15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

# Máquina Auxiliar de Baixo Custo Para a Fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCIs) Utilizando o Método Fotográfico com Tinta Fotossensível

VITOR R. MENDES[1], ELIAN J. AGNOLETTO[2]

[1] Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Campus Cubatão, vitor.rabello@aluno.ifsp.edu.br.
[2] Docente de Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Campus Cubatão, agnoletto.elian@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.01-7 Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais

**RESUMO:** O desenvolvimento de Placas de Circuito Impresso (PCIs) é fundamental na criação de dispositivos eletrônicos, especialmente em ambientes educacionais e de prototipagem. No entanto, métodos manuais de fabricação de PCIs, embora amplamente utilizados, apresentam desafios em termos de precisão, qualidade e tempo confecção. Este trabalho, ainda em fase de desenvolvimento, propõe o projeto de uma máquina semiautomatizada de baixo custo para a fabricação de PCIs utilizando o método fotográfico com tinta fotossensível e a plataforma Arduino Uno. O objetivo da automação do processo é reduzir o tempo de produção, melhorar a qualidade e a uniformidade das PCIs e tornar o processo mais acessível para pequenos laboratórios e instituições educacionais. As etapas de desenvolvimento deste projeto compreendem o projeto da máquina, escolha de materiais, a implementação de um sistema de controle para motores e distribuição de tinta. Resultados preliminares indicam que o uso de um "rodo" de silicone para aplicação de tinta é mais eficiente do que métodos convencionais, como a centrifugação. Espera-se que, com a máquina proposta, seja possível otimizar a fabricação de PCIs, aumentando a precisão e reduzindo os custos de produção.

**PALAVRAS-CHAVE**: Placas de Circuito Impresso; Automação; Tinta Fotossensível; Arduino; Prototipagem.

## Low-Cost Auxiliary Machine for the Printed Circuit Boards (PCBs) Fabrication Using the Photographic Method with Photosensitive Ink

**ABSTRACT:** The development of Printed Circuit Boards (PCBs) is essential in the creation of electronic devices, especially in educational and prototyping environments. However, manual methods of PCB manufacturing, though widely used, present challenges in terms of precision, quality, and production time. This work, still in the development phase, proposes the low-cost semi-automated machine design for PCB manufacturing using the photographic method with photosensitive ink and the Arduino platform. The aim of the automation process is to reduce production time, improve the quality and uniformity of the PCBs, and make the process more accessible to small laboratories and educational institutions. The development stages of this project include the machine design, material selection, and the implementation of a control system for motors and ink distribution. Preliminary results indicate that the use of a silicone squeegee for ink application is more efficient than conventional methods, such as spinning. It is expected that the proposed machine will optimize PCB manufacturing by increasing precision and reducing costs.

**KEYWORDS**: Printed Circuit Boards; Automation; Photosensitive Ink; Arduino; Prototyping

## INTRODUÇÃO

A fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCIs) é uma etapa fundamental no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos, com impacto direto na qualidade e no desempenho final dos produtos (Conforto, 2014; Almeida, 2017). No entanto, os métodos tradicionais de fabricação de PCIs, especialmente os artesanais, enfrentam desafios significativos, como a falta de precisão e a baixa eficiência (Morishita, 2018; Rodrigues, 2019). Métodos como a transferência térmica e o uso de tinta fotossensível, embora amplamente utilizados, apresentam limitações que podem comprometer a qualidade do circuito impresso (Fauth, 2017; Morishita, 2018).

