

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

ANA CAROLINE RIBEIRO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL DIDÁTICO PARA
PROJETO E FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO (PCI)**

Patos de Minas - MG

2026

ANA CAROLINE RIBEIRO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL DIDÁTICO PARA
PROJETO E FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO (PCI)**

Projeto de pesquisa apresentado à banca examinadora como requisito parcial de avaliação da disciplina de PFC2 da graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Coelho

Patos de Minas - MG

2026

ANA CAROLINE RIBEIRO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL DIDÁTICO PARA
PROJETO E FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO (PCI)**

Trabalho apresentado à banca examinadora
como para avaliação da disciplina de PFC2 da
graduação em Engenharia Eletrônica e de
Telecomunicações, da Faculdade de
Engenharia Elétrica, da Universidade Federal
de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Patos de Minas, 24 de julho de 2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Júlio César Coelho – FEELT/UFU (Orientador)

Prof. Dra. Karine Barbosa Carbonaro – FEELT/UFU (Membro 1)

Profa. Dra. Elise Saraiva – FEELT/UFU (Membro 2)

RESUMO

Este projeto final de curso apresenta o desenvolvimento de um manual didático sobre técnicas de projeto e fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI), voltado a iniciantes e estudantes da área. O manual foi elaborado com base em conceitos fundamentais de eletrônica, boas práticas de layout e roteamento, além da apresentação de softwares utilizados no projeto de PCIs. O estudo abrange desde os fundamentos básicos de eletrônica e os principais componentes empregados em placas de circuito impresso até os elementos estruturais da placa, como trilhas, *pads* e vias. Também são discutidos erros comuns durante o desenvolvimento de projetos e critérios técnicos para o dimensionamento da largura das trilhas. Além disso, o trabalho apresenta alguns dos principais softwares de apoio ao projeto, bem como os processos e materiais mais utilizados na fabricação de PCIs. A proposta busca oferecer um material didático claro, acessível e ilustrado, capaz de auxiliar iniciantes na compreensão das etapas de projeto e fabricação de placas de circuito impresso, contribuindo para a prevenção de erros recorrentes e para o desenvolvimento de habilidades na prototipagem de circuitos eletrônicos. O manual inclui ainda orientações sobre a soldagem de componentes PTH, destacando boas práticas necessárias para garantir conexões confiáveis e de qualidade.

Palavras-chave: Placas de Circuito Impresso. Projeto de PCI. Fabricação de PCI. Layout. Roteamento.

ABSTRACT

This Final Course Project presents the development of an educational manual on Printed Circuit Board (PCB) design and manufacturing techniques, intended for beginners and students in the field. The manual was developed based on fundamental concepts of electronics, good practices for PCB layout and routing, and an introduction to software tools used in PCB design. The study covers basic principles of electronics, the main electronic components used in printed circuit boards, and the structural elements of a PCB, such as traces, pads, and vias. It also discusses common design errors and technical criteria for trace width sizing. In addition, this work presents some of the main software tools used to support PCB design, as well as the most commonly used PCB manufacturing processes and materials. The proposed manual aims to provide clear, accessible, and illustrated instructional material to help beginners understand the stages of PCB design and manufacturing, contributing to the prevention of common errors and the development of practical skills in electronic circuit prototyping. The manual also includes guidelines for soldering through-hole (PTH) components, highlighting good practices required to ensure reliable, high-quality electrical connections.

Keywords: Printed Circuit Board. PCB Design. PCB Manufacturing. Layout. Routing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito Elétrico com Controle	20
Figura 2 - Diodo Semicondutor.....	22
Figura 3 - Diodo LED	23
Figura 4 - LED e resistor em série ligados a uma bateria de 9V	23
Figura 5 - Capacitores	24
Figura 6 - Estrutura do transistor NPN e PNP	25
Figura 7 - Distribuição de cargas em transistor NPN e PNP.....	25
Figura 8 - Simbologia do transistor NPN e PNP.....	25
Figura 9 - Transistores reais	25
Figura 10 - Aspecto físico de alguns CIs	26
Figura 11 - CIs de três pinos das famílias de reguladores de tensão 78XX, 79XX	27
Figura 12 - Amplificador operacional 741 e o multivibrador 555 ambos de oito pinos (lado direito da figura), como exemplos.....	27
Figura 13 - Diagrama esquemático do circuito	28
Figura 14 - Layout da PCI (board) gerado no Eagle a partir do esquemático.....	28
Figura 15 - Dimensões físicas da trilha de uma placa de circuito impresso.....	32
Figura 16 - Pad	33
Figura 17 - Pads do amplificador operacional LM741 em SMD	33
Figura 18 - Vias.....	34
Figura 19 - Vias.....	35
Figura 20 - Layout da placa de circuito impresso (board) com polígono sólido (a) e com hachuras gerado no Eagle a partir do esquemático.....	35
Figura 21 - Layout do board não roteado de PCI.....	36
Figura 22 - Layout do board roteado de PCI.....	37
Figura 23 - Exemplo de trilhas em circuito impresso com ângulos de 90°	38
Figura 24 - Placa de múltipla camada	41
Figura 25 - Fluxograma do processo de fabricação de PCI	46
Figura 26 - Defeitos de soldagem	50
Figura 27 - Esquemático Final	53
Figura 28 - Layout da placa finalizado.....	54
Figura 29 - Esquemático finalizado	55
Figura 30 - Placa finalizada.....	55
Figura 31 - Placa de uma face perfurada.....	56
Figura 32 - Placa final	57
Figura 33 - Fresadora CNC para prototipagem de PCB, modelo Proto 1S	58

Figura 34 - Placas projetadas no Eagle	59
Figura 35 - Placas finalizadas projetadas no EasyEDA	60
Figura 36 - Placas feitas no método fotográfico.....	61
Figura 37 - Camada superior da PCI.....	61
Figura 38 - Expositora de Luz UV	62
Figura 39 - Capa do manual	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas IPC.....	29
Tabela 2 - Referência para largura de trilha	31
Tabela 3 - Materiais base utilizados pelo fabricante JLCPCB	42
Tabela 4 - Comparação entre métodos de fabricação acessíveis.....	65
Tabela 5 - Principais dificuldades dos métodos de fabricação.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOI	<i>Automatic Optical Inspection</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CI	Circuito Integrado
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DFM	<i>Design for Manufacturability</i>
DIL	<i>Dual In Line</i>
DRC	<i>Design Rule Check</i>
EDA	<i>Electronic Design Automation</i>
EMC	Compatibilidade Eletromagnética
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
ERC	<i>Electrical Rule Check</i>
FR4	<i>Flame Retardant 4</i>
HAL	<i>Hot Air Leveling</i>
HASL	<i>Hot Air Solder Leveling</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IPC	<i>Institute for Printed Circuits</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LPI	<i>Liquid Photo-Imageable</i>
OSP	<i>Organic Solderability Preservative</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso

PRFV Plástico Reforçado com Fibra de Vidro

PTFE Politetrafluoretileno

PTH *Plated Through Hole*

SMD *Surface Mount Device*

UFU Universidade Federal de Uberlândia

UV *Ultraviolet*

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
Ω	Ohm
A	Ampere
mA	Miliampere
mm	Milímetro
μm	Micrômetro
mil	Milésimo de polegada
oz	Onça (espessura do cobre)
ft ²	Pé quadrado
V	Volt
V _{cc}	Tensão de alimentação
V _{limiar}	Tensão de limiar do LED
I _{led}	Corrente elétrica do LED
R _{lim}	Resistência limitadora
W	Largura da trilha
L	Comprimento da trilha
T	Espessura do cobre

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1.1 Introdução	15
1.2 Tema do projeto	15
1.3 Problematização	16
1.4 Hipóteses	16
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivos gerais.....	16
1.5.2 Objetivos específicos.....	16
1.6 Justificativas	17
1.7 Considerações finais.....	18
CAPÍTULO 2	19
2.1 Fundamentos da eletrônica.....	19
2.1.2 Corrente elétrica	20
2.1.3 Tensão elétrica.....	20
2.1.4 Resistência elétrica	21
2.2 Principais componentes eletrônicos presentes na PCIs	21
2.2.1 Diodos	21
2.2.2 Leds	22
2.2.3 Capacitores	23
2.2.4 Transistores bipolar	24
2.2.5 Circuitos integrados.....	26
2.3 Elementos estruturais de uma PCI	27
2.3.1 Normas IPC aplicadas ao desenvolvimento de PCI	28
2.3.2 Trilhas	30
2.3.3 Pads	32
2.3.4 Vias	34
2.3.5 Polígonos ou planos de terra	35
2.4 Roteamento básico de uma PCI	36

2.4.1	Trilhas com ângulo reto (90°)	38
2.5	Erros comuns no desenvolvimento de PCIs	38
2.6	Impedância em trilhas de alta frequência	40
2.7	Tipos de PCIs	41
2.8	Materiais mais utilizados na fabricação das PCI	41
2.9	Softwares de projetos de layout de PCIs	43
2.10	Processo geral de fabricação de PCIs	44
2.11	Técnicas mais usadas na fabricação das PCIS	47
2.11.1	Fotolitografia	48
2.11.2	Processo de imagem direta a laser (LDI)	48
2.12	Requisitos de soldagem padrão IPC	49
CAPÍTULO 3		52
Métodos e materiais		52
3.1	Projeto da PCI utilizando o EAGLE	53
3.2	Projeto da PCI utilizando o EasyEDA	54
3.3	Aplicação da técnica de PCI em placas perfuradas	56
3.4	Aplicação da técnica de PCI em CNC	57
3.5	Aplicação da técnica de PCI pelo método fotográfico	60
3.6	Desenvolvimento do manual	62
CAPÍTULO 4		63
Resultados e discussões		63
4.1	Desenvolvimento do manual	63
4.2	Aplicação das técnicas de fabricação	65
4.3	Comparação entres os métodos	65
4.4	Dificuldades encontradas	66
CAPÍTULO 5		69
Conclusão		69
REFERÊNCIAS		71

APÊNDICE A – Manual Didático para Projeto e Fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI)	74
---	----

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

No contexto da eletrônica moderna, as placas de circuito impresso (PCIs) desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos, sendo responsáveis pela interligação dos componentes que compõem os circuitos. Além de proporcionar maior organização e confiabilidade aos sistemas eletrônicos, o projeto adequado da PCI é um fator determinante para o desempenho do circuito (JONES, 2004).

Historicamente, o desenvolvimento dessas placas era realizado por métodos predominantemente manuais. Com o avanço da tecnologia e o surgimento de ferramentas de projeto assistido por computador (CAD), o processo de desenvolvimento tornou-se mais eficiente, permitindo a criação de placas cada vez mais complexas e confiáveis (JONES, 2004).

Apesar dos avanços tecnológicos e da ampla disponibilidade de ferramentas, muitos estudantes, iniciantes e profissionais em formação ainda enfrentam dificuldades no desenvolvimento de PCIs. Como consequência, erros relacionados ao posicionamento inadequado de componentes, ao dimensionamento incorreto de trilhas, a falhas no sistema aterramento e à ausência de critérios para dissipação térmica podem comprometer o desempenho, a qualidade e a confiabilidade dos circuitos (SIERRA CIRCUITS, 2022).

Neste contexto, este trabalho propõe a elaboração de um manual didático sobre projeto e fabricação de placas de circuito impresso, com foco em estudantes e iniciantes da área de eletrônica. Nesse material apresentam-se os conceitos fundamentais envolvidos no desenvolvimento de PCIs, discute-se boas práticas de layout e roteamento, aborda-se os principais softwares utilizados no processo de projeto e descreve técnicas acessíveis de fabricação. Para isso, serão utilizados exemplos práticos, ilustrações explicativas e uma linguagem acessível, buscando auxiliar o leitor na compreensão das etapas de desenvolvimento, na prevenção de erros comuns e no aprimoramento de suas habilidades na prototipagem de placas.

1.2 Tema do projeto

O presente projeto de pesquisa propõe-se o desenvolvimento de um material técnico que reúna e explique as principais técnicas de placa de circuito impresso (PCIs), com o foco na aplicação e independente de software utilizado. O conteúdo aborda conceitos fundamentais, como *pads*, vias, trilhas, substratos e processos de fabricação, além de apresentar boas práticas de layout e roteamento voltadas ao desenvolvimento de placas mais organizadas e confiáveis.

O objetivo é fornecer aos iniciantes uma base de conhecimento que facilite a compreensão das etapas de projeto e fabricação de PCIs.

1.3 Problematização

O projeto e a fabricação de placas de circuito impresso (PCIs) constituem etapas fundamentais no desenvolvimento de sistemas eletrônicos. Entretanto, estudantes, profissionais em formação e entusiastas da área frequentemente encontram dificuldades durante esse processo, uma vez que o desenvolvimento de uma PCI exige não apenas o domínio de ferramentas computacionais, mas também a compreensão de conceitos relacionados ao layout, roteamento, fabricação e montagem dos circuitos.

Mesmo quando o projeto é elaborado corretamente em um software de desenho eletrônico, falhas podem ocorrer devido aos erros de dimensionamento, posicionamento inadequado dos componentes, problemas de fabricação ou defeitos durante a montagem e soldagem. Como consequência, o funcionamento esperado do circuito pode ser comprometido, resultando em retrabalho, aumento de custos e perda de tempo no processo de desenvolvimento (SIERRA CIRCUITS, 2022).

1.4 Hipóteses

Reunindo as técnicas de projeto de placas de circuitos impresso, facilitando o aprendizado e diminuindo os erros mais comuns, mesmo sem grandes recursos computacionais, optando por softwares livres.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos gerais

Desenvolver um manual técnico voltado a iniciantes, apresentando os conceitos fundamentais, as boas práticas de projeto e os principais processo de fabricação de placas de circuito impresso, contribuindo para o desenvolvimento de protótipos mais confiáveis.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir os principais tipos de componentes eletrônicos presentes em placas de circuito impresso;
- Apresentar os elementos estruturais de uma PCI, como *pads*, trilhas, vias, furos e malha de terra;

- Identificar os tipos mais comuns de placas de circuito impresso e suas aplicações;
- Apresentar critérios básicos para o dimensionamento de trilhas e outros aspectos relacionados ao layout da placa;
- Apresentar boas práticas de roteamento e posicionamento de componentes em placas de circuito impresso;
- Discutir os erros mais comuns no desenvolvimento de PCIs e propor orientações para evitá-los;
- Apresentar os principais softwares utilizados no projeto de placas de circuito impresso, destacando suas características e aplicações;
- Descrever os materiais e substratos mais utilizados na fabricação de PCIs;
- Apresentar os principais métodos de fabricação de placas de circuito impresso;
- Elaborar um material didático que reúna, de forma prática e acessível, os conceitos abordados no trabalho.

1.6 Justificativas

O desenvolvimento de placas de circuito impresso exige conhecimento que vão além da utilização de softwares de desenho eletrônico, envolvendo aspectos relacionados ao layout, roteamento, fabricação e montagem dos circuitos. Entretanto, muitos estudantes e iniciantes na área encontram dificuldades na compreensão desses conceitos, o que pode resultar em erros de projeto, retrabalho e falhas no funcionamento das placas desenvolvidas.

A motivação para a realização deste trabalho surgiu a partir da experiência profissional adquirida ao longo de aproximadamente nove anos de atuação em um laboratório de eletrônica de uma instituição de ensino superior. Durante esse período, foi possível observar as dificuldades recorrentes enfrentadas por estudantes no desenvolvimento de placas de circuito impresso, especialmente em relação à aplicação de boas práticas de projeto e à compreensão dos conceitos fundamentais envolvidos.

Dessa forma, justifica-se a elaboração de um material didático que reúna conceitos fundamentais e orientações práticas sobre o projeto e a fabricação de PCIs em uma linguagem acessível. Espera-se que esse material contribua para a formação técnica dos leitores, auxiliando na redução de erros comuns e no desenvolvimento de projetos mais confiáveis.

1.7 Considerações finais

Este capítulo apresentou a contextualização do tema, a problematização, os objetivos e a justificativa do trabalho. A partir de identificação de dificuldades encontradas por estudantes e iniciantes no desenvolvimento de placas de circuito impresso, propõe-se a elaboração de um manual técnico que reúna conceitos fundamentais, boas práticas de projeto e processos de fabricação de PCIs. No capítulo seguinte serão apresentados os fundamentos teóricos necessários para a compreensão do tema e o desenvolvimento do material proposto.

CAPÍTULO 2

Referencial teórico

Nesta seção, serão apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do projeto de pesquisa. Para compreender as técnicas envolvidas no processo de fabricação de uma Placa de Circuito Impresso (PCI), serão abordados conceitos básicos de eletrônica que auxiliam no entendimento do tema. Entender adequadamente o layout de uma PCI exige familiaridade com os principais componentes eletrônicos, bem como com os elementos estruturais da placa. Também serão discutidos os critérios técnicos para o dimensionamento das trilhas, os tipos de materiais utilizados na fabricação, os softwares mais empregados no processo de projeto e, por fim, os parâmetros adequados para a soldagem dos componentes. A familiaridade com os fundamentos da eletrônica é indispensável para o entendimento e a aplicação correta das técnicas envolvidas no desenvolvimento de circuitos (Shamieh, 2020).

2.1 Fundamentos da eletrônica

Revisar os conceitos da eletrônica é fundamental para compreender as técnicas envolvidas nas placas de circuito impresso (PCIs). Desse modo, o conhecimento acerca de circuitos elétricos exerce um papel central, pois estabelece a base a qual desenvolvem os princípios e aplicações eletrônicas empregadas no projeto de PCIs.

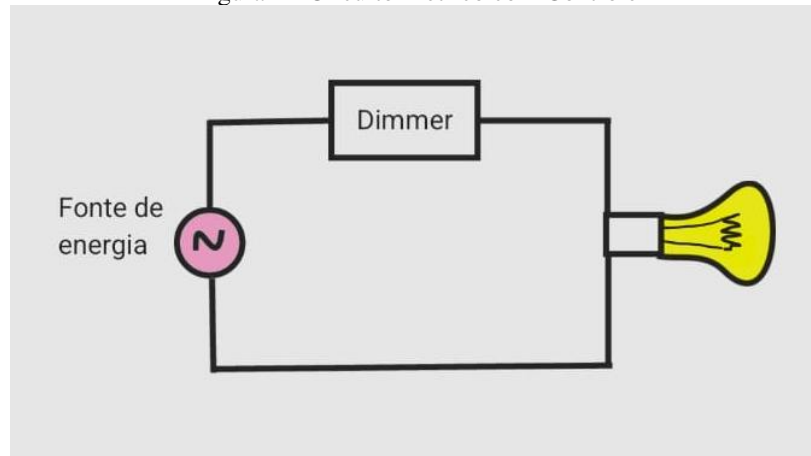
De acordo com Shamieh (2020), “quando você acende uma lâmpada em casa, está conectando uma fonte de energia elétrica (geralmente fornecida pela companhia de energia elétrica) a uma lâmpada em um caminho completo conhecido como circuito elétrico”. Ao acrescentar a esse circuito um *dimmer* ou um *timer*, é possível controlar a intensidade da luz ou tempo que ela fica ligada, o que torna o sistema mais interessante do que simplesmente ligá-lo ou desligá-lo manualmente, conforme ilustrado na figura 1.

Os sistemas elétricos usam a corrente elétrica para energizar coisas como lâmpadas e aparelhos domésticos. Sistemas eletrônicos fazem isso e um pouco mais: controlam a corrente, ligando-a e desligando-a, mudando suas flutuações, alterando a direção e operando de várias formas a fim de realizar diversas funções, desde regular a luminosidade de uma lâmpada e fazê-las piscar na árvore de Natal em sincronia com sua música natalina preferida, até as comunicações via satélite e muitas outras coisas. (Shamieh, 2020, p. 20)

Ao diferenciarmos os sistemas elétricos dos sistemas eletrônicos, obtemos uma compreensão mais clara do que é eletrônica. Segundo Shamieh (2020, p. 20), “eletrônica é o campo da ciência e da engenharia que lida com o controle da energia elétrica” e envolve “os

sistemas físicos — incluindo circuitos, componentes e interconexões — que implementam esse controle”.

Figura 1 - Circuito Elétrico com Controle



Fonte: Adaptado de Shamieh (2020).

Na eletrônica, há algumas grandezas fundamentais para o entendimento do funcionamento das placas de circuito impresso (PCI). Grandezas como corrente, tensão e resistência são essenciais para compreender o comportamento dos componentes eletrônicos e o fluxo de energia nos circuitos, permitindo o desenvolvimento de projetos eficientes e funcionais.

2.1.2 Corrente elétrica

Podemos definir corrente elétrica como o fluxo organizado dos elétrons em um circuito e sua unidade de medida é o Ampere (A). Os elétrons que estão situados na eletrosfera e o núcleo que é composto de duas partículas: os prótons e os nêutrons são os componentes de um átomo que é a menor partícula de elemento químico. Os prótons têm cargas positivas, os elétrons apresentam carga negativa e os nêutrons não possuem carga. O circuito é composto de elétrons de vários átomos que são responsáveis pela transferência de informação elétrica (sinal elétrico) de um ponto a outro desse circuito (Almeida; Duarte, 2017, p. 4).

O controle de intensidade e do percurso da corrente elétrica se faz a partir de componentes condutores (que permite a passagem da corrente), isolantes (que não permitem a passagem de corrente elétrica) e outros componentes elétricos ou eletrônicos, que são construídos a partir de material semicondutor (Almeida; Duarte, 2017, p. 4).

2.1.3 Tensão elétrica

A tensão elétrica é a força que impulsiona os elétrons para que estes possam se mover de um ponto para o outro. A tensão pode ser denominada de diferença de potencial (ou ddp),

força eletromotriz (fem) ou num linguajar técnico que deve ser evitado “voltagem” onde é derivada da sua unidade de medida volt (V) (Almeida; Duarte, 2017, p. 4).

Para garantir um fluxo de elétrons sempre em um único sentido usamos a tensão contínua, ou seja, não há mudança de polaridade. Na tensão alternada há mudança de polaridade na forma de onda de tensão em instantes de tempo diferenciado. A tensão alternada chega até residências através de concessionárias de energia elétrica de cada localidade. O padrão no Brasil para tensão fornecida é 127V ou 220V, com frequência de 60Hz (Almeida; Duarte, 2017, p. 6).

2.1.4 Resistência elétrica

Pela terceira Lei de Newton toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade e de sentido contrário. A resistência elétrica na eletricidade é a oposição à passagem de corrente elétrica em um circuito e sua unidade de medida é o ohm (Ω). Para controlar a corrente que circula no circuito externamente é necessário inserir uma resistência de valor adequado para o caso. O resistor é o componente elétrico que faz isso ser possível, que é construído com valor específico de resistência, permitindo o ajuste da corrente em cada parte do circuito, de acordo com o desejado (Almeida; Duarte, 2017, p. 7).

Saber a diferença entre resistência e um resistor é importante pois a resistência é um fenômeno elétrico que existe em diversos pontos e componentes de um circuito. E o resistor é uma peça fabricada para oferecer um valor de resistência específica, que é encontrada em quase todas as placas de circuito impresso fabricadas (Almeida; Duarte, 2017, p. 7).

2.2 Principais componentes eletrônicos presentes na PCIs

As PCIs possuem diversos componentes eletrônicos soldados, responsáveis por permitir que o circuito execute a função para a qual foi desenvolvido. Entre os mais comuns, destacam-se os diodos, leds, capacitores etc. Que serão descritos com maiores detalhes a seguir.

2.2.1 Diodos

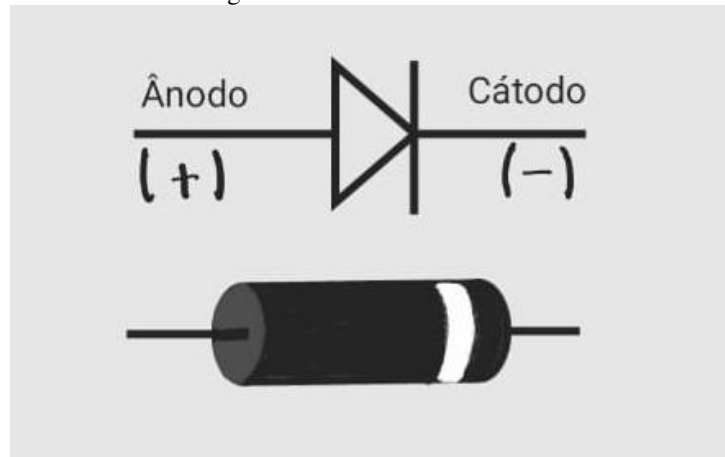
Os diodos são componentes semicondutores construídos a partir de cristais com dois eletrodos (onde deu origem a seu nome: di-dois; odo-eletrodo), capaz de permitir, ou não a passagem de corrente elétrica conforme a polarização a que está submetido (Almeida; Duarte, 2017, p. 45).

O diodo é um dos componentes eletrônicos fundamentais em circuitos retificadores. Existem vários tipos de diodos disponíveis no mercado além do diodo retificador, como por exemplo o diodo zener que é construído para ser um regulador de tensão conforme sua

fabricação. A combinação de elementos para assegurar que a saída de uma fonte permaneça constante é a designação de um regulador de tensão (Boylestad, 2013).

Os diodos são constituídos por dois terminais: ânodo e cátodo, como ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Diodo Semicondutor



Fonte: Adaptado de UsinaInfo (2025).

2.2.2 Leds

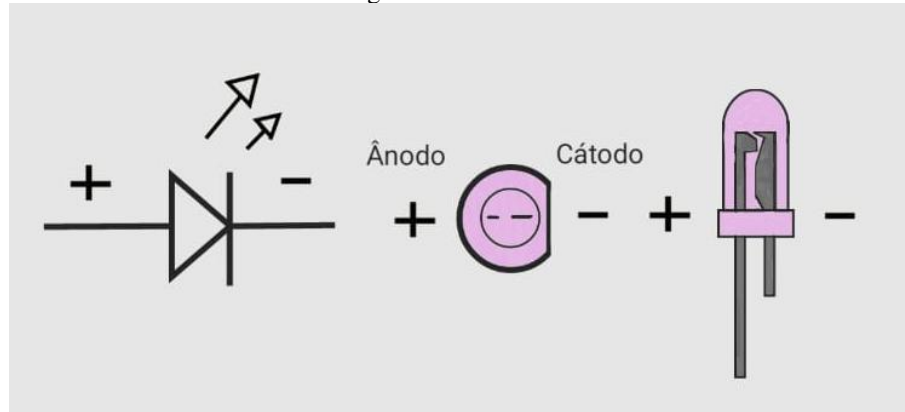
Os LEDs do inglês “*light-emitting diode*”, é um diodo que emite luz. Eles possuem dois terminais como o diodo comum: o ânodo e o cátodo. A cor de um LED depende dos elementos químicos usados na sua composição, como o arsenieto de gálio. A dopagem com esses componentes permite que o LED emita luz em frequências específicas, criando cores como vermelho, laranja, amarelo, verde e azul. Embora o arsenieto de gálio seja o mais comum, outros materiais também são usados. A corrente que o atravessa determinará a intensidade de luz. A corrente de operação de um LED depende de seu tipo e aplicação. Para LEDs de uso geral, normalmente utilizados como indicadores, a corrente típica situa-se entre 10 mA e 20 mA, podendo atingir valores próximos de 30 mA como limite máximo, conforme especificações do fabricante (Barrio; Santos; Benito, 2006).

Geralmente os LEDs vem encapsulados em material transparente para que veja a luminosidade. Existem modelos diferenciados de LEDs no mercado, mas os mais comuns de encontrar nas PCIs são os que está representado através da figura 3, onde pode-se notar que o terminal do catodo é mais curto e tem um chanfrado na cápsula (Barrio; Santos; Benito, 2006).

Um circuito eletrônico simples para construir em uma PCI, seria ligar um LED. Para isso, é necessário acrescentar um resistor para limitar a corrente da luminosidade nos diodos. Supondo que o LED usado nesse circuito tenha uma queda de tensão de $V_{limiar}=1,6V$ e corrente de $I_{led}=20mA$ e a bateria utilizada na sua alimentação seja de $V_{cc}=9V$ para calcular a resistência utiliza-se a fórmula matemática (1):

$$R_{lim} = \frac{V_{cc} - V_{limiar}}{I_{led}} = \frac{9V - 1,6V}{0,02} = 370\Omega \quad (1)$$

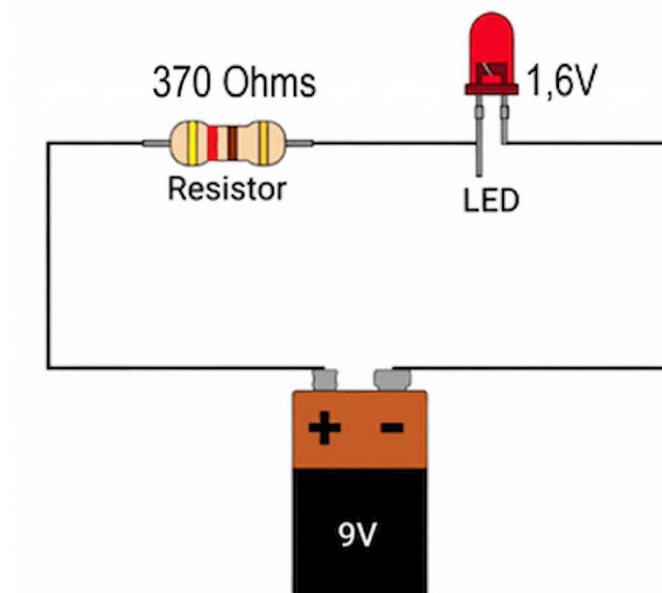
Figura 3 - Diodo LED



Fonte: Adaptado de Wikipédia (2025).

Utilizando os valores na fórmula encontramos o valor da resistência de 370Ω e o circuito para ligar o LED com segurança para os valores designados está representado na imagem da figura 4.

Figura 4 - LED e resistor em série ligados a uma bateria de 9V



Fonte: Imagem adaptada de FREEPIK (2025).

2.2.3 Capacitores

Os capacitores são construídos por conjuntos de duas placas de metal que entre elas existe um material isolante que define o seu tipo. Se este material for a mica será o capacitor de mica, se for o poliéster teremos o capacitor de poliéster. Se for a cerâmica, teremos o capacitor cerâmico. Sua composição de duas placas com um isolante entre elas (chamado de dielétrico),

faz a sua função de armazenar cargas elétricas e com isso também a energia elétrica (Braga, 2012).

Além dos capacitores mencionados anteriormente, outro tipo de capacitor é o eletrolítico que contém camadas finas de alumínio envolvidas em óxido de alumínio e embebidas em eletrólitos líquidos. Há outros tipos de capacitor como o de tântalo com uma vida útil mais longa e os capacitores variáveis, que são capazes de controlar a distância entre as placas mudando sua capacitância. Existem também os capacitores a óleo que foram os primeiros tipos de capacitores existentes mais que já foram deixados de ser usados. Abaixo, na figura 5, temos a imagem de diversos tipos de capacitores com características e usos diferentes (Brasil Escola, 2025).

Figura 5 - Capacitores



Fonte: Adaptado de Brasil Escola (2025).

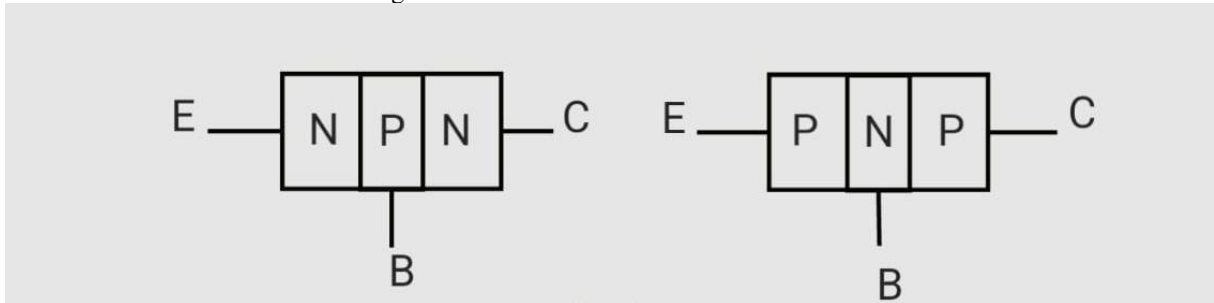
2.2.4 Transistores bipolar

Outro componente bastante utilizado nas PCIs é o transistor bipolar que foi criado no início dos anos 1950 para substituir a válvula que desempenhava a mesma função do transistor, mas com um consumo de energia muito maior que o consumo do transistor. Seu funcionamento é não linear, construído de material semicondutor dopado como os diodos. Mas diferente do diodo, o transistor possui três terminais (regiões dopadas) e assim duas junções.

Coletor, base e emissor são denominado estes terminais. A dopagem dos terminais é o que determina a construção dos transistores, que podem ser do tipo NPN ou PNP. As figuras 6 a 8, apresentam as estruturas, distribuição de cargas e simbologias dos transistores, adaptadas

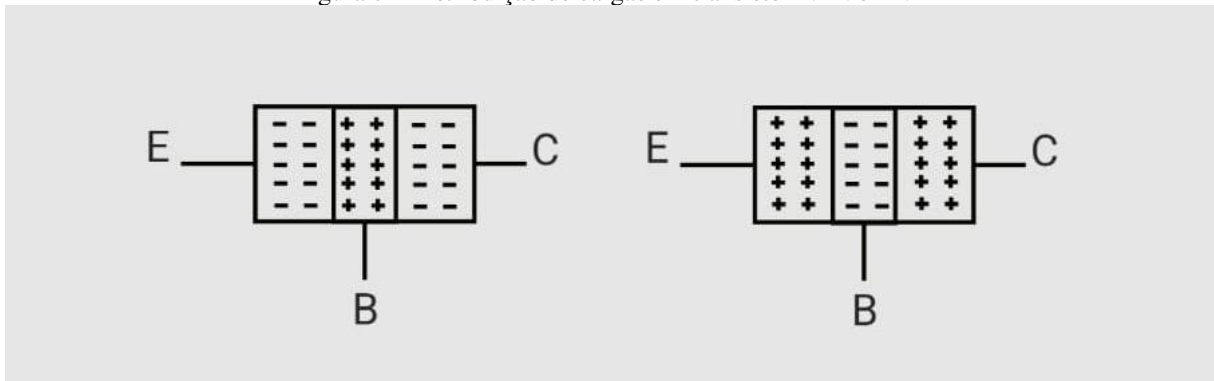
de Almeida e Duarte (2017), enquanto a figura 9 mostra alguns exemplos reais de transistores disponíveis no mercado.

Figura 6 - Estrutura do transistor NPN e PNP



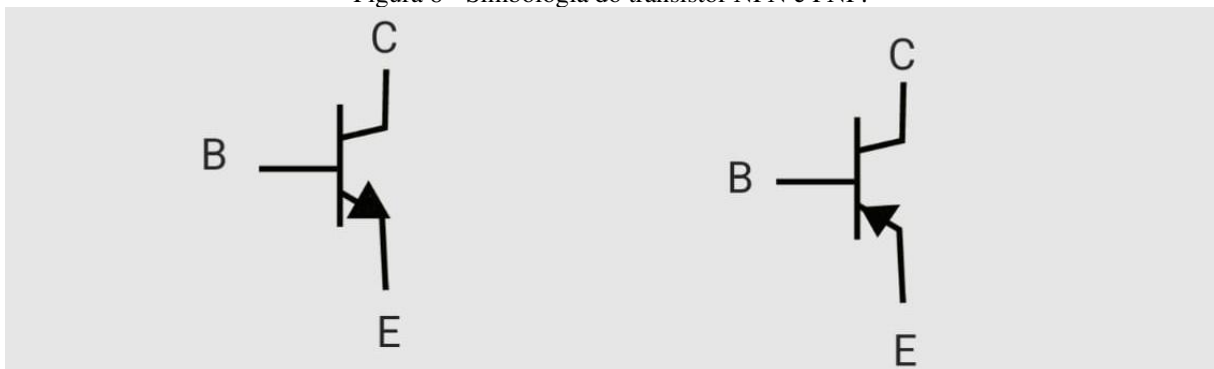
Fonte: Adaptado de Almeida e Duarte (2017).

Figura 7 - Distribuição de cargas em transistor NPN e PNP



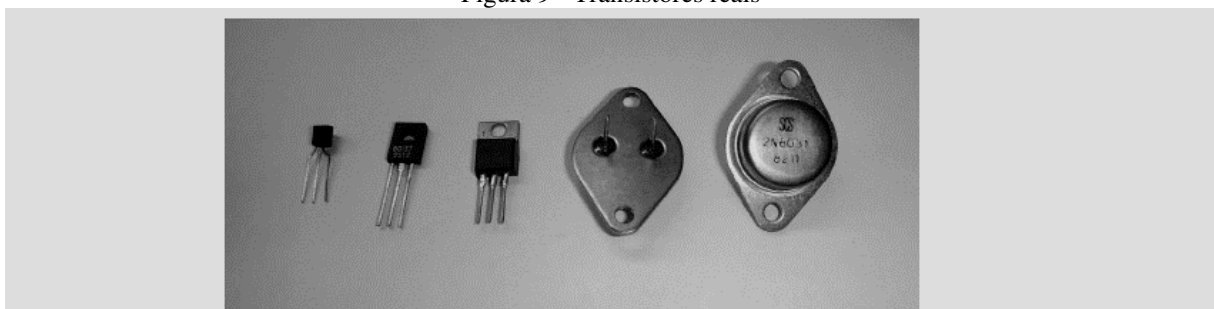
Fonte: Adaptado de Almeida e Duarte (2017).

Figura 8 - Simbologia do transistor NPN e PNP.



Fonte: Adaptado de Almeida e Duarte (2017).

Figura 9 - Transistores reais



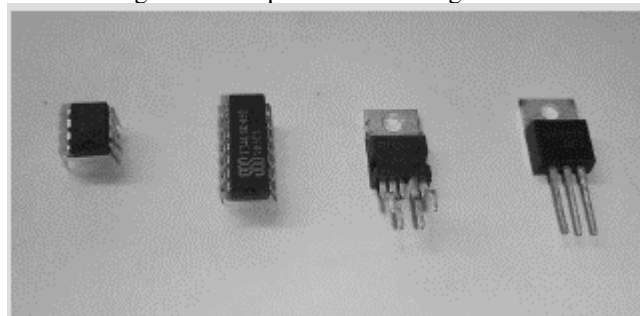
Fonte: Adaptado de Almeida e Duarte (2017).

2.2.5 Circuitos integrados

Os circuitos integrados são dispositivos que reúnem, em um único invólucro, diversos componentes eletrônicos e elétricos discretos (como resistores, transistores, diodos, entre outros), formando circuitos internos capazes de desempenhar uma função específica. Portanto, observa-se que o uso de circuitos integrados em conjunto com componentes externos, conforme as recomendações do fabricante, permite a execução adequada da função desejada. Os circuitos integrados (CIs) contribuíram significativamente para a redução do uso excessivo de componentes discretos, otimizando o projeto e a montagem de circuitos eletrônicos (Almeida; Duarte, 2017).

Os CIs possuem todas as especificações técnicas detalhadas, incluindo as conexões corretas e os componentes externos necessários ao seu funcionamento. Essas informações são apresentadas no manual do componente, usualmente denominado *datasheet*, fornecido por todos os fabricantes. A figura 10, apresenta o aspecto físico de diversos circuitos integrados eletrônicos, com variações em seus encapsulamentos e número de terminais.

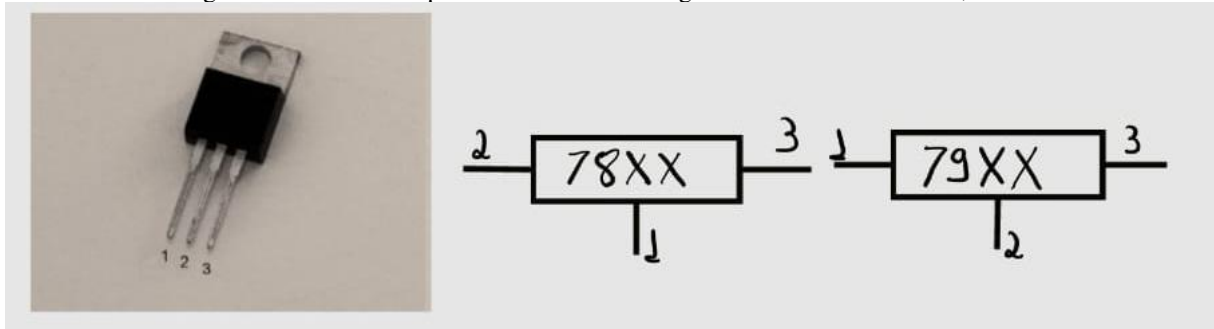
Figura 10 - Aspecto físico de alguns CIs



Fonte: Recortado de Almeida; Duarte (2017).

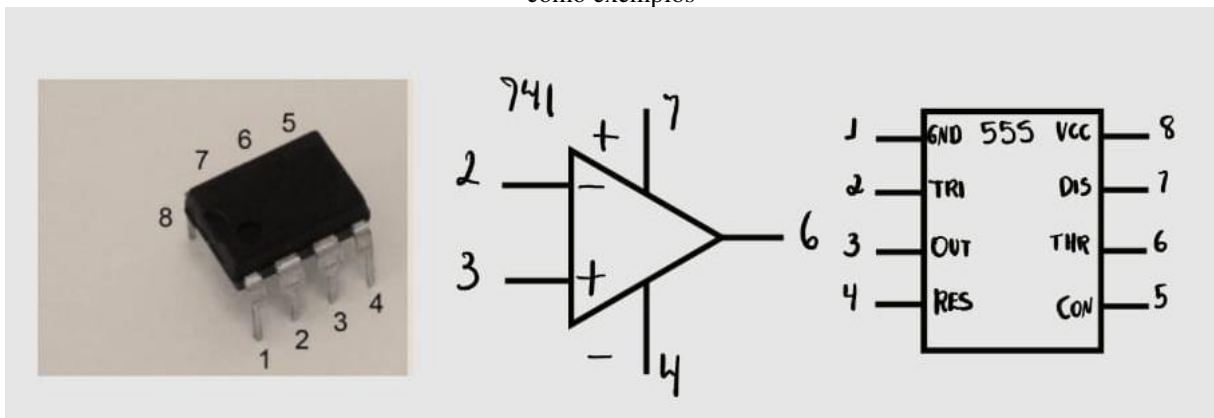
Entre os exemplos mais comuns, destacam-se os reguladores de tensão da família 78XX e 79XX, que possuem três terminais, conforme ilustrado na figura 11. Na figura 12 são apresentados o amplificador operacional 741 e o multivibrador 555, ambos com encapsulamento de oito pinos. Esses dispositivos são amplamente utilizados em aplicações eletrônicas variadas (Almeida; Duarte, 2017).

Figura 11 - CIs de três pinos das famílias de reguladores de tensão 78XX, 79XX



Fonte: Adaptado de Almeida; Duarte (2017).

Figura 12 - Amplificador operacional 741 e o multivibrador 555 ambos de oito pinos (lado direito da figura), como exemplos



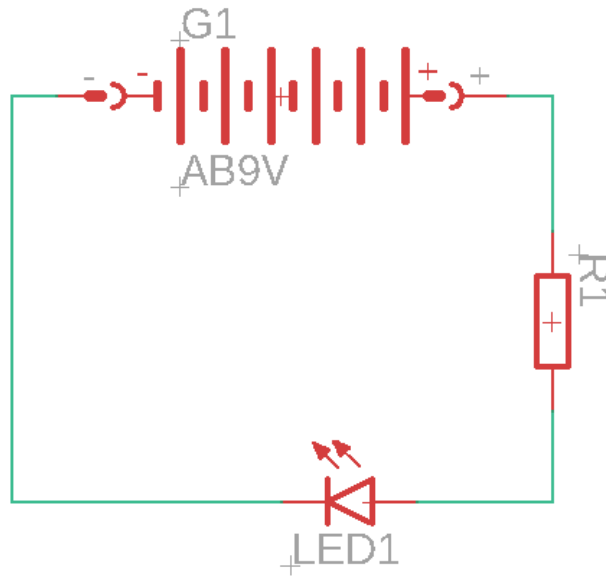
Fonte: Adaptado de Almeida; Duarte (2017).

