encapsulados em uma estrutura plástica e garante resistência mecânica e elétrica adequada para diversas aplicações, como em sistemas baseados em microcontroladores e módulos periféricos

Figura 8 Barra de pinos Fêmea 16 vias - conector empilhável

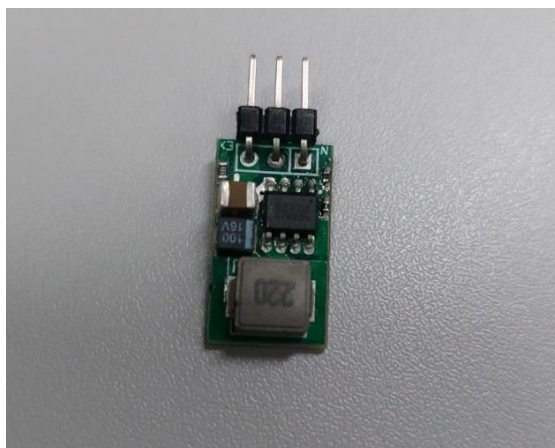
2.7 Regulador de Tensão

Reguladores de tensão desempenham um papel fundamental em circuitos eletrônicos, especificamente em placas de circuito impresso (PCIs), garantindo uma

tensão de saída estável mesmo diante de flutuações na entrada ou nas condições de carga, esse componente pode ser implementado com componente discreto ou integrados, com os circuitos integrados (CIs) sendo os mais utilizados devido à precisão e ao espaço reduzido que ocupam no projeto eletrônico.

Em *PCIs* os reguladores de tensão são frequentemente acompanhados por capacitores para eliminar ruídos de alta frequência, garantindo maior estabilidade na saída. Além disso, dissipadores de calor são recomendados quando a potência dissipada excede 1W, especialmente em aplicações com altas correntes.

Figura 9 Regulador de tensão



2.8 PROTO 1S

A prototipagem física da placa foi realizada em parceria com o Instituto Senai de Tecnologia, sendo as placas impressas pela prototipadora PCB-Proto, a mesma utiliza dois processos mecânicos para realizar sua tarefa de prototipação: o fresamento e a furação. O fresamento é um processo de remoção mecânica de material de forma lateral, através de uma ferramenta chamada de fresa, enquanto a furação é realizada por brocas que só executam furos, porém é possível furar com uma fresa, processo este muito utilizado para confecção de furos com diâmetros maiores que 2,5mm. Os processos de prototipação e de utilização da impressora

estão dispostos em outro documento, este por fim, tem como finalidade passar recomendações para quem for desenvolver as *PCI's*.

2.9 Kicad

KiCad é um software livre e de código aberto amplamente utilizado no design de circuitos impressos (*PCI's*), oferecendo uma alternativa viável a ferramentas proprietárias nas áreas de engenharia eletrônica e design de hardware, desenvolvido e mantido pela comunidade, KiCad permite que engenheiros e projetistas eletrônicos criem projetos complexos com eficácia, fornecendo um conjunto de ferramentas profissionais de forma acessível, o que torna a plataforma uma excelente escolha para estudantes, pesquisadores e pequenas empresas.

O KiCad oferece um conjunto completo de ferramentas que cobrem todas as etapas do processo de desenvolvimento de *PCI's*. Entre suas funcionalidades estão a criação de esquemáticos, o layout de *PCI's*, a verificação de regras de design (DRC), a geração de arquivos Gerber e a visualização 3D do projeto, a interface gráfica do software facilita a navegação entre as ferramentas, proporcionando um fluxo de trabalho intuitivo que simplifica a implementação e modificação de circuitos (Bauman, 2017).

A ferramenta de esquemático do KiCad permite a criação de circuitos eletrônicos de forma organizada e precisa, enquanto o layout de *PCI* oferece recursos avançados para o roteamento e posicionamento de componentes, com suporte a múltiplas camadas e vias. O software também possui bibliotecas extensivas de componentes, facilitando a integração de circuitos padrão e customizados (Kicad, s.d).

3. METODOLOGIA

A metodologia discorre de pesquisa bibliográfica e referências técnicas práticas realizadas durante a prototipagem do projeto. A pesquisa ocorreu mediante embasamento de artigos físicos e digitais extraídos de Google Acadêmico e SciELO –

Brasil, BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento e biblioteca UniSenai Física e Digital. Em paralelo a pesquisa teórica foi realizado o acompanhamento da prototipagem do projeto físico da placa, impresso na PROTO 1S, prototipadora utilizada pelo Instituto Senai de Tecnologia, os componentes físicos soldados junto a placa foram materiais reutilizados do laboratório de automação, elétrica e eletrônica.