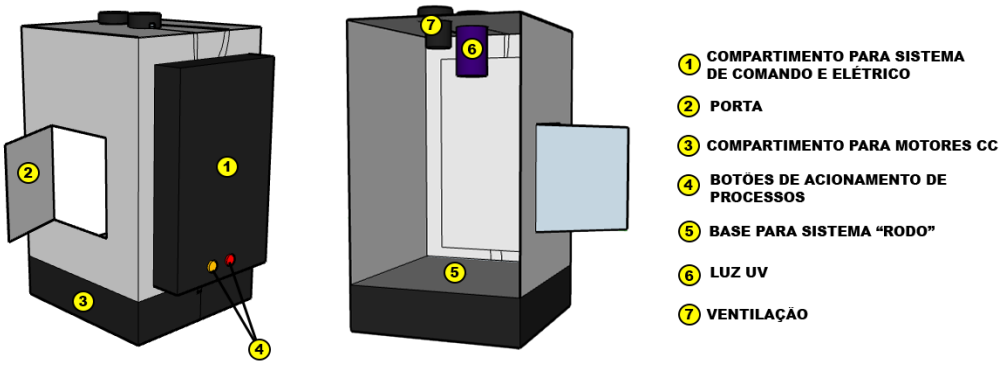
No contexto educacional, onde recursos são frequentemente limitados, a necessidade de soluções acessíveis e eficazes torna-se ainda mais crítica (Andrade, 2019; Carreira, 2020; Moraes, 2023). Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma máquina auxiliar de baixo custo para a fabricação de PCIs utilizando o método fotográfico com tinta fotossensível. A máquina visa automatizar etapas cruciais do processo, como a aplicação da tinta e o controle da exposição à luz ultravioleta (UV), proporcionando maior uniformidade e qualidade nas placas produzidas (Silva, 2017; Campos, 2022).

A hipótese central deste estudo é que a automação do processo permitirá uma fabricação mais eficiente e precisa das PCIs, reduzindo o tempo de produção e minimizando erros comuns encontrados nos processos de transferência térmica dos métodos manuais (Rodrigues, 2019; Morishita, 2018). O objetivo é validar essa hipótese por meio do desenvolvimento e teste da máquina em ambiente educacional, especificamente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, visando atender, especialmente, às demandas dos cursos da área da indústria.

## MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem inicial concentrou-se no projeto da máquina e de seus componentes, utilizando os *softwares* de modelagem 3D Autodesk Fusion e Sketchup, o que permite uma visualização precisa da construção e facilita ajustes e modificações necessárias. A Figura 1 representa a estrutura básica da máquina projetada no Sketchup, destacando a disposição modular que possibilita modificações futuras e integrações adicionais.

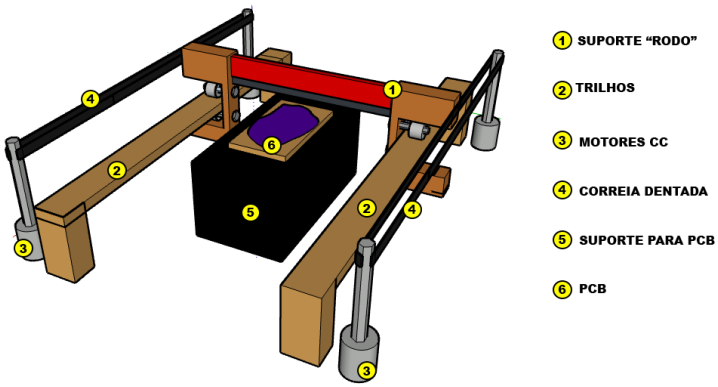
FIGURA 1 – *Case* da máquina auxiliar proposta.




Fonte: Próprio autor.

O sistema de aplicação de tinta proposto neste trabalho possui um "rodo" que se movimentará sobre trilhos com o objetivo de garantir a distribuição uniforme e controlada da tinta fotossensível sobre a placa. A Figura 2 ilustra o *design* deste sistema de rodo para distribuição de tinta, onde a estrutura de suporte foi projetada para permitir um movimento suave e eficiente ao longo dos trilhos.

FIGURA 2 – Sistema de rodo para distribuição de tinta.