2.3 Elementos estruturais de uma PCI

Antes de abordar os principais elementos estruturais propriamente ditos, faz-se necessário tratar do diagrama esquemático do projeto da placa de circuito impresso (PCI). O diagrama esquemático, ou simplesmente esquemático, consiste na representação gráfica do circuito eletrônico da PCI, utilizando símbolos normalizados para cada componente que será empregado na montagem. Para fins de demonstração, será utilizado o software Autodesk EAGLE, por meio do qual apresenta-se o esquemático correspondente ao circuito ilustrado na figura 4. Esse circuito está representado, esquematicamente, na figura 13, na qual o terminal positivo da bateria, que é a fonte de corrente contínua (DC) do circuito, encontra-se conectado em série com um terminal do resistor. O outro terminal do resistor está ligado ao terminal ânodo do LED, enquanto o terminal cátodo do LED está conectado ao polo negativo da bateria.

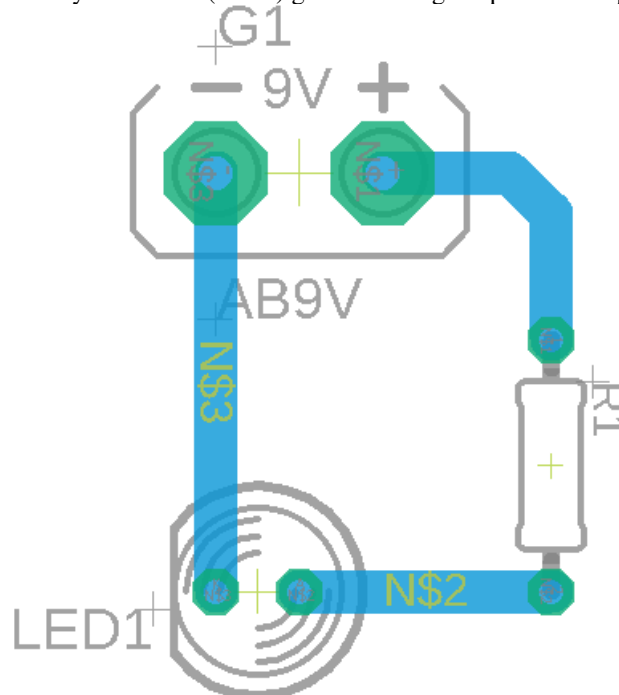
A partir do esquemático apresentado na figura 13, o software EAGLE gera um novo arquivo denominado “*board*”. Esse arquivo contém a representação real de como será a placa de circuito impresso (PCI). Nele estão presentes os elementos estruturais da PCI, tais como trilhas, *pads*, vias, entre outros, que serão abordados a seguir. A figura 14 apresenta o layout da PCI gerado a partir do esquemático da figura 13.

Figura 13 - Diagrama esquemático do circuito



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

Figura 14 - Layout da PCI (board) gerado no Eagle a partir do esquemático



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

2.3.1 Normas IPC aplicadas ao desenvolvimento de PCI

O objetivo deste trabalho é desenvolver um manual didático, então iremos seguir as diretrizes das normas IPC (*Institute for Printed Circuits*), atualmente chamado de *Association Connecting Electronics Industries*, que auxiliam projetistas e fabricantes a adotarem boas práticas durante o desenvolvimento das placas, diminuindo falhas de fabricação e melhorando

o desempenho elétrico e mecânico das PCIs. Permitindo maior compatibilidade entre diferentes fabricantes e processos industriais (IPC, 2025).

Dentre as principais normas empregadas no desenvolvimento de placas de circuito impresso destaca-se a IPC-2221, considerada uma norma geral para projeto de PCIs. Ela apresenta indicações relacionadas ao roteamento de trilhas, espaçamento entre condutores, largura de trilhas, posicionamento de componentes e aspectos mecânicos da placa (IPC, 2025).

Outra norma importante é a IPC-2152, utilizada como referência para o dimensionamento de trilhas conforme a corrente elétrica suportada. Essa norma auxilia na definição adequada da largura das trilhas, evitando superaquecimento e possíveis falhas elétricas durante o funcionamento da placa. Além disso, pode-se citar a IPC-A-610, utilizada para critérios de inspeção e aceitabilidade de montagens eletrônicas, principalmente relacionada à qualidade de soldagem e montagem de componentes eletrônicos (IPC, 2025).

A norma IPC J-STD-001 possui grande importância na área eletrônica, pois estabelece requisitos para processos de soldagem e montagem de conjuntos eletrônicos. Essa norma define boas práticas relacionadas à qualidade das soldas, materiais utilizados e confiabilidade das conexões elétricas (PROTOEXPRESS, 2017).

A tabela 1, exibe as quatro normas IPC citadas, que estão relacionadas ao desenvolvimento de placas de circuito impresso e que serão utilizadas como referência neste trabalho, sem aprofundamento técnico avançado, pois o manual desenvolvido possui caráter didático e é voltado para iniciantes na área de eletrônica.

Tabela 1 - Normas IPC

Norma IPC	Função principal	Aplicação
IPC-2221	Regras gerais para projeto de PCI	Layout, trilhas e espaçamentos
IPC-2152	Dimensionamento de trilhas	Corrente elétrica e largura das trilhas
IPC-A-610	Critérios de aceitabilidade	Inspeção visual de montagem
IPC J-STD-001	Requisitos para soldagem	Qualidade e confiabilidade das soldas

Fonte: IPC (2025).

2.3.2 Trilhas

As trilhas correspondem interconexões elétricas entre os terminais dos componentes no *board*. O tamanho de trilhas não há um padrão recomendado. Você pode determinar o tamanho da trilha pelo grau de importância dos requisitos elétricos do projeto e do método de fabricação, dependendo do tamanho da folga disponível no layout e da sua preferência pessoal. Segue-se como regra quanto maior a largura de trilha, melhor, por possuir menor indutância e resistência. Trilhas maiores podem ser mais fáceis e baratas para o fabricante da sua PCI inspecionar e retrabalhar. Existe um limite de mínimo para a trilha/espaco e isso dependerá de cada fabricante ou a máquina CNC que será feita sua placa. Se o fabricante citar que essa especificação é 10/8 isso significa que suas trilhas não podem ter menos de 10 milésimos de polegada de largura (0,0254 cm) e a distância entre as trilhas ou *pads* ou qualquer parte de cobre) não pode ser menor que 8 milésimos de polegada (0,02032 cm) (Jones, 2004).

As placas básicas do mundo real são 10/10 e 8/8. Padrão IPC (*Institute for Printed Circuits*), padrão internacional que define normas técnicas, que controla os aspectos de design da PCI recomenda 4 milésimos de polegada (0,0102 cm) como limite inferior. Mas este nível de placa, para leigos, não será abordado. Pois quanto menor a trilha/espaco, mas cuidado o fabricante terá. Mas para processos de fabricação caseiros 10/10 e até 8/8 segue-se como um bom padrão mínimo (Jones, 2004). Tem-se um exemplo de trilha em azul na figura 14.

Jones (2004) nos diz que a espessura do cobre em placas de circuito impresso (PCI) é especificada em onças por pé quadrado (oz/ft²), que representa a massa de cobre distribuída uniformemente sobre uma área de um pé quadrado. A espessura mais utilizada é de 1 oz/ft², que corresponde aproximadamente a 35 µm, podendo ser solicitados outros valores conforme o processo de fabricação. Para aplicações que envolvem correntes mais elevadas, recomenda-se o uso de camadas de cobre mais espessas. O cálculo da largura das trilhas não é uma tarefa trivial, pois depende de fatores como a corrente elétrica conduzida e o aumento máximo de temperatura permitido. Esses cálculos apresentam limitações, uma vez que são baseados em gráficos não lineares derivados de dados experimentais relativamente antigos, definidos pelas normas IPC.

Uma ferramenta amplamente utilizada e de fácil acesso para o cálculo da largura de trilhas pode ser encontrada em: <https://www.ultracad.com/ucadpcb.htm>, a qual fornece resultados com base nos gráficos estabelecidos pela IPC. Como regra prática um limite seguro para projetar é uma elevação de 10°C de temperatura na trilha. A seguir na tabela 2, temos

valores de espessura de trilhas, que é uma boa referência para projetistas iniciantes que é o foco deste trabalho.

Tabela 2 - Referência para largura de trilha

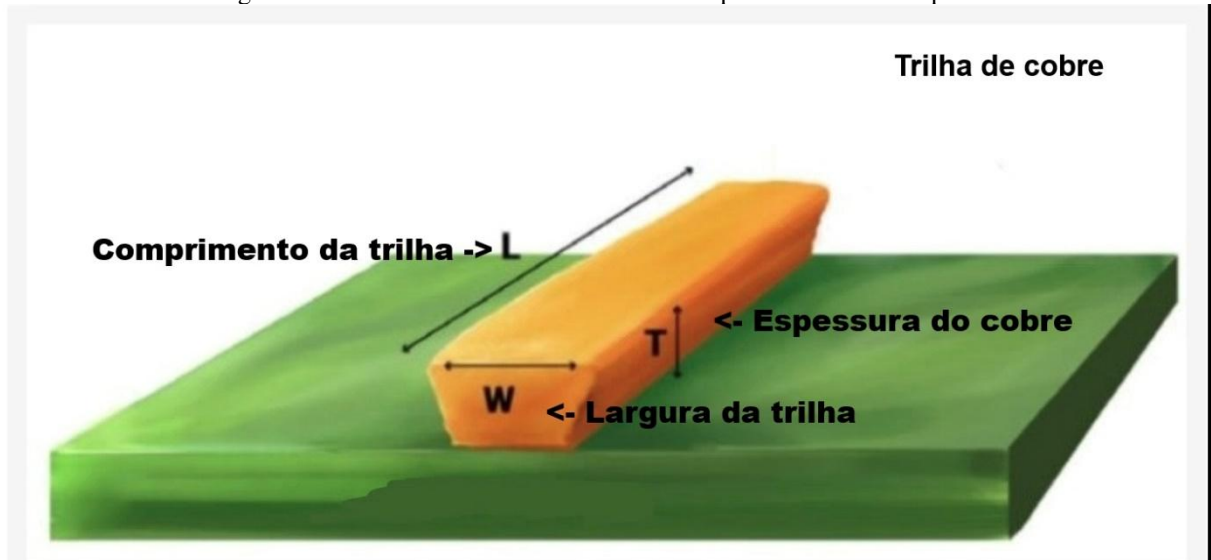
Tabela de referência de Largura de trilha (para aumento de temperatura de 10°C). A largura da trilha está em milésimos de polegada (mils)			
Corrente (Amperes)	Largura para 1 oz/ft ²	Largura para 2 oz/ft ²	Mili Ohms/Polegada
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

Fonte: Jones (2004).

A largura das trilhas influencia diretamente a capacidade de condução de corrente elétrica da PCI. Trilhas muito estreitas podem provocar aquecimento excessivo e queda de tensão. Para a determinação matemática da largura mínima de uma trilha com base na corrente admissível e na elevação de temperatura permitida, utilizam-se tradicionalmente as equações empíricas originadas da norma. Essa metodologia calcula a área da seção transversal necessária para o condutor e, a partir da espessura do cobre disponível no laminado, define a largura geométrica ideal para evitar o superaquecimento IPC-2221 (PROTO EXPRESS, 2024).

Cabe ressaltar que, embora essa formulação matemática clássica baseada na IPC-2221 ainda seja amplamente difundida em ferramentas de software e calculadoras online, ela foi sucedida pelas diretrizes da norma IPC-2152, que estabelece parâmetros mais precisos e atualizados para o gerenciamento térmico em projetos modernos de PCI. As dimensões geométricas fundamentais envolvidas nesse processo de cálculo estão ilustradas na figura 15.

Figura 15 - Dimensões físicas da trilha de uma placa de circuito impresso



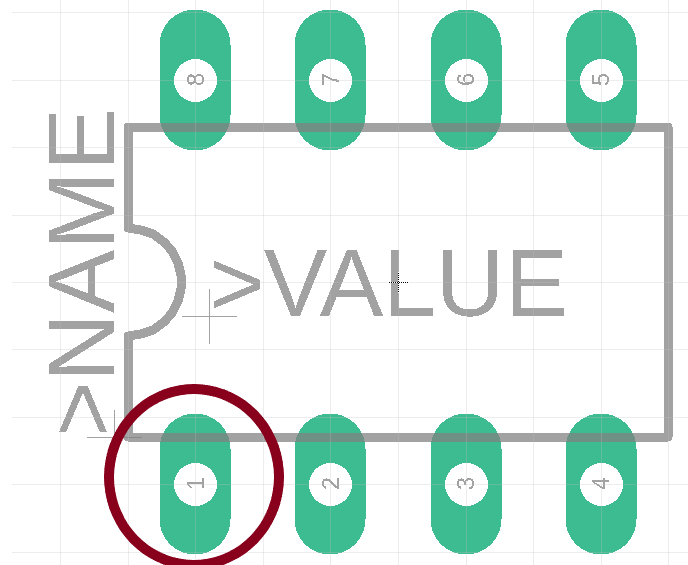
Fonte: Adaptado de Proto Express (2024).

2.3.3 Pads

A partir do *board*, onde o software criou um layout real da placa de circuito impresso, na extremidade de cada componente, existe uma área condutiva ao redor do contato que vai ser inserido o terminal dele. Esta área é chamada de *pad* que significa contato em português e elas desempenham um papel fundamental na PCI. Elas são responsáveis pela conexão elétrica e mecânica entre os terminais dos componentes e as suas trilhas da placa. Vale ressaltar que existem componentes do tipo SMD (*Surface Mounting Device*) ou dispositivo de montagem em superfície, em que o *pad* é a única conexão elétrica do componente (Braga, 2012).

O *pad* tem proporções variadas de acordo com cada tipo de componente utilizado, processo de fabricação e os requisitos do projeto. A razão *pad*/furo, deve respeitar tolerâncias adequadas para garantir o alinhamento correto durante a furação, sendo comum que o *pad* tenha pelo menos 1,8 vezes o diâmetro do furo ou 0,5 mm a mais. A imagem da figura 16, circulado em vermelho tem-se a representação do *pad* de um componente do software EAGLE (Jones, 2004).

Figura 16 - Pad

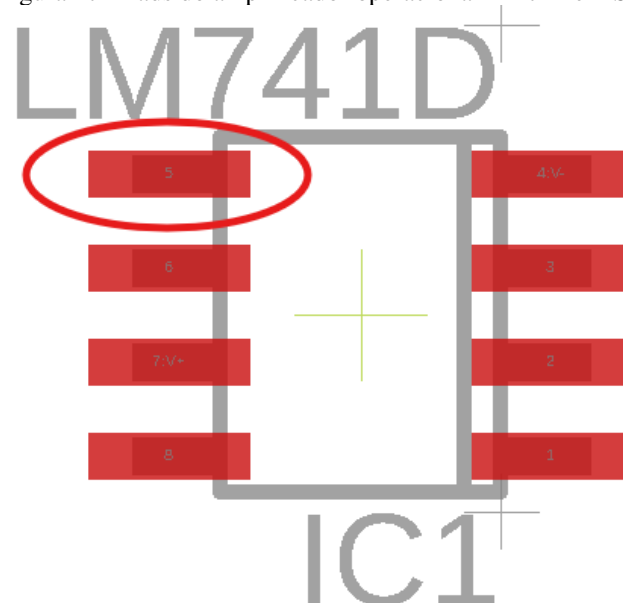


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

O formato dos *pads* para componentes com terminais, como diodo e resistores, são usados o formato circular; para circuitos integrados com encapsulamento *Dual In Line* (DIL), como o da figura 16, os *pads* ovais são recomendados, com o pino 1 identificado por um *pad* retangular. Os componentes de montagem superficial (SMD) como na figura 17, predominam os *pads* retangulares, sempre com atenção a identificação do pino 1 (Jones, 2004).

Outros formatos de *pads* como os octagonais são raramente utilizados. O projetista de PCI, adquirindo experiência, pode desenvolver sua própria biblioteca de *pads* personalizados, ajustados às necessidades específicas dos projetos (Jones, 2004).

Figura 17 - Pads do amplificador operacional LM741 em SMD



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

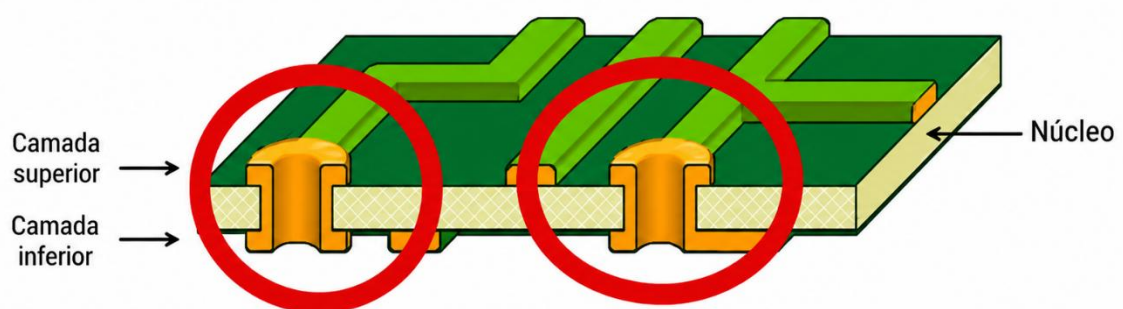
2.3.4 Vias

No desenvolvimento das PCI, especificamente no *board*, pode haver casos em que uma camada da placa não é suficiente para seu desenvolvimento. Então seu projeto precisará fazer em duas camadas. E para isso, terá que interconectar essas duas camadas através de uma via. As vias, demonstradas na figura 18, são pequenos furos metalizados, também conhecidos como furos revestidos (PTH- *Plated Through Holes*). Nos projetos *multilayer*, essas estruturas permitem que sinais e tensões transitem entre as camadas internas e externas da placa (Jones, 2004).

Os *pads* e as vias são fisicamente, furos metalizados, mas possuem funções distintas no software de *design* de PCIs: os *pads* estão associados aos terminais dos componentes e as vias servem exclusivamente para interligar trilhas entre camadas. As vias normalmente apresentam diâmetro menor que os *pads*, na faixa de 0,5 mm e 0,7 mm, e seu uso na interconexão entre camada e denominado de “costura”, tem essa analogia à forma de união de tecidos com agulha. A confiabilidade elétrica e integridade do sinal em projetos eletrônicos mais complexos o uso da via é de extrema importância (Jones, 2004).

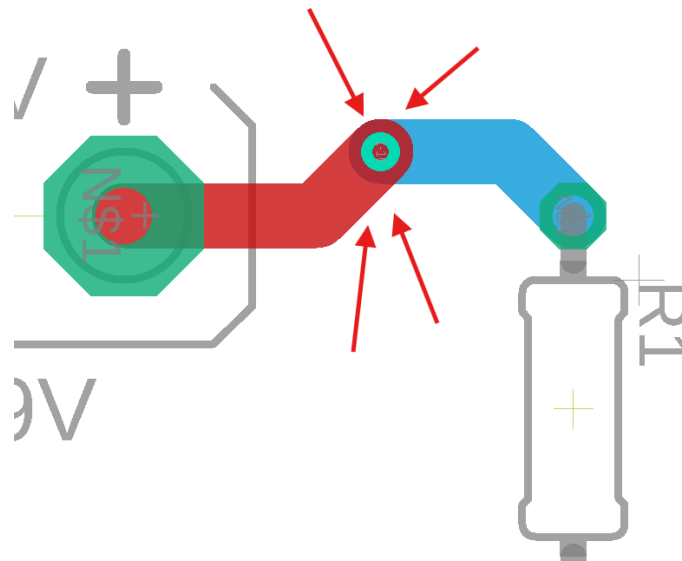
A representação de uma via no *board* no software EAGLE está apresentado na figura 19.

Figura 18 - Vias



Fonte: Adaptado de ORIENT DISPLAY (2025).

Figura 19 - Vias

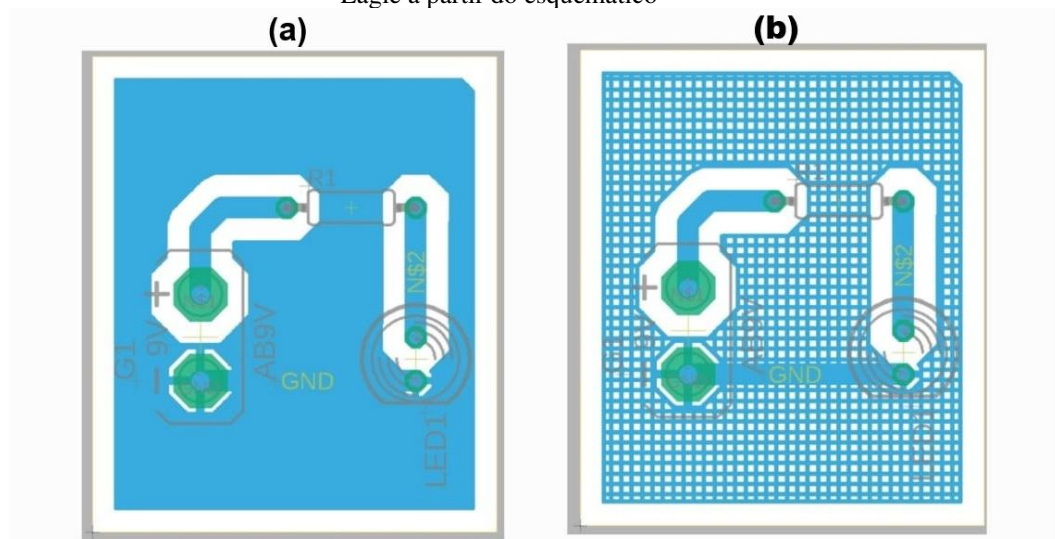


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

2.3.5 Polígonos ou planos de terra

O polígono é o preenchimento automático de uma área desejada com cobre. O polígono flui ao redor dos *pads* e trilhas. Muitos utilizados para delinear planos de terra. Dependendo do software utilizado o polígono pode ser um preenchimento “sólido” ou fazendo “hachuras” que são sombras a partir do desenho de linhas paralelas próximas com cobre. Mas as hachuras não se utilizam normalmente. Na figura 20, temos um exemplo de plano de terra feito com a função polígono no software EAGLE com o layout do circuito da figura 2.14 (Jones, 2004).

Figura 20 - Layout da placa de circuito impresso (board) com polígono sólido (a) e com hachuras gerado no Eagle a partir do esquemático

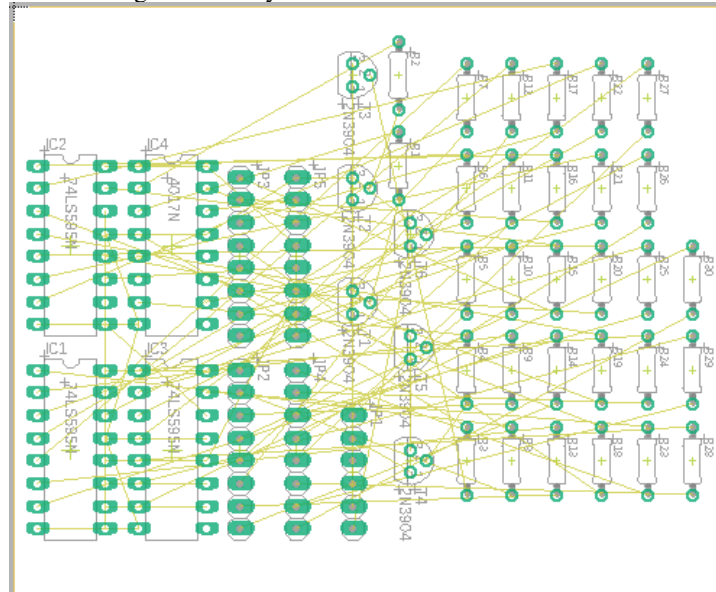


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

2.4 Roteamento básico de uma PCI

O roteamento básico de uma PCI, é o processo de interligar eletricamente através de trilhas os componentes de uma placa. Esse processo em uma placa de poucos componentes como da figura 14 é relativamente simples. Mas o processo muda um pouco quando se trata de uma placa com muitos componentes como da figura 21 (Jones, 2004).

Figura 21 - Layout do board não roteado de PCI



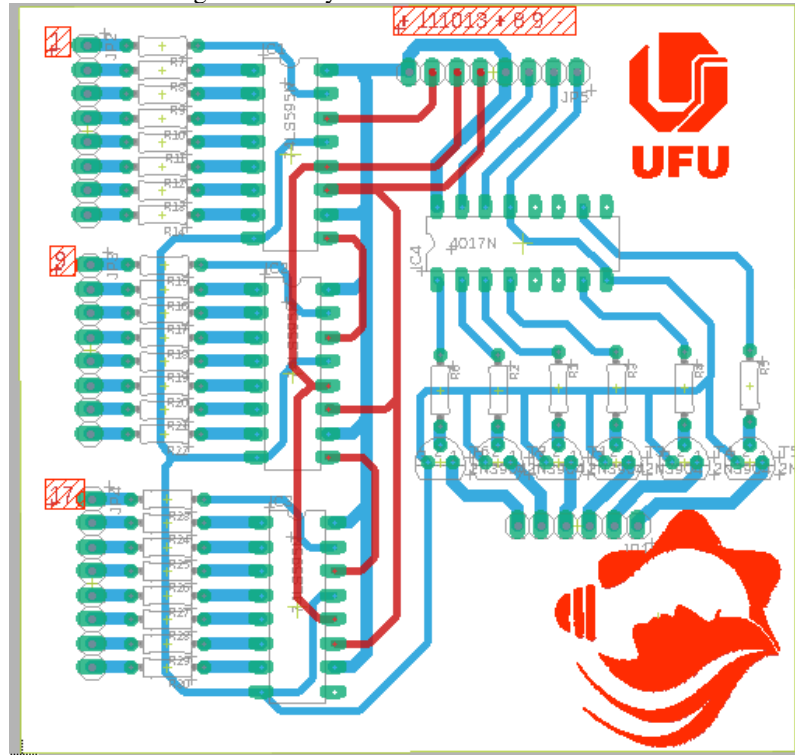
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

Portanto, existe algumas regras fundamentais para garantir a funcionalidade, estética e confiabilidade do projeto. As trilhas devem ser mais curtas possível para evitar aumento de resistência, capacitância e indutância. Não usar no roteamento ângulos retos ou curvas arredondas. Utilizar sempre ângulos de 45° para o roteamento. Se possível ativar a grade elétrica do software utilizado, utilizar trilhas únicas e centralizadas nos *pads*, e manter a simetria e a organização visual. Para alta corrente recomenda-se trilhas mais largas. Em trilhas de alimentação e terra devem ser as primeiras a serem roteadas. Quando a placa é dupla face e sua via não é metalizada, é necessário soldar manualmente as conexões entre camadas, então vias devem ser evitadas sob os componentes. Uma boa prática, sempre que possível utiliza-se os terminais dos próprios componentes para conectar trilhas entre as faces, reduzindo vias e aumentando a confiabilidade da placa (Jones, 2004).

Veja na figura 22, tem-se a imagem do layout da placa com os componentes bem-posicionados e roteados. Posicionar bem os componentes no layout da placa facilitará o trabalho de disposição e proporcionará o melhor desempenho elétrico. Fazer um mau posicionamento

pode tornar um problema quando rotear a placa e pode oferecer um desempenho elétrico ruim. Então, não há uma maneira absolutamente certa para posicionar os componentes.

Figura 22 - Layout do board roteado de PCI



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

A seguir, temos algumas etapas que podem ser seguidas para facilitar o trabalho de posicionamento de componentes antes de rotear:

- ✓ Definir a sua grade e tamanhos de trilhas;
- ✓ Colocar todos os componentes na região da placa definida no software utilizado;
- ✓ Dividir os componentes em blocos, pelo esquemático é possível ver os componentes que estão mais próximos e assim separar os blocos com facilidade;
- ✓ Faça o roteamento das trilhas críticas do layout primeiro;
- ✓ Roteie cada bloco de construção separadamente;
- ✓ Mova os blocos concluídos para uma posição na placa;
- ✓ Roteie as conexões entre os blocos;
- ✓ Realize a verificação de regras do software;
- ✓ Sempre que possível peça alguém para verificar.

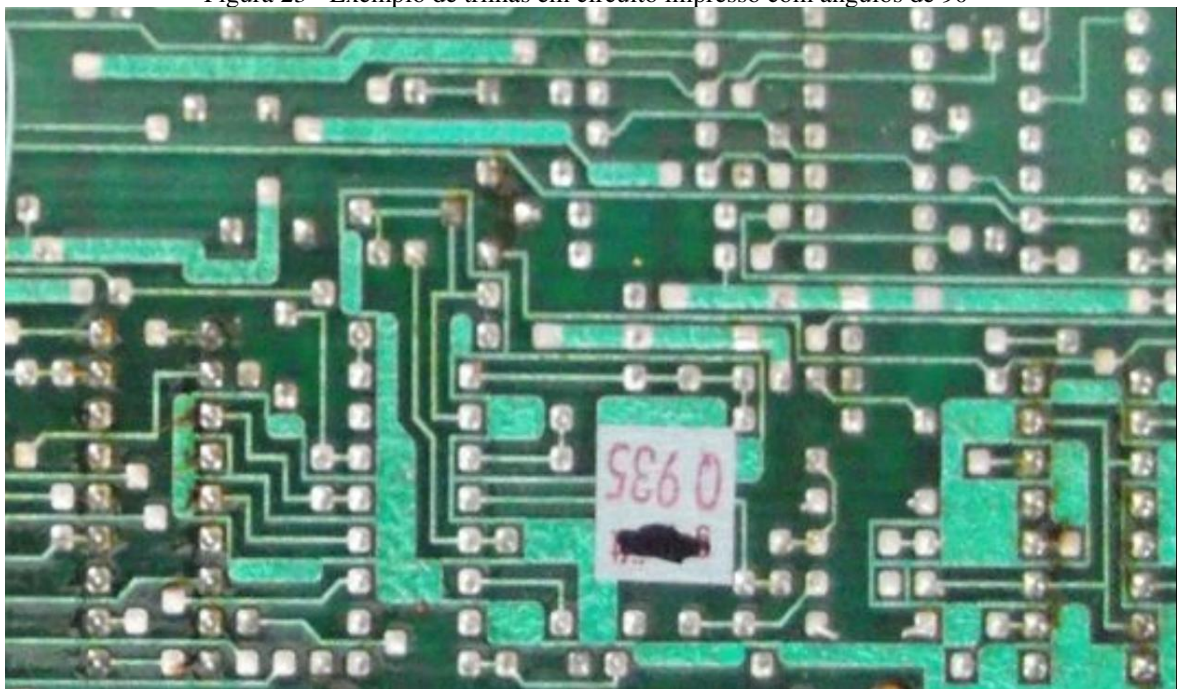
Esta lista não é uma forma de verificação completa, pode variar para cada projeto de placa. Mas é um guia para produzir um layout razoável (Jones, 2004).

2.4.1 Trilhas com ângulo reto (90°)

Entre muitos projetistas de layout de PCIs, existe um fator que gera muitas dúvidas sobre porque não se deve fazer ângulos retos nas trilhas da PCI. Mas segundo Rippel (2023), o fato de as trilhas não serem dispostas em um ângulo de 90° como apresentado na figura 23, também se deve ao banho de corrosão (ataque químico). No passado, os resíduos do banho de corrosão e máscara de solda acumulava-se nesse ângulo e fazia com que a trilhas se desprendesse.

A curva de 90° “irradia” e deve-se ser evitada por razões de EMC (Compatibilidade Magnética). Vários estudos apoiaram ou refutaram essa afirmação nos últimos anos. Então para garantir a segurança, ela provavelmente deve ser evitada. No entanto, em alguns lugares uma curva de 90° é inevitável e você pode usá-la sem hesitação (RIPPEL, 2023).

Figura 23 - Exemplo de trilhas em circuito impresso com ângulos de 90°



Fonte: Adaptado Rippel (2023).

2.5 Erros comuns no desenvolvimento de PCIs

No desenvolvimento de placas de circuito impresso, por inexperiência ou falta de conhecimento técnico é comum cometer erros. Trilhas mal desenhadas, má distribuição de energia, posicionamento incorreto de componentes e falta de testes são alguns fatores que

podem levar ao mau desempenho dos circuitos. Portanto, deve-se atentar-se aos detalhes em todas as etapas do projeto (Feng, 2023, adaptado).

O projetista mesmo seguindo todas as etapas de posicionamento citado anteriormente e as regras fundamentais do roteamento pode cometer alguns erros. A seguir, os erros mais comuns segundo Feng (2023, adaptado).

- Layout mal planejado: Podendo haver interferências entre os sinais, gerando falhas no funcionamento;
- Componentes mal posicionados: Como citado anteriormente e fundamental posicionar antes de rotear. Ao colocar peças em lugares errados dificulta a montagem e pode causar superaquecimento e falhas na comunicação entre as partes na placa;
- Trilhas mal desenhadas: Pode atrapalhar o sinal elétrico quando as trilhas estão mal desenhadas;
- Falta de testes e protótipos: Ao criar um layout, antes de fabricar placas em escala, é necessário montar uma versão de teste (protótipo) para verificar o funcionamento;
- Não seguir regras para facilitar a fabricação: O projetista deve pensar o jeito que a placa será produzida. O DFM (*design for manufactubility*) tem diretrizes que completas que elimina problemas e erros durante o design e montagem da PCI. Considerando que a projetista poderá fabricar em escala;
- Distribuição de energia ruim: Na placa, todos os componentes devem receber energia de forma estável. Uma distribuição malfeita pode acarretar falhas e queima de partes internas;
- Falta de documentação: Deixar tudo bem escrito é fundamental. A falta de informação quando houver manutenção ou montagem será mais difícil;
- Problemas com sinal elétrico: O não seguimento de boas práticas, pode afetar o sinal com interferências, ruído ou enfraquecimento, causando falhas.

Para um bom projeto de PCI, deve-se evitar esses erros e assim garantir que os aparelhos eletrônicos funcionem corretamente e se forem fabricados em escala serão mais baratos de produzir (Feng, 2023, adaptado).

2.6 Impedância em trilhas de alta frequência

Na confecção de PCIs quando se trata de um circuito de alta frequência (Mega-hertz e giga-hertz) é necessária uma atenção especial. Parâmetros como indutância parasita, capacitância distribuída e impedância do layout. Os condutores comportam-se como linhas de transmissão quando o sinal é muito rápido ou as trilhas longas. Então para evitar reflexões e perda da integridade do sinal usa-se algumas técnicas. O uso de plano de terra contínuo nessa situação é essencial para garantir caminhos de retorno eficiente e reduzir as interferências eletromagnéticas (EMI).

Em altas frequências, outro fenômeno relevante é o *skin effect* (efeito de casca), no qual a corrente elétrica tende a se concentrar na superfície do condutor, reduzindo a área efetiva de condução. Como consequência, a resistência elétrica das trilhas aumenta com a frequência, elevando as perdas e a atenuação do sinal. Esse efeito torna-se mais significativo nas faixas de mega-hertz e giga-hertz, influenciando diretamente o desempenho das trilhas e reforçando a necessidade de um projeto cuidadoso do layout, especialmente no controle da impedância e na escolha das dimensões das trilhas (Pozar, 2012).

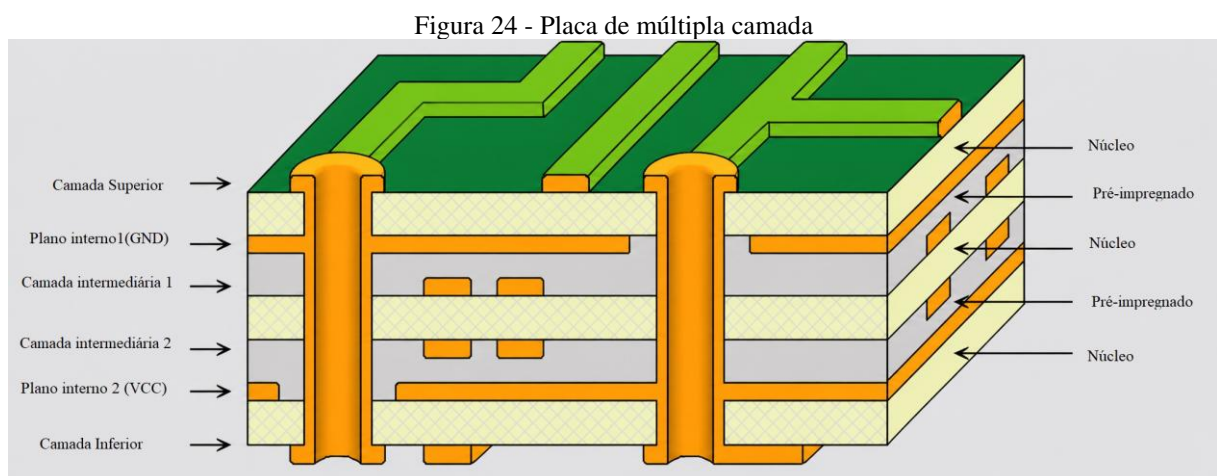
Controlar a impedância da trilha pode controlar esses efeitos. *Microstrip* é uma técnica utilizada de linhas de transmissão que tem trilhas na camada superior e plano de terra em baixo. *Stripline* é outra técnica que a trilha é encapsulada entre dois planos de terra em camadas internas. As duas técnicas requerem controle preciso da impedância característica, baseada em variáveis como largura da trilha, distância ao plano de terra e a permissividade do material. Então para otimizar o desempenho em altas frequências, o indicado é manter as trilhas curtas, evitar vias desnecessárias, utilizar capacitores de desacoplamento próximos aos pinos de alimentação dos CIs e evitar recortes no plano de terra sob as trilhas de sinal crítico. É importante manter distância entre trilhas e proximidade entre a trilha e o plano de terra para reduzir o *crosstalk* entre trilhas (Jones, 2004).

O *crosstalk* acontece quando uma trilha de sinal interfere em outra trilha próxima. Isso ocorre porque os sinais não ficam totalmente isolados: os campos elétricos de uma trilha podem passar para a outra através de um efeito parecido com capacitância, e os campos magnéticos podem se acoplar como se houvesse uma indutância compartilhada. Assim a energia “vaza” de uma trilha para outra, causando ruído indesejado (Sierra Circuits, 2023).

2.7 Tipos de PCIs

Os tipos de placas de circuito impresso variam de lado único (uma face), de dois lados (dupla face) e multicamada e cada uma delas tem características únicas. Placas de lado único são mais econômicas e comuns em produtos de consumo, mas exigem maior cuidado na colocação dos componentes e no roteamento, já que todas as trilhas estão restritas a uma única face. O uso de jumpers é quase inevitável, mas deve ser minimizado para manter a eficiência e a estética do projeto. Já o design de lado duplo permite maior flexibilidade no roteamento, com trilhas nas duas faces da placa e o uso de vias para interligá-las. No entanto, erros comuns incluem o uso excessivo de vias e a má organização de componentes, o que pode comprometer a eficiência do layout (Jones, 2004).

Em projetos mais complexos, recorre-se às placas multicamadas, demonstrada na figura 24, que oferecem maior densidade de roteamento e melhor distribuição de planos de alimentação e terra. Nessas placas, as camadas internas são geralmente dedicadas à energia e ao aterramento, enquanto as externas são reservadas para trilhas de sinal. A fabricação de placas multicamadas exige processos industriais especializados e pode incluir vias do tipo cegas e enterradas, que otimizam o uso do espaço e são essenciais em projetos com alta densidade, como os que utilizam componentes BGA (*Ball Grid Array*). A escolha entre os tipos de placa deve considerar critérios de custo, complexidade e desempenho do circuito (Jones, 2004).



Fonte: Recortado de Jones (2004).

2.8 Materiais mais utilizados na fabricação das PCI

As PCIs consistem em um substrato de fibra de vidro, normalmente com 1,6 mm de espessura. Existem outras espessuras de 0,8 mm e 2,4 mm. No mercado há vários outros tipos de substratos para PCIs como o Teflon que é usado em designs especiais, CEM-1 e a base

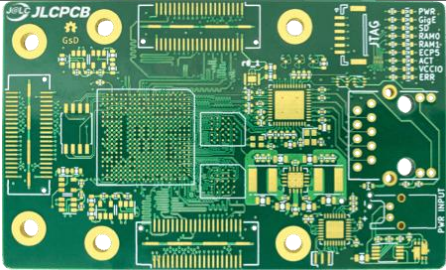
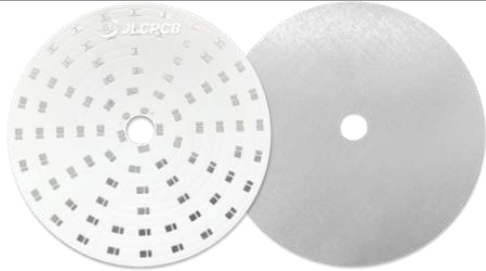
fenólica. O comum é encontrar substratos de fibra de vidro, sendo o material FR4. Este composto de vidro e resina possui propriedades dielétricas importantes, com constante dielétrica variando entre 3,9 e 4,8, sendo essencial para aplicações de alta frequência. O FR4 também apresenta boa resistência dielétrica, baixa absorção de água e estabilidade térmica, mas seus valores podem variar conforme o fabricante (Jones, 2004).

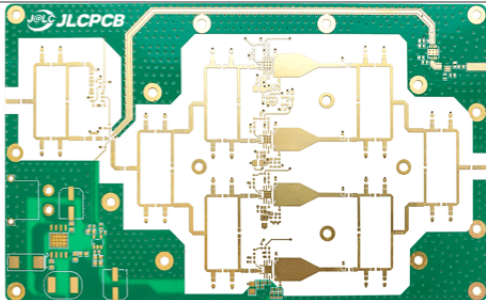
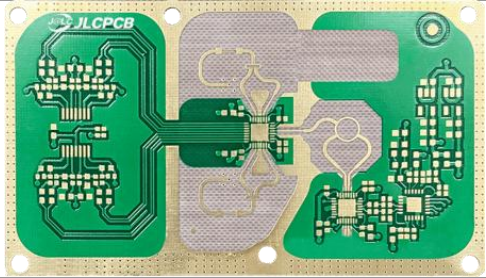
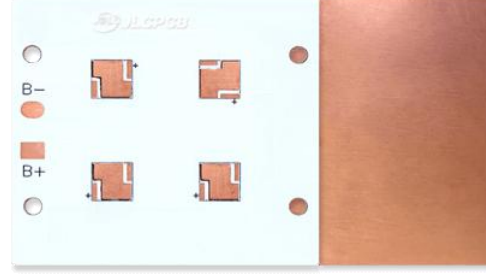
Existe substratos alternativos além do FR4, tais como Teflon (para aplicações de alta performance) e materiais mais baratos, como CEM-1 e base fenólica, geralmente usados em produtos de baixo custo. PCIs multicamadas utilizam camadas separadas por camadas de colagem pré-impregnadas, conhecidas também como material prepreg e o empilhamento dessas camadas afeta o tipo de vias que podem ser aplicadas (Jones, 2004).

Nos acabamentos de superfície, existem várias opções: desde estanho simples em placas mais baratas, até HAL (nivelamento por ar quente) e ouro químico para montagem de componentes de alta densidade. A aplicação de máscara de solda é fundamental para evitar curtos e garantir a qualidade da montagem, e há opções removíveis para processos específicos como soldagem por onda (Jones, 2004).

No mercado existe vários fabricantes de PCIs, um deles é o fabricante denominado JLCPCB que disponibiliza diferentes tipos de materiais-base para fabricação de PCIs, como FR-4, alumínio e Rogers. Na tabela 3, temos alguns tipos de material base que o fabricante utiliza para a fabricação das PCIs (JLCPCB, 2026).

Tabela 3 - Materiais base utilizados pelo fabricante JLCPCB

Material base	Imagem do material	Descrição
FR-4		Material composto por fibra de vidro e resina epóxi, sendo o substrato mais utilizado em placas de circuito impresso rígidas devido ao baixo custo e boa resistência mecânica.
Alumínio		Material utilizado em placas que necessitam maior dissipação térmica, muito empregado em circuitos de potência e iluminação LED.