Por fim o microcontrolador, centro do projeto seguiu-se com o modelo 0020G070KBT6 disponibilizado pela F&K Group dando continuidade na resolução do desafio proposto. Durante as pesquisas bibliográficas priorizou-se o estudo e a apresentação dos componentes e software utilizados para impressão e montagem do protótipo físico, a fim de concluir o objetivo principal do projeto.

Foram realizados teste em softwares conforme estudo abaixo para a impressão e roteamento da placa de circuito impresso. De início seriam utilizados o software Flatcam e a CNC Router 3, uma vez que a equipe não teve contato anterior com os mesmos não havia tempo hábil para o desenvolvimento deste estudo para atendimento do objetivo proposto, considerando a troca de equipamento de impressão para ZMORPH, também disponibilizada pelo UniSenai. Na sequência será apresentado o diário de testes realizados nas tentativas de funcionamento e adequação da máquina:

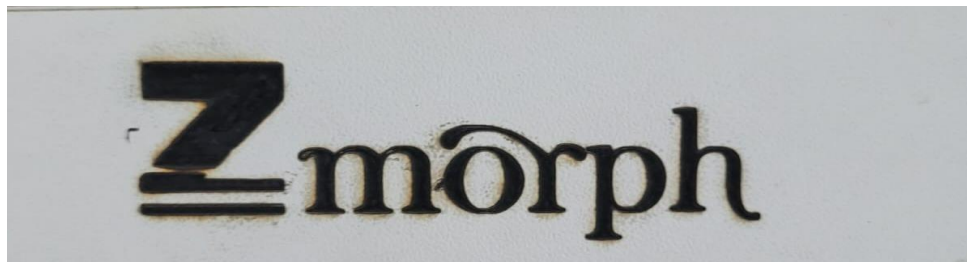
- Realizado estudo superficial de modo de uso da máquina [ZMORPH](#), identificando que a mesma é [CNC](#) (Controle Numérico Computadorizado), haja vista que atua por eixos sendo X, Y e Z e seus comandos são numéricos e computadorizados;
- Atua em 3 opções sendo 3D, Route CNC e laser;
- Teste realizado com a função laser devido a maior precisão, durante o roteamento; Foi realizado a troca de peças devido o modo router
- Instalação do software que gera arquivo [.gcode](#), onde o mesmo é responsável por informar as instruções para controlá-la;
- [Voxelizer for Fab](#) - Software utilizado pela máquina;

- Realizado teste em placa de madeira;

Figura 10 Primeira tentativa de impressão em placa de madeira, com projeto enviado pelo software notebook

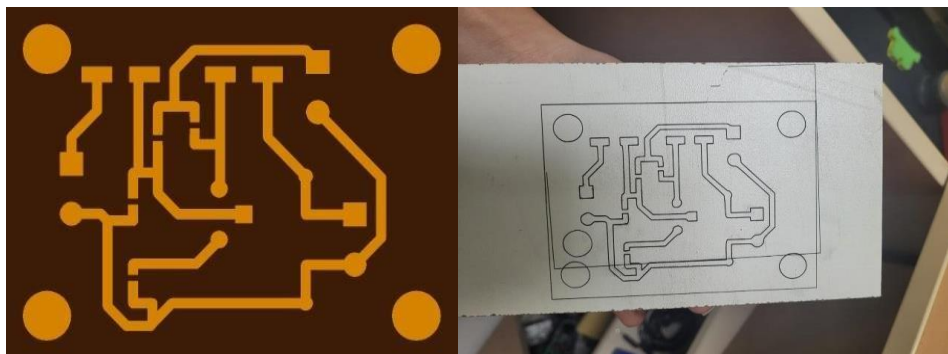


Figure 11 Teste foi rodado diretamente pela máquina sem passar por processos no notebook ou pelo software



- Realizado o estudo do software Voxelizer utilizando o [manual](#), tópico 14 exemplificando o seu funcionamento e fazendo algumas gravações em placas de madeira;
- O arquivo que deve ser importado é o DXF. Foi feito a conversão de arquivos PNG para DXF, utilizando convertido;