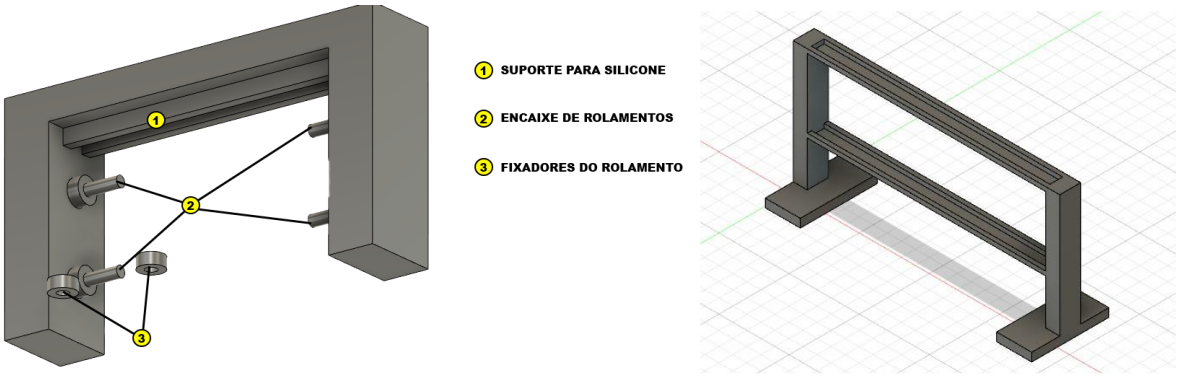

Fonte: Próprio autor.

O processo de distribuição da tinta fotossensível no sistema projetado será controlado pela plataforma Arduino Uno, a qual gerencia os motores responsáveis pelo movimento de ida e volta do "suporte rodo" ao longo dos trilhos. Esse movimento garante que o silicone distribua uniformemente a tinta sobre a PCB. O "Suporte para PCB" foi projetado e ajustado para possuir a altura exata, conforme resultados de testes preliminares, de modo a assegurar que o silicone passe pela tinta de forma eficiente. Durante a operação, é necessário que o usuário verifique se a distribuição de tinta foi realizada corretamente antes de proceder para as etapas subsequentes, garantindo a qualidade e uniformidade do revestimento.

O estudo propõe que a máquina também automatize outras etapas do processo de fabricação de PCIs. A secagem da tinta será feita com um sistema de ventilação ajustado para garantir uma secagem homogênea sem deformar a superfície da placa. Após a secagem da tinta da placa, o *layout* do circuito eletrônico desejado impresso em folha transparente (fotolito) será fixado à placa de forma manual, e a exposição à luz UV será realizada. O controle do tempo de exposição à luz UV será feito pelo sistema automatizado, garantindo que as trilhas do circuito sejam expostas à luz com a duração adequada.

Os componentes específicos, como os suportes e trilhos para o "rodo" de silicone, foram modelados em 3D no Autodesk Fusion e estão sendo representados na Figura 3.

FIGURA 3 – Suporte do “rodo” e trilho modelados em 3D no Autodesk Fusion.




Fonte: Próprio autor.

O desenvolvimento dos suportes e trilhos foi uma parte importante deste estudo. Estes componentes foram desenhados especificamente para permitir o movimento preciso de um "rodo" de silicone, que espalha a tinta fotossensível de forma uniforme sobre as PCIs. Diferente do método de centrifugação, que apresenta limitações na uniformidade da aplicação de tinta, espera-se que o "rodo" de silicone seja mais adequado.

Outro ponto importante no desenvolvimento foi a escolha dos materiais. A madeira foi utilizada na carcaça da máquina, por ser um material econômico e fácil de manusear, enquanto os componentes mais complexos, como suportes e trilhos, foram impressos em 3D utilizando polímeros resistentes. Esse processo permite a construção de uma máquina de baixo custo, mas com alta precisão nos movimentos mecânicos.

O próximo passo do trabalho será a implementação do sistema de controle e gerenciamento da máquina utilizando uma placa Arduino UNO. Cada etapa do processo (aplicação da tinta, secagem e exposição à luz UV) programado com tempos pré-ajustados, será definida a partir de testes realizados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento da máquina auxiliar, foram obtidos resultados significativos que demonstram o potencial desta solução de baixo custo em ambientes educacionais e de pesquisa. A automação das etapas de distribuição da tinta fotossensível, secagem e exposição à luz UV possibilita melhoria na eficiência e precisão do processo de confecção.