Rogers		Material de baixa perda dielétrica utilizado em aplicações de radiofrequência e alta frequência.
PTFE		Substrato de alto desempenho elétrico e térmico, utilizado em aplicações de micro-ondas e altas frequências.
Flexível (Polyimide)		Material flexível e resistente ao calor utilizado em placas flexíveis e dispositivos compactos.
Copper Core		Material com núcleo de cobre que proporciona elevada dissipação térmica para aplicações de potência.

Fonte: JLCPCB (2026).

2.9 Softwares de projetos de layout de PCIs

Sabe-se que no desenvolvimento das PCIs exige bastante atenção nos detalhes e por isso exige ferramentas específicas para este fim. Software especializados em desenvolvimento de PCI ajuda a criar layout com precisão. Portanto, para o desenvolvimento das PCIs exige ferramentas de software especializadas para garantir precisão no desenho, roteamento e geração dos arquivos de fabricação. A partir destas ferramentas, é possível criar layouts simples até projetos de múltiplas camadas com precisão.

O software *Altium Designer* que tem precisão e velocidade. Oferecendo uma interface intuitiva e um ambiente unificado que integra esquemático, layout, simulações e biblioteca de componentes, além de permitir o controle de regras de projeto e verificação de integridade de sinal (Altium, 2023).

Outro software utilizado neste trabalho é o EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*), da Autodesk, muito conhecido entre estudantes, hobistas e *startups*. O EAGLE permite criação de esquemas e layout em um ambiente amigável, com recursos como auto roteamento e acesso a bibliotecas de componentes amplamente compartilhadas (Autodesk, 2023).

Já KiCad, é uma ferramenta sem custo e de código aberto que vem ganhando destaque por oferecer recursos profissionais sem custos de licença. Permitindo criar projetos seus próprios símbolos, permite importar arquivos de outro software, tem um visualizador 3D, roteamento diferenciado e geração e exporta de arquivos Gerber compatíveis com a indústria (Kicad, 2023).

O Proteus (*Labcenter Electronics*), OrCAD (*Cadence Design Systems*) e DipTrace também são amplamente utilizados, cada um com características específicas que os tornam adequados para diferentes níveis de complexidade de projeto. A escolha do software depende do objetivo do projeto, orçamento, curva de aprendizado e compatibilidade com ferramentas de fabricação. Recursos de verificação de regras elétricas (ERC), verificação de regras de projeto (DRC) e geração de arquivos de produção é muito importante independente da escolha o software deve ter.

Neste trabalho, além do EAGLE foi utilizado o software EasyEDA, uma ferramenta EDA (Automação de projeto eletrônico) baseado na web. Para sua utilização não é necessário instalação de programas no computador. Sendo suficiente acessá-la por meio de um navegador web compatível com HTML5 e que siga os padrões atuais da web (EASYEDA, 2026).

2.10 Processo geral de fabricação de PCIs

Produzir placas de circuito impresso (PCIs) dispõe a criação de uma placa física que possui conexões elétricas entre vários componentes eletrônicos de forma organizada. Não existe um padrão único para se produzir uma PCI. Este processo pode variar conforme o tipo e a complexidade da placa. Na imagem da figura 25 as etapas do processo de fabricação industrial de um fabricante internacional (Moko Technology, 2020).

1. Projetar o layout do circuito

O circuito elétrico é projetado em um software para desenvolvimento de PCIs. Os dados do layout desenvolvido são convertidos em arquivos Gerber. Neste arquivo possui coordenadas para camadas de cobre, máscara de solda, serigrafia, brocas etc.;

2. Impressão do layout no filme

Usando uma impressora *photoplotter* especializada é criado negativos de filme de alta resolução de cada camada em folhas plásticas transparentes revestidas com emulsão fotossensível. Com furos de registro as camadas são alinhadas com precisão;

3. Revestimento de laminado revestido de cobre

O substrato cru da PCI, normalmente o FR4, é limpo e laminado com uma camada de foto resistente. Pode-se usar um promotor de adesão para auxiliar a colagem do fotoresistente;

4. Expor seletivamente a foto resistente

Os negativos de filme são alinhados ao laminado com cautela, por meio de pinos de registro. Após isso a foto resistência é exposta seletivamente a luz UV de acordo com cada camada;

5. Revelar e gravar a camada

Em uma solução reveladora química a placa é emergida, para não dissolver a resina exposta. O agente de corrosão remove o cobre não protegido pela resina para criar padrões condutores;

6. Empilhamento de camadas e laminação

Por meio de furos de registro as camadas internas e externas individuais são alinhadas. Camadas de pré-impregnado e folha de cobre são empilhadas e laminadas com precisão sob calor e pressão;

7. Perfurar furos

Através de uma CNC os terminais de componentes e vias de conexão são perfurados com precisão;

8. Galvanoplastia

É feito o depósito auto catalítico de uma fina camada de cobre em todas as superfícies expostas para fornecer condutividade básica;

9. Aplicação de máscara de solda

A máscara de solda *Liquid Photo-imageable* (LPI) é aplicada sobre toda a placa que forma uma barreira que protege o cobre da oxidação e a ocorrência as pontes de solda. Essa máscara consiste em uma tinta líquida composta por dois componentes que aplicada nas PCIs pelos fabricantes por pulverização;

10. Acabamento das superfícies

Posteriormente o cobre exposto é revestido com nivelamento de solda por ar quente (HASL), conservante orgânico de soldabilidade (OSP), prata de imersão ou ouro de imersão;

11. Serigrafia

Nesta parte do processo de fabricação é impresso símbolos, informações da empresa, designadores de referência, contornos de placas e outras marcações sobre a placa com tinta serigráfica;

12. Teste elétrico

Alguns testes são feitos para verificar circuitos abertos ou curtos. Testes de continuidade, isolamento e teste de sonda em circuito;

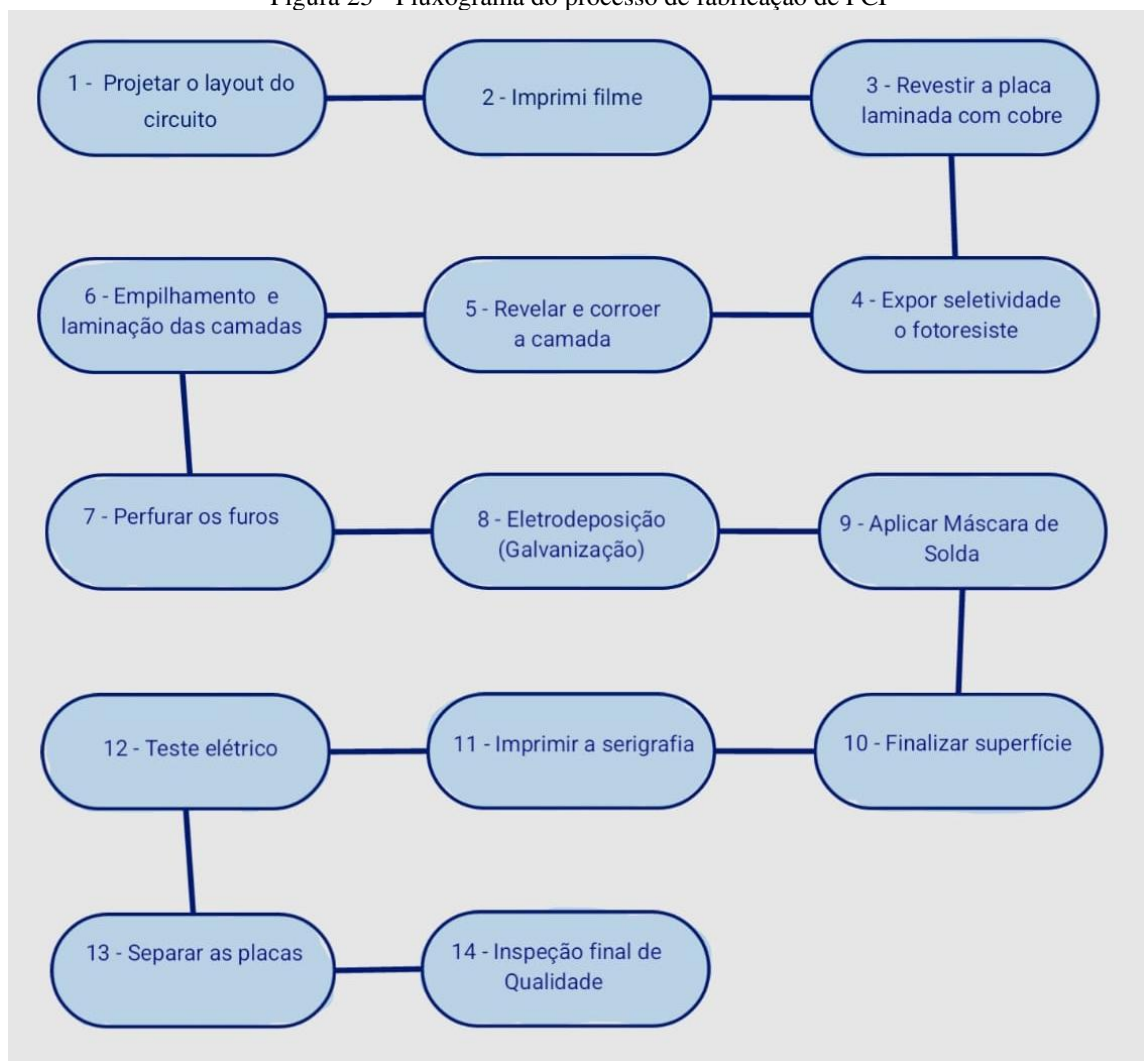
13. Separação das placas

São separadas as placas individuais das placas maiores de acordo com o tipo (corte, roteamento ou a marcação em V);

14. Inspeção final de qualidade

Nesta etapa há uma inspeção elétrica, visual e mecânica para garantir a qualidade e especificações antes de enviá-las ao cliente.

Figura 25 - Fluxograma do processo de fabricação de PCI



Fonte: Adaptado de Moko Technology (2020).

2.11 Técnicas mais usadas na fabricação das PCIS

Para a fabricação de PCIs podemos destacar as principais técnicas utilizadas. A técnica mais simples de fabricar PCI são as chamadas placas experimentais. Estas placas são feitas de papel duro ou resina epóxi (PRFV), perfuradas com 2,54 mm. Os furos têm cobre apenas ao seu redor. Circuitos menores neste tipo de placa são montados rapidamente. Os componentes são inseridos no lado sem cobre e soldados no outro lado. Este tipo de placa de circuito impresso não é utilizado a longo prazo, pois se assemelha com artesanato (Moko Technology, 2025).

Uma outra técnica é a placa de circuito de fresagem. Estas são criadas com placa revestida de cobre e as trilhas condutoras são fresadas sobre elas. As trilhas podem ser fresadas a mão ou com batente usando uma fresa, chamada comumente de CNC que significa Controle Numérico Computadorizado (*Computer Numerical Control*).

O método de transferência de toner, consiste em transferir a imagem espelhada de um layout em papel revestido impressa em impressora a laser. Para transferir o toner, a placa de cobre limpa e prensada por ferro quente e então cria-se um padrão de resina para a gravação. Após o toner ser transferido os traços são protegidos pelo toner e fazem a remoção do cobre que está exposto.

O quarto método de fabricação de placas é a gravura do layout da PCI que envolve a remoção de forma seletiva de cobre de um substrato para formar traços de circuito. O circuito é projetado e mapeado em uma placa laminada e cobre. Após a preparação da PCI com tinta a prova d'água para proteger os traços. Uma solução para gravação que remove o cobre indesejado e aplicado sobre a placa. Posteriormente a placa é furada. Esse processo é limitado no tamanho de traços e volume de produção (Moko Technology, 2025).

O quinto método de fabricar PCI, é o serviço profissional. Ele consiste em enviar os arquivos de design para um fabricante profissional em PCI. Os fabricantes utilizam processos avançados com fotolitografia, para produzir placas de qualidade profissional. Neste caso é ideal para produção de várias placas iguais ou placas de alta complexidade. Os métodos de placas perfuradas, placas feitas em CNC e placas de circuito gravadas são técnicas de fabricação caseiras. A transferência de toner é um método amador e a de processo avançados de fotolitografia é nível profissional é mais usada em processos industriais (Moko Technology, 2025).

2.11.1 Fotolitografia

A fotolitografia é um processo utilizado em fabricação de semicondutores e PCIs. Neste processo é envolvido várias etapas principais que incluem a aplicação de fotoresistente, exposição, revelação e gravação. Primeiramente é aplicado ao substrato um material fotoresistente que no semicondutor é uma pastilha de silício. Após esta aplicação este material é exposto a luz através de uma máscara que contém o padrão do circuito a ser transferido para o substrato. Através de uma mudança química que o processo de exposição causa no material fotoresistente cria-se uma camada padronizada no substrato. O material fotoresistente então é revelado usando uma solução química, onde é removido as áreas expostas ou não expostas a depender de qual fotoresistente é utilizado (negativo ou positivo). A camada revelada atua como uma máscara para o processo de gravação, onde o substrato subjacente é removido seletivamente para criar o padrão desejado (Applied Physics Corporation, 2024).

2.11.2 Processo de imagem direta a laser (LDI)

Imagem direta a laser (*Laser Direct Imaging –LDI*) é uma técnica evoluída do processo tradicional de fotolitografia para fabricação de PCIs. No LDI ao invés de utilizar máscaras fotográficas físicas, utiliza-se a projeção diretamente do layout do circuito sobre a camada fotoresistente, utilizando um feixe de laser controlado por computador. Eliminando a necessidade de fotomáscaras, reduzindo assim o custo com materiais e aumentando a precisão (Applied Physics Corporation, 2024).

No LDI, a placa de cobre é revestida com material fotoresistente previamente e posicionada em um sistema óptico automatizado. Seu layout digital é gerado a partir de arquivos *gerber*. Com software apropriado esse layout digital é convertido em comandos para o feixe de laser. Então o laser expõe diretamente as áreas do fotoresistente que devem ser reveladas, criando um padrão de circuito com extrema resolução, mesmo em trilhas muito finas ou espaçamentos reduzidos. O LDI tem como de suas principais vantagens a altíssima precisão e alinhamento, em especial em placas multicamadas (Applied Physics Corporation, 2024).

O sistema do LDI elimina a variação mecânica que é associada a posicionamento de máscaras, conseguindo mais fidelidade entre camadas e redução de erros de registro. Seu processo de prototipagem é mais rápido pois não há necessidade de fabricar fotomáscaras físicas. O LDI é encontrado em placas de dispositivos eletrônicos compactos como *smartphones*, *tablet*, módulos de rádio frequência e equipamentos médicos. Também é

encontrado em ambientes industriais que demandam qualidade, repetitividade e miniaturização de circuitos (Applied Physics Corporation, 2024).

2.12 Requisitos de soldagem padrão IPC

O IPC (*Association Connecting Electronics Industries*) que é uma organização comercial global que cria e mantém os padrões de qualidade para fabricação de produtos eletrônicos, tem uma norma para requisitos e processos de soldagem. A IPC J-STD-001 é a norma que rege sobre conjuntos e eletrônicos soldados. Dentro dela tem-se especificações de materiais, requisitos de processo e critérios de aceitabilidade. Essa norma é essencial para estabelecer as melhores práticas de soldagem na indústria (Protoexpress, 2017).

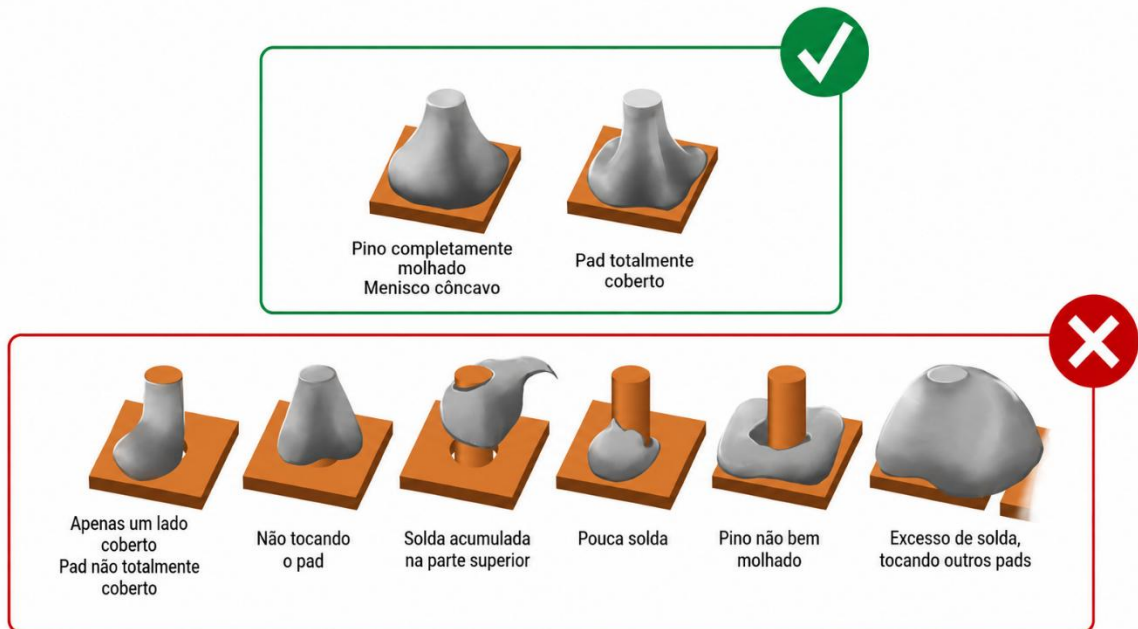
De acordo com a J-STD-001 os requisitos importantes para soldagem são:

1. A limpeza que evita contaminação de materiais, ferramentas e superfícies;
2. As taxas de aquecimento e resfriamento tem que ser os padrões do fabricante;
3. Os fios não devem ser danificados. A solda deve molhar a área estanhada do fio;
4. Inspeções de soldagem e limpeza devem ser realizadas antes da aplicação do revestimento;
5. Defeitos que não estejam de acordo com a forma, o encaixe e a função do conjunto podem ocorrer. Esses erros de soldagem devem ser retrabalhados ou descartados. Na figura 26, observamos alguns exemplos de erros comuns na solda e exemplos de solda aceitáveis;
6. Para a indústria a inspeção visual deve ser realizada usando AOI (inspeção óptica automatizada) e AXI (inspeção automatizada de raios X);
7. Condutores, terminais de componentes, padrões de aterramento e máscara de solda de acordo com o projeto são capazes de acomodar metal base exposto.

Na soldagem em componentes PTH é necessário preencher completamente o *pad* com solda. Devendo atender requisitos de conformidade, independentemente do processo, como por exemplo soldagem manual, soldagem por onda etc. (Protoexpress, 2017). Usualmente o fio de solda é usado para soldar esses componentes eletrônicos. A solda é uma liga metálica fusível, composta por chumbo e estanho com o ponto de fusão menor que 350°C. Característica a qual

permite a união de montagens eletrônicas, permitindo expansão térmica, dissipação de calor e transmissão de sinais elétricos.

Figura 26 - Defeitos de soldagem



Fonte: Adaptado de Protoexpress (2017).

Durante o processo de soldagem, quando a junta atinge a temperatura apropriada, a liga da solda derretida flui para o lugar, criando a ligação robusta sem derreter os itens conectados (EMBARCADOS,2023)

No mercado existem muitas opções de solda, mas para o manual didático para projeto e fabricação de técnicas de PCIs podemos simplificar em três principais categorias:

- **Solda a base de chumbo:** Uma mistura de metais composta principalmente de estanho (Sn) e chumbo (Pb). Disponível em dois tipos populares: Solda 63/37 (com 63% de estanho e 37% de chumbo) com o ponto de fusão em 183°C que é mais usada em técnicas de soldagem elétrica e a solda 60/40 (com 60% de estanho e 40% de chumbo) menos usada devido à menor qualidade na solda, e requisitos de temperatura de fusão mais altos e juntas menos brilhantes se comparada com a solda 63/37.
- **Solda sem chumbo:** A solda com chumbo é fácil devido ao seu baixo ponto de fusão e as propriedades de fluidez do chumbo. Mas as leis da Diretiva Europeia proíbem a solda com chumbo por pressões ambientais. Portanto a conformidade regulatória (RoHS) e incentivos financeiros tem direcionado o foco para as alternativas sem chumbo. A solda sem chumbo é composta principalmente de

estanho (Sn), prata (Ag) e cobre (Cu), com proporções de 96,5% Sn, 3% Ag e 0,5% Cu. Seu ponto de fusão é em torno de 227°C. Ela é ideal para trabalhos eletrônicos complexos e montagem de circuitos devido sua condutividade elétrica aprimorada. A solda sem chumbo também é embalada em rolos ou dispensadores (EMBARCADOS, 2023).

- **Flux-core (solda com núcleo de fluxo):** Esta solda é diferente das anteriores pois, integra a liga de solda e o fluxo dentro do fio de solda. De modo que durante a soldagem, o fluxo forma uma camada protetora ao redor da peça de trabalho, resultando em conexões eletrônicas mais limpas e propriedades de molhagem aprimoradas. Existem dois tipos comuns de fluxo: núcleo ácido, ideal para soldagens de alta temperatura e o núcleo de resina, preferido para aplicações elétricas por apresentar características não corrosiva. Tem-se opções de solda com núcleo de fluxo com ou sem chumbo (EMBARCADOS, 2023).

CAPÍTULO 3

Métodos e materiais

O objetivo deste trabalho é elaborar um manual didático para o projeto e a fabricação de placas de circuito impresso (PCIs). Dessa forma, a metodologia adotada consiste na estruturação desse manual de maneira organizada, visando atender tanto iniciantes quanto estudantes com conhecimentos prévios em eletrônica.

Para fins de comparação e avaliação do nível de dificuldade, um mesmo circuito foi replicado utilizando diferentes métodos de fabricação. Todas as etapas realizadas foram registradas e organizadas no manual desenvolvido neste trabalho. Técnicas mais avançadas, como a Imagem Direta a Laser (*Laser Direct Imaging* – LDI) e a fotolitografia industrial, não foram abordadas devido à maior complexidade de implementação e aos recursos necessários para sua execução.

Assim, este trabalho concentrou seus estudos em três técnicas mais acessíveis. A primeira consiste na montagem do circuito em uma placa perfurada. A segunda utiliza uma máquina CNC para a fabricação da placa projetada. Por fim, a terceira emprega tinta fotossensível para a revelação do circuito na placa, sendo conhecida como método fotográfico ou fotolitografia caseira.

As três técnicas foram aplicadas ao mesmo circuito, possibilitando a comparação entre os métodos quanto ao grau de dificuldade e aos resultados obtidos, além de subsidiar a elaboração do manual proposto. Para a compreensão do processo de desenvolvimento de uma PCI, foi selecionado um circuito simples, composto por apenas três componentes, apresentado na figura 4. Algumas adaptações foram realizadas no projeto original, substituindo a bateria por um conector e acrescentando uma chave liga-desliga, transformando o circuito em uma pequena lanterna funcional.

O circuito foi escolhido devido à sua simplicidade e ao reduzido número de componentes, facilitando o entendimento do software utilizado no projeto. Além disso, com o objetivo de comparar diferentes ferramentas para desenvolvimento de placas de circuito impresso, o mesmo circuito foi projetado nos softwares EAGLE e EasyEDA.

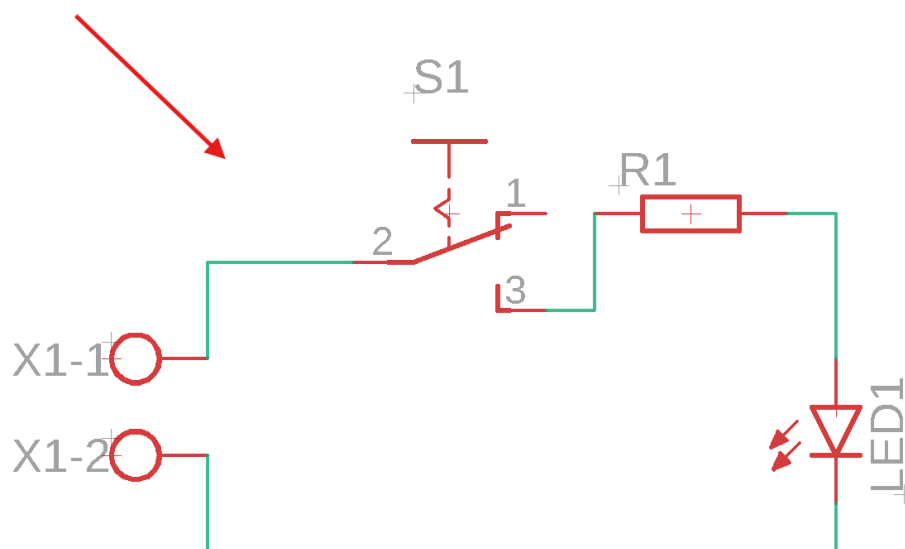
O EAGLE foi utilizado para o desenvolvimento inicial do esquemático e do layout da PCI, enquanto o EasyEDA foi empregado como alternativa de projeto, permitindo a análise das funcionalidades e recursos oferecidos por cada plataforma. Como diferencial, o EasyEDA

dispõe de uma versão online, possibilitando o desenvolvimento de projetos sem a necessidade de instalação de software no computador.

3.1 Projeto da PCI utilizando o EAGLE

A metodologia adotada para a elaboração do manual consistiu na descrição detalhada do processo de projeto do layout da placa de circuito impresso (PCI). O manual apresenta, de forma sequencial, as etapas necessárias para a construção do esquemático do circuito apresentado na figura 4. Para facilitar o acompanhamento do procedimento, cada etapa é ilustrada por figuras de referência que auxiliam o usuário durante a execução das atividades. Ao final dessa etapa, o esquemático obtido apresenta configuração semelhante à mostrada na figura 27, desenvolvida no software EAGLE.

Figura 27 - Esquemático Final



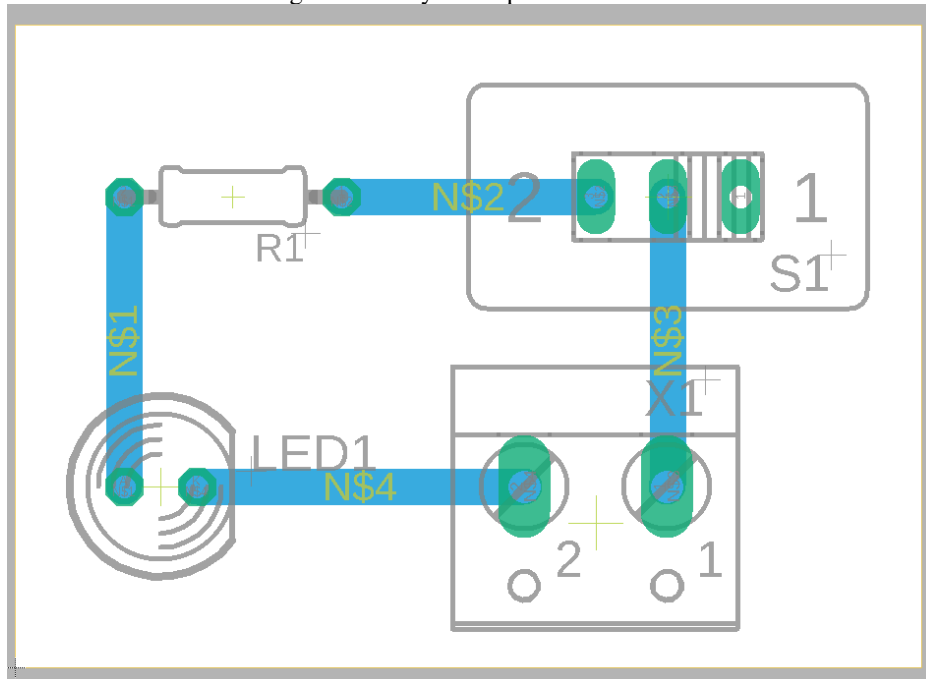
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

É importante ressaltar que, ao longo do manual, foram inseridas notas destacadas denominadas “Dica de Especialista”, as quais representam contribuições da autora com base em sua experiência na área. Essas observações têm como objetivo evitar erros que possam comprometer o projeto da PCI e que, se ignorados, podem levar o projetista a refazer a placa.

Na segunda etapa, seguindo o passo a passo descrito no manual, o projetista utiliza o esquemático finalizado para gerar o *board*, que corresponde à representação física da placa. Nessa etapa, os componentes devem ser posicionados na área útil do software, sendo posteriormente realizado o roteamento das trilhas e a definição das dimensões da placa.

Considerando o procedimento descrito no manual, o layout final da PCI apresenta resultado semelhante ao mostrado na figura 28.

Figura 28 - Layout da placa finalizado



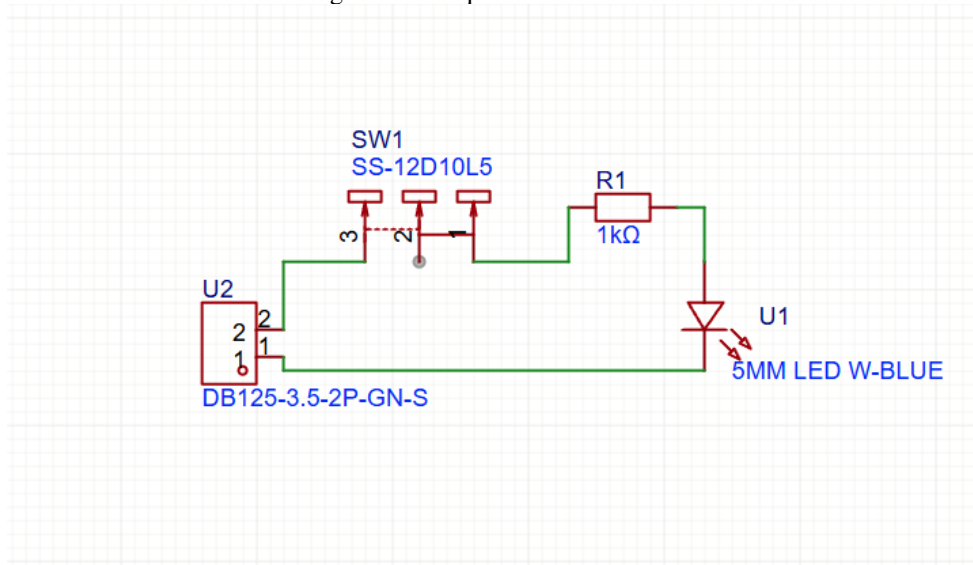
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

Para o desenvolvimento do layout da PCI, o projetista deve seguir as boas práticas recomendadas no manual, como o dimensionamento adequado da largura das trilhas, o correto posicionamento dos componentes e outros critérios de projeto, a fim de evitar erros durante a fabricação da placa. A escolha de um circuito simples para este manual foi de extrema importância, pois muitos dos problemas encontrados por iniciantes estão relacionados a erros básicos de projeto, que podem comprometer o funcionamento da PCI.

3.2 Projeto da PCI utilizando o EasyEDA

No EasyEDA, o processo de desenvolvimento da PCI segue uma lógica semelhante à utilizada no EAGLE, abrangendo a criação do esquemático e, posteriormente, do layout da placa. As diferenças observadas concentram-se principalmente na interface gráfica, na organização das ferramentas e na disponibilidade de recursos específicos de cada plataforma. Seguindo as etapas descritas no manual, o usuário obterá um esquemático semelhante ao apresentado na figura 29.

Figura 29 - Esquemático finalizado

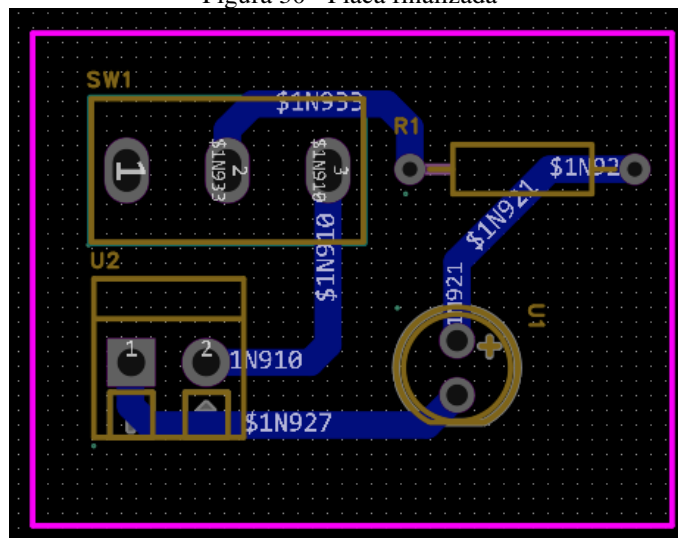


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Dando continuidade aos procedimentos descritos no manual, o esquemático elaborado é utilizado para a geração do layout da placa, cujo resultado apresenta configuração semelhante à mostrada na figura 30.

No EasyEDA, a organização das bibliotecas de componentes difere daquela encontrada no EAGLE, uma vez que se trata de softwares distintos. Dessa forma, alguns componentes podem estar disponíveis em um software e não no outro. Nesses casos, existe a possibilidade de criar bibliotecas personalizadas, incluindo o símbolo esquemático e o *footprint* do componente. Entretanto, para usuários iniciantes, recomenda-se a utilização de bibliotecas já disponíveis nos programas, devido à menor complexidade de implementação.

Figura 30 - Placa finalizada



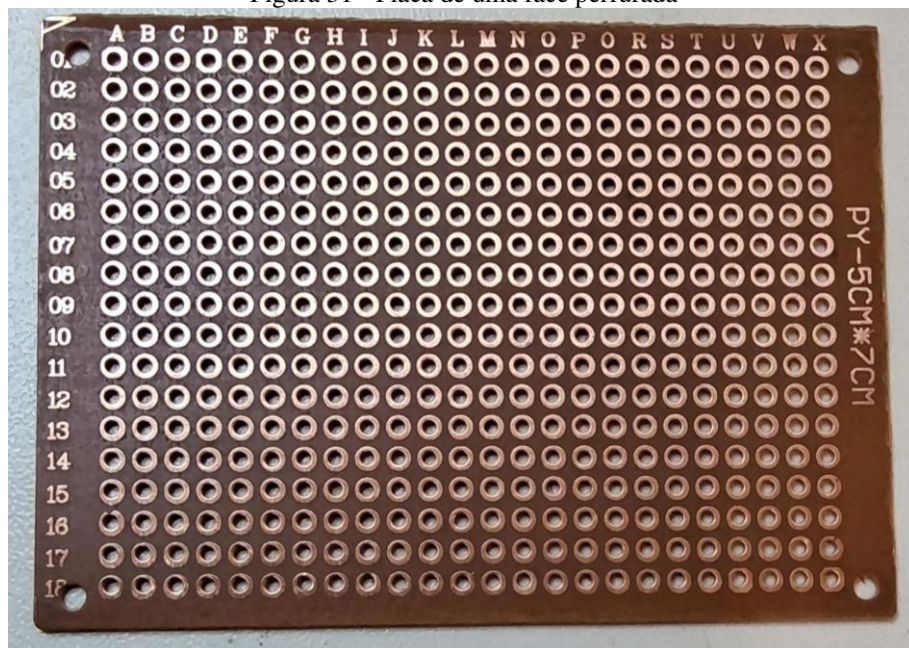
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

3.3 Aplicação da técnica de PCI em placas perfuradas

A primeira técnica reproduzida no manual foi a montagem do circuito em placas perfuradas, utilizando o circuito apresentado na figura 4. As placas perfuradas são pré-fabricadas e podem ser adquiridas no mercado em diferentes tamanhos e configurações. O principal ponto positivo dessa técnica é a dispensa da utilização de softwares para o projeto da PCI. Conforme apresentado na figura 31, as placas perfuradas, também conhecidas como placas ilhadas, possuem diversos furos com *pads* metálicos ao seu redor. Dependendo do modelo escolhido, podem ser encontradas versões de uma ou duas faces, fabricadas em material fenólico (fenolite) ou em FR4 (fibra de vidro).

Nesse método, as conexões elétricas são realizadas por meio do preenchimento dos *pads* com solda, interligando os terminais dos componentes de acordo com o circuito proposto. Seguindo os procedimentos descritos no manual, foi possível reproduzir o circuito apresentado na figura 4 utilizando essa técnica.

Figura 31 - Placa de uma face perfurada

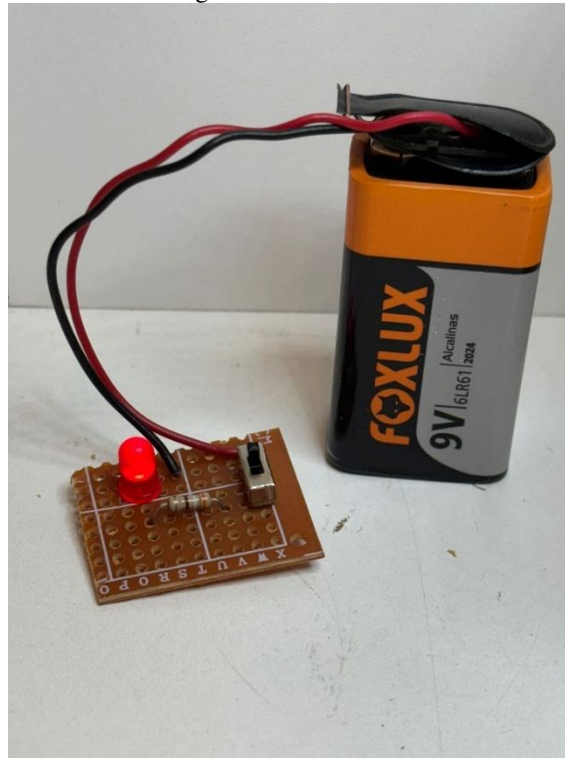


Fonte: Elaborado pela autora

Ao seguir os procedimentos descritos no manual, a placa final obtida apresentará resultado semelhante ao mostrado na figura 32. Observa-se, a partir dos procedimentos descritos no manual, que essa técnica é adequada para a montagem do circuito utilizado neste trabalho, uma vez que se trata de um projeto simples, composto por poucos componentes e conexões. Entretanto, para circuitos mais complexos, com maior quantidade de componentes

ou que utilizem placas de dupla face, a montagem em placas perfuradas tende a apresentar um grau de dificuldade mais elevado, especialmente para usuários com pouca experiência.

Figura 32 - Placa final



Fonte: Elaborado pela autora

Circuitos mais elaborados, como o apresentado na figura 22, podem ser implementados utilizando placas perfuradas. Contudo, a execução torna-se mais trabalhosa devido ao aumento do número de conexões e à necessidade de planejamento da montagem. Nesses casos, técnicas que utilizam placas com trilhas previamente definidas, como a fabricação por CNC, podem simplificar o processo de construção da PCI.

3.4 Aplicação da técnica de PCI em CNC

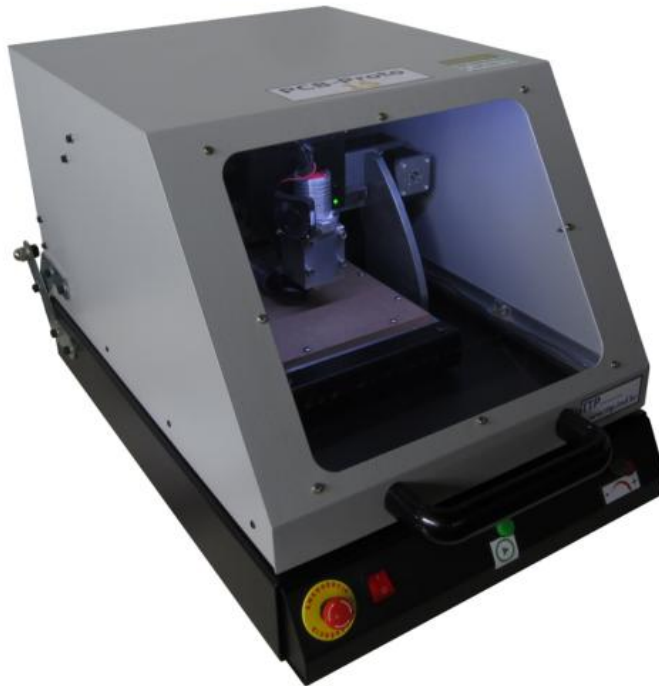
O manual também descreve o método de fabricação de placas de circuito impresso por meio de uma máquina CNC. Esse processo é iniciado após a conclusão do layout da PCI e a geração dos arquivos necessários para a fabricação da placa, normalmente no formato Gerber. Para a fabricação da placa referente ao circuito da figura 4, foi utilizada a fresadora CNC PCB-Proto 1S da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas.

De acordo com a TTP Indústria Mecânica Ltda. (s.d.), fabricante do equipamento, a máquina, representada pela figura 33, possui área útil de usinagem de até 150 mm × 200 mm, resolução de 0,005 mm nos eixos X e Y, capacidade para fabricação de placas de circuito

impresso de dupla face e processamento de materiais como FR4, fenolite, circuitos flexíveis e estênceis. Além disso, possibilita a produção de trilhas com largura mínima de 8 mils.

Dessa forma, observa-se que o equipamento apresenta características adequadas para a fabricação de placas de circuito impresso utilizadas em projetos acadêmicos e profissionais de diferentes níveis de complexidade.

Figura 33 - Fresadora CNC para prototipagem de PCB, modelo Proto 1S



Fonte: TTP Indústria Mecânica Ltda. (s.d.).

Após a etapa de desenvolvimento da placa no software, o manual descreve o procedimento para geração dos arquivos necessários à fabricação da PCI. No caso do EAGLE, os arquivos Gerber são gerados automaticamente pelo software, permitindo sua utilização no processo de fabricação da placa. Após a geração dos arquivos, o manual orienta o usuário a salvá-los e encaminhá-los para a confecção da PCI na fresadora CNC. Seguindo os procedimentos descritos, as placas produzidas a partir do layout desenvolvido no EAGLE apresentam resultado semelhante ao mostrado na figura 34.

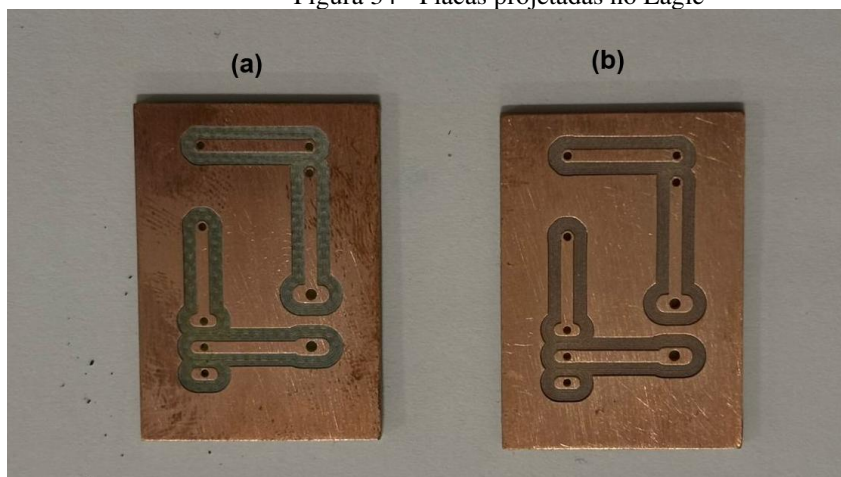
O resultado da fabricação por CNC apresentado na figura 34 está dividido em: (a) placa confeccionada em substrato FR4 e (b) placa confeccionada em fenolite. O manual também descreve o procedimento para geração dos arquivos Gerber no EasyEDA, indicando onde esses arquivos são exportados e armazenados.

O software gera automaticamente um arquivo compactado (.zip), sendo necessário apenas que o usuário realize o salvamento em seu computador. Antes da geração dos arquivos,

o EasyEDA permite a execução do DRC (*Design Rule Check*), ferramenta utilizada para a verificação de possíveis inconsistências no layout da PCI. Após essa verificação, os arquivos Gerber podem ser gerados e utilizados no processo de fabricação da placa. Posteriormente, os arquivos de projeto gerados no EasyEDA são encaminhados para a fabricação das placas.