Figura 12 Modelo teste para impressão

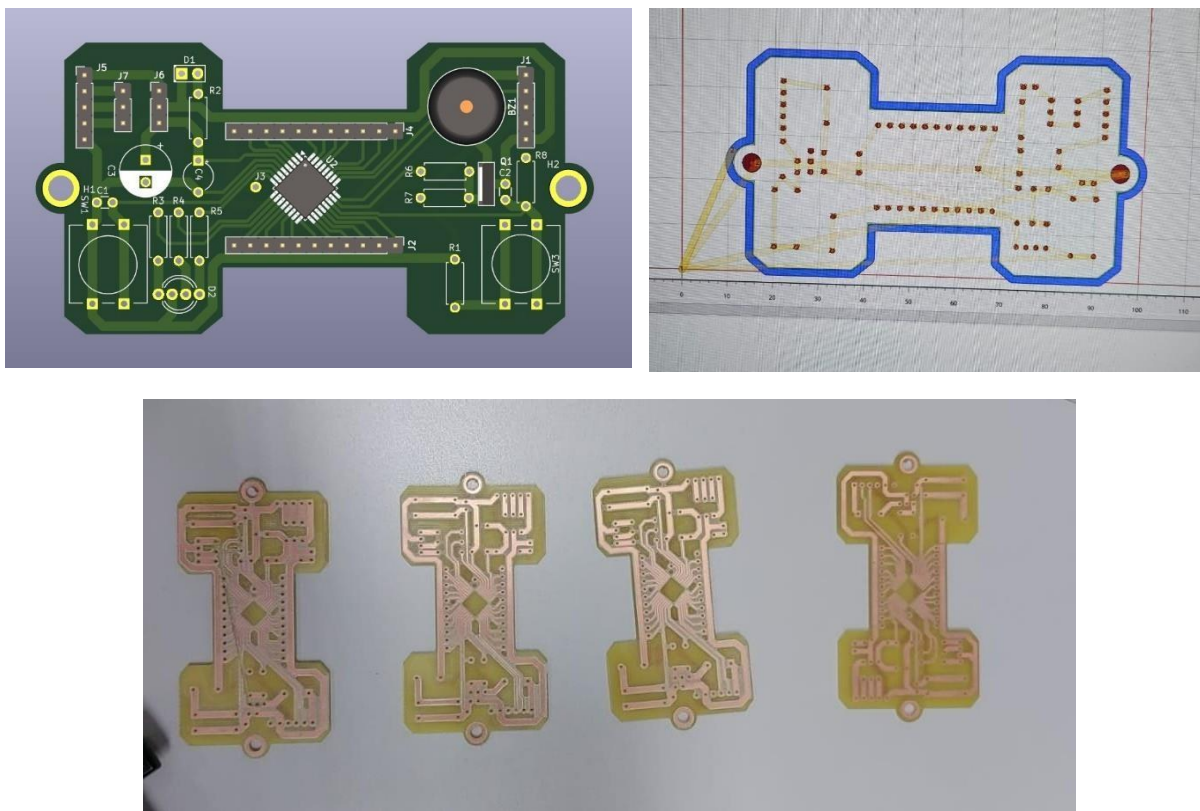


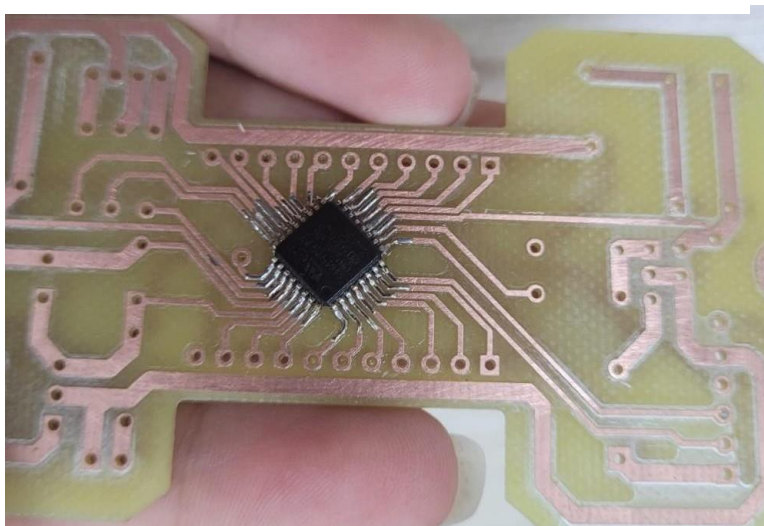
Foi identificado que a cada troca de material a ser gravado é necessário realizar a calibração do ponto inicial da máquina, que por padrão é o lado esquerdo na parte inferior. Ainda, foi identificado que não havia tempo hábil para o destrave da máquina, foi definido que a impressão seria realizada na prototipadora PROTO 1S citada acima com manual anexado ao final deste arquivo.