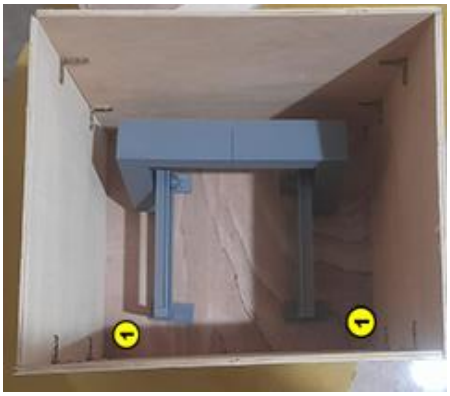
Uma das principais inovações do estudo, foi a implementação do "rodo" de silicone para a aplicação da tinta fotossensível. Após testes iniciais com a técnica de centrifugação, foi constatado que essa abordagem não oferecia a uniformidade necessária, especialmente devido à variação de tamanho das placas e às dificuldades de balanceamento. O "rodo" de silicone, ao contrário, proporcionou uma aplicação uniforme e precisa, com controle superior da quantidade de tinta, além de reduzir o desperdício de material. A Figura 4 apresenta o suporte do "rodo" posicionado nos trilhos.

FIGURA 4 – Suporte de silicone e trilhos confeccionados na impressora 3D.

Fonte: Próprio autor.

A estrutura da máquina foi fabricada em madeira, escolhida por seu baixo custo e rigidez adequada para sustentar os componentes mecânicos e eletrônicos. A Figura 5 mostra a carcaça da máquina, destacando a disposição interna do "rodo" e seu suporte, juntamente com os trilhos, além dos pontos “1”, onde serão instalados os sistemas dos motores CC.

FIGURA 5 – Máquina com o suporte do "rodo" no interior.

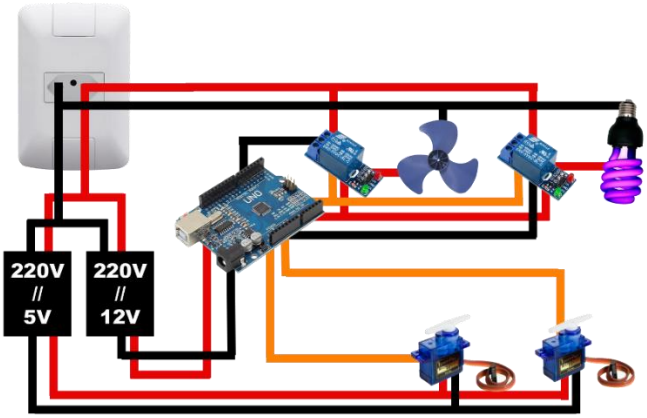


Fonte: Próprio autor.

O foco inicial da pesquisa foi a parte mecânica, testes com a movimentação do "rodo" nos trilhos mostraram que o sistema de aplicação de tinta fotossensível funciona de maneira eficiente. A movimentação suave e controlada do "rodo" sobre os trilhos permite uma aplicação uniforme da tinta na superfície da PCI, fator crucial para garantir a qualidade das trilhas na fabricação do circuito impresso. O controle do movimento do "rodo" e das demais etapas do processo, como a secagem e a exposição à luz UV, será implementado nas próximas fases do projeto.

Na Figura 6, é apresentado o diagrama do circuito elétrico que será implementado na máquina auxiliar destinada à fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI) usando o método fotográfico. A máquina proposta será controlada por uma placa Arduino Uno de acordo com o acionamento da lâmpada UV, do ventilador e dos servomotores em cada etapa de operação. A lâmpada UV e o ventilador serão acionados por meio de um relé. A placa Arduino será alimentada por meio de uma fonte de tensão de 12V e os servomotores por uma fonte de tensão de 5V.

FIGURA 6 – Diagrama elétrico da máquina auxiliar proposta.




Fonte: Próprio autor.

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento da máquina auxiliar de baixo custo para a fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCIs) utilizando o método fotográfico com tinta fotossensível apresentou avanços significativos, especialmente no que diz respeito à estrutura mecânica e à aplicação uniforme da tinta. O uso do "rodo" de silicone se mostrou uma solução eficiente e inovadora para garantir a distribuição controlada da tinta, superando as limitações de métodos manuais ou de centrifugação considerados inicialmente.

Os resultados parciais indicam que a máquina tem potencial para atingir os objetivos propostos de simplificar e automatizar o processo de fabricação de PCIs em ambientes educacionais. Comparado aos métodos totalmente manuais, a máquina reduz o esforço humano e o tempo necessário para a fabricação, além de proporcionar uma aplicação mais precisa da tinta fotossensível.