Neste trabalho, os arquivos Gerber foram entregues aos técnicos da Universidade Federal de Uberlândia para a execução da usinagem na fresadora CNC. O resultado da fabricação por CNC utilizando o projeto desenvolvido no EasyEDA está apresentado na Figura 35, sendo: (a) a placa confeccionada em substrato FR4 e (b) a placa confeccionada em fenolite.

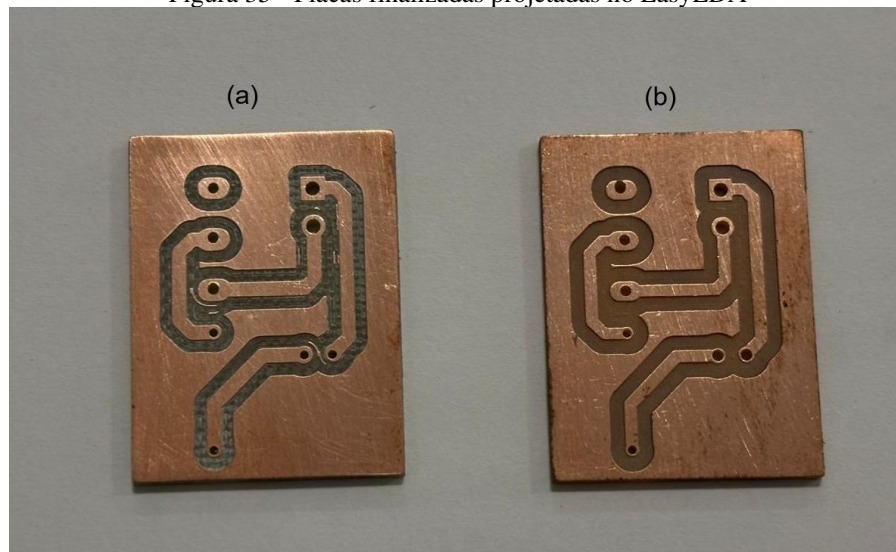
Figura 34 - Placas projetadas no Eagle



Fonte: Elaborado pela autora

Caso o usuário do manual opte pela fabricação da PCI por meio de uma fresadora CNC, observará que a maior parte do trabalho está concentrada na etapa de projeto do layout da placa. Diferentemente da montagem em placas perfuradas, a usinagem das trilhas é executada automaticamente pela máquina, proporcionando maior precisão e reduzindo o esforço manual necessário durante a fabricação.

Figura 35 - Placas finalizadas projetadas no EasyEDA



Fonte: Elaborado pela autora.

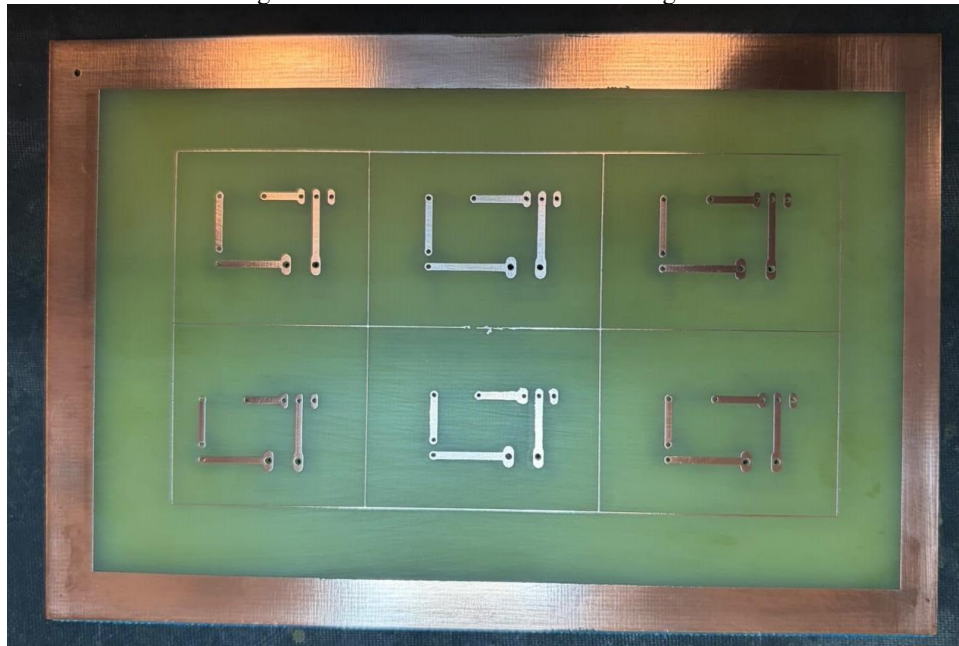
3.5 Aplicação da técnica de PCI pelo método fotográfico

No manual também foi aplicada a técnica de fabricação de PCI pelo método fotográfico utilizando o circuito apresentado na figura 4. Para facilitar a execução dessa técnica, foi confeccionada uma placa contendo seis cópias do circuito projetado no software EAGLE. Essa configuração permitiu a fabricação simultânea de múltiplas placas, otimizando o processo e reduzindo o desperdício de materiais durante os testes. Para isso, basta repetir os componentes do circuito e realizar as mesmas ligações elétricas apresentadas no manual.

Esse método requer maior atenção durante sua execução, pois envolve a utilização de materiais químicos e a adoção de equipamentos de proteção individual (EPIs). Além disso, falhas em etapas intermediárias podem comprometer a qualidade da placa produzida.

O manual apresenta os materiais, equipamentos e procedimentos necessários para a aplicação da técnica, incluindo o uso de lâmpada UV e tinta fotossensível. Devido à quantidade de etapas envolvidas no processo, todas as atividades foram descritas de forma detalhada, permitindo que o usuário acompanhe a fabricação da placa de maneira organizada. Seguindo os procedimentos descritos no manual, o usuário obterá uma placa semelhante à apresentada na figura 36.

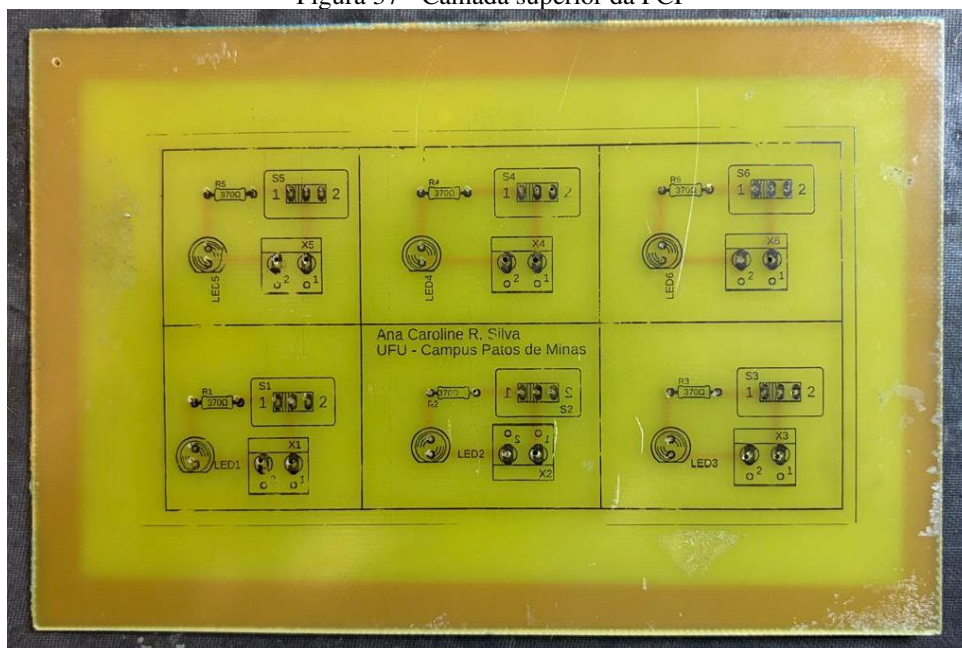
Figura 36 - Placas feitas no método fotográfico



Fonte: Elaborado pela autora.

Para as placas fabricadas pelo método fotográfico, também foi utilizado papel transfer específico para a transposição da identificação dos componentes da camada superior (*Top Overlay*) da placa. Essa técnica permite transferir para a PCI a representação dos componentes, auxiliando no posicionamento correto durante a montagem e reduzindo a possibilidade de erros no processo de soldagem. A aplicação desse procedimento está ilustrada na figura 37.

Figura 37 - Camada superior da PCI



Fonte: Elaborado pela autora.

Para que o método de fotolitografia pudesse ser executado de forma segura e eficiente, minimizando a exposição do projetista à radiação ultravioleta, foi desenvolvido um expositor UV utilizando componentes reaproveitados de sucata de uma impressora, conforme apresentado na figura 38.

Figura 38 - Expositora de Luz UV



Fonte: Elaborado pela autora.

O equipamento foi projetado para proporcionar uma exposição uniforme da placa fotossensível durante o processo de transferência do circuito. Após sua construção, o expositor foi disponibilizado ao laboratório da universidade como uma contribuição da autora, permitindo sua utilização por estudantes e demais usuários em atividades relacionadas à fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI).

3.6 Desenvolvimento do manual

Após a realização dos estudos teóricos e práticos, foi desenvolvido um manual didático com o objetivo de orientar iniciantes no projeto e na fabricação de placas de circuito impresso. O manual foi estruturado de forma sequencial, apresentando instruções passo a passo, imagens ilustrativas e observações baseadas na experiência adquirida durante o desenvolvimento deste trabalho. Para a organização visual e diagramação do material, foi utilizada a plataforma Canva, que possibilitou a inserção de textos, figuras e elementos gráficos de apoio ao conteúdo. Ao final de sua elaboração, o manual foi disponibilizado em formato digital para consulta e utilização pelos interessados. O manual didático desenvolvido neste trabalho é apresentado na íntegra no **Apêndice A**, constituindo o produto desta pesquisa. [OBJ]

CAPÍTULO 4

Resultados e discussões

4.1 Desenvolvimento do manual

O desenvolvimento do manual didático, voltado a iniciantes, foi concentrado em desmistificar o processo de projeto e fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI), apresentando-o de forma organizada e acessível. Inicialmente, são abordados conceitos de eletrônica básica, essenciais para a compreensão das etapas seguintes, até a fase de verificação do projeto por meio de um checklist. O objetivo é proporcionar ao leitor uma compreensão gradual de cada etapa do desenvolvimento da PCI.

Com o intuito de apresentar a sequência lógica do processo, o manual demonstra que o desenvolvimento de uma PCI não se resume apenas à elaboração do layout em um software. Antes dessa etapa, é necessário compreender conceitos fundamentais que influenciam diretamente a qualidade do projeto e aumentam as chances de sucesso na fabricação da placa. O manual utiliza ilustrações ao longo de todo o conteúdo para facilitar a compreensão dos conceitos apresentados. Como forma de introduzir o leitor ao processo de projeto, é desenvolvido um circuito eletrônico simples em dois softwares distintos, permitindo a comparação entre as ferramentas e demonstrando que ambas podem ser utilizadas para alcançar o mesmo resultado.

Além disso, o manual contém caixas de destaque denominadas "**Dicas do Especialista**", nas quais são apresentadas recomendações baseadas na experiência prática adquirida pela autora durante o acompanhamento de estudantes no laboratório. Essas orientações têm como objetivo alertar o leitor sobre erros frequentes e boas práticas, contribuindo para a redução de falhas durante o desenvolvimento do projeto. Por fim, a placa desenvolvida é fabricada por meio de três métodos acessíveis, descritos em um procedimento passo a passo, permitindo ao leitor conhecer diferentes alternativas para a confecção de Placas de Circuito Impresso.

Como resultado, foi desenvolvido um manual didático em formato digital contendo 89 páginas, organizadas em 12 capítulos. O material reúne 135 figuras, compostas principalmente por fotografias obtidas durante a execução dos experimentos e dos processos de fabricação das placas, além de ilustrações e imagens explicativas que auxiliam na compreensão do conteúdo. A Figura 39 apresenta a capa do manual desenvolvido como produto deste Projeto de Final de Curso.

Figura 39 - Capa do manual



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 Aplicação das técnicas de fabricação

Após o desenvolvimento do circuito básico nos softwares EasyEDA e EAGLE, o manual apresenta o processo de fabricação da placa utilizando três técnicas acessíveis a iniciantes: placa perfurada, usinagem por máquina CNC e método fotográfico (fotolitografia). Cada técnica é apresentada em formato passo a passo, descrevendo os materiais necessários, os procedimentos de execução e o resultado esperado. Com o objetivo de facilitar a aprendizagem, o manual ilustra todas as etapas do processo por meio de fotografias obtidas durante a fabricação das placas, permitindo ao leitor acompanhar visualmente cada procedimento. Ao final de cada técnica, são apresentados os resultados obtidos, possibilitando uma comparação entre os métodos quanto ao tempo de fabricação, à qualidade final da placa e à sua aplicabilidade para diferentes situações.

4.3 Comparação entres os métodos

Comparação entre os métodos de fabricação de PCI, incluindo a estimativa de custos dos materiais, com base em preços pesquisados em 24 de julho de 2026, para a confecção da placa do circuito apresentado no manual.

Tabela 4 - Comparação entre métodos de fabricação acessíveis

Método	Custo relativo	Facilidade	Qualidade das trilhas	Tempo de fabricação	Custo dos materiais	Aplicação
Placa perfurada	baixo	fácil	baixa	1 a 3 horas	R\$50,00	Placas simples e testes rápidos
CNC	médio	fácil	boa	1 a 2 horas	R\$90,00	Placas de maior precisão
Fotolitografia	Alto	difícil	alta	15 dias	R\$279,42	Placas com maior detalhamento

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre as três técnicas de fabricação avaliadas, a que apresentou melhor qualidade em termos de definição das trilhas foi o método fotográfico. Quando executado corretamente, especialmente nas etapas de aplicação da tinta fotossensível, exposição à luz UV e revelação, esse método proporciona placas com excelente acabamento e elevada precisão. Entretanto,

demanda maior quantidade de materiais, maior tempo de execução e maior atenção durante o processo.

O método das placas perfuradas mostrou-se a alternativa mais acessível, tanto pelo baixo custo quanto pela simplicidade dos materiais empregados. No entanto, exige que o projetista possua um bom entendimento do esquemático elétrico e das interligações do circuito, uma vez que todas as conexões são realizadas manualmente. Por sua vez, a fabricação por máquina CNC demonstrou ser a técnica de execução mais simples para iniciantes que tenham acesso ao equipamento, pois o processo de usinagem é realizado automaticamente a partir do arquivo do projeto, restando ao usuário apenas a montagem e a soldagem dos componentes. Contudo, o acesso a esse tipo de equipamento ainda é restrito em muitos laboratórios e instituições de ensino.

Dessa forma, para quem está iniciando e não dispõe de uma máquina CNC, as placas perfuradas representam uma excelente alternativa para compreender os conceitos básicos de montagem eletrônica. À medida que os projetos se tornam mais complexos, o método fotográfico passa a ser uma opção mais adequada, por permitir maior precisão na fabricação das placas, embora exija maior cuidado durante sua execução. Além disso, é fundamental que o projeto seja previamente verificado, principalmente quanto à associação correta entre os símbolos esquemáticos e seus respectivos *footprints*, pois erros nessa etapa podem comprometer a fabricação da placa e aumentar significativamente o tempo necessário para sua correção.

4.4 Dificuldades encontradas

A tabela 5 apresenta as principais dificuldades observadas durante a aplicação das três técnicas de fabricação de placas de circuito impresso. De modo geral, verificou-se que a placa perfurada apresenta baixo custo e simplicidade, porém limita a qualidade do acabamento. A fabricação por CNC oferece elevada precisão e facilidade de execução, entretanto depende da disponibilidade do equipamento. Já o método fotográfico exige maior investimento em materiais, tempo e experiência do projetista, mas proporcionou o melhor resultado quanto à definição das trilhas e ao acabamento da placa.

Tabela 5 - Principais dificuldades dos métodos de fabricação

Método	Dificuldades encontradas
Placa perfurada	• Tempo de aprendizado do software não é necessário, porém exige boa compreensão do esquemático e das interligações do circuito.

	• Dificuldade em manter os componentes fixos durante a soldagem devido ao diâmetro dos furos. • Necessidade de soldar um terminal inicialmente para fixação do componente. • As trilhas não podem ser feitas apenas com estanho, sendo necessário utilizar os próprios terminais dos componentes como condutores. • Acabamento visual inferior em comparação às demais técnicas. • Em placas de fenolite, os <i>pads</i> podem se desprender durante retrabalhos de soldagem. • Em projetos com muitos componentes, a montagem torna-se trabalhosa e aumenta a possibilidade de erros nas interligações.
CNC	• Requer tempo de aprendizado do software de projeto e da operação da máquina CNC. • Disponibilidade limitada do equipamento. • A qualidade final depende da resolução da máquina e do estado das brocas. • Remoção do substrato da placa durante a usinagem, podendo influenciar aplicações em alta frequência. • Limitação das dimensões máximas da placa conforme o modelo da CNC. • Geração de resíduos de cobre e substrato. • Desperdício de material quando não é possível reutilizar recortes de placas.
Fotolitografia	• Requer tempo de aprendizado do software e da própria técnica de fabricação. • Processo com maior custo de materiais. • Exige experiência para obtenção de resultados consistentes. • Processo demorado, envolvendo diversas etapas. • Utilização de produtos químicos, exigindo EPIs e ambiente adequado. • Problemas de corrosão podem comprometer a qualidade das trilhas quando há falhas na aplicação da tinta fotossensível ou no tempo de corrosão. • Erros na preparação do fotolito (espelhamento, contraste e impressão) comprometem a qualidade da placa.

	• Dificuldade no alinhamento entre a impressão da serigrafia (identificação dos componentes), os furos e as trilhas. • Após a corrosão com percloroeto de ferro, não é possível corrigir falhas no layout. • Exige maior habilidade na furação e no corte da placa. • Necessidade de fabricação de dispositivos auxiliares, como a expositora UV. • Maior geração de resíduos, como papel-toalha e produtos químicos.
--	---

Fonte: Elaborado pela autora.

CAPÍTULO 5

Conclusão

A realização deste trabalho teve como objetivo desenvolver um manual técnico didático voltado ao projeto e à fabricação de placas de circuito impresso (PCI) utilizando técnicas acessíveis. Para isso, foi realizado um estudo teórico sobre os principais conceitos relacionados ao desenvolvimento de placas eletrônicas, além da comparação entre três métodos de fabricação de baixo custo. Também foram apresentados o desenvolvimento do layout eletrônico, a fabricação prática das placas e a elaboração do manual proposto.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que a utilização de uma placa exemplo permitiu simplificar conceitos que, inicialmente, podem parecer complexos, contribuindo para desmistificar o processo de fabricação de uma PCI.

Durante a comparação entre as técnicas estudadas, observou-se que a placa perfurada é viável para circuitos simples e com poucos componentes, principalmente devido ao baixo custo e à ausência da necessidade de projetar o layout da PCI. Entretanto, sua qualidade e organização são inferiores quando comparadas aos demais métodos, sendo mais adequada para prototipagem e testes temporários.

A fabricação de PCI utilizando fresadora CNC apresentou boa precisão, especialmente devido à capacidade do equipamento disponível na UFU de produzir espaçamentos entre trilhas de até 8 mils. Apesar disso, o método exige maior nível de conhecimento técnico e maior tempo de desenvolvimento, pois requer a criação completa do layout da placa e a geração dos arquivos Gerber necessários para a leitura da máquina.

O método fotográfico mostrou-se o mais trabalhoso entre os três analisados, porém apresentou melhor acabamento. Como desvantagem, destaca-se o processo de furação manual da placa, diferentemente da fabricação por CNC, em que essa etapa ocorre de forma automatizada. Mesmo exigindo várias etapas, o método pode ser executado por iniciantes desde que os procedimentos sejam seguidos corretamente.

Os softwares Autodesk EAGLE e EasyEDA mostraram-se satisfatórios para a criação de esquemáticos e layouts de PCI, possibilitando que usuários iniciantes desenvolvam suas primeiras placas com auxílio do manual elaborado neste trabalho.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo deste trabalho foi alcançado por meio do desenvolvimento de um manual técnico didático capaz de auxiliar iniciantes no projeto e na fabricação de placas de circuito impresso utilizando técnicas acessíveis. O material elaborado

contribui para a integração entre teoria e prática no ensino de eletrônica básica, permitindo que estudantes e demais interessados compreendam conceitos relacionados a componentes eletrônicos, esquemáticos e layouts de PCI de forma organizada e gradual. Além disso, o manual e os recursos desenvolvidos durante este trabalho poderão servir como material de apoio em atividades de ensino e extensão da Universidade Federal de Uberlândia, bem como incentivar o desenvolvimento de novos projetos e estudos na área. Como continuidade deste trabalho, recomenda-se a ampliação do manual com a inclusão de técnicas mais avançadas de fabricação e montagem de placas de circuito impresso, acompanhando a evolução das tecnologias utilizadas na área.

REFERÊNCIAS

- SIERRA CIRCUITS. *DFA Handbook: Design for Assembly Handbook*. Fremont, CA: Sierra Circuits, 2022. Disponível em: <https://www.protoexpress.com>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- SHAMIEH, Cathleen. *Eletrônica para leigos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2020.
- ALMEIDA, Nival Nunes de; DUARTE, Marcelo de Almeida. *Eletrônica Analógica Básica*. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- IPC. *IPC Standards Handbook*. Bannockburn: IPC Association Connecting Electronics Industries, 2025.
- PROTOEXPRESS. *IPC J-STD-001: requisitos para soldagem*. 2017. Disponível em: <https://www.protoexpress.com/blog/ipc-j-std-001-standard-soldering-requirements/>. Acesso em: 19 maio 2026.
- BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2013.
- USINAINFO. Diodo. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/diodo-448>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- BARRIO, Ricardo Antonio Martin; SANTOS, Antonio Colmenar; BENITO, Francisco Javier Braojos. *Manual do eletricitista 3: Consertos de eletrodomésticos e eletrônica básica*. Supervisão técnico-científica de Walter Issamu Suemitsu. Tradução de Mônica Nehr. Copy-desk de Heloisa Portes. Brasil: Editora Vergara Brasil, 2006.
- WIKIPÉDIA. Diodo emissor de luz. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_emissor_de_luz. Acesso em: 15 jul. 2025.
- FREEPIK. LED e resistor em série ligados a uma bateria de 9V — circuito elétrico simples — aulas de física [imagem]. Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/led-e-resistor-em-serie-ligados-a-uma-bateria-de-9v-circuito-eletrico-simples-aulas-de-fisica_36952205.htm. Acesso em: 15 jul. 2025. Imagem editada pelo autor.
- BRASIL ESCOLA. Capacitores. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/capacitores.htm>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- ORIENT DISPLAY. Different types of PCB. Disponível em: <https://www.orientdisplay.com/pt/knowledge-base/pcb-basics/different-types-of-pcb/>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- FENG, Ross. Erros comuns no projeto de PCB e como evitá-los. Viasion Technology Co., Ltd., [2023]. Disponível em: <https://www.viasion.com/pt/common-pcb-design-mistakes-and-how-to-avoid-them/>. Acesso em: 23 jul. 2025. (Texto adaptado).
- Microwave Engineering*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- JONES, David L. *PCB Design Tutorial*. Revision A — June 29th 2004. Disponível em: <http://www.alternatezone.com/electronics/pcbdesign.htm>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- RIPPEL, Jörg. *PCB-Design: 101 tips and tricks*. 2. ed. [E-book]. [S. l.]: Jörg Rippel, 2023. Disponível em: Amazon Kindle Store. Acesso em: 20 maio 2026.

JLPCB. *Material Base da JLCPCB*. Disponível em: <https://jlcpcb.com/pt/help/article/jlcpcb-base-material>. Acesso em: 19 maio 2026.

PROTO EXPRESS. **IPC-2221 vs. IPC-2152: New Standards for Circuit Board Design**. Proto Express Blog, 2024. Disponível em: <https://www.protoexpress.com/blog/ipc-2221-circuit-board-design/>. Acesso em: 19 maio 2026.

SIERRA CIRCUITS. *High-Speed PCB Design Guide*. Sunnyvale, CA: Sierra Circuits, 2023. Disponível em: <https://www.protoexpress.com/resources/high-speed-pcb-design-guide/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

BRAGA, Newton C. Curso de eletrônica: conceitos básicos de eletrônica. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2012.

AUTODESK. EAGLE PCB Design Software. 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/eagle>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ALTIVUM. Altium Designer Overview. 2023. Disponível em: <https://www.altium.com/altium-designer>. Acesso em: 23 jul. 2025.

KICAD. KiCad EDA – A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite. 2023. Disponível em: <https://www.kicad.org>. Acesso em: 23 jul. 2025.

EASYEDA. *Introduction to EasyEDA*. Disponível em: <https://docs.easyeda.com/en/Introduction/Introduction-to-EasyEDA/>. Acesso em: 20 maio 2026.

MOKO TECHNOLOGY. *Desmistificando a fabricação de PCB: Um guia abrangente*. Disponível em: <https://www.mokotechnology.com/pt/pcb-fabrication/>. Acesso em: 1 ago. 2025.

PROTOEXPRESS. Laser direct imaging: Sharp and precise technology. Disponível em: <https://www.protoexpress.com/blog/laser-direct-imaging-sharp-precise-technology>. Acesso em: 6 ago. 2025.

EMBARCADOS. *Guia completo sobre estações de solda: tudo o que você precisa saber*. Disponível em: <https://embarcados.com.br/guia-completo-sobre-estacoes-de-solda-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 6 maio 2026.

APPLIED PHYSICS CORPORATION. Compreendendo a fotolitografia na fabricação de semicondutores. Applied Physics Corp., 2 dez. 2024. Disponível em: <https://pt.appliedphysicsusa.com/Blogs/not%C3%ADcia/Compreendendo-a-fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-semicondutores-por-fotolitografia>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RAYPCB. *What is LPI PCB (Liquid Photo-imageable (LPI) solder mask?)* [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.raypcb.com/lpi-pcb/>. Acesso em: 19 maio 2026.

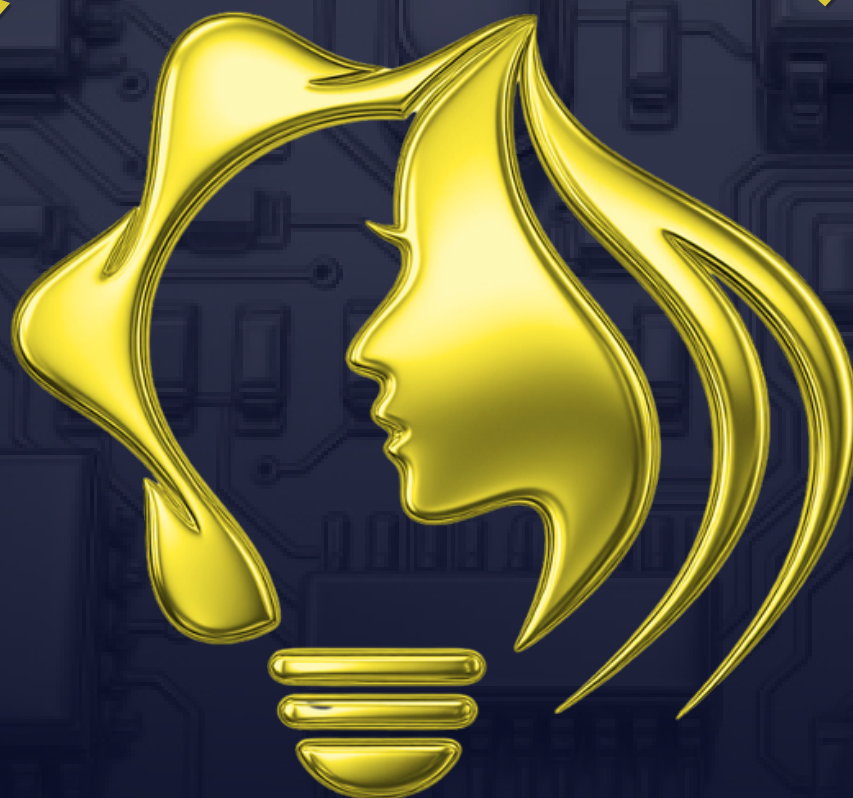
TTP INDÚSTRIA MECÂNICA LTDA. PCB-Proto 1S. Porto Alegre: TTP Indústria Mecânica Ltda., s.d. Disponível em: <https://www.ttp.ind.br/pdf/PCB-Proto%201S.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2026.

EasyEDA. *EasyEDA Tutorial Version 6.4.32*. Shenzhen: EasyEDA, [s.d.]. Disponível em: <https://easyeda.com>. Acesso em: 19 maio 2026.

CANVA. *Canva: plataforma de design gráfico*. Disponível em: <https://www.canva.com>. Acesso em: 7 jul. 2026.

APÊNDICE A – Manual Didático para Projeto e Fabricação de Placas de Circuito Impresso (PCI)

MANUAL DIDÁTICO



PARA PROJETO E FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

Autora: Ana Caroline Ribeiro Silva
Orientador: Dr. Julio César Coelho
Curso de Eng. Eletrônica e de Telecomunicações
UFU - Campus Patos de Minas

SUMÁRIO

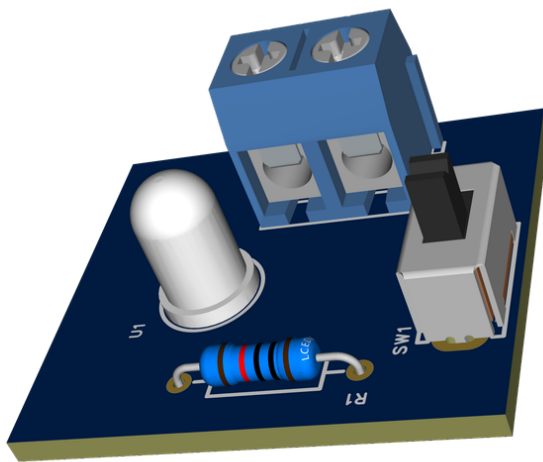
1. Introdução às Placas de Circuito Impresso.....	3
1.1 Etapas no desenvolvimento da PCI.....	5
2. Fundamentos da Eletrônica.....	7
2.1 Tensão Elétrica.....	8
2.2 Corrente Elétrica.....	8
3. Componentes e materiais mais utilizados na PCI.....	9
3.1 Principais componentes eletrônicos presentes nas PCIs.....	9
3.2 Componentes PTH e SMD.....	11
3.3 Materiais mais utilizados na fabricação das PCI.....	12
4. Principais elementos estruturais das PCI.....	13
4.1 Mas o que é um símbolo e o que é um footprint?.....	14
4.2 Principais elementos estruturais de uma PCI.....	16
5. Desenvolvimento do layout da PCI com um circuito básico.....	19
5.1 Projetando a PCI no Eagle.....	19
5.2 Projetando a PCI no EasyEDA.....	19
6. Boas práticas no projeto de PCIs.....	33
6.1 Dicas de roteamento.....	48
6.2 Largura de trilhas.....	49
6.3 Erros comuns no desenvolvimento de PCIs.....	50
6.4 Problemas comuns encontrados por iniciantes.....	51
6.5 Norma IPC.....	52
7. Métodos de fabricação de PCIs acessíveis.....	53
7.1 Placas perfuradas.....	53
7.2 Fotolitografia ou método fotografico caseiro.....	53
7.3 Fresa CNC (Controle Numérico Computadorizado).....	53
8. Fabricação da PCI com o layout projetado no Eagle e no EasyEDA.....	54
8.1 Placas perfuradas.....	54
8.1.1 Materiais utilizados no método com placas perfuradas.....	54
8.1.2 Passo a passo do método de fabricação com placas perfuradas.....	55
8.2 CNC.....	59
8.2.1 Materiais utilizados no método de fabricação com CNC.....	59
8.2.2 Passo a passo do método de fabricação com CNC.....	60
8.3 Fotolitografia ou método fotográfico.....	66
8.3.1 Materiais utilizados no método de fabricação do método fotográfico.....	66
8.3.2 Passo a passo do método de fabricação com o método fotográfico.....	67
9. Requisitos de soldagem padrão IPC.....	81
9.1 Passo a passo para soldar componentes PTH.....	83
10. Checklist.....	87
11. Conclusão.....	88
12. Referências.....	89



1. INTRODUÇÃO ÀS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

No contexto da eletrônica moderna, as placas de circuito impresso (PCIs), apresentada pela figura 1, desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos, sendo responsáveis pela interligação dos componentes que compõem os circuitos. O design de PCI é uma parte essencial do desenvolvimento de qualquer dispositivo eletrônico. Ele define a organização física e elétrica dos componentes, a rota das conexões elétricas e muitas outras características do circuito. Um bom design de PCI pode melhorar a performance do circuito, reduzir o custo de produção e aumentar a durabilidade e confiabilidade do dispositivo (JONES, 2004).

Figura 1 - Placa de Circuito Impresso

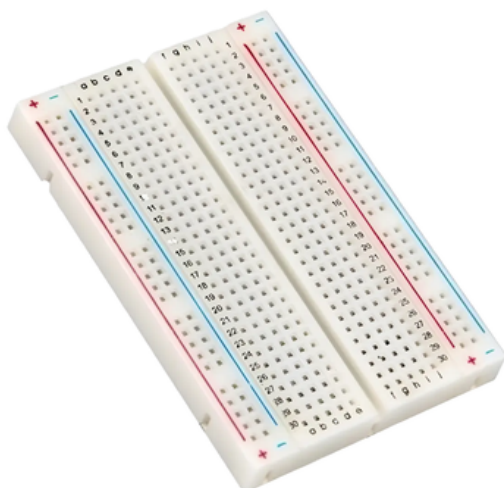


PCI

Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

Antes que qualquer circuito seja projetado para virar uma PCI, ele foi testado em simulação e montado em uma protoboard. A protoboard ou matriz de contatos, mostrada pela figura 2, por sua vez, é uma placa com furos usada para montar e testar circuitos eletrônicos, serve apenas por um período curto. Necessitando de uma placa de circuito impresso para melhor desempenho e confiabilidade.

Figura 2 - Protoboard



Protoboard

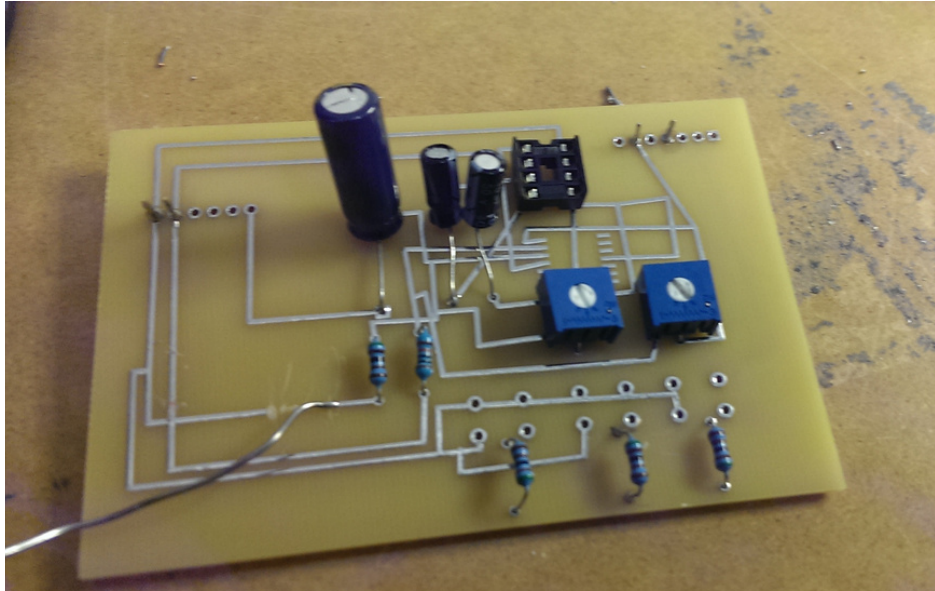
Fonte: Mercado Livre (2026).



Cada projeto pode ser aprimorado. A aplicação de boas práticas contribui para layouts mais organizados, facilitando a fabricação, a montagem e a manutenção da PCI.

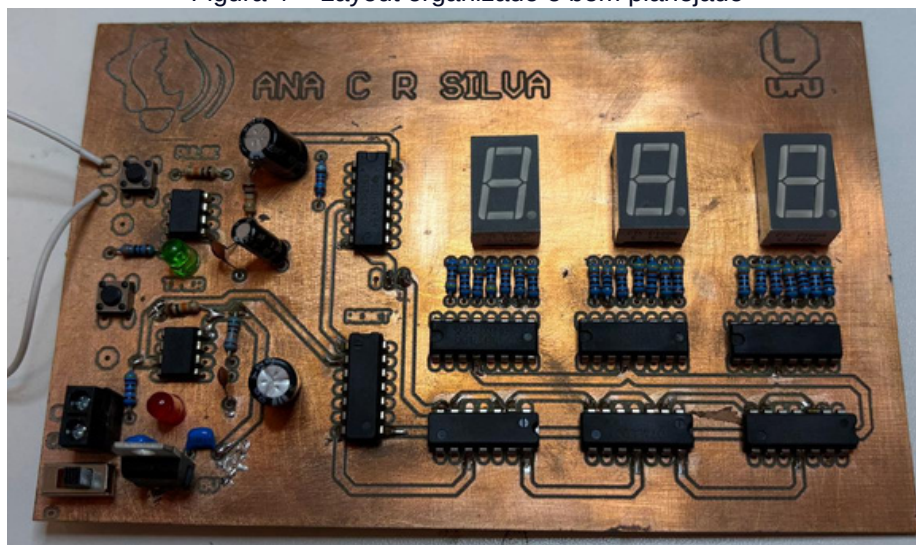
Observe as diferenças entre os dois layouts.

Figura 3 - Layout com menor aplicação de boas práticas



Fonte: Imgur (2026).

Figura 4 - Layout organizado e bem planejado



Fonte: Elaborado pela autora.

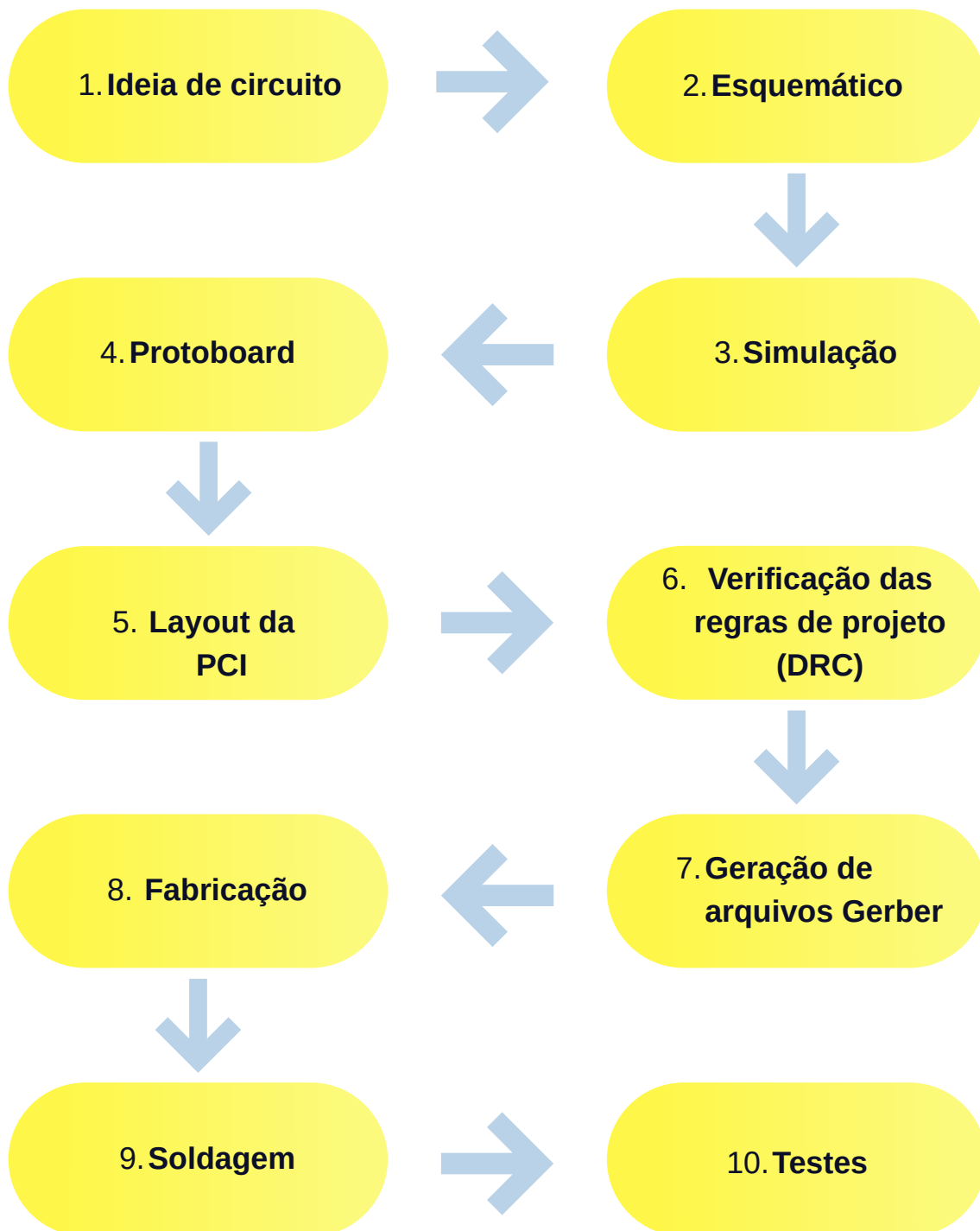
Importante: Um layout com menor organização pode funcionar corretamente. No entanto, a aplicação de boas práticas contribui para um projeto mais organizado, facilita a fabricação, a montagem e a manutenção da placa e reduz a probabilidade de erros durante o desenvolvimento.

Ao longo deste manual serão apresentadas boas práticas de projeto que contribuirão para o desenvolvimento de layouts mais organizados, confiáveis e fáceis de fabricar.



1.1 Etapas no desenvolvimento da PCI

O desenvolvimento de uma placa de circuito impresso segue uma sequência de etapas que vai desde a ideia inicial do circuito até a fabricação da placa final.



Embora algumas etapas possam variar conforme a complexidade do projeto, seguir uma sequência organizada ajuda a reduzir retrabalho, identificar erros com antecedência e aumentar as chances de sucesso na fabricação da PCI.



1. **Ideia do circuito: definição da função que o circuito deverá realizar.**
2. **Desenho do esquemático: representação do circuito utilizando símbolos eletrônicos.**
3. **Simulação: verificação do funcionamento do circuito em software antes da montagem física.**
4. **Montagem em protoboard: construção temporária do circuito para testes práticos.**
5. **Desenvolvimento do layout da PCI: posicionamento dos componentes e roteamento das trilhas na placa.**
6. **Verificação de erros (DRC): conferência automática das regras de projeto para identificar possíveis problemas.**
7. **Geração dos arquivos Gerber: criação dos arquivos necessários para a fabricação da placa.**
8. **Fabricação da PCI: produção física da placa por técnicas como placa perfurada, fotolitografia ou CNC.**
9. **Soldagem dos componentes: montagem dos componentes eletrônicos na placa fabricada.**
10. **Teste final: verificação do funcionamento do circuito montado.**

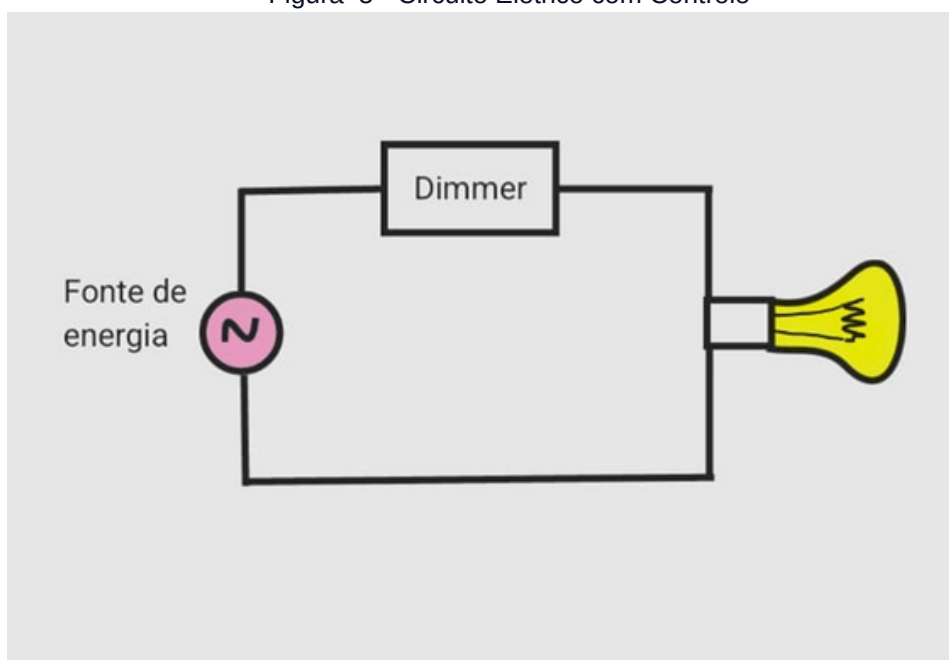


2. FUNDAMENTOS DA ELETRÔNICA

Antes de iniciar o projeto de uma placa de circuito impresso (PCI), é importante compreender alguns conceitos básicos de eletrônica. Os circuitos elétricos constituem a base dos dispositivos eletrônicos e são formados por componentes interligados que permitem a circulação de corrente elétrica.