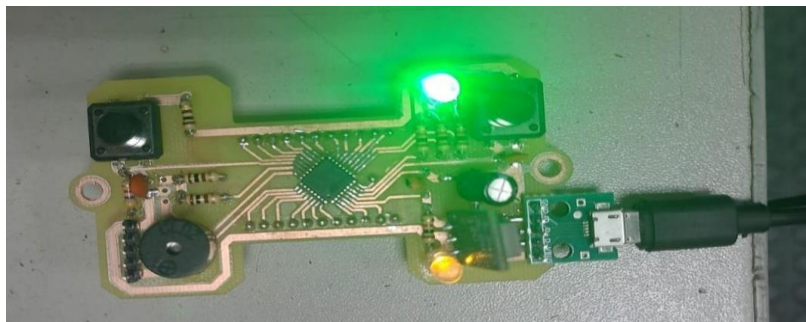
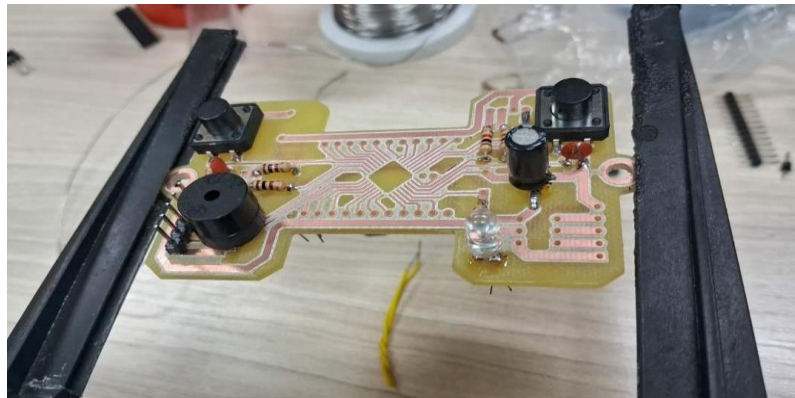
4. RESULTADOS OBTIDOS

Ao final dos estudos, obteve-se como resultado a placa prototipada de forma física possibilitando o acoplamento dos demais componentes por meio de solda com estanho, houve o teste ligando a placa a uma fonte verificando a correta impressão da trilha do circuito. Conforme imagens abaixo

Figura 13 Processo de prototipação







5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo, permitiu a aplicação dos conhecimentos adquiridos nas matérias ministrada no curso de engenharia elétrica e durante as pesquisas bibliográficas, adequada ao histórico de conhecimento técnico prático dos membros da grupo.

É importante ressaltar que o objetivo principal do tema definido pela jornada de aprendizagem em conjunto com a empresa F&K Group foi atendido, de modo que no artigo apresentado anteriormente houve o estudo completo do microcontrolador modelo STMG070KBT6 e demais componentes que tiveram seus projetos esquemáticos elaborados e também apresentados. Haja vista que no atual artigo foi apresentado as definições dos demais componentes que foram utilizados no projeto, e a partir desse estudo foi possível realizar testes conforme citado acima em máquinas e softwares diversos para atingir a prototipagem física da placa, atendendo ao objetivo de estudo dos componentes e periféricos, junto ao objetivo do

desenvolvimento de DevKits voltados a estudos para os cursos de elétrica, eletrônica e automação.

Tendo o objetivo sido alcançado, conclui-se que o estudo e elaboração de placas de circuito impresso, abrem um leque de opções para a continuação do projeto em várias vertentes, incluindo programações específicas e mais detalhadas com uma gama de softwares para esta ação

A equipe definiu em conjunto a conclusão deste tema neste artigo, disponibilizando o material para estudos paralelos ao objetivo da Jornada de Aprendizagem, projetando a utilização do protótipo para montagem de jogos que envolvam uma sequência com o *LED RGB*, montagem e de placa com maior quantidade de componentes dentro do leque de possibilidades disponíveis

REFERÊNCIAS

MEHL, Ewaldo Luiz de Mattos. Conceitos fundamentais sobre placas de circuito impresso. Disponível em: https://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf.

CHAVES, Laís E. Placas eletrônicas (PCB/PCI): o que são e para que servem? Disponível em: <https://www.engenhariahibrida.com.br/post/placas-eletronicas-o-que-sao-para-que-servem>.