A construção realizada, utilizando madeira e peças impressas em 3D, contribuiu para a criação de uma estrutura viável, com espaço para modificações e melhorias futuras. Embora o sistema de controle com Arduino ainda não tenha sido implementado, os testes mecânicos demonstraram que a máquina será capaz de cumprir seu papel.

Os objetivos principais de proporcionar maior eficiência, acessibilidade e precisão no processo de fabricação de PCIs estão sendo atingidos gradualmente, conforme as soluções mecânicas são validadas. No entanto, para a conclusão completa do projeto, será necessária a implementação do controle eletrônico e a otimização das etapas de secagem e exposição à luz UV.

Em suma, o projeto está alinhado com as expectativas iniciais, e as próximas etapas devem confirmar o potencial desta máquina como uma solução eficaz e de baixo custo para ambientes educacionais e de pesquisa. A automação de etapas críticas proporcionará uma redução no tempo de produção e uma melhora na qualidade final das PCIs, possibilitando maior acessibilidade e interação com tecnologias de prototipagem eletrônica.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Vitor Rabello Mendes contribuiu com a metodologia, desenvolvimento do projeto e redação inicial do manuscrito. Elian João Agnoletto atuou como orientador, revisou o trabalho e auxiliou no direcionamento teórico e prático do projeto. Ambos os autores contribuíram com a revisão final do manuscrito e aprovaram a versão submetida.


## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSP – Instituto Federal de São Paulo Campus Cubatão pelo apoio ao projeto de pesquisa e pela infraestrutura fornecida.


## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, L. Q.; GIANINI, D. V.; DORNEL, G. N. **A UTILIZAÇÃO DE MÁQUINAS CNC DE BAIXO CUSTO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA NA FABRICAÇÃO DE PCI'S, NO ENSINO DE ENGENHARIA**. Journal of Exact Sciences – JES, Vol.15, n.1, p.05-12, 2017.

ANDRADE, K.; ANDRADE, S.; MARINHO, E.; DA SILVA, F.; **CONSTRUÇÃO DE UMA MINI CNC PLOTTER DE BAIXO CUSTO**. I Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, Instituto Federal de Ciência Educação e Tecnologia do Ceará. Itapipoca, 2019.

CAMPOS, S. P. **PROTÓTIPO PARA CORROSÃO OTIMIZADA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO UTILIZANDO SOLUÇÃO AQUOSA DE PERCLORETO DE FERRO**. Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 60. 2022.

CARREIRA, J. H.; DORNELAS, R. B. C.; MOREIRA, L. G.; ASSUNÇÃO, A. N. **DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA CNC CONTROLADA REMOTAMENTE PARA USO DIDÁTICO**. Anais da X Mostra Nacional de Robótica (MNR – 2020), p. 56-60, 2020.

CONFORTO, J. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC PARA A CONFECÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**. 2014. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

FAUTH, L.; SILVA, E.; BATISTA, P. **FAÇA VOCÊ MESMO: PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DE DUPLA FACE USANDO MÉTODO FOTOGRÁFICO**. Notas técnicas, v. 7, n. 1, p. 9–17, 2017.

MORAES, G. H.; VALLE, D. B.; SEIXAS, C. M. **PROJETO DE UMA FRESA CNC PARA PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSO APLICADAS EM AULAS E NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS**, 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP – 2023, ISSN: 2178-9959, 2023.

MORISHITA, A. H.; CHIYO, D. E. M.; COSTA, V. J. **PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO POR MÉTODO TÉRMICO E FOTOSSENSÍVEL**. Relatório Final 1800318 - Laboratório de Projeto de Engenharia. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, USP ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. São Carlos, 2018.

RODRIGUES, L. et al. **FABRICAÇÃO DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI) USANDO MÉTODO FOTOGRÁFICO E REDUÇÃO SIGNIFICATIVA DE SOLUÇÕES QUÍMICAS**. Notas técnicas, v. 9, n. 3, p. 26–33, 2019.

SILVA, G; DUARTE, L. FUV: **FOTO EXPOSITORA ULTRAVIOLETA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso técnico integrado em eletrônica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal – Zona Norte, 2017.