Segundo Shamieh (2020), um circuito elétrico é um caminho fechado que permite o fluxo de energia elétrica. Quando componentes de controle, como timers ou dimmers, são adicionados ao circuito, ele passa a desempenhar funções eletrônicas além do simples fornecimento de energia. A Figura 5, apresenta um exemplo de circuito com controle eletrônico.

Figura 5 - Circuito Elétrico com Controle



Adaptado de Shamieh (2020).

Enquanto os sistemas elétricos têm como principal função fornecer energia para equipamentos, os sistemas eletrônicos utilizam essa energia de forma controlada. Por meio de componentes eletrônicos, é possível controlar a corrente elétrica, ligando-a e desligando-a, alterando sua intensidade ou direcionando seu fluxo para executar diferentes funções, desde o acionamento de LEDs até sistemas mais complexos de comunicação e automação (SHAMIEH, 2020).

Após compreender o conceito de circuito elétrico e eletrônico, é necessário conhecer duas grandezas fundamentais da eletrônica: a tensão elétrica e a corrente elétrica.



2.1 Tensão Elétrica

A tensão elétrica é a diferença de potencial responsável por impulsionar o movimento dos elétrons em um circuito. Sua unidade de medida é o volt (V). A tensão pode ser classificada em contínua (CC) ou alternada (CA). Na tensão contínua, os elétrons fluem sempre no mesmo sentido, como ocorre em pilhas e baterias. Já na tensão alternada, a polaridade varia ao longo do tempo, sendo o tipo de tensão fornecido pelas concessionárias de energia elétrica para residências e estabelecimentos comerciais (ALMEIDA; DUARTE, 2017).

2.2 Corrente Elétrica

A corrente elétrica pode ser definida como o fluxo ordenado de elétrons em um circuito, sendo medida em ampere. O controle da corrente elétrica é realizado por meio de diferentes componentes e materiais. Os materiais condutores permitem a passagem da corrente, os isolantes dificultam ou impedem sua passagem, enquanto os semicondutores possibilitam o funcionamento de componentes eletrônicos como diodos e transistores (ALMEIDA; DUARTE, 2017).

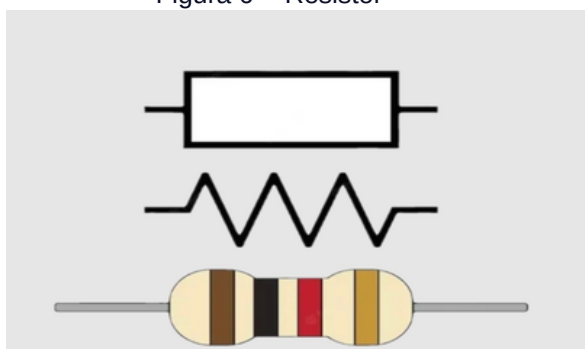


3. COMPONENTES E MATERIAIS MAIS UTILIZADOS NA PCI

3.1 Principais componentes eletrônicos presentes nas PCIs

Antes de começar a desenvolver o layout das PCIS é necessário conhecer alguns componentes responsáveis por permitir que o circuito execute a função para a qual foi desenvolvido. Entre os mais comuns, destacam-se os diodos, Leds, capacitores e etc. A seguir serão descritos brevemente, para não estender esse manual.

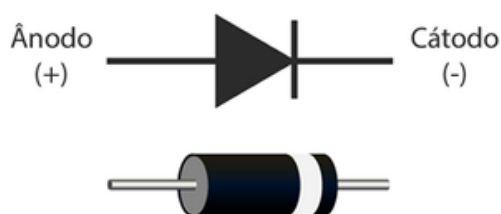
Figura 6 - Resistor



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Eletrônica System (2025).

A resistência elétrica é uma propriedade presente em diversos materiais e componentes. Já o resistor, indicado pela figura 6, é um componente eletrônico fabricado para apresentar um valor específico de resistência, sendo amplamente utilizado em placas de circuito impresso para o controle de corrente e tensão (ALMEIDA; DUARTE, 2017).

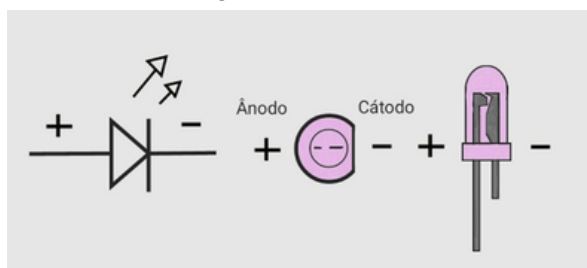
Figura 7 - Diodo



Fonte: Adaptado de UsinalInfo (2025).

O diodo, exibido na figura 7, é um componente semicondutor que permite a passagem de corrente elétrica em um sentido e a bloqueia no sentido oposto, dependendo da polarização aplicada. É um dos componentes fundamentais da eletrônica, sendo amplamente empregado em circuitos retificadores (ALMEIDA; DUARTE, 2017).

Figura 8 - LED



Fonte: Adaptado de Wikipédia (2025).

O LED (do inglês Light Emitting Diode), exposto na figura 8, é um diodo capaz de emitir luz quando percorrido por corrente elétrica. Assim como os diodos convencionais, possui dois terminais: ânodo e cátodo. A cor emitida depende dos materiais utilizados em sua fabricação, enquanto a intensidade luminosa varia de acordo com a corrente aplicada (BARRIO; SANTOS; BENITO, 2006).



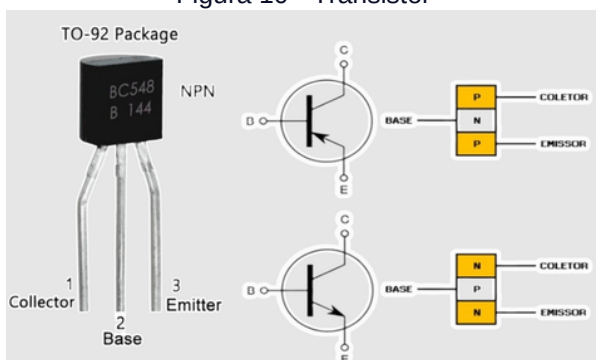
Figura 9 - Capacitor



Fonte: Adaptado de Brasil Escola (2025).

Os capacitores, observado na figura 9, são componentes eletrônicos utilizados para armazenar cargas e energia elétrica. Eles são constituídos por duas placas condutoras separadas por um material isolante denominado dielétrico, que define o tipo de capacitor (BRAGA, 2012).

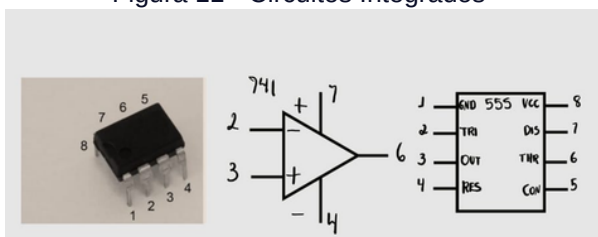
Figura 10 - Transistor



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Piauíno (2026).

O transistor bipolar, indicado na figura 10, é um componente amplamente utilizado em PCIs. Desenvolvido para substituir as válvulas eletrônicas, ele oferece menor consumo de energia e menores dimensões. Fabricado com material semiconductor dopado, possui três terminais e duas junções, sendo empregado em aplicações de amplificação e chaveamento de sinais eletrônicos (ALMEIDA; DUARTE, 2017).

Figura 11 - Circuitos Integrados



Fonte: Adaptado de Almeida; Duarte (2017).

Os circuitos integrados, observado na figura 11, são dispositivos que reúnem, em um único invólucro, diversos componentes eletrônicos e elétricos discretos (como resistores, transistores, diodos, entre outros), formando circuitos internos capazes de desempenhar uma função específica (ALMEIDA; DUARTE, 2017).



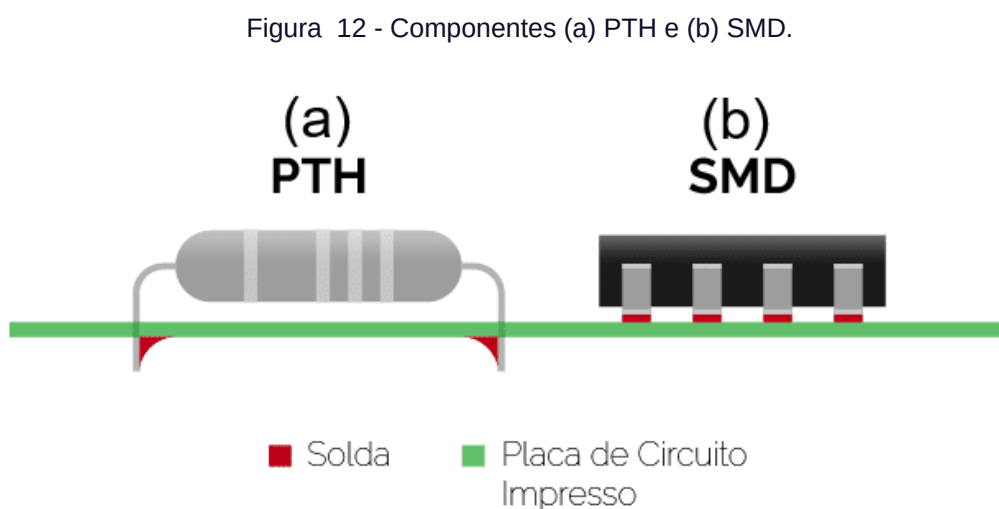
3.2 Componentes PTH e SMD

Os componentes eletrônicos podem ser classificados de acordo com a forma como são montados na placa de circuito impresso. Os dois principais tipos são os componentes PTH (*Plated Through Hole*) e os componentes SMD (*Surface Mount Device*).

Os componentes PTH são montados através de furos na placa. Seus terminais atravessam a PCI e são soldados no lado oposto. Esse tipo de componente possui maior resistência mecânica e é amplamente utilizado em projetos educacionais, protótipos e aplicações que exigem maior robustez.

Já os componentes SMD são montados diretamente sobre a superfície da placa, sem a necessidade de furos para seus terminais. Esse método permite reduzir significativamente o tamanho das placas, aumentar a densidade de componentes e facilitar a fabricação em larga escala (FALCON ELETRÔNICA, 2021).

A Figura 12(a) apresenta um exemplo de componente PTH e a Figura 12(b) um exemplo de componente SMD.



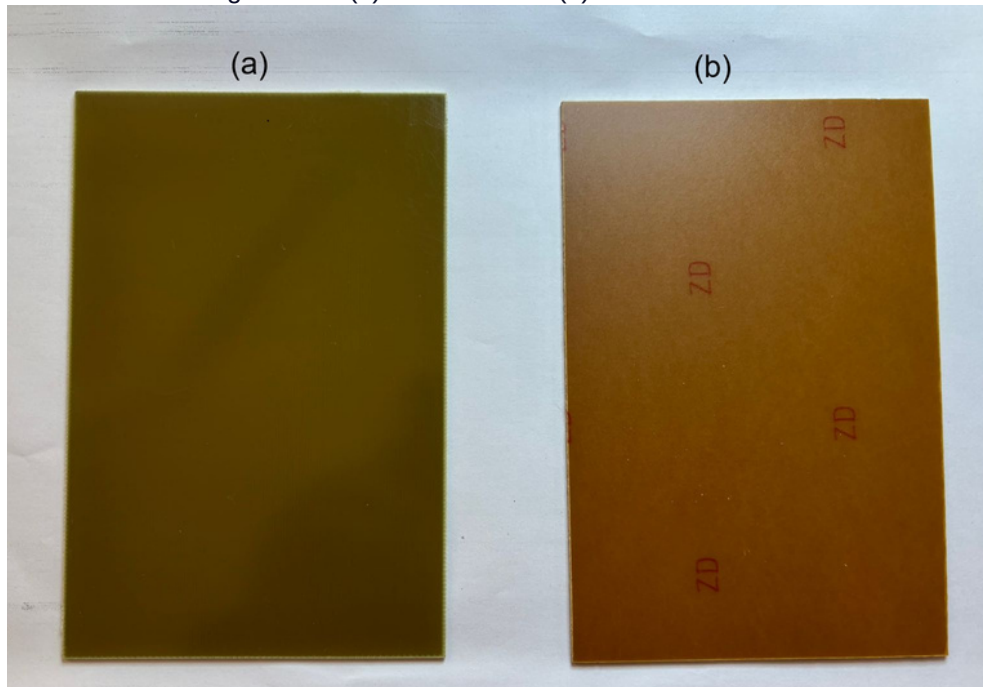
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de MakerHero (2023).



3.3 Materiais utilizados na fabricação das PCI

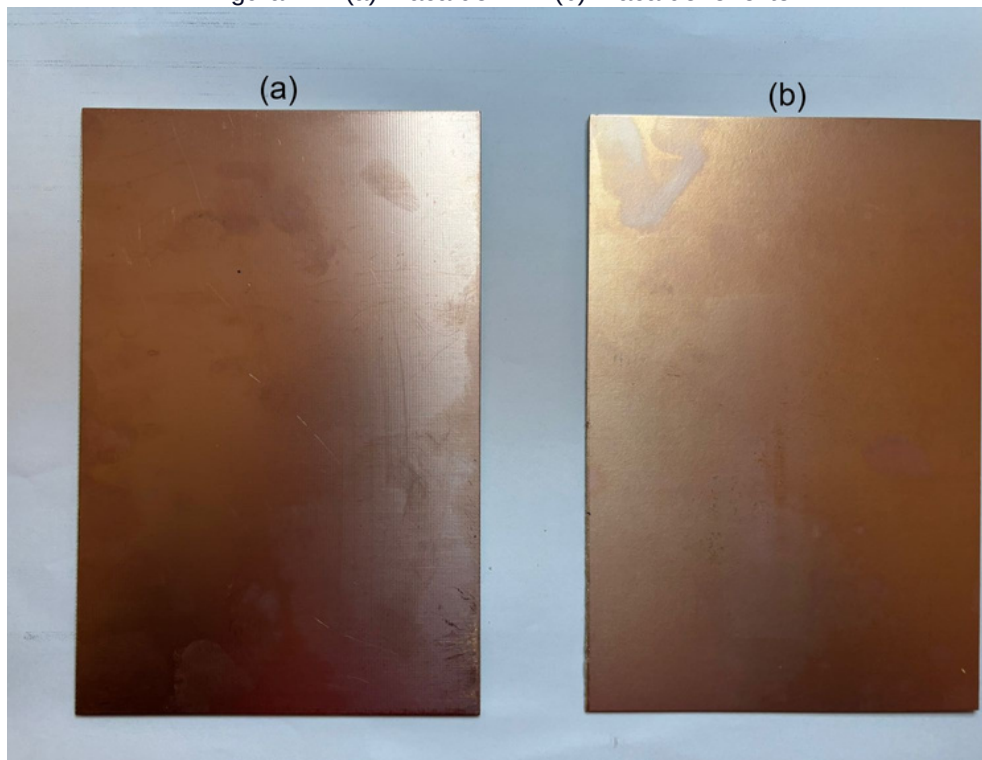
As PCIs são geralmente fabricadas em FR4, um substrato de fibra de vidro amplamente utilizado na indústria eletrônica. Neste manual serão utilizados os substratos FR4 e fenolite, apresentados na Figura 13 e 14, sendo (a) o FR4 (laminado de fibra de vidro e resina epóxi) e (b) o fenolite. As placas podem possuir uma ou duas camadas de cobre (JONES, 2004).

Figura 13 - (a) Placa de FR4 (b) Placa de fenolite



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - (a) Placa de FR4 (b) Placa de fenolite



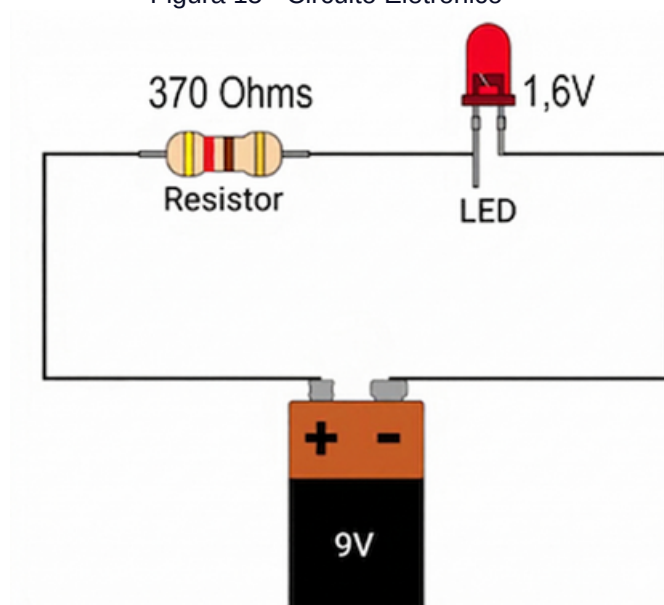
Fonte: Elaborado pela autora.



4. PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DAS PCIS

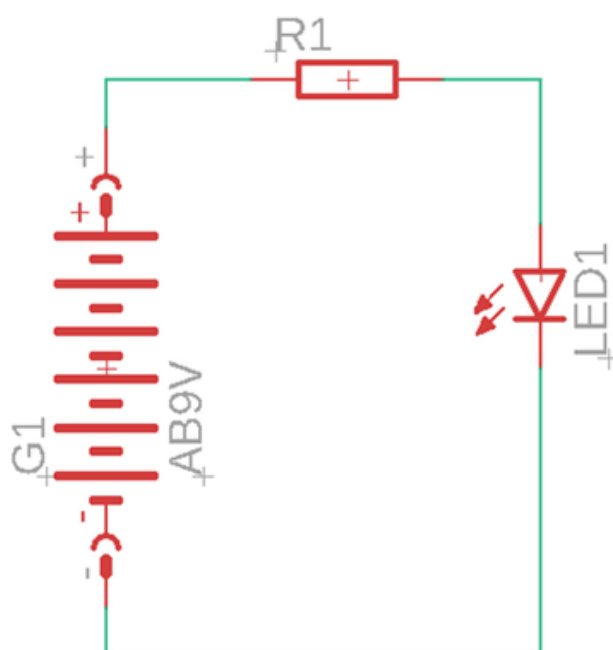
Antes de abordar os principais elementos estruturais propriamente ditos é necessário tratar do diagrama esquemático, que é o circuito feito com símbolos dos componentes e o **board** que é o **layout** da placa considerando os componentes inseridos no esquemático de projeto. Para exemplificar o esquemático, observado na figura 16, e o board, apresentado na figura 17, será utilizado um circuito, indicado na figura 15, composto por uma fonte DC (bateria), um resistor e um LED.

Figura 15 - Circuito Eletrônico



Fonte: Imagem adaptada de FREEPIK (2025).

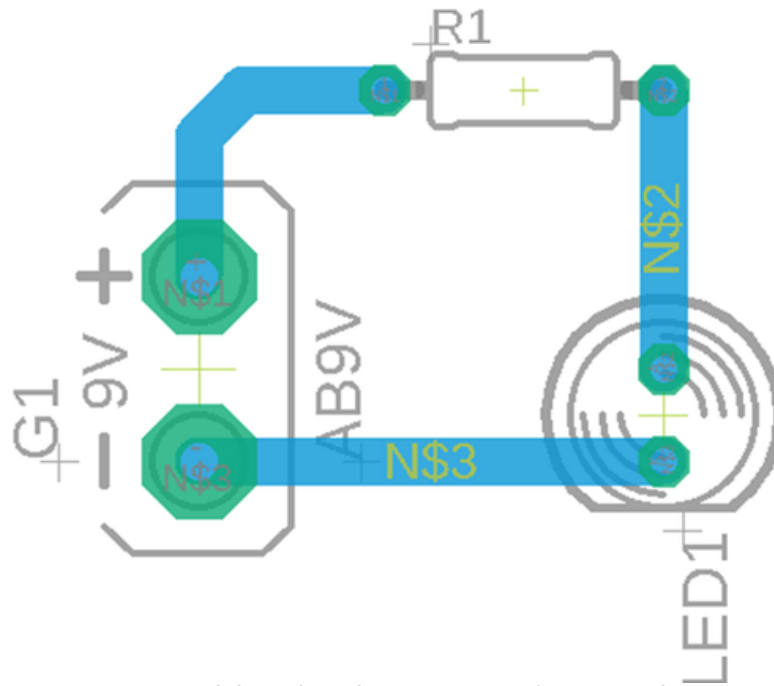
Figura 16 - Esquemático do circuito no software Eagle



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle



Figura 17 - Board do esquemático no software Eagle



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

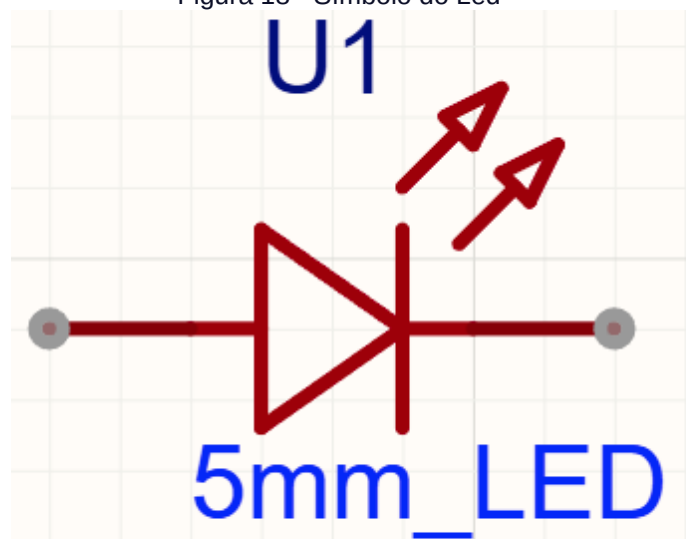
Portanto, no desenvolvimento de uma placa de circuito impresso são utilizados dois arquivos principais: o esquemático e o board (placa física).

No esquemático, os componentes são representados por símbolos elétricos que facilitam a compreensão do funcionamento do circuito. Já no *board*, os componentes são representados por seus footprints, que correspondem às dimensões físicas utilizadas na montagem da placa.

4.1 Mas o que é um símbolo e o que é um footprint?

O **símbolo**, é a representação gráfica do componente no esquemático. A Figura 18 apresenta como exemplo o símbolo de um LED no software EasyEDA.

Figura 18 - Símbolo do Led

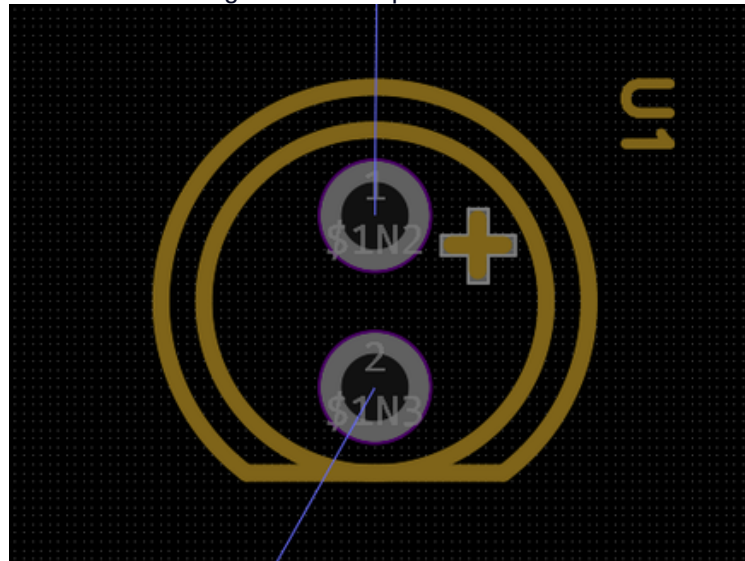


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA



Já o **footprint** é a representação física do componente na placa de circuito impresso. Ele define o formato, as dimensões e a posição dos furos ou ilhas de soldagem. A Figura 19 apresenta o footprint correspondente ao LED no software EasyEDA.

Figura 19 - Footprint do LED



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

O conjunto formado pelo símbolo do esquemático e pelo footprint no board é denominado **biblioteca**. A escolha correta da biblioteca é fundamental para evitar problemas de montagem, pois um footprint incompatível com o componente real pode impedir ou dificultar sua instalação na placa (JLCPCB, 2024).

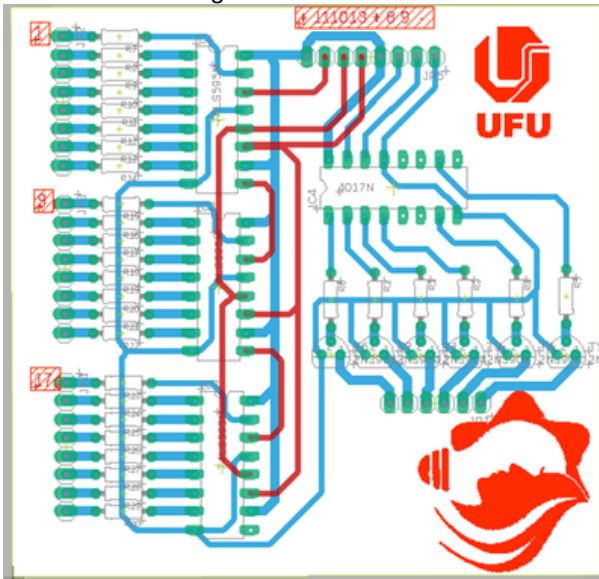


Um dos erros mais comuns em projetos de PCI é selecionar um footprint incompatível com o componente real. Recomenda-se sempre verificar as dimensões do componente antes da fabricação da placa.



4.2 Principais elementos estruturais de uma PCI

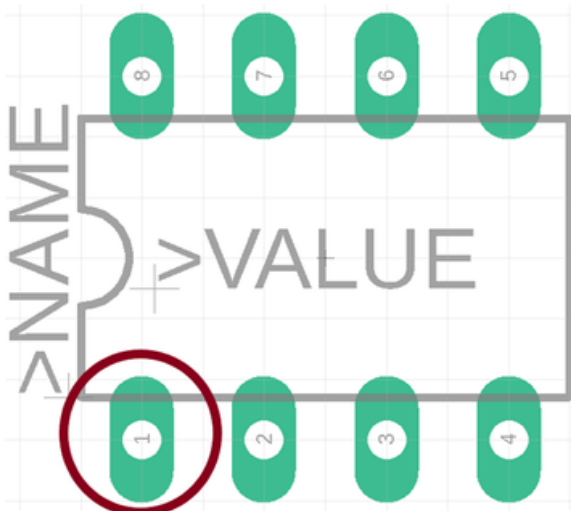
Figura 20 - Trilhas



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

As trilhas correspondem interconexões elétricas entre os terminais dos componentes no board. O tamanho de trilhas não há um padrão recomendado. Podemos ter trilhas na camada superior da placa (top) que são trilhas em vermelho ou trilhas na camada inferior o (bottom), que são as trilhas em azul e vermelho, ambas presentes na figura 20.

Figura 21 - Pad PTH

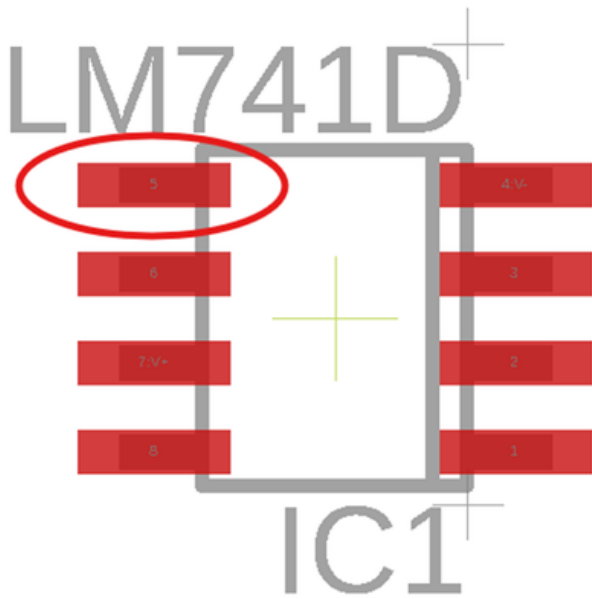


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Extremidade de cada componente que contem uma área condutiva ao redor do contato que vai ser inserido o terminal que atravessa as camadas superior e inferior.



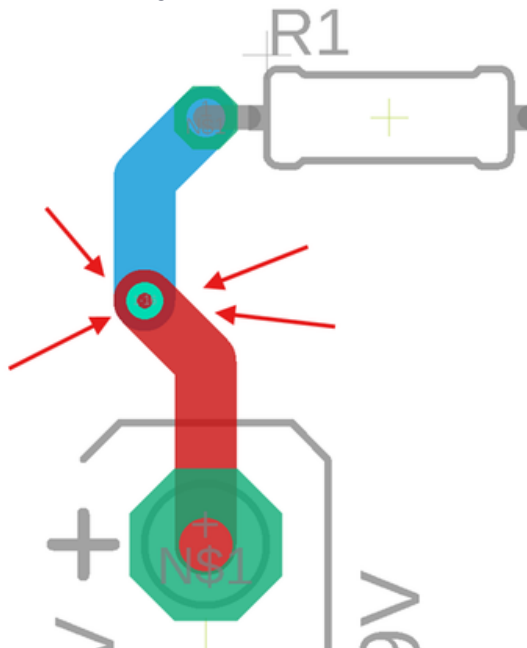
Figura 22 - Pad SMD



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Extremidade de cada componente que contem uma área condutiva ao redor do contato que vai ser inserido o terminal que fica na camada superior ou inferior da placa.

Figura 23 - Via



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

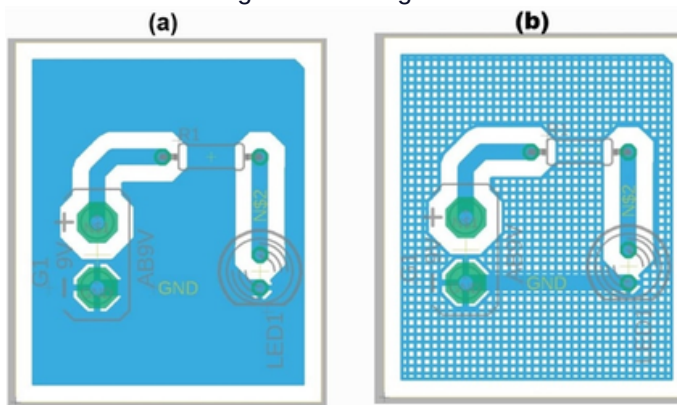
As vias são pequenos furos metalizados, também conhecidos como furos revestidos. A via serve para interconectar duas camadas, quando uma camada não é suficiente para o desenvolvimento da PCI.

Dica do Especialista:

Uma boa prática, sempre que possível, utiliza-se os terminais dos próprios componentes para conectar trilhas entre as camadas, reduzindo vias e aumentando a confiabilidade da placa



Figura 24 - Polígonos



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

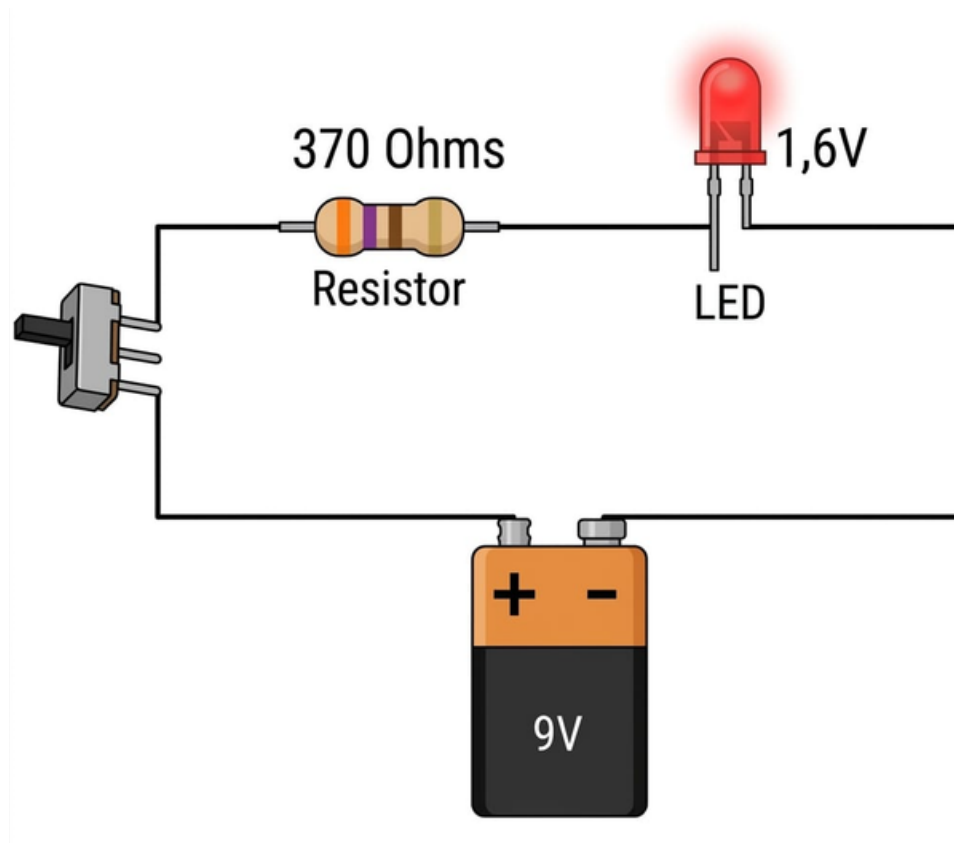
O polígono é o preenchimento automático de uma área desejada com cobre. O polígono flui ao redor dos pads e trilhas. Muitos utilizados para delinear planos de terra.



5. DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT DA PCI COM UM CIRCUITO BÁSICO

A Figura 25, apresenta o circuito utilizado como exemplo neste manual. Com base nele, serão demonstradas as etapas de criação do layout da Placa de Circuito Impresso (PCI) nos softwares **EAGLE** e **EasyEDA**.

Figura 25 - Circuito com LED alimentado por bateria de 9 V



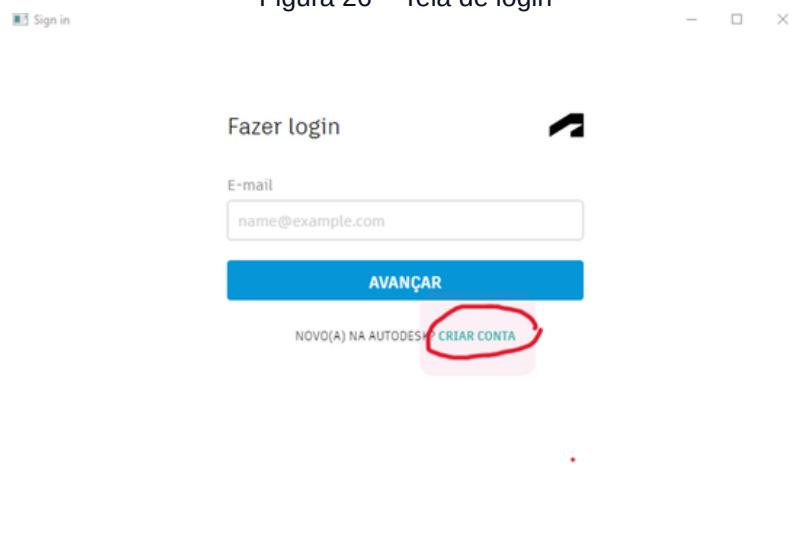
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de FREEPIK (2025).

5.1. Projetando a PCI no Eagle

A seguir o passo a passo para projetar o circuito exemplo no Eagle.



Figura 26 - Tela de login

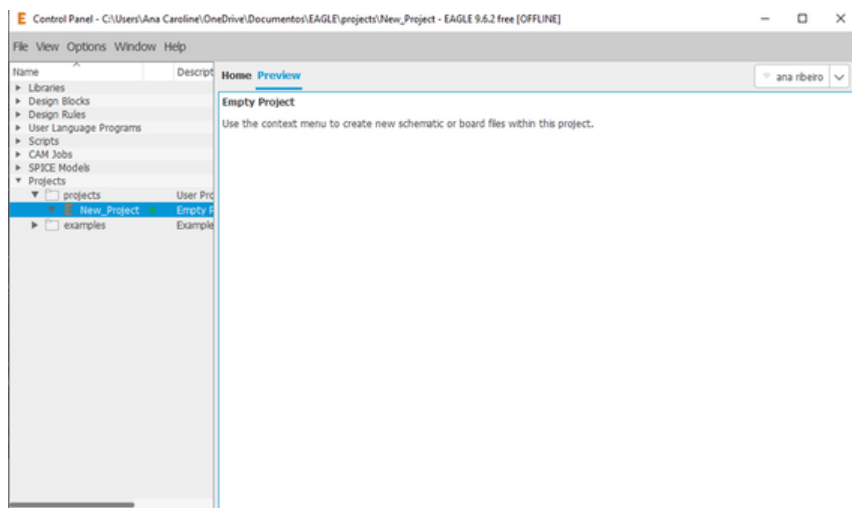


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 1

Após instalar o Eagle, crie uma conta gratuita e realize o login.

Figura 27 - Janela Eagle



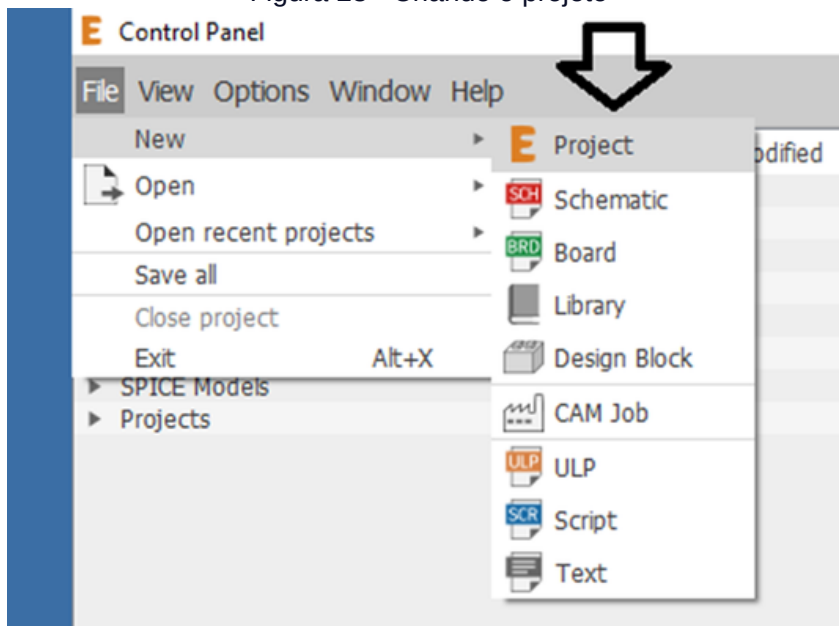
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 2

Após a criação da conta e a realização do login, a interface inicial do software será exibida conforme apresentado na figura ao lado.



Figura 28 - Criando o projeto

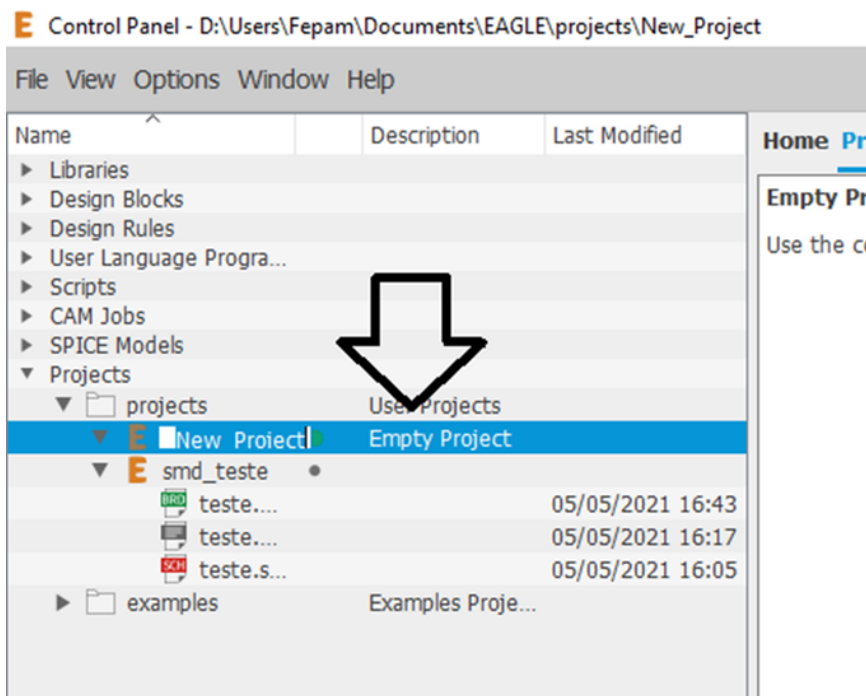


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 3

Para criar um projeto novo, na tela de interface do programa vá em “file”, depois em “new” .

Figura 29 - Arquivo New Project



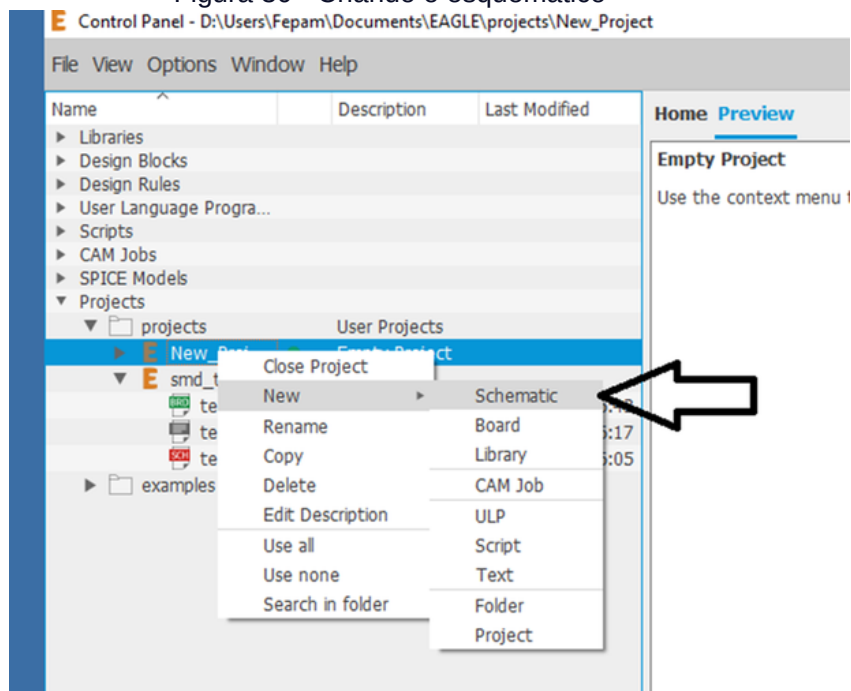
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 4

Aparecerá um arquivo com o nome “new project”.