Rockis, G. (2001). *Electrical Symbols and Line Diagrams*. University of Florida. Disponível em: abe.ufl.edu

Portal Insights. (2023). *RGB LED: Tecnologia e Aplicações*. Disponível em: www.portalinsights.com.br.

Palpite Digital. (2023). *Entendendo os LEDs RGB e suas aplicações no controle de iluminação*. Disponível em: www.palpitedigital.com.br.

AranaCorp. (2023). *Modulação de cor com LED RGB*. Disponível em: www.aranacorp.com.

ALTIUM DESIGNER. *Diretrizes para colocação de capacitores de desacoplamento e bypass*. Disponível em: <https://resources.altium.com>.

BRAGA, Newton C. *Como ler datasheets – Capacitores – Parte 5.* Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br>.

RAISA, Blog. *Capacitor SMT/SMD: O que é e noções básicas.* Disponível em: <https://blog.raisa.com.br>.

PHOENIX CONTACT. *Conectores para PCB.* Disponível em: www.phoenixcontact.com

ALTIUM. *Modelagem e Posicionamento de Conectores de PCB no Altium Designer.* Disponível em: resources.altium.com

CONECTRONICA. (2023). *Conector USB Tipo C para Montagem em PCB.* Disponível em: www.conectronica.com

Amorim, C. A. P. *CI Reguladores de Tensão.* Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá. Disponível em: UNESP

Projeto Simultâneo do Regulador Automático de Tensão e Estabilizador de Sistema de Potência. Repositório UFPB. Disponível em: UFPB

Voltage Regulators IC: Basics and Applications. USP E-disciplinas. Disponível em: USP eDisciplinas

KiCad EDA: *Open Source Electronics Design.* Disponível em: KiCad.

Bauman, J. et al. *KiCad: O Software de Código Aberto para Design de Circuitos Impressos.* *Journal of Open Source Software*, v. 2, p. 1-6, 2017.

Introdução ao KiCad: Software de Design de PCB. RoboCore.

Processamento De Placas De Circuito Impresso De Equipamentos Eletroeletrônicos De Pequeno Porte: Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/yFF93gvdWsDNXg3pnTYWdhc/?format=pdf&lang=pt>

Indicadores De Produção De Eletroeletrônicos Disponível em: <https://eletros.org.br/indicadoreseletros/>

RUDIGER, J. *PCB de fenolite: Princípios e aplicações em circuitos eletrônicos básicos.* São Paulo: Editora Técnica, 2016.

MARQUES, A. *Processos de fabricação de circuitos impressos com fenolite.* Rio de Janeiro: Editora Circuito, 2019.

SOUZA, P. *Introdução à tecnologia de placas de circuito impresso.* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

F&K Group. Chicotes Elétricos. Disponível em: <https://fkgroup.com.br/pt/categoria.php?4014baac2e585d86e97c81beb778c6c8=5>.

AYALA, Kenneth J. **Microcontrollers: Architecture, Implementation, & Programming.** New York: West Publishing Company, 1991.

ROZÁRIO, Pablo Jean. *Microcontroladores.* 2021.

PENIDO, Édilus de Carvalho Castro; TRINDADE, Ronaldo Silva. **Microcontroladores.** *Revista Eletrônica de Microcontroladores*, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-80, 2013. Disponível em: <http://www.revistaeletronicademicrocontroladores.com/artigo>. Acesso em: 25 maio 2024.

BRANQUINHO, Fernando José Cesílio; GANANÇA, Alexandre Sobrino; NUNES, Cláudio Souza; MATHIAS, Luiz Antonio Ferraro; ASENJO, Maurício Neves; JESUS, Marcos Antonio Santos de. **Desenvolvimento de um Kit Didático para Automação de um Elevador Industrial.** *Revista UNISANTA: Science and Technology*, Santos, v. 11, n. 2, p. 1-65, 2022. Disponível em: <http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat>. Acesso em: 25 maio 2024.

PEREIRA, Fabio. **Tecnologia ARM – Microcontroladores de 32 bits.** 1. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2012.

Machado, Carlos & Silva, Angélica & Carvalho, Diego. (2021). **A Utilização de Softwares no Ensino e Aprendizagem dos Cursos de Engenharia.** *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas.* 22. 146-151. 10.17921/2447-8733.2021v22n2p146-151.

SILVEIRA, M.V.; BARTHEM, R.B. **Ensino da visão cromática através de aparato com LED's coloridos.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126>



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.
[Recebido/Received: Dezembro 18 2024; Aceito/Accepted: Janeiro 29, 2025]