Figura 30 - Criando o esquemático

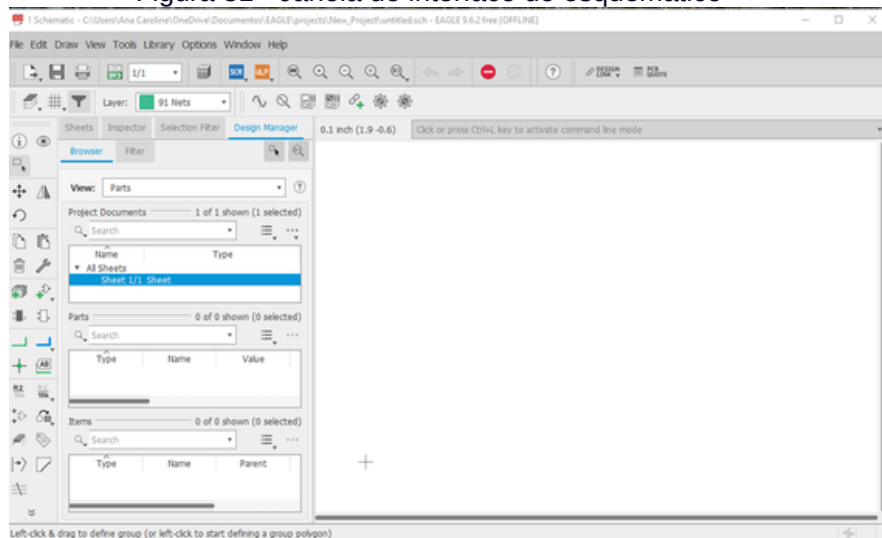


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 5

Clique com o botão direito do mouse e crie um novo "Schematic".

Figura 31 - Janela de interface do esquemático



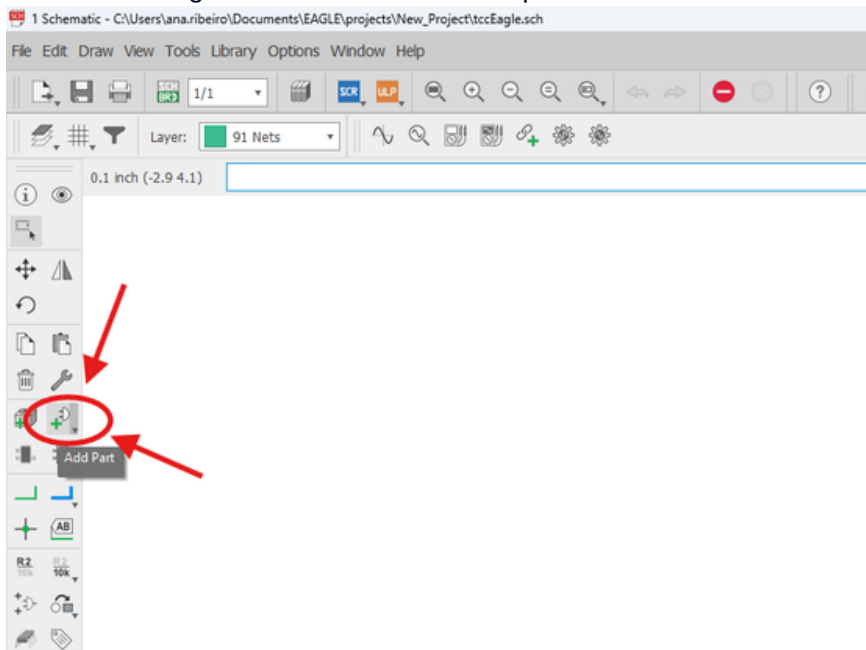
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 6

A janela do esquemático aparecerá como mostra a figura ao lado. Agora vamos inserir os símbolos do circuito exemplo nos próximos passos.



Figura 32 - Adicionando componentes

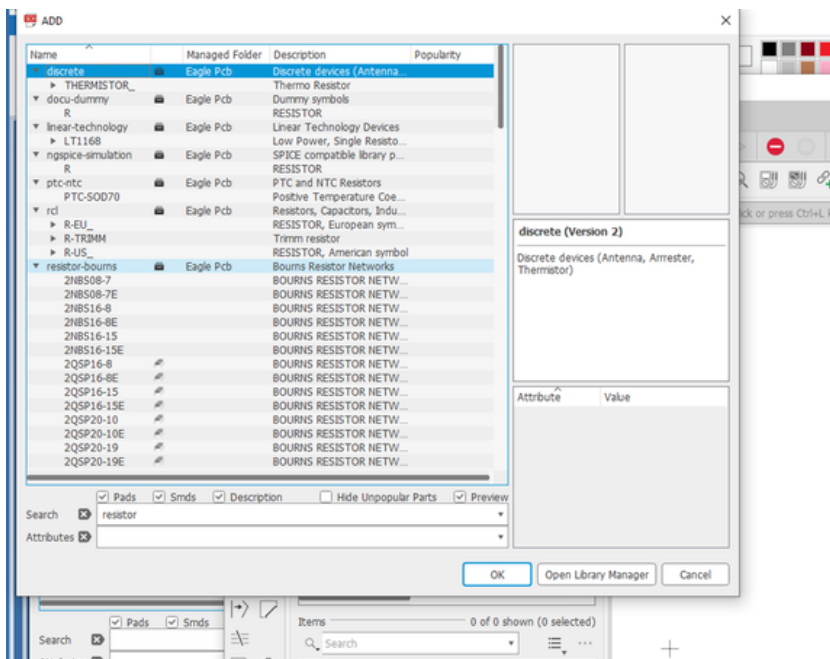


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 7

Clique com botão esquerdo do mouse sobre a opção “Add Part”. Nessa opção encontramos as bibliotecas dos componentes .

Figura 33 - Janela de bibliotecas



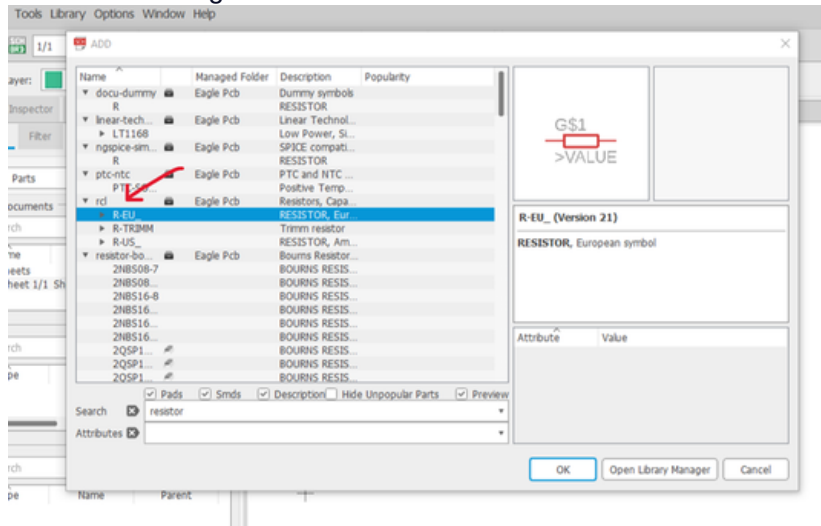
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 8

A partir do exemplo, selecionamos cada componente digitando seu nome em “Search” e apertando a tecla “enter”.



Figura 34 - Janela de bibliotecas



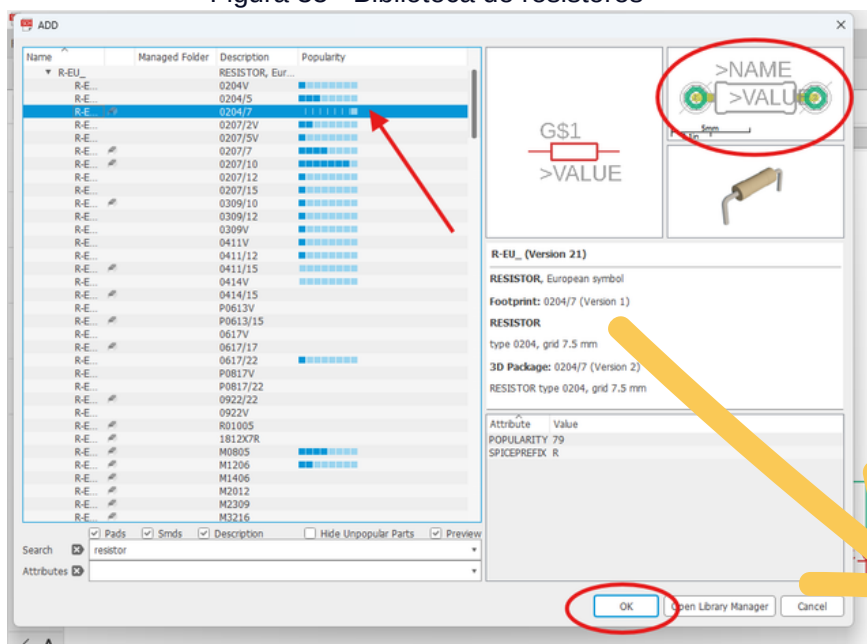
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 9

Aparecerá várias biblioteca para um mesmo nome digitado. Porém aqui deve-se atentar-se com símbolo e o seu “footprint” que o desenho físico do componente.

Passo 10

Figura 35 - Biblioteca de resistores



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Veja na figura ao lado, escolhendo este resistor dentro da biblioteca “rlc” e na subpasta “R-EU_” o terceiro resistor é o mais próximo do que precisamos para o circuito exemplo. Depois clique em “OK”.

R-EU_ (Version 21)

RESISTOR, European symbol

Footprint: 0204/7 (Version 1)

RESISTOR

type 0204, grid 7.5 mm

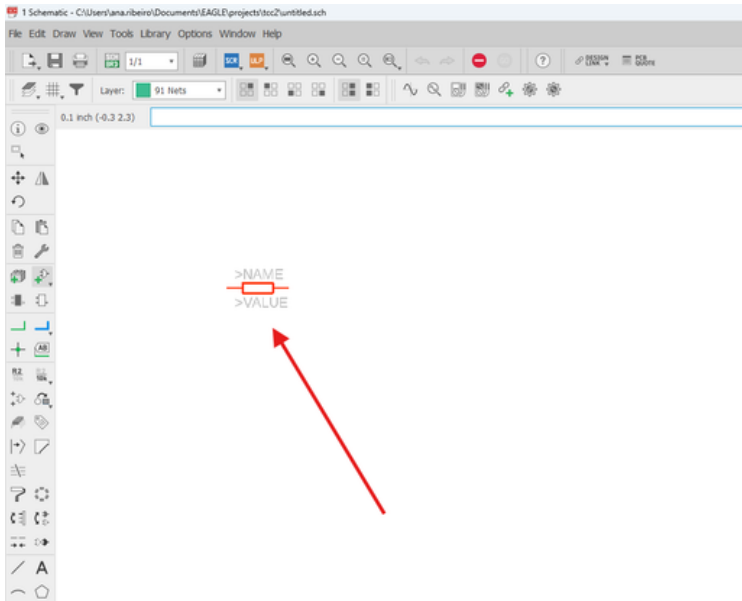
3D Package: 0204/7 (Version 2)

RESISTOR type 0204, grid 7.5 mm

No Eagle, a visualização da grade (grid) do footprint permite conferir as dimensões do componente e verificar se ele corresponde ao tamanho esperado.



Figura 36 - Adicionando no esquemático

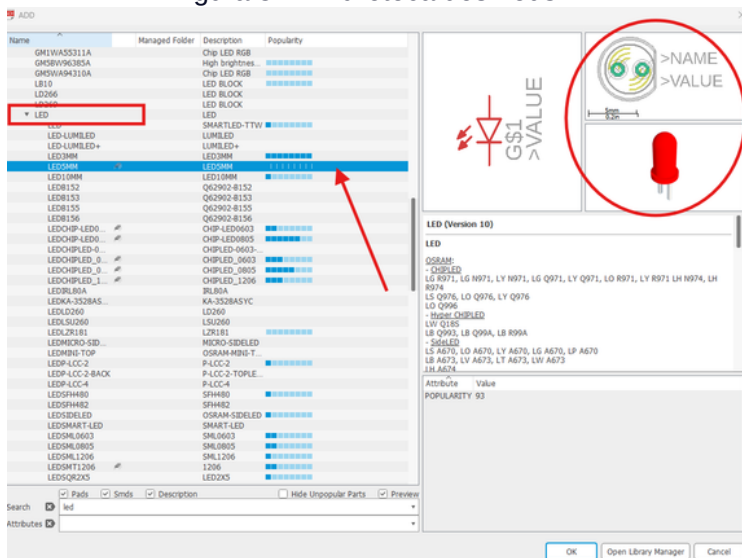


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 11

Após seguir o passo 12, o símbolo do componente aparecerá e podemos posicionar em qualquer lugar da área branca e clicamos com o botão direito para que ele fixe no lugar.

Figura 37 - Biblioteca dos Leds



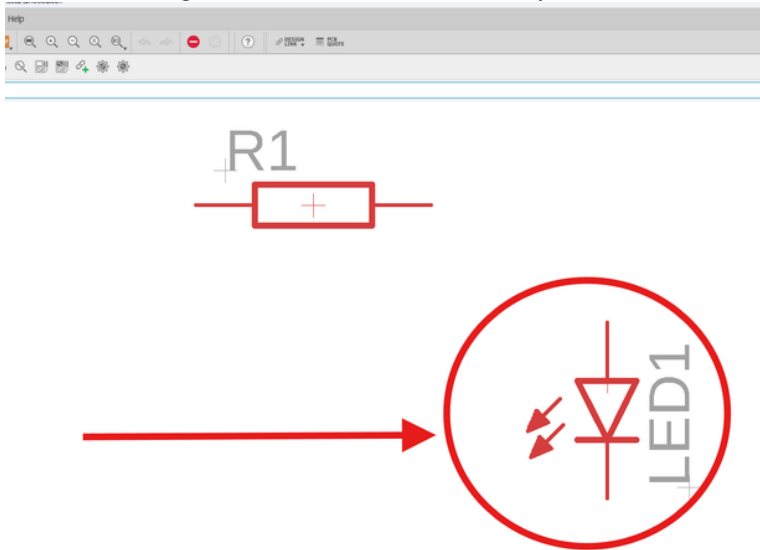
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 12

Repetimos o passo 11 para encontrar o Led 5 mm também PTH. Fazendo o mesmo processo. Perceba que é possível visualizar o componente em 3D. Isso é bom para não errar o footprint. Então colocamos na área branca da interface.



Figura 38 - Adicionando no esquemático

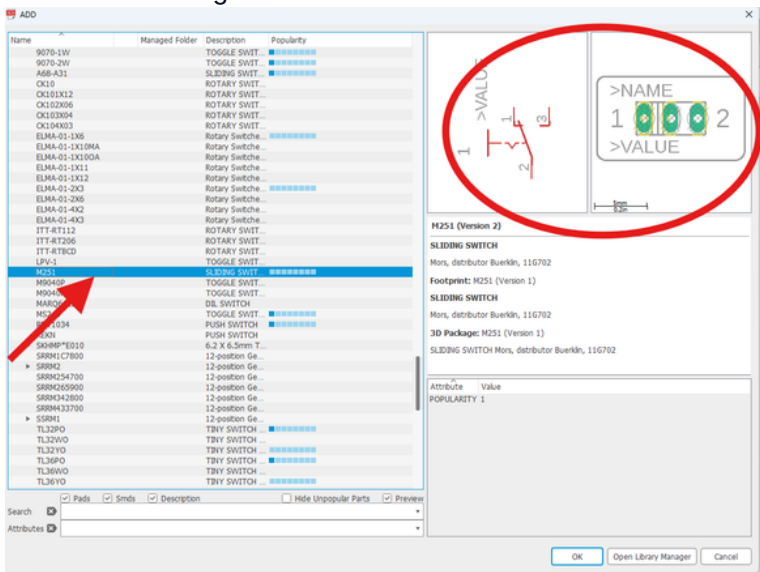


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 13

Led inserido na interface do usuário.

Figura 39 - Biblioteca da chave



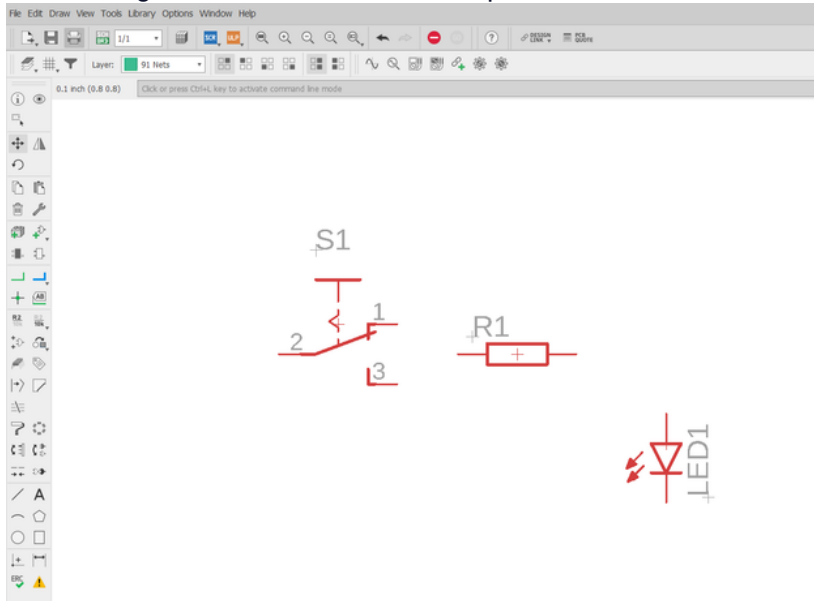
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 14

Repetimos o passo 11 para encontrar a chave e também inserimos na interface do usuário.



Figura 40 - Adicionado no esquemático

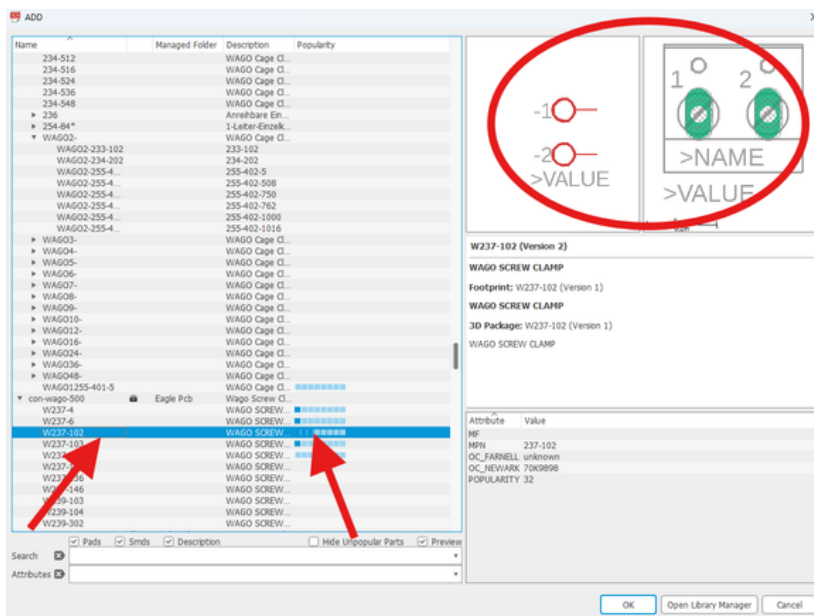


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 15

Interface do usuário com a chave inserida. Com o botão direito e possível rotacionar o símbolo do componente.

Figura 41 - Biblioteca conector



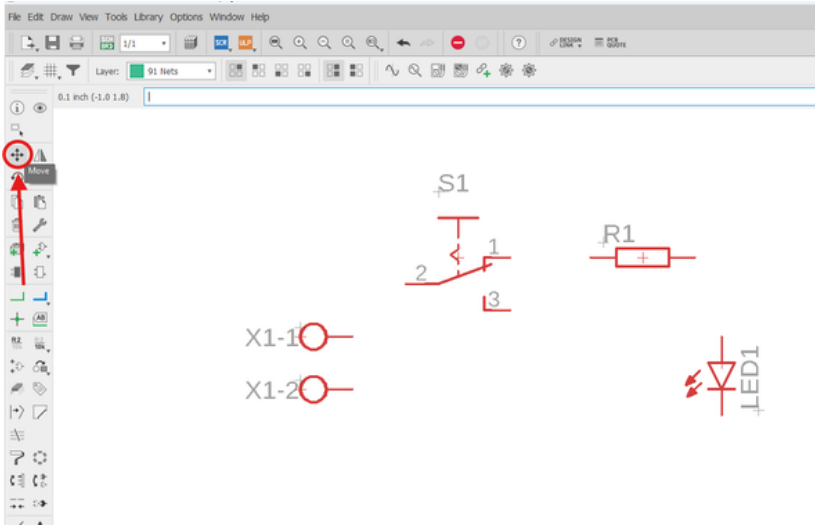
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 16

Por ultimo, inserimos o símbolo conector para conexão da bateria.



Figura 42 - Adicionando no esquemático

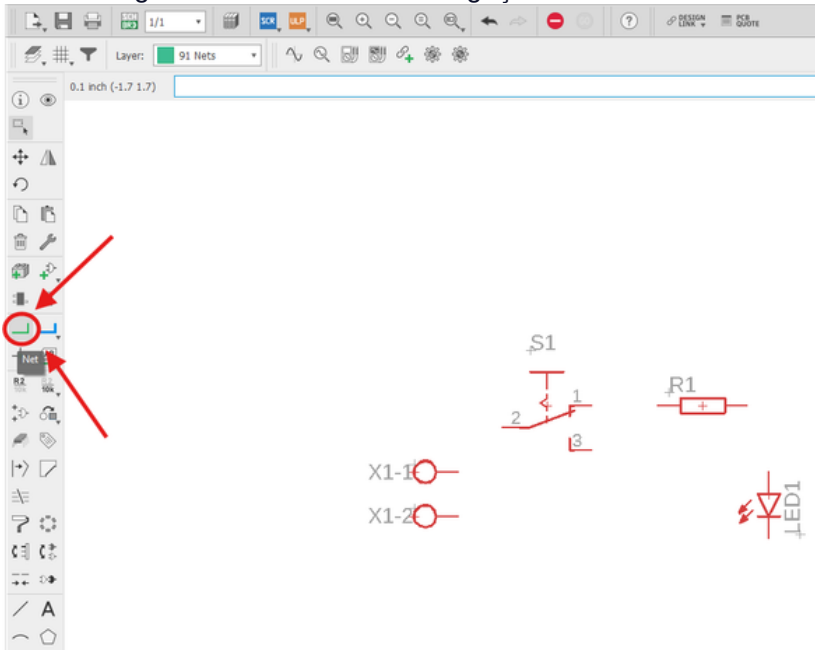


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 17

Inserindo todos componentes a interface do usuário ficará como a figura ao lado. Com a opção “move” pode-se movimentar os símbolos dos componentes.

Figura 43 - Ferramenta de ligação dos símbolos



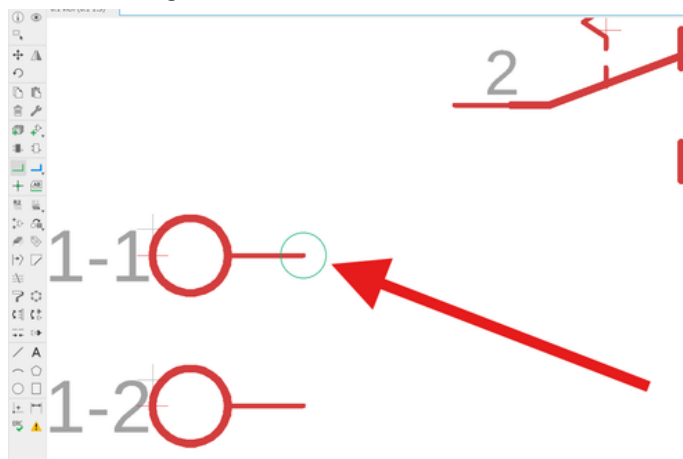
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 18

Agora com a função “net”, fazemos todas as ligação dos terminais dos componentes.



Figura 44 - Terminal do símbolo

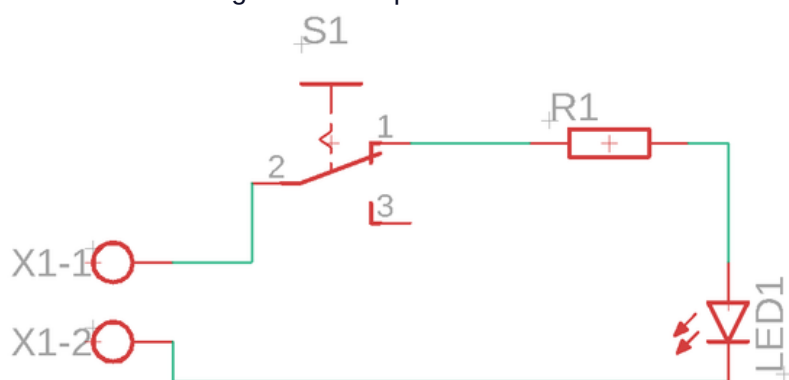


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 19

Ao clicar nessa função com o botão esquerdo do mouse e ao aproximar do terminal o programa identifica com um círculo verde onde ligar. Então quando isso acontecer, basta clicar e arrastar até o terminal do símbolo do componente a ser conectado.

Figura 45 - Esquemático finalizado

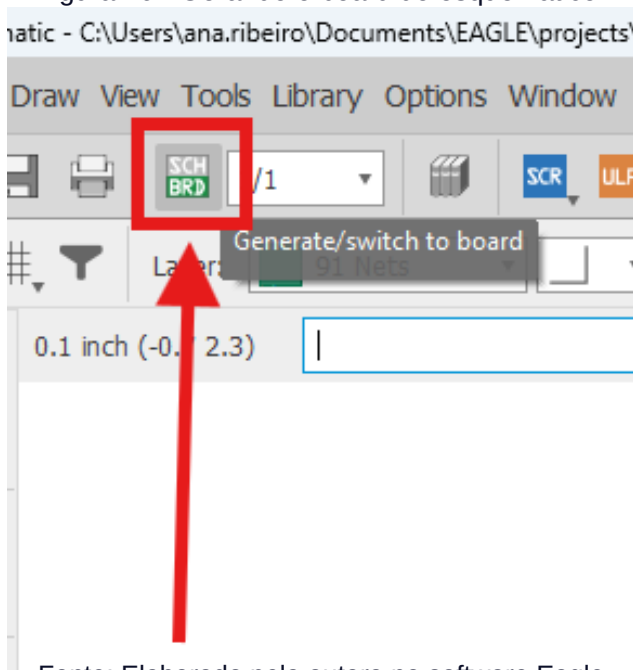


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 20

Fazendo todas as ligações como a figura exemplo o esquemático ficará como a figura ao lado.

Figura 46 - Gerando o board do esquemático



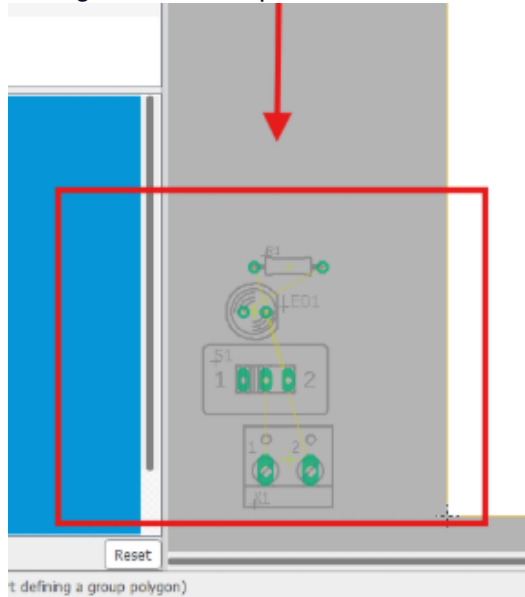
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 21

Finalizando o esquemático e necessário a criação do "board", que é a parte de física da placa de circuito impresso. Então acesse a função "Generate/Switch to Board".

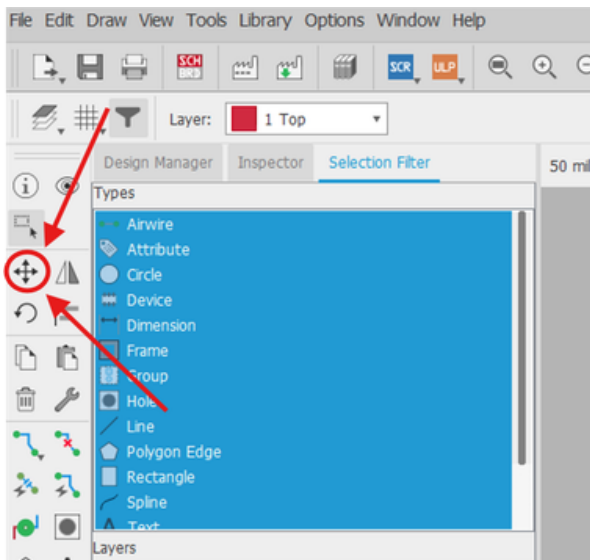


Figura 47 - Footprints no board



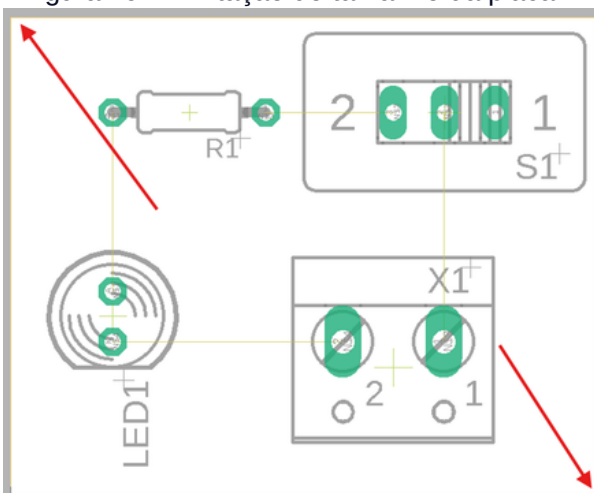
Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Figura 48 - Ferramenta Move



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Figura 49 - Limitação do tamanho da placa



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 22

Note que todos os footprints dos componentes estão na area cinza da interface do usuário.

Dica do Especialista:

Se houver dúvida quanto ao tamanho do componente, o Eagle oferece a ferramenta dimension, capaz de medir suas dimensões em mils ou mm.

Passo 23

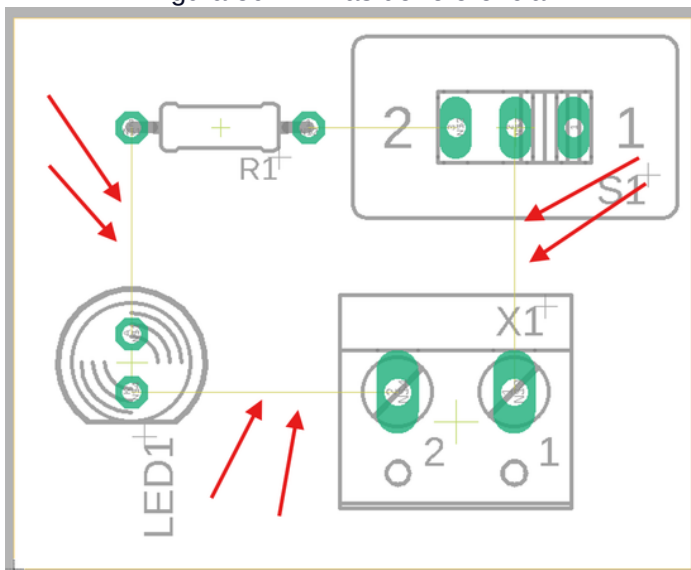
Com a opção “move”, clique que o botão esquerdo e arraste para a área branca da tela. Está área delimita o tamanho da placa.

Passo 24

Com todas os footprints posicionados, podemos ajustar os tamanho da placa. Para fazer isso, tambem com a opção “move”, clique nas bordas da area branca e arraste para o tamanho que preferir. Na figura ao lado mostra o layout após o ajuste das bordas.



Figura 50 - Linhas de referência

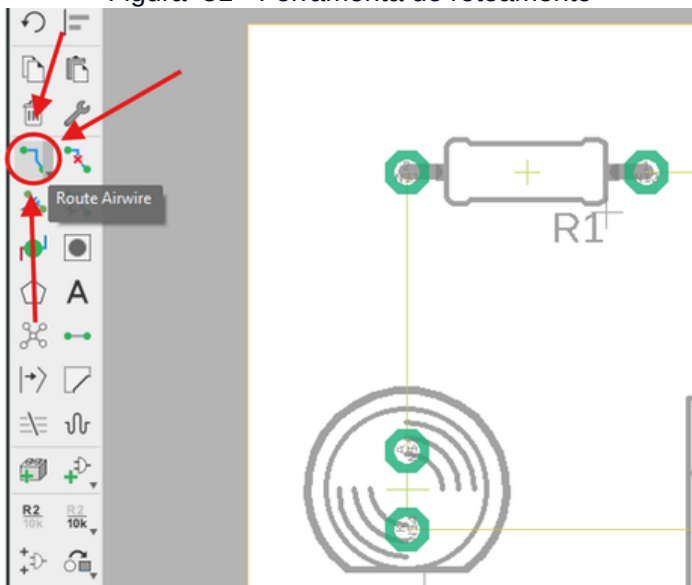


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 25

Após o passo anterior, temos que rotear a placa. No eagle, no pad do footprint de cada componente, possuem uma linha amarela que mostra onde cada um tem que ser conectado. Como um guia. Então é um pouco difícil errar a ligação. Podemos errar se o esquemático estiver errado ou podemos errar escolhendo os componentes com footprints não correspondentes ao projeto.

Figura 51 - Ferramenta de roteamento



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 26

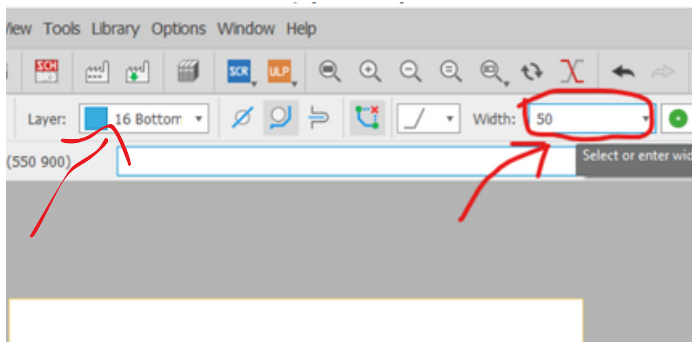
Com ferramenta "Route Airwire", substituímos as linhas amarelas por trilhas. Basta clicar com o botão esquerdo para selecionar a opção e clicar também com o botão esquerdo do mouse nos pads ou nas linhas amarelas para começar a desenhar as trilhas.



O uso de trilhas com ângulos de 45° é uma boa prática de projeto. Neste circuito DC, sua utilização é opcional, mas em aplicações de alta frequência é recomendada.



Figura 52 - Configuração da largura das trilhas

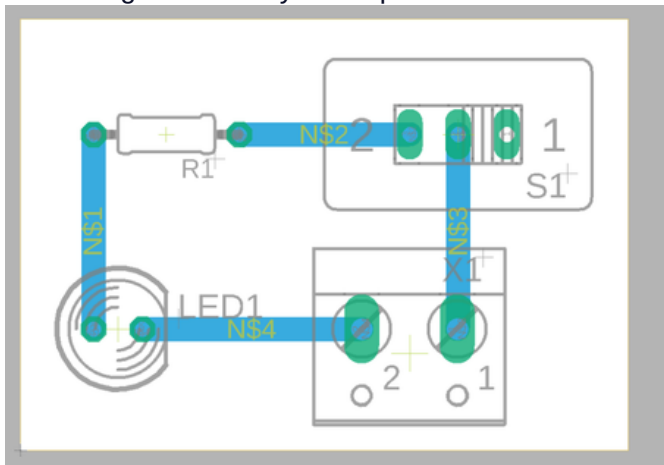


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 27

Selecionamos o “layer” no 16 Bottom porque necessitamos apenas da camada inferior para este projeto e “Width” selecionamos o valor de 50 mils para espessura da trilha. Essa espessura de trilha para este projeto é mais que suficiente pois na tabela 1 presente no capítulo de boas praticas, diz que esta espessura é para 3A e a corrente de projeto é menor que esta.

Figura 53 - Layout da placa finalizado



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 28

Novamente com a ferramenta “Route Airwire”, substituímos as linhas amarelas por trilhas como explica o passo 27. A figura ao lado mostra o layout final da placa no Eagle.



Para projetos mais complexos, a largura das trilhas pode ser reduzida conforme a corrente. Como referência, foi utilizada a primeira coluna da Tabela 2, referente a placas de 1 oz.

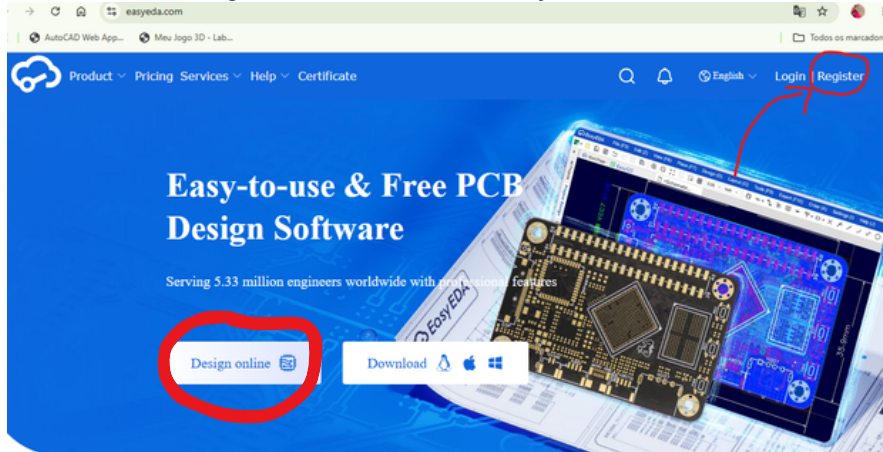


5.2 Projetando a PCI no EasyEDA

A seguir o passo a passo para projetar o circuito exemplo no EasyEDA.

O software EasyEDA diferente do Eagle não tem a necessidade de instalação no computador. Bastando apenas abrir o navegador de internet e buscar pelo site oficial.

Figura 54 - Acesso ao EasyEDA

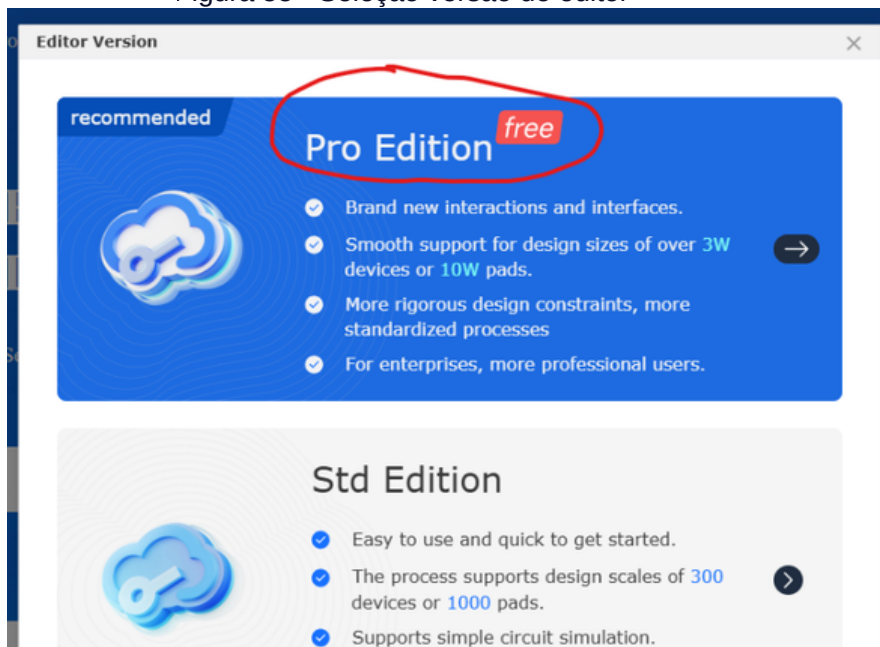


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 1

Após acessar o EasyEDA, crie uma conta gratuita e realize o login. O Download é opcional. Iremos projetar online. Então clicamos em “Design online”.

Figura 55 - Seleção versão de editor



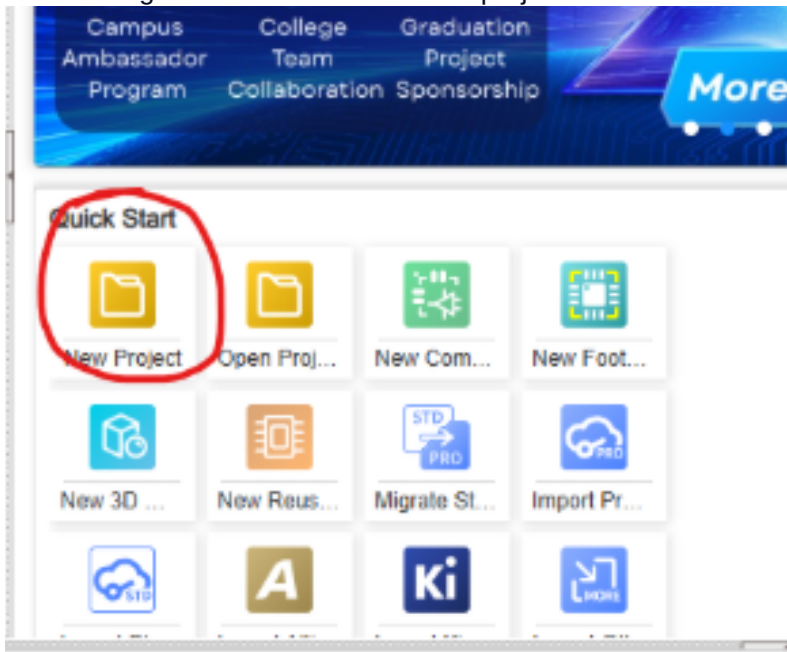
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 2

Selecionamos a opção “Pro Edition free”.



Figura 56 - Criando um novo projeto

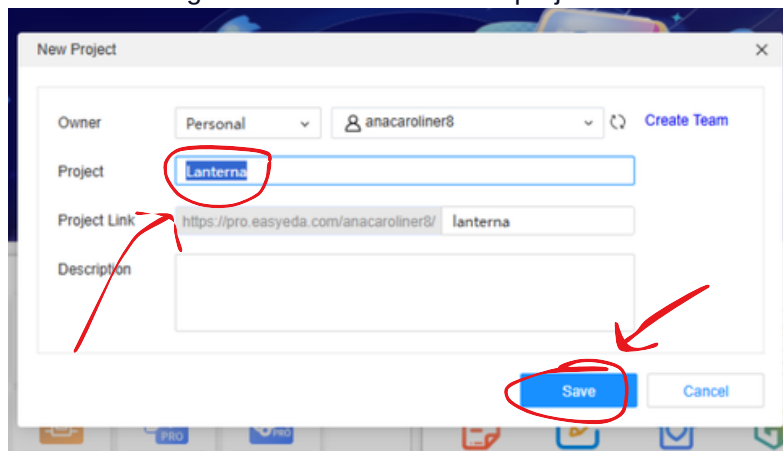


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 3

Clicando em “New Project” criamos um novo projeto.

Figura 57 - Renomeando o projeto



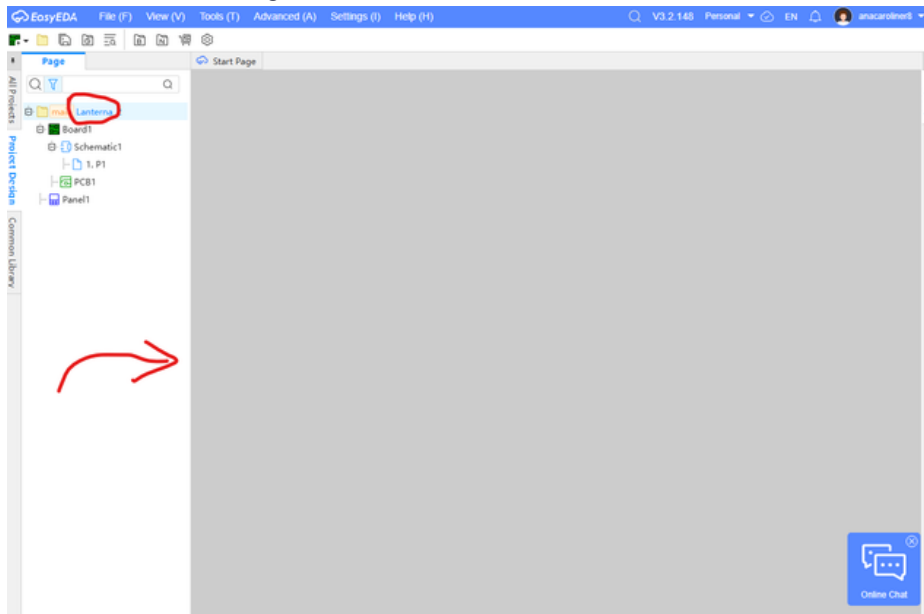
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 4

Renomeamos na lacuna de “project” para um nome relacionado a circuito projetado. Nesse caso “lanterna” é o nome desejado. Depois clicamos em “Save.”



Figura 58 - Interface do usuário

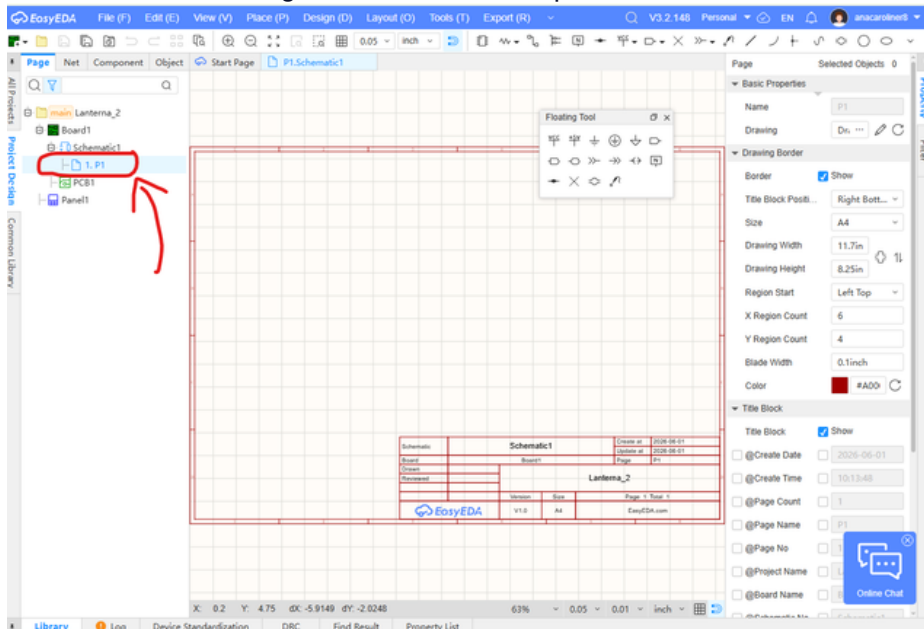


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 5

Ao salvar aparecerá esta tela para o usuário. O procedimento é similar ao eagle. Mas a interface é diferente.

Figura 59 - Área do esquemático



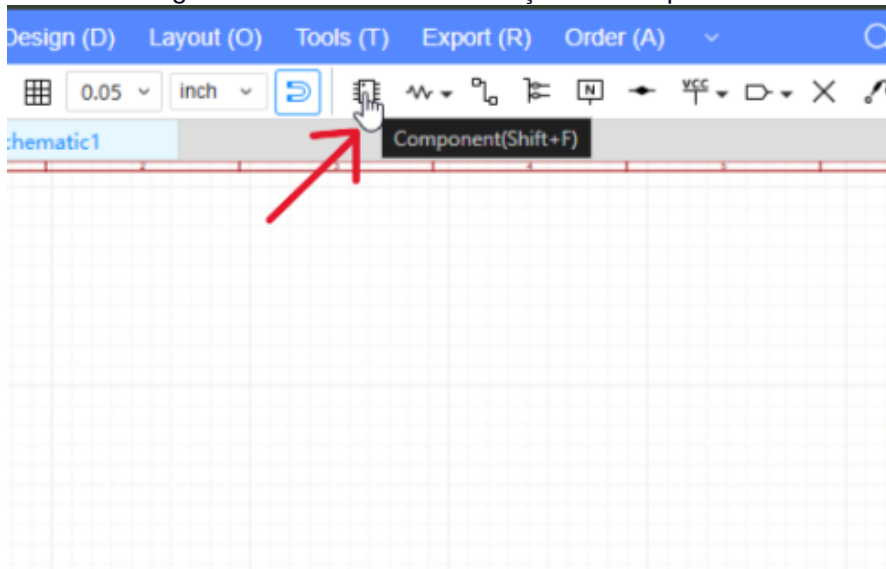
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 6

Clicando duas vezes com o botão esquerdo do mouse em "P1" aparecerá no lugar da area cinza anterior da figura anterior, a area para desenhar o esquemático do circuito exemplo.



Figura 60 - Ferramenta de adição de componentes

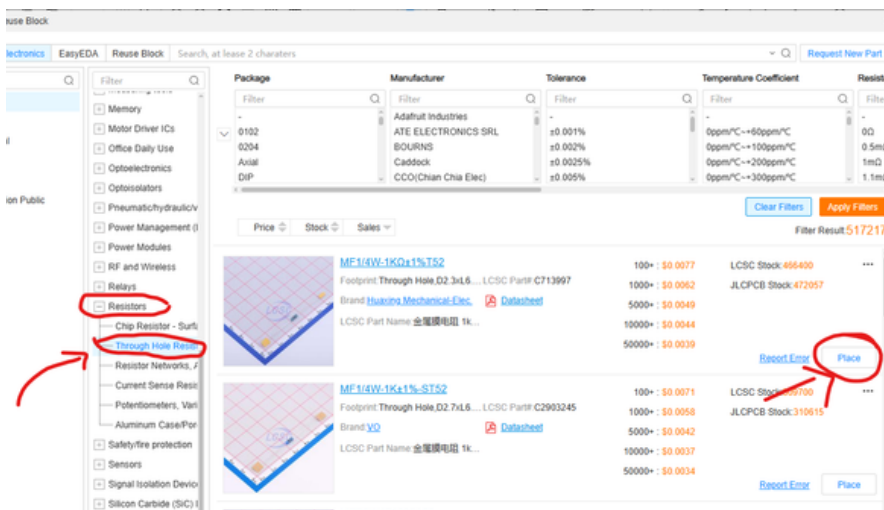


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 7

Com a opção “component” temos acessos a todas as bibliotecas disponíveis dos componentes eletrônicos.

Figura 61 - Janela de Bibliotecas



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 8

Selecionamos a pasta “Resistors” e a subpasta “Through Hole Resistors” e selecionamos o primeiro componente e clicamos em “place”.

[MF1/4W-1KQ±1%T52](#)

Footprint: Through Hole, 0.3xL6... LCSC Part#: C713997

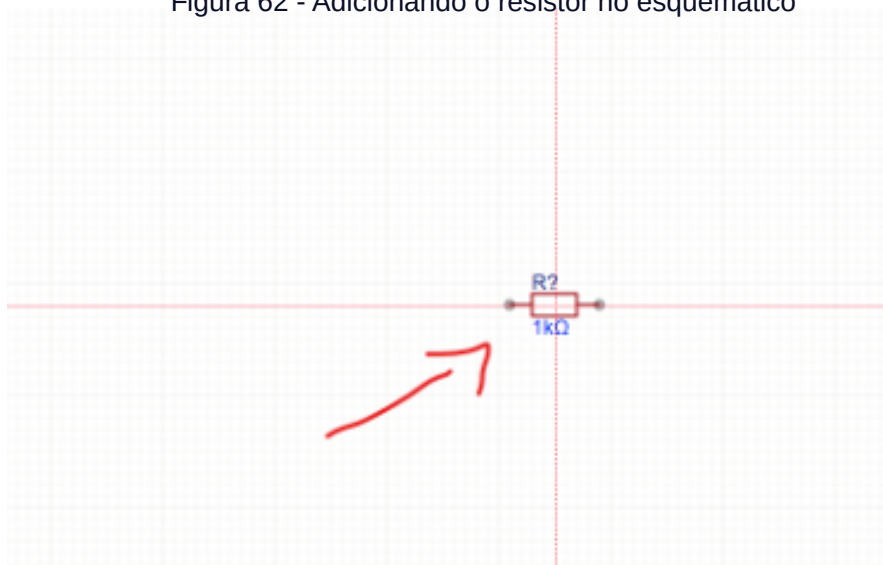
Brand: [Huaxing Mechanical-Elec.](#) [Datasheet](#)

LCSC Part Name: 金属膜电阻 1k...

No EasyEDA, ao selecionar um componente, é possível acessar seu datasheet e conferir suas dimensões, verificando se o tamanho está correto para o projeto.



Figura 62 - Adicionando o resistor no esquemático

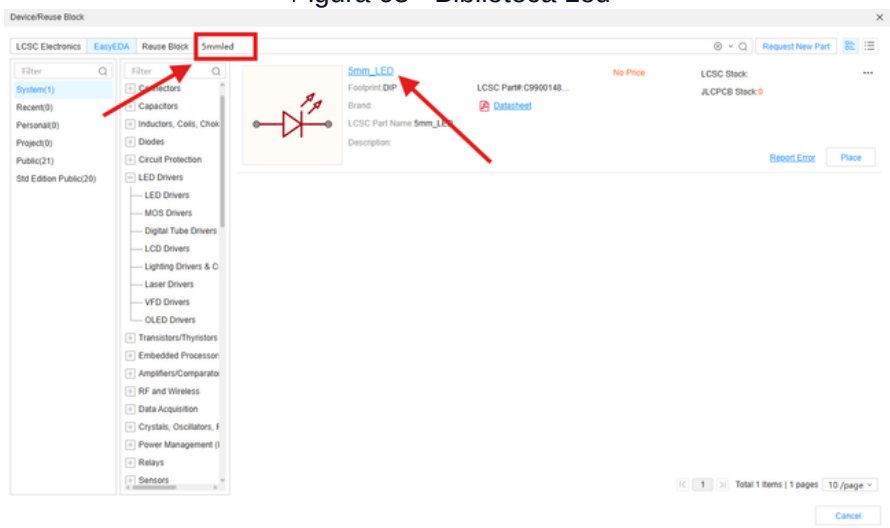


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 9

Assim o símbolo do componente aparecerá na tela e com o botão esquerdo pode-se fixar em qualquer posição da área do esquemático.

Figura 63 - Biblioteca Led



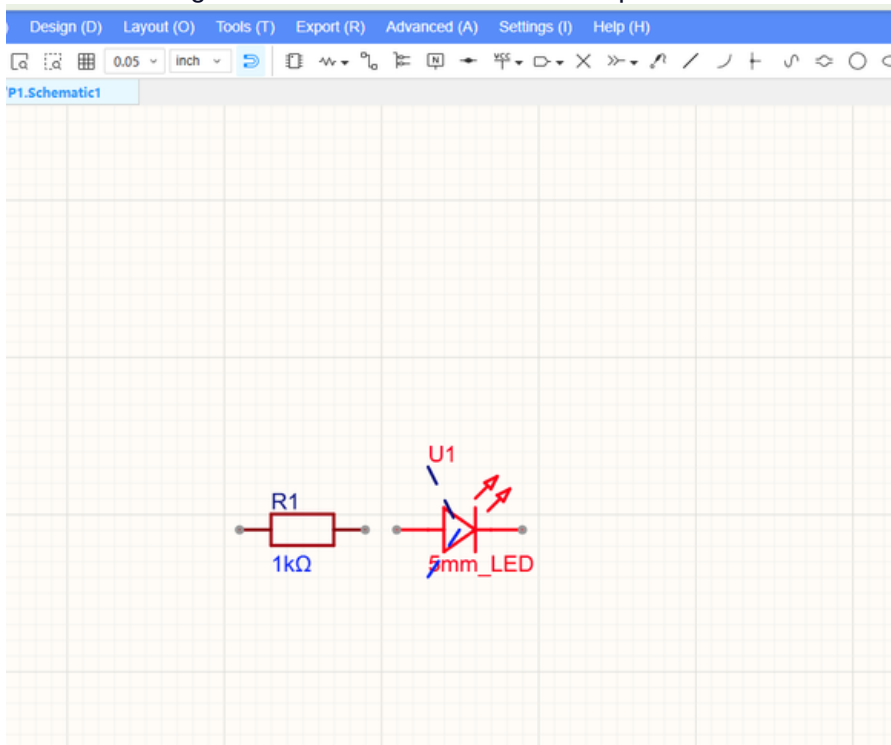
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 10

Para adicionar o próximo componente o procedimento é o mesmo. Podemos escrever o nome do componente no local apresentado na figura para encontrar mais rápido.



Figura 64 - Adicionando o led no esquemático

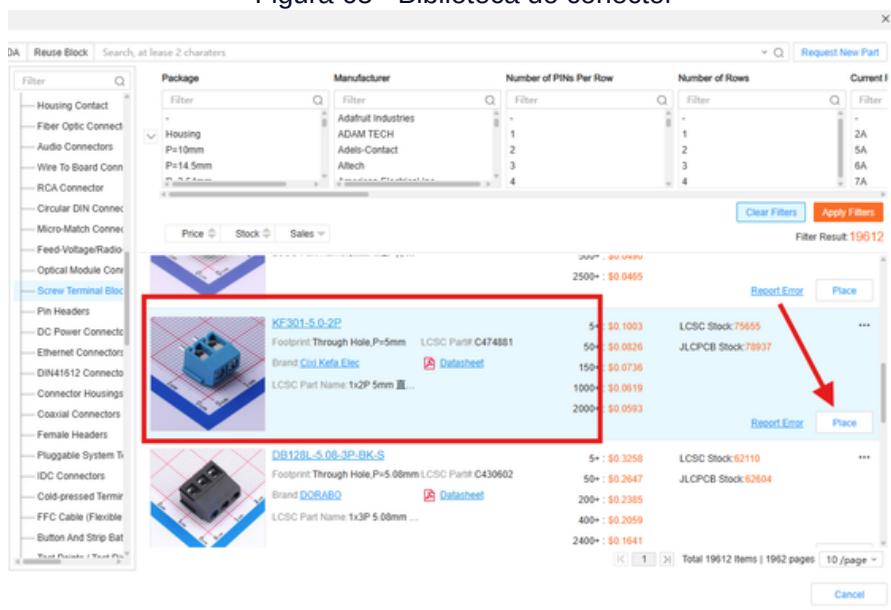


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 11

LED inserido no esquemático.

Figura 65 - Biblioteca do conector



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

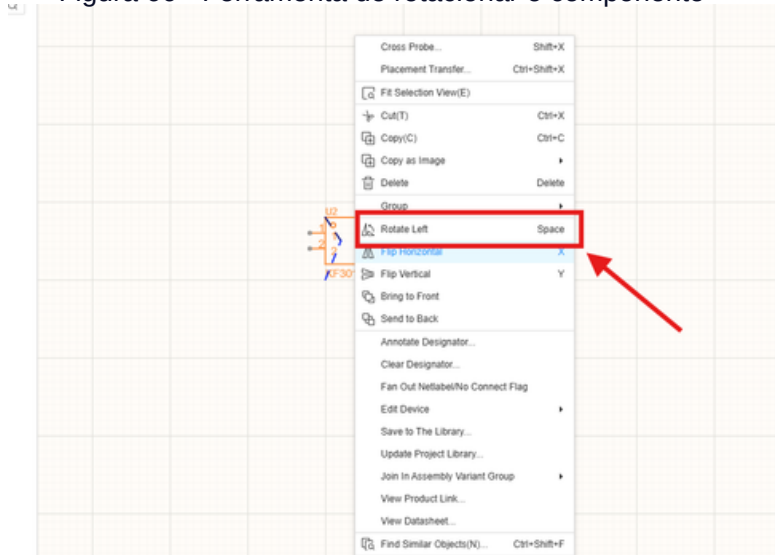
Passo 12

Na biblioteca “connectors” adicionamos o conector com duas entradas.

Dica do Especialista:
Uma vantagem do software easyEDA é visualizar o componente real correspondente a biblioteca, então o projetista pode descartar ou certificar se é o componente do seu projeto.



Figura 66 - Ferramenta de rotacionar o componente

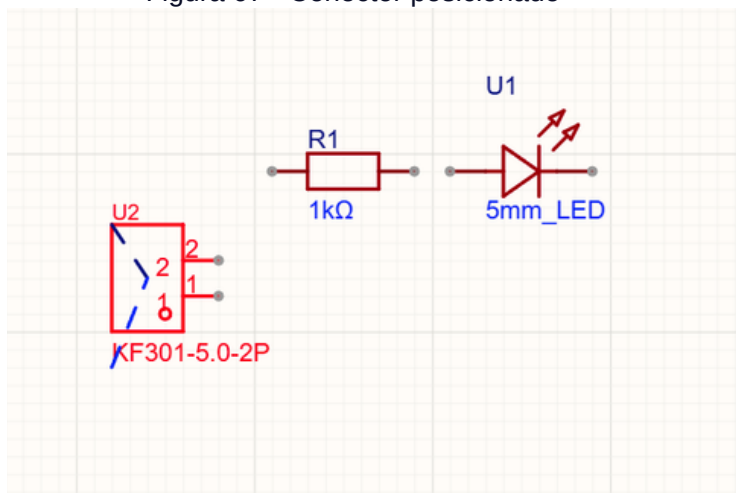


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 13

Adicionamos o conector, porém ele ficou posicionado com os terminais voltados para esquerda. Para rotacionar basta clicar com botão direito sobre o componente. Em “Rotate Left”, para colocar os terminais voltado para direita.

Figura 67 - Conector posicionado

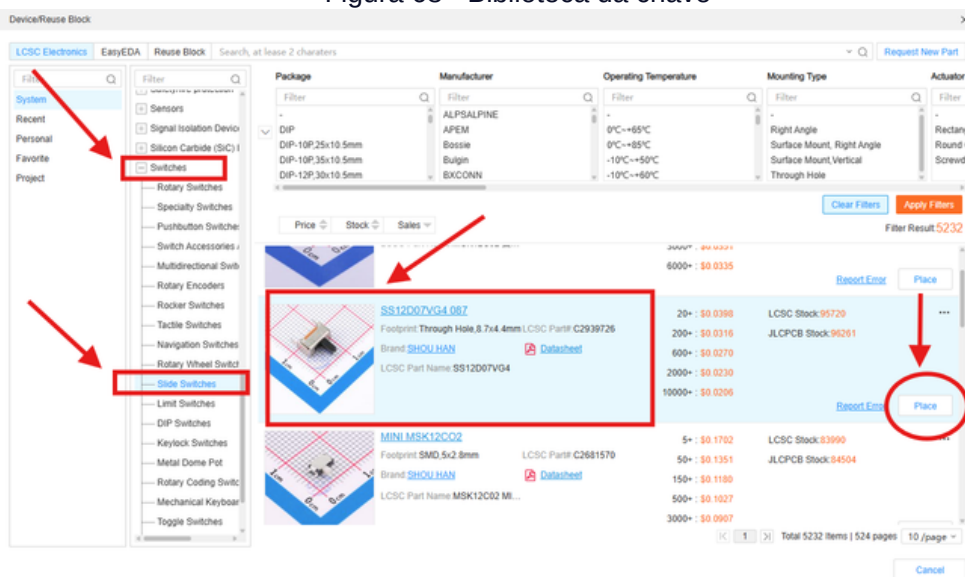


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 14

O esquemático estará assim se seguidos os passos anteriores.

Figura 68 - Biblioteca da chave



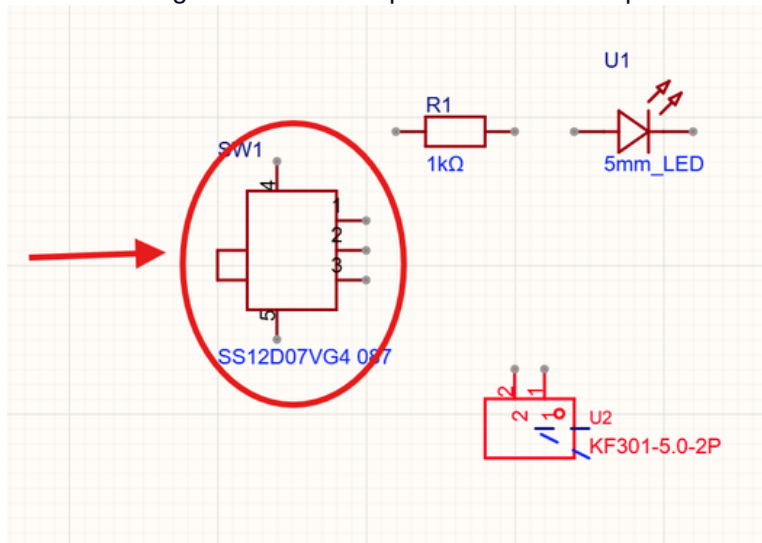
Passo 15

Por ultimo adicionamos a chave que esta na pasta “Switches” e dentro da subpasta “Slide Swiches”.

Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.



Figura 69 - Chave posicionada no esquemático

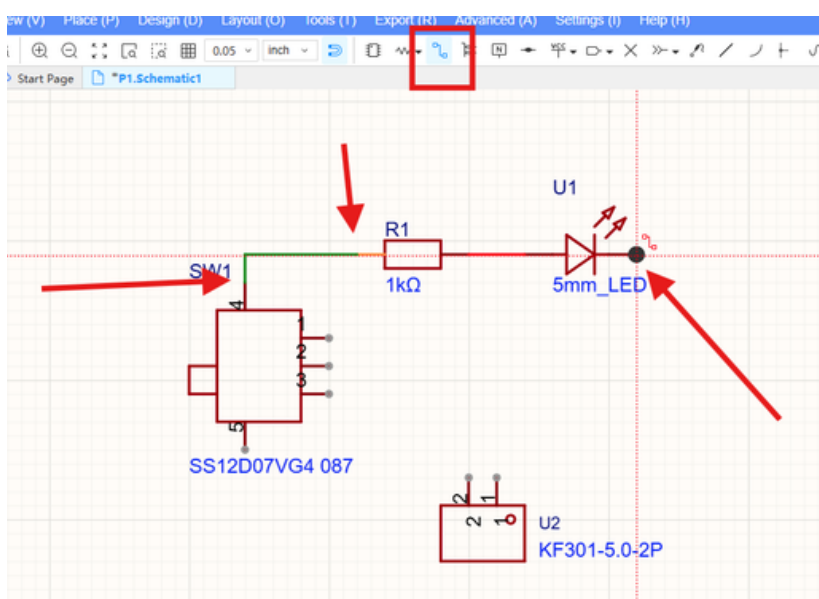


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 16

Posicione a chave entre o conector e resistor.

Figura 70 - Ligando os símbolos dos componentes



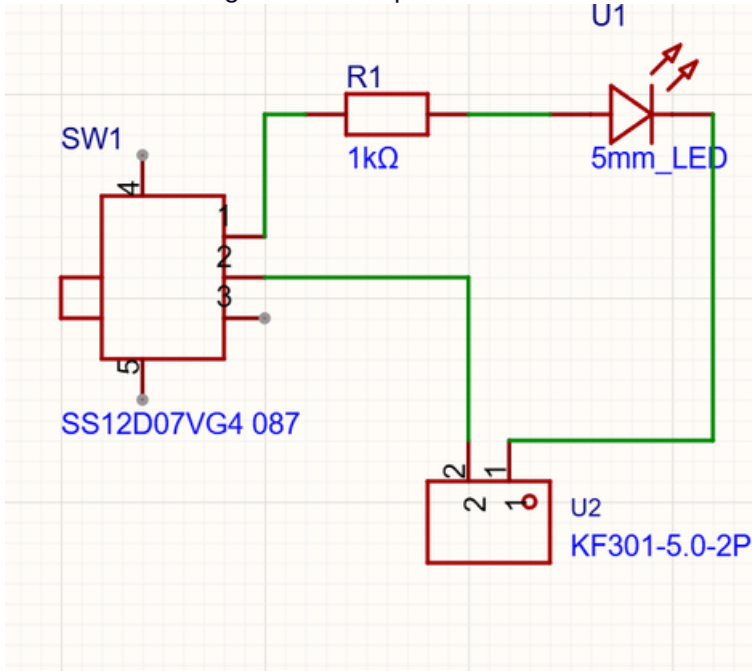
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 17

Finalizado a adição dos componentes necessários, temos que interconecta-lo como no circuito. Para isso, com o botão esquerdo do mouse clicamos nos terminais e ligamos como o circuito exemplo.



Figura 71 - Esquemático finalizado

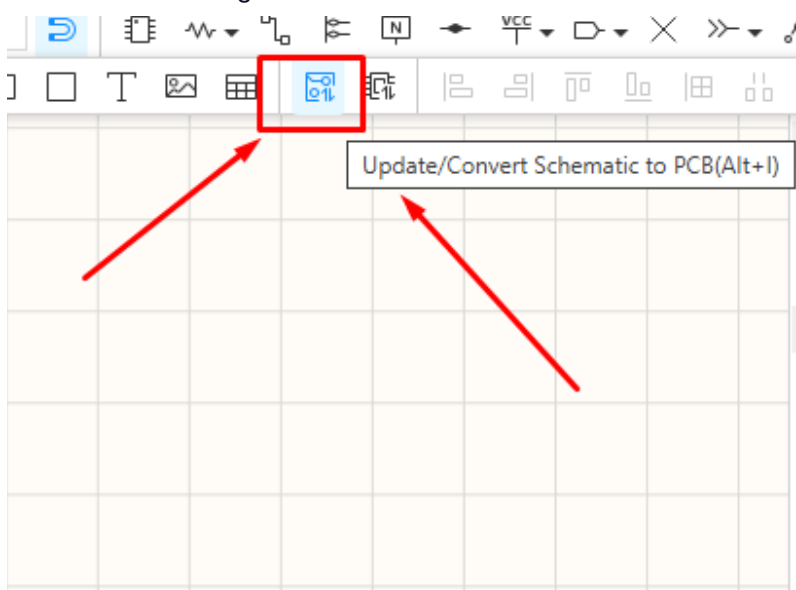


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 18

Esquemático finalizado.

Figura 72 - Criando o board



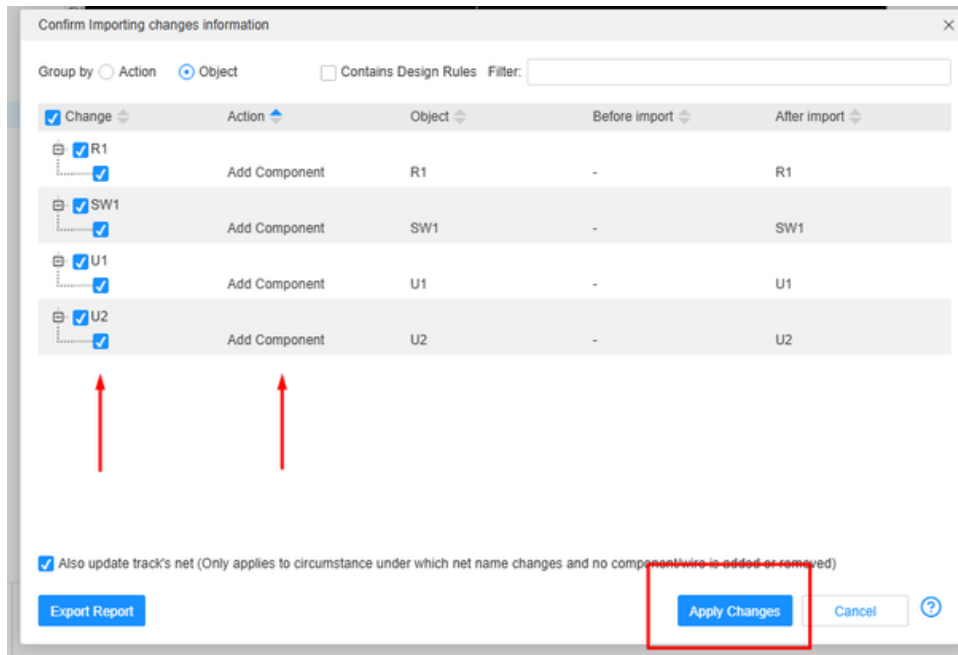
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 19

Com esquemático finalizado geramos a parte do layout da PCI através da função “Update/Convert Schematic to PCB”. Então clicamos com o botão esquerdo do mouse sobre a função.



Figura 73 - Adicionando os footprints dos componentes no board

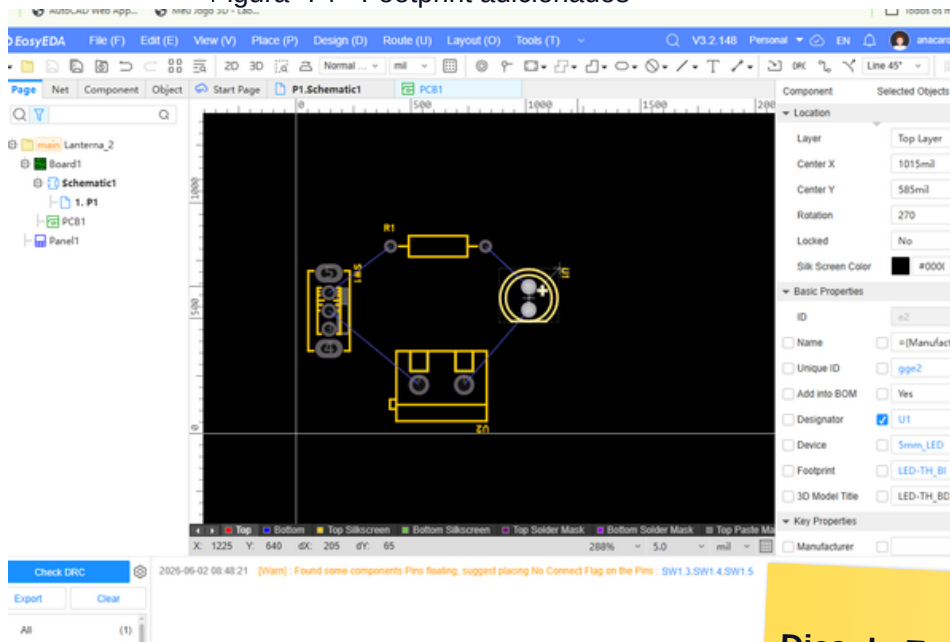


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 20

Clicamos com botão esquerdo em “Apply Changes”.

Figura 74 - Footprint adicionados



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 21

Após o passo 23, aparecerá a “PCB1” com os footprint dos componentes. Para posicionar de maneira similar ao esquemático, basta clicar sobre o componente e posicionar clicando e segurando o botão esquerdo do mouse outra vez e move-lo.

Dica do Especialista:

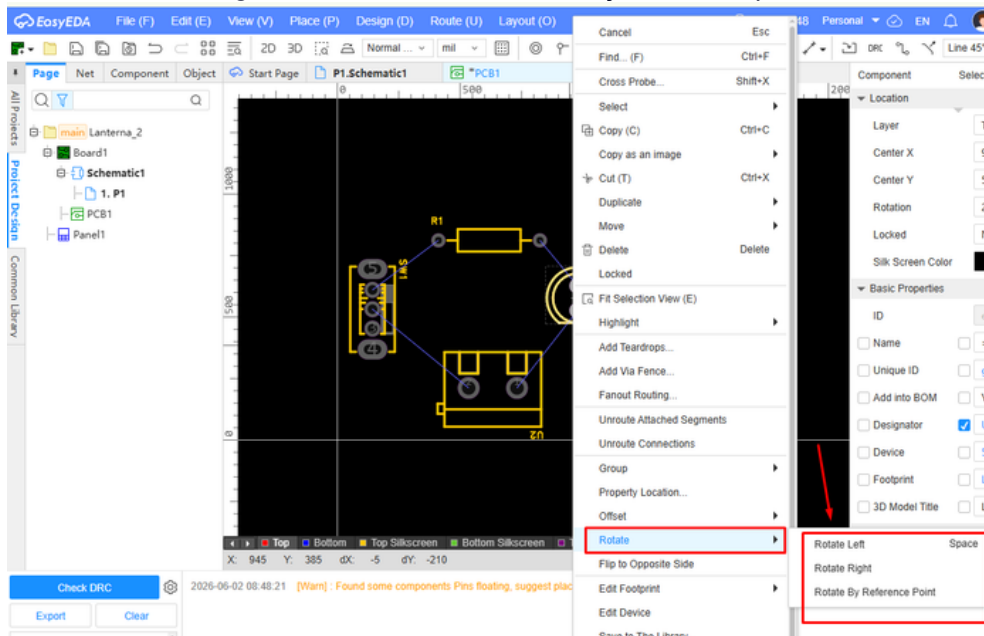
Se houver dúvida quanto ao tamanho do componente, o EasyEDA oferece a ferramenta Length (Alt+N), capaz de medir suas dimensões em mils ou mm.



Passo 22

Para rotacionar, basta seleccionar o componente com o botão esquerdo do mouse e posteriormente com botão direito sobre o componente e então aparecerá um painel de seleção. E então clicamos em “Rotate” e selecionamos como queremos rotacionar em “Rotate Left” ou “Rotate Right”.

Figura 75 - Ferramenta de rotação dos footprints

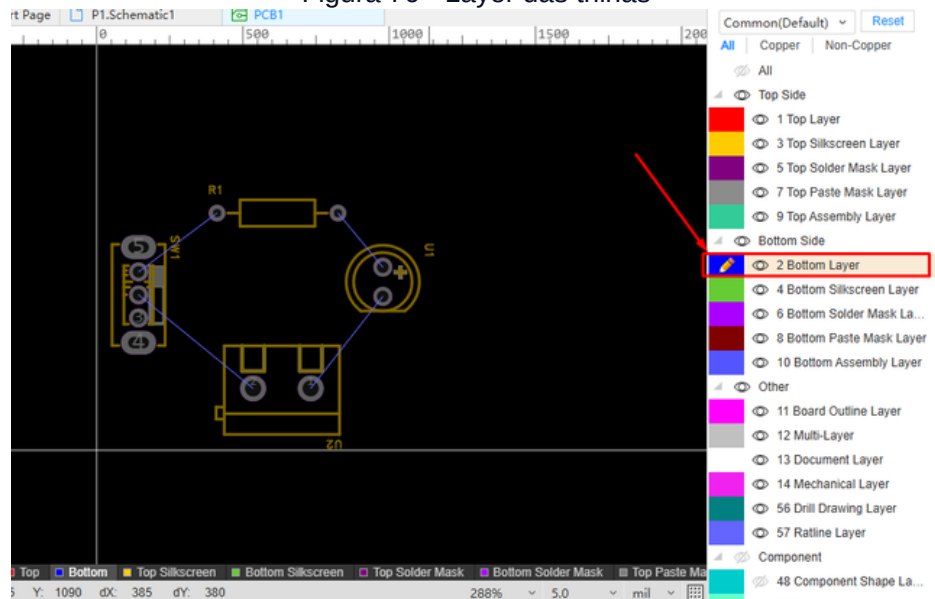


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 23

Para rotear o layout no EasyEDA temos que primeiro seleccionar o Layer e como no Eagle seleccionamos o “Bottom Layer” .

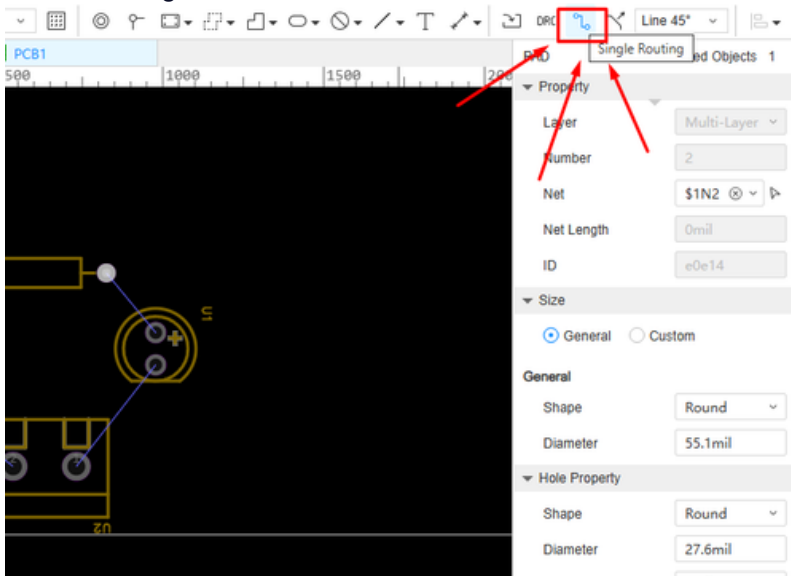
Figura 76 - Layer das trilhas



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.



Figura 77 - Ferramenta de roteamento

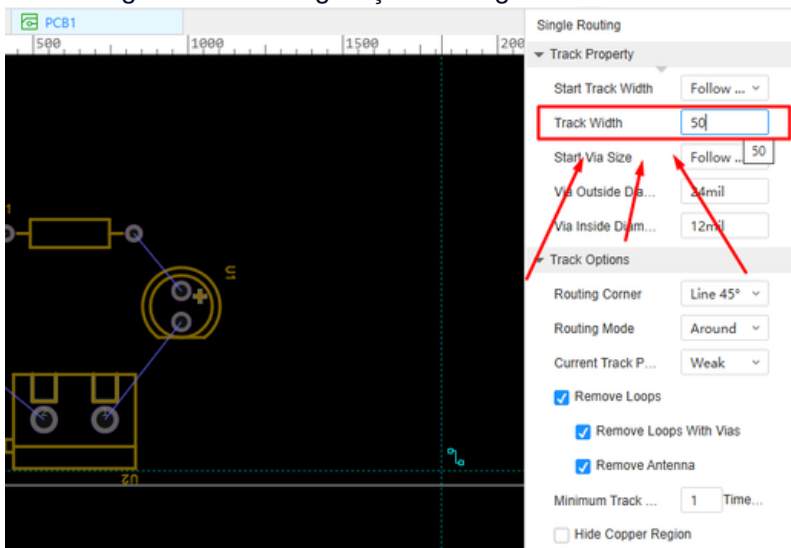


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 24

Para desenhar as trilhas e configurar a dimensões selecionamos a opção “Single Routing” na barra de ferramentas mostrada na figura.

Figura 78 - Configuração da largura da trilha



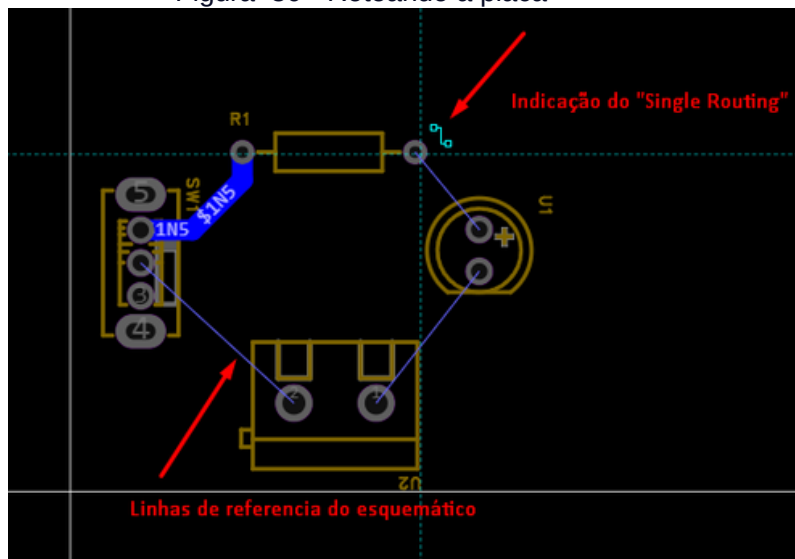
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 25

Mudamos a espessura na lacuna de “Track Width” para 50mil.



Figura 80 - Roteando a placa

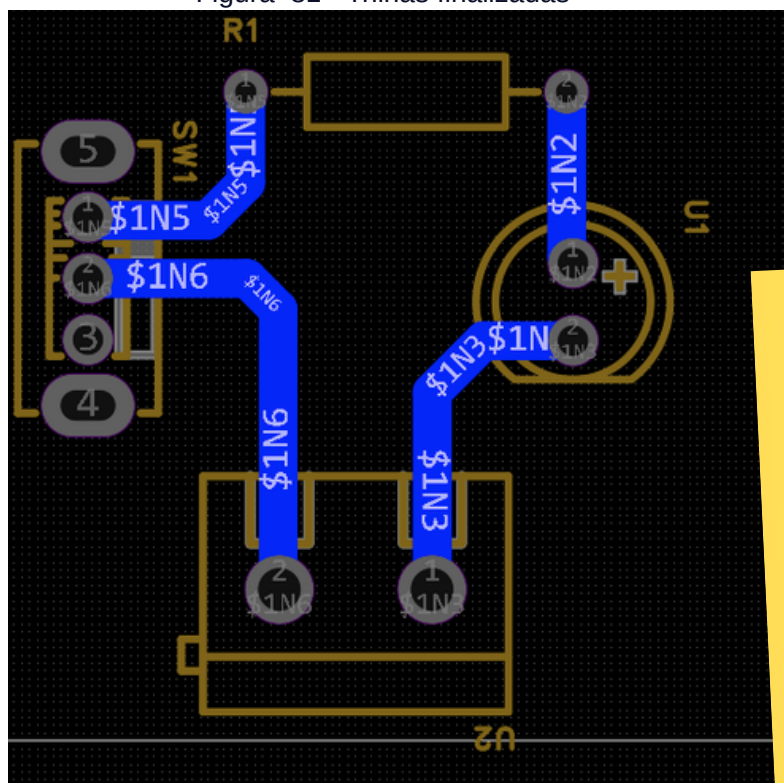


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 26

Posteriormente, para desenhar as trilhas com o “Single Routing” selecionado, basta clicar em cada terminal do footprint e ir arrastando até onde ele deve ser ligado. No EasyEDA tem linhas azuis indicando onde deve iniciar e terminar as trilhas seguindo o esquemático.

Figura 81 - Trilhas finalizadas



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 27

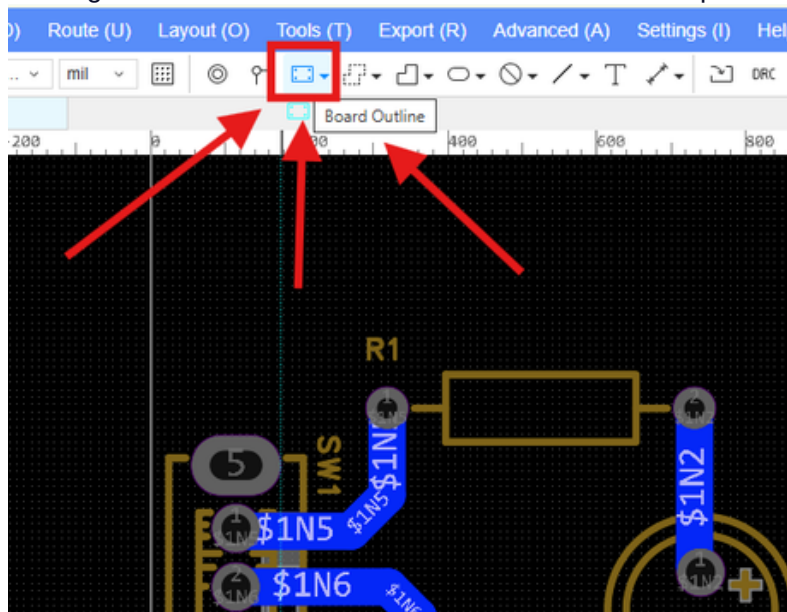
A figura ao lado mostra o layout com todas as trilhas conectadas.

Dica do Especialista:

Presente na maioria dos softwares, o roteamento automático (autorouting) auxilia em layouts complexos, mas raramente vem configurado de forma otimizada. Sem ajustes, ele costuma gerar trilhas muito finas, usar a camada superior (Top) sem necessidade e passar caminhos inadequados entre os pads.



Figura 82 - Ferramenta de delimitar o tamanho da placa

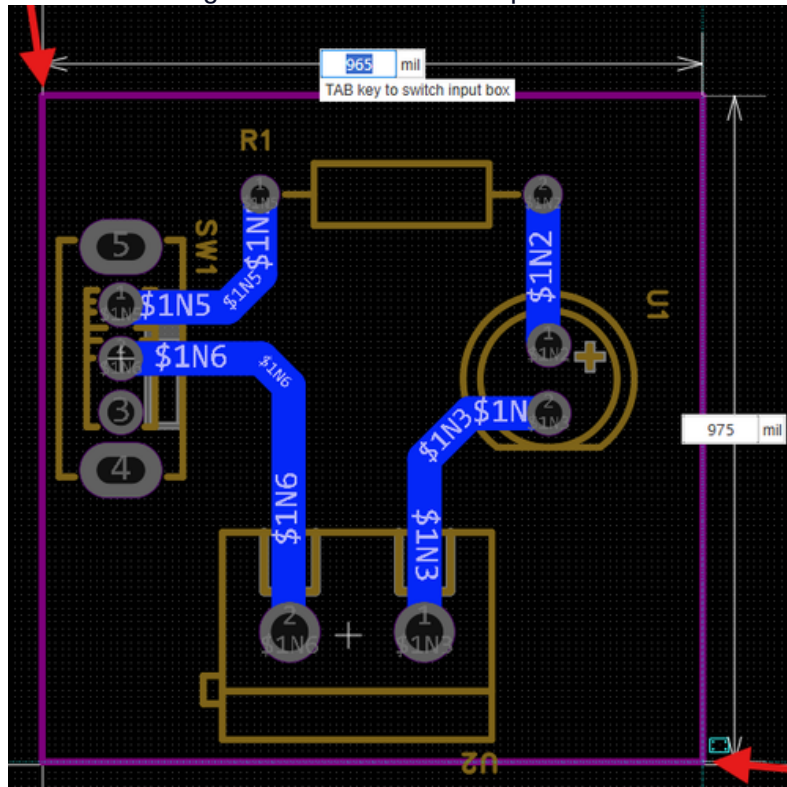


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 28

Nesse passo delimitamos o tamanho da placa em “Board Outline”.

Figura 83 - Delimitando a placa



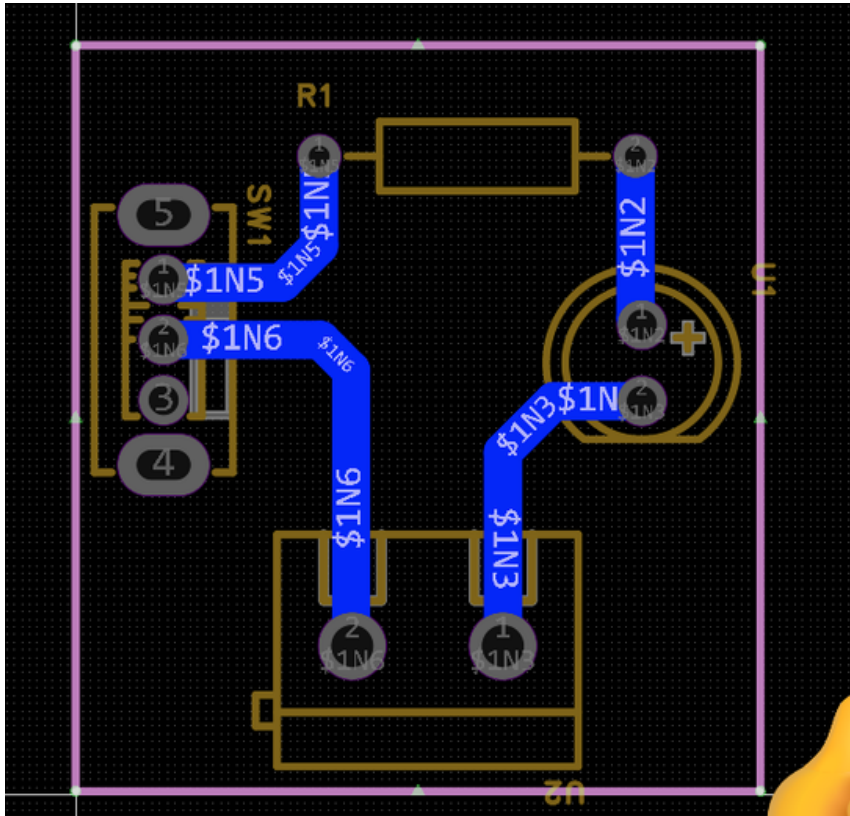
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 29

Após selecionar a ferramenta com o botão esquerdo do mouse, aparecerá uma cruz azul que ao clicar com botão esquerdo no canto superior esquerdo acima dos componentes aparecerá um quadrado que podemos arrastar até o canto inferior direito com os componentes dentro dele e clicar novamente, para delimitar a área da placa.



Figura 84 - Layout da PCI finalizada



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 30

Layout da PCI finalizado.

Dica do Especialista:

Esta placa utiliza apenas a camada inferior (Bottom), identificada pelas trilhas em azul. As trilhas da camada superior (Top) são representadas na cor vermelha.

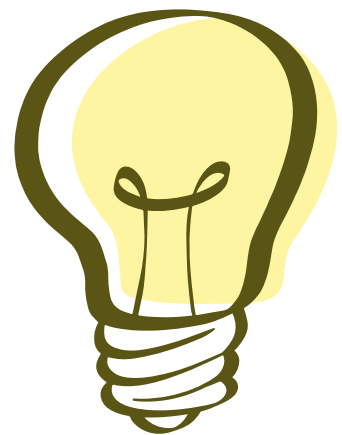


6. BOAS PRÁTICAS NO PROJETO DE PCIS

6.1 Dicas de roteamento

- Definir a grade e tamanhos de trilhas;
- Colocar todos os componentes na região da placa definida no software utilizado;
- Dividir os componentes em blocos, pelo esquemático é possível ver os componentes que mais próximos e assim separar os blocos com facilidade;
- Faça o roteamento das trilhas críticas do layout primeiro;
- Roteie cada bloco de construção separadamente;
- Mova os blocos concluídos para uma posição na placa;
- Roteie as conexões entre os blocos;
- Realize a verificação de regras (DRC) do software;
- Se possível peça alguém para verificar.

Esta lista não é uma forma de verificação completa, pode variar para cada projeto de placa. Mas é um guia para produzir um layout razoável (Jones, 2004).



6.2 Largura de trilhas

Uma ferramenta amplamente utilizada para o dimensionamento da largura de trilhas é a calculadora disponibilizada pela UltraCAD, que realiza os cálculos com base nas recomendações da norma IPC-2152. Entretanto, para o público-alvo deste manual, composto principalmente por projetistas iniciantes, a Tabela 1 apresenta valores de largura de trilhas que podem ser utilizados como referência prática durante o desenvolvimento de projetos de placas de circuito impresso.

Tabela 1 - Referência para largura de trilhas

Corrente (A)	Largura para 1 oz (mils)	Largura para 2 oz (mils)	Mili Ohms/Polegada
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

Fonte: Adaptado de JONES (2004).

Observação: Para placas de circuito impresso fabricadas em FR-4 ou fenolite, deve-se utilizar a coluna correspondente à espessura de cobre de 1 oz/ft² (35 µm), pois essa é a espessura mais comum encontrada nas placas comercialmente disponíveis e utilizada na maioria dos projetos desenvolvidos neste manual.



6.3 Erros comuns no desenvolvimento de PCIs

- Layout mal planejado: Como consequência se a placa for de frequência pode haver interferências entre os sinais, gerando falhas no funcionamento;
- Componentes mal posicionados: Colocar peças em lugares errados dificulta a montagem e pode causar superaquecimento e falhas de comunicações entre as partes na placa;
- Trilhas mal desenhadas: Pode atrapalhar o sinal elétrico quando mal desenhadas;
- Falta de testes e protótipos: Antes de qualquer fabricação de PCI em escala quando profissional ou amador é necessário antes simular, montar na protoboard e montar uma versão teste (protótipo) para verificar funcionamento;
- Problemas com sinal elétrico: O não seguimento de boas práticas, pode afetar o sinal com interferências, ruídos ou enfraquecimento, causando falhas.



6.4 Problemas comuns encontrados por iniciantes

Tabela 2- Problemas encontrados por iniciantes

Problema	Consequência	Solução
Trilhas muito finas	Queima ou aquecimento excessivo	Consultar tabelas de trilhas
Footprint Incorreto	Componente não encaixa na placa	Conferir datasheet antes do roteamento
Esquecer o DRC	Erros de fabricação	Executar o DRC antes de gerar os Gerbers
Componentes muito próximos	Dificulta soldagem	Respeitar espaçamentos mínimos
Curto circuito por excesso de solda	Queima de componentes	Respeitar os requisitos de soldagem padrão IPC
Solda fria	Mau contato com a placa	Respeitar os requisitos de soldagem padrão IPC
Componentes montados invertidos	Queima ou não funcionamento de componentes	Ao inserir os componentes sempre verificar a posição no layout do projeto
Trilhas interrompidas	Placa não liga ou funciona parcialmente	Evitar trilhas muito finas
Excesso de fluxo de solda	Mau contato com a placa	Evitar colocar fluxo demasiadamente
Falta de inspeção visual	Componentes ocupando muito espaço	Checar espaçamentos entre componentes no layout do projeto

Fonte: Elaborado pela autora.



6.5 Norma IPC

Neste manual seguiremos as normas IPC (*Institute for Printed Circuits*) que auxiliam projetistas e fabricantes a seguirem boas práticas durante o desenvolvimento das placas. Especificamente as quatro normas da tabela a seguir:

Tabela 3- Normas IPC utilizadas como referência

Norma IPC	Função principal	Aplicação
IPC-2221	Regras gerais para projeto de PCI	Layout, trilhas e espaçamentos
IPC-2152	Dimensionamento de trilhas	Corrente elétrica e largura das trilhas
IPC-A-610	Critérios de aceitabilidade	Inspeção visual de montagem
IPC J-STD-001	Requisitos para soldagem	Qualidade e confiabilidade das soldas

Fonte: IPC (2025).

No manual as normas IPC serão utilizadas apenas como referência introdutória de boas práticas de projeto e fabricação de placas de circuito impresso, sem aprofundamento técnico avançado, pois o manual desenvolvido possui caráter didático e é voltado para iniciantes na área de eletrônica.

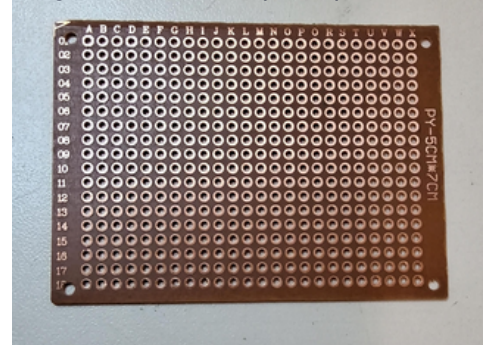


7. MÉTODOS FABRICAÇÃO DE PCIS ACESSÍVEIS

7.1 Placas perfuradas

Pode-se dizer que esta técnica é a forma mais simples de fabricar uma PCI. Chamadas de placas experimentais, estas placas são feitas de papel duro ou resina epóxi. No mercado podemos encontrar placas de base fenólica ou FR4. Os componentes são inseridos no lado sem cobre e soldados no outro lado nas de face simples e nas de face dupla podem ser soldados em ambos os lados.

Figura 85 - Método placa perfurada



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2 Fotolitografia ou Método Fotográfico caseiro

A fotolitografia é um processo utilizado em fabricação de semicondutores e PCIs. O processo é envolvido em várias etapas que incluem a aplicação de foto resistente, exposição, revelação e gravação.

Figura 86 - Método fotográfico

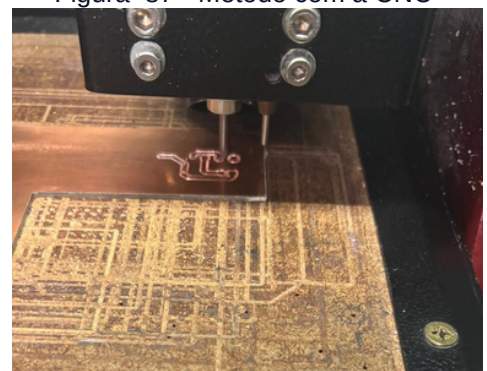


Fonte: Elaborado pela autora.

7.3 CNC

Essa técnica consiste em criar a placa com fresagem. Estas são criadas com placa revestida de cobre e as trilhas condutoras são fresadas sobre elas. As CNC que significa Controle Numérico Computadorizado.

Figura 87 - Método com a CNC



Fonte: Elaborado pela autora.



8. FABRICAÇÃO DA PCI COM O LAYOUT PROJETADO NO EAGLE E NO EASYEDA

8.1 Placas perfuradas

Para a fabricação da placa de circuito impresso pelo método com placas perfuradas, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

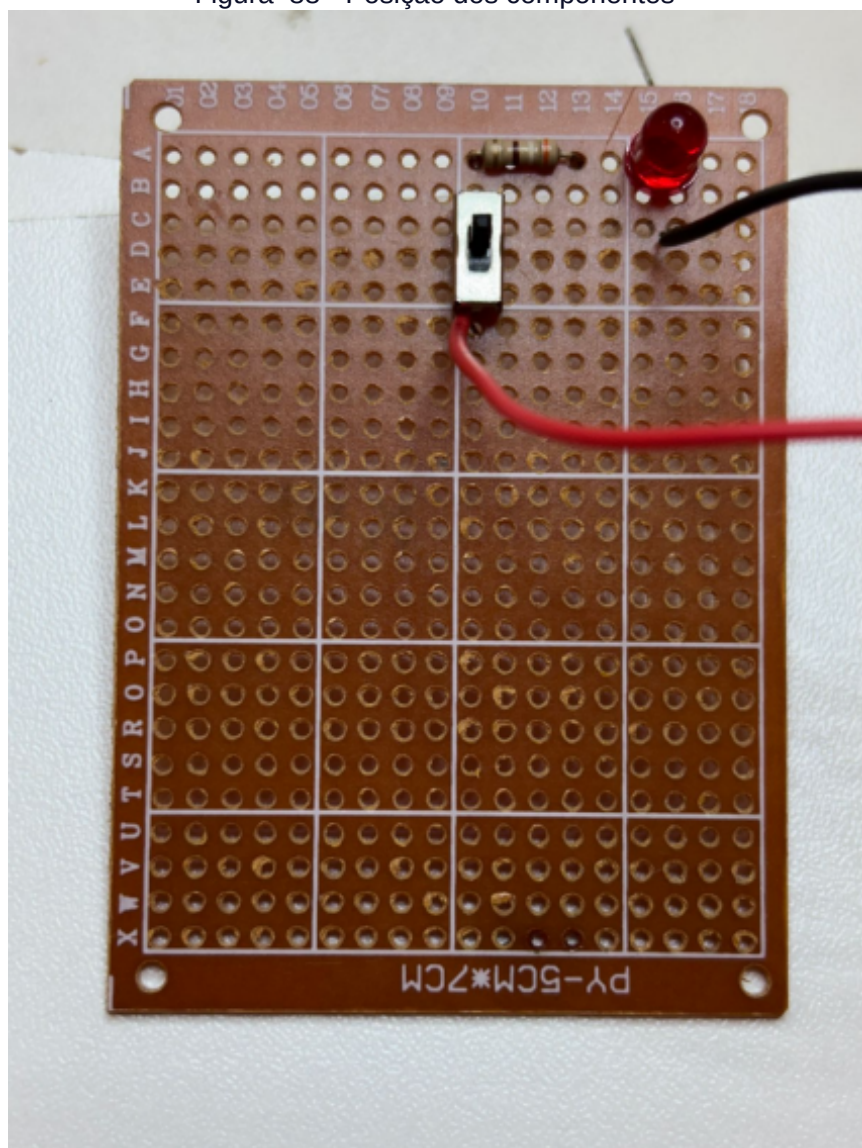
8.1.1 Materiais utilizados no método com placas perfuradas

- Ferro de solda
- Estanho
- Placas perfurada face simples
- Resistores de 370Ω
- LEDs vermelhos
- Chaves Liga/Desliga
- Conectores
- Clipe de bateria 9V
- Bateria 9V



8.1.2 A seguir o passo a passo para fazer o circuito da figura em placas perfuradas.

Figura 88 - Posição dos componentes



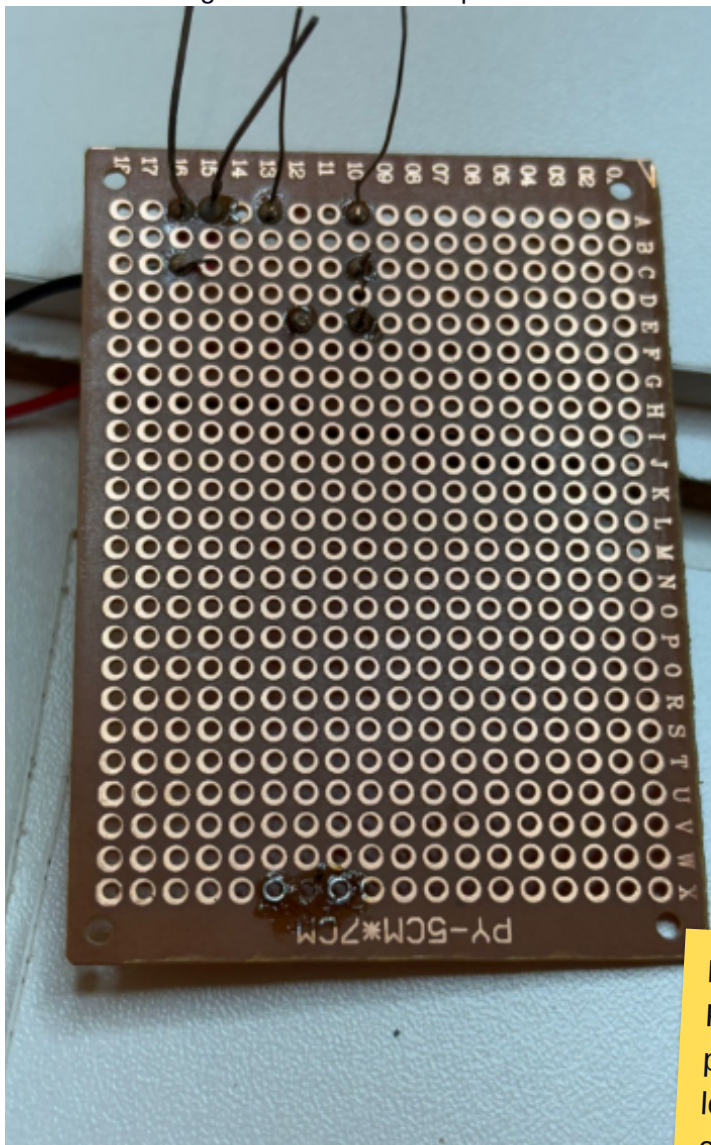
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 1

O primeiro passo para a aplicação da técnica de PCI em placas perfuradas do circuito exemplo é ir posicionando os componentes na parte sem cobre para checar qual melhor lugar para soldar.



Figura 89 - Solda dos pads



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 2

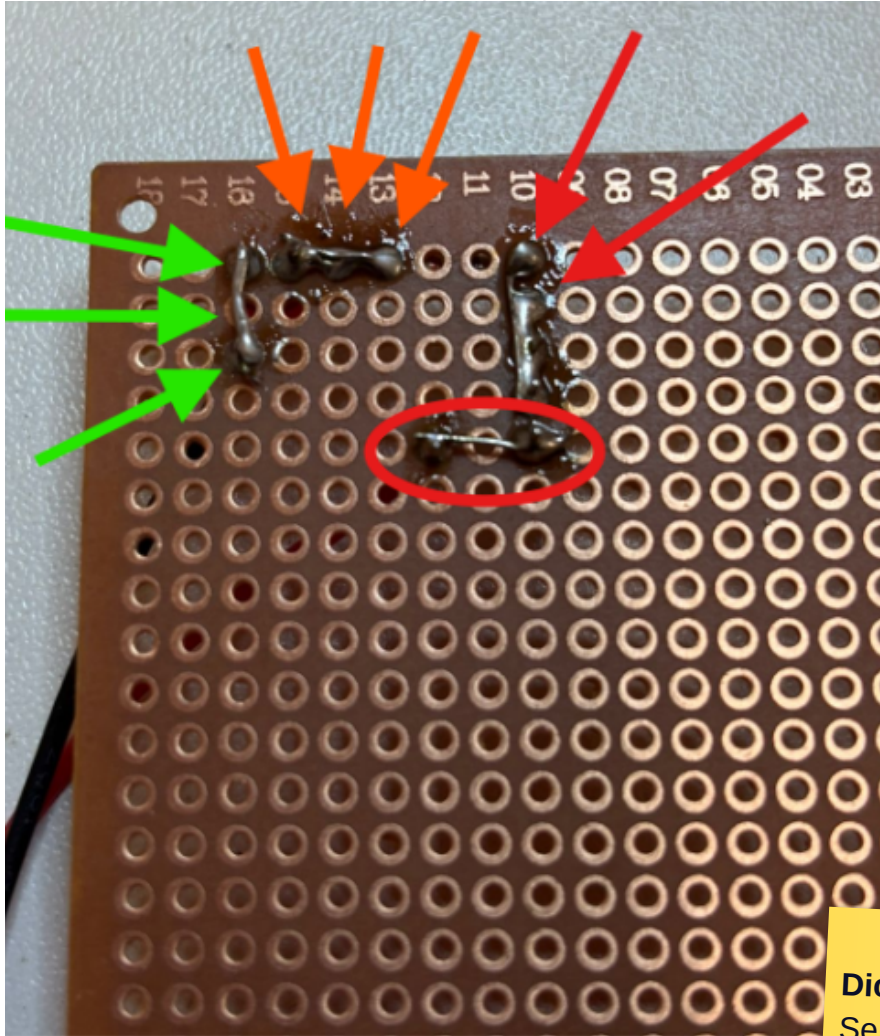
Após escolhido o local de cada componente é necessário soldá-los um a um. Como na figura ao lado deste modo podemos interligar os terminais como esta na imagem do circuito exemplo.

Dica do Especialista:

Para facilitar a soldagem em placas perfuradas, dobre levemente os terminais do componente. Solde um terminal primeiro e, em seguida, ajuste e solde os demais. Dessa forma, o componente permanece firme e rente à placa.



Figura 90 - Junção das soldas



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 3

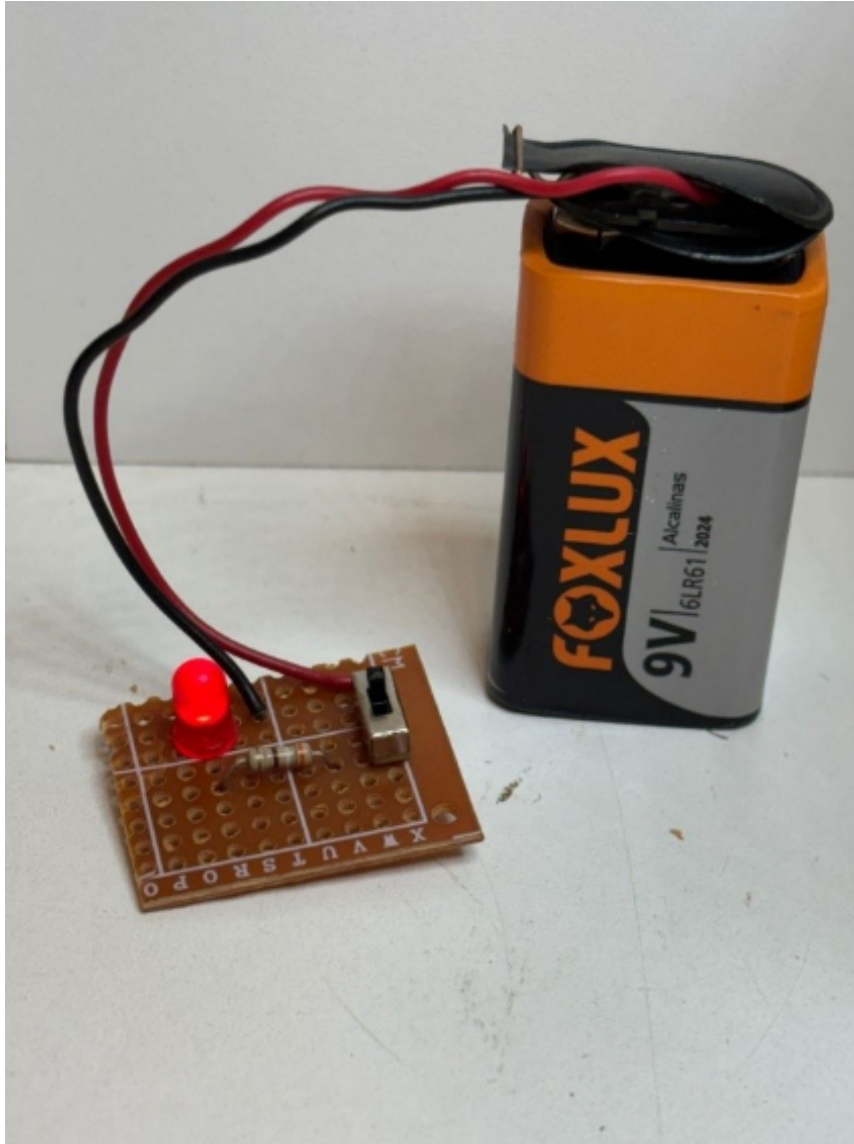
Nesse passo é feita a junção dos pads com solda para interconectar os terminais dos componentes. Formando as trilhas com solda como esta circulado na figura.

Dica do Especialista:

Se o estanho não conseguir interligar dois pads em uma placa perfurada, utilize o excesso do terminal do componente como ponte de ligação.



Figura 91 - Placa finalizada



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 4

Fazendo todos passos a placa com o circuito exemplo ficará com mostra a figura ou proximo disso. Parece ser simples mas estamos este circuito é simples mas tudo muda quando a quantidade de componentes aumenta, o nível de dificuldade aumento proporcionalmente.



8.2 CNC

Para a fabricação da placa de circuito impresso pelo método da CNC, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

8.2.1 Materiais utilizados no método da CNC

- Placa de FR4 (fibra de vidro revestida com cobre);
- Placa de fenolite.
- Fresadora CNC

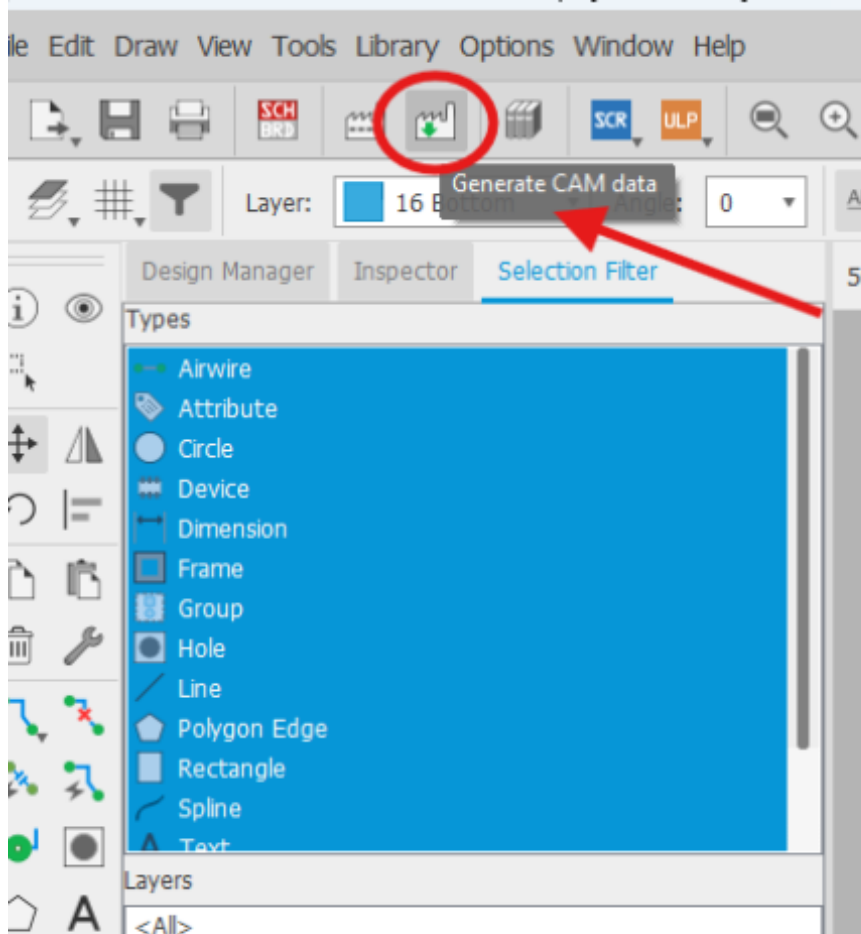


8.2.2 Passo a passo do método de fabricação com CNC

Geralmente, os softwares que controlam as fresadoras necessitam de arquivos *Gerber* para realizar a fabricação da placa. A seguir, são apresentados os passos para gerar esses arquivos no Eagle e no EasyEDA, softwares utilizados neste manual.

A seguir o passo a passo para gerar os arquivos Gerber da PCI no Eagle.

Figura 92 - Ferramenta de gerar os arquivos Gerber no Eagle



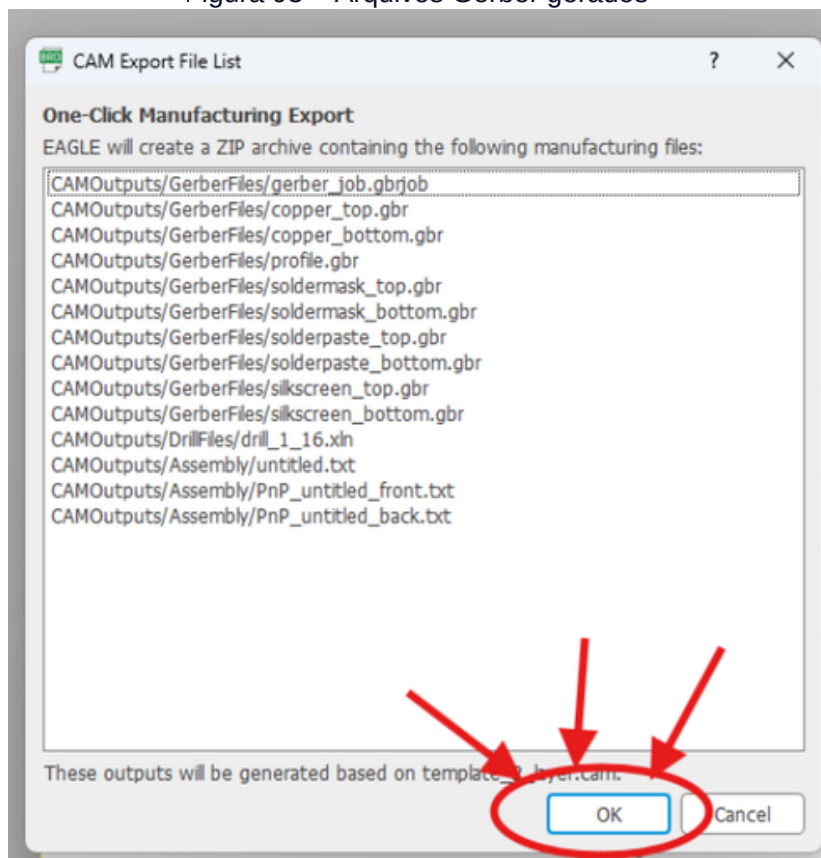
Passo 1

O primeiro passo no software Eagle é clicar na função *"Generate CAM data"*.

Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.



Figura 93 - Arquivos Gerber gerados



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle.

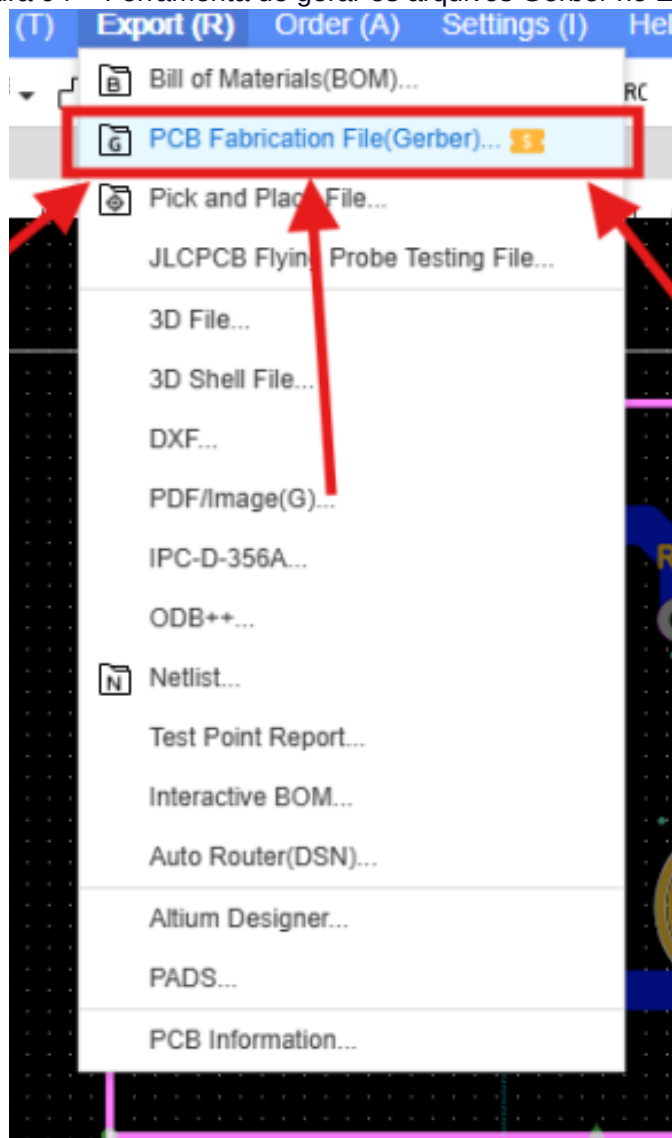
Passo 2

O segundo passo é clicar em “OK” e salvar em uma pasta esses arquivos no seu computador. Então esses arquivos são enviados para fresar a placa.



A seguir o passo a passo para gerar os arquivos Gerber da PCI no EasyEDA.

Figura 94 - Ferramenta de gerar os arquivos Gerber no EasyEDA



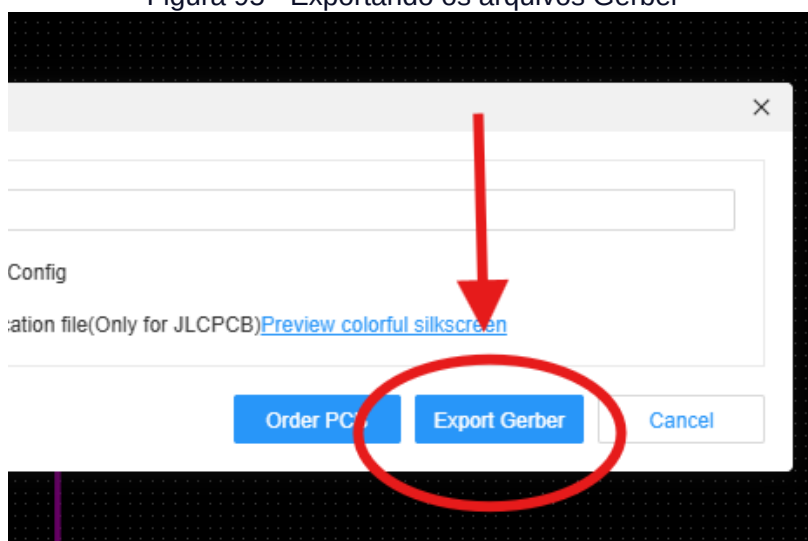
Passo 1

No easyEDA clique em “Export (R)” e abrirá varias opções e então selecionamos a opção “PCB Fabrication File (Gerber)”.

Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.



Figura 95 - Exportando os arquivos Gerber

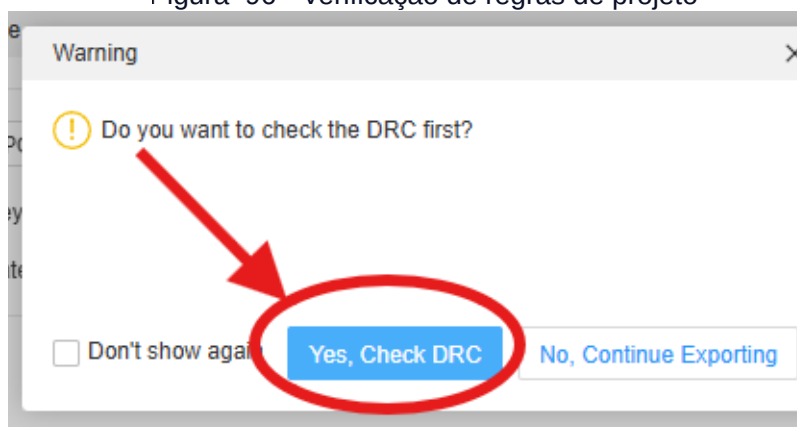


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 2

Posteriormente uma janela de confirmação abrirá e novamente clique em “Export Gerber”.

Figura 96 - Verificação de regras de projeto



Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 3

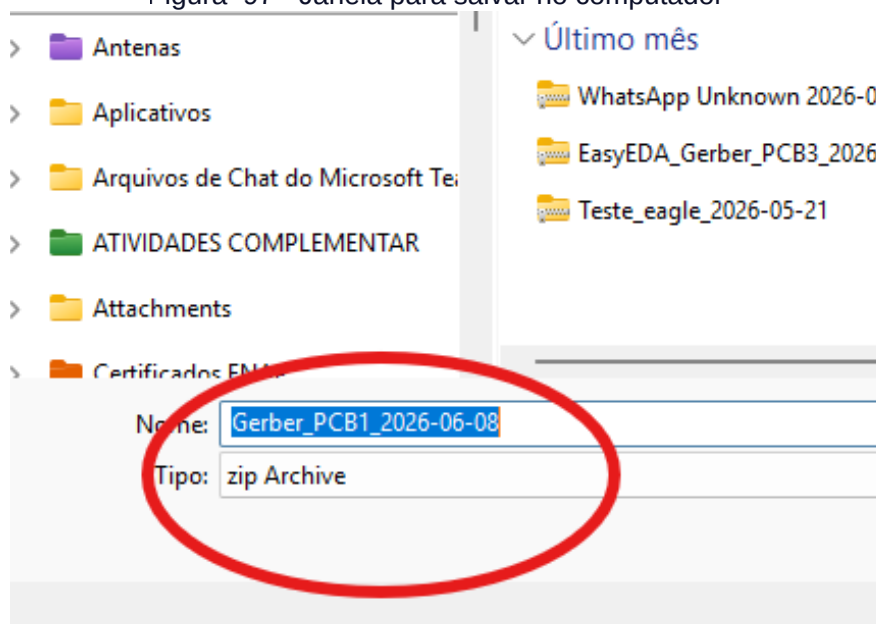
Se aparecer esta janela clique em “Yes, Check DRC”. Essa opção identifica possíveis erros no layout.

O DRC é Verificação de Regras de Projeto. Serve para encontrar erros de projeto. Por exemplo:

- trilhas muito próximas;
- componentes sobrepostos;
- conexões abertas.



Figura 97 - Janela para salvar no computador

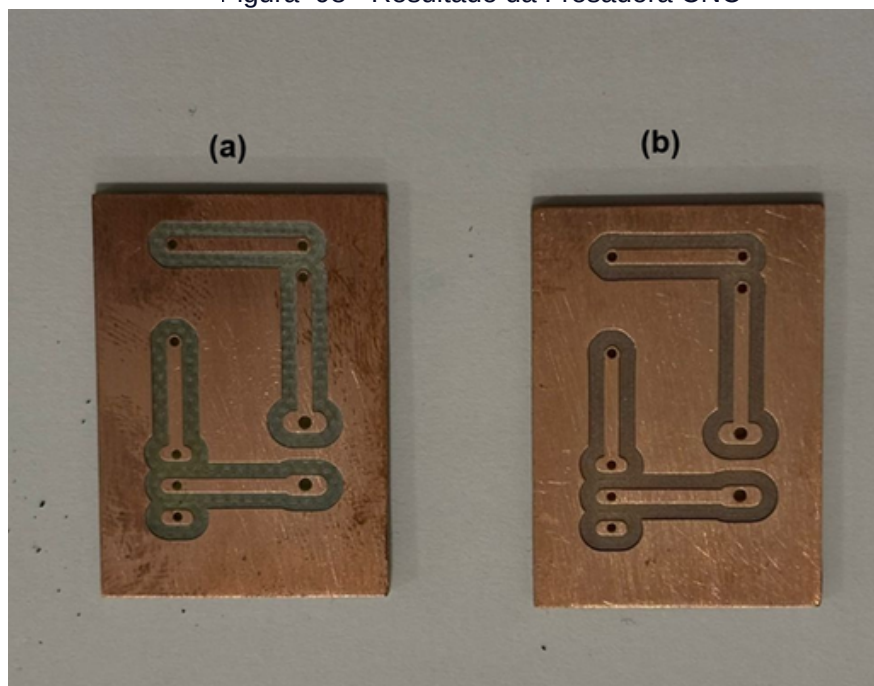


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA.

Passo 4

Agora salvamos os arquivos .zip no computador ou em um pendrive para o envio para algumas instituição que tenha uma fresadora disponível.

Figura 98 - Resultado da Fresadora CNC



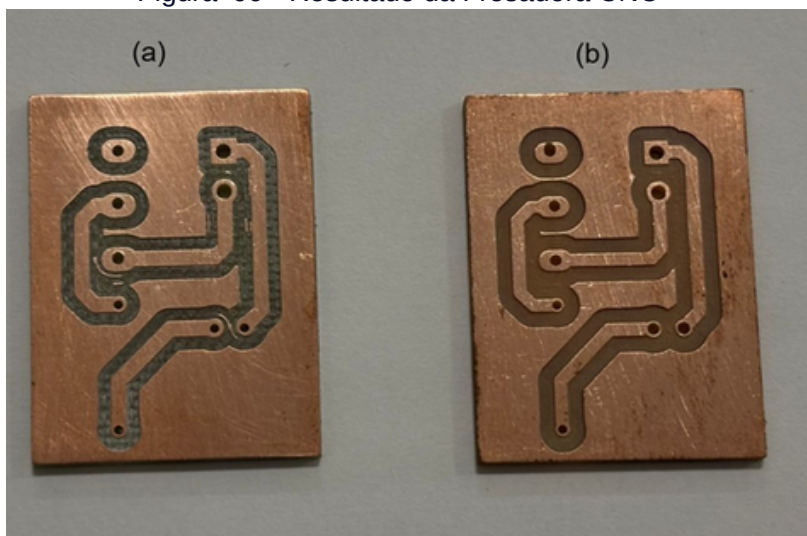
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 5

A figura ao lado apresenta a placa final projetada no Eagle e fabricada utilizando a fresadora da UFU – Campus Patos de Minas. A Figura 98 (a) mostra a placa em FR4 e a Figura (b) em fenolite, ambas com melhor acabamento em comparação à placa perfurada.



Figura 99 - Resultado da Fresadora CNC



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 6

A figura ao lado apresenta a placa final projetada no EasyEDA e fabricada utilizando a fresadora da UFU – Campus Patos de Minas. A Figura (a) mostra a placa em FR4 e a Figura (b) em fenolite, ambas com melhor acabamento em comparação à placa perfurada.



8.3 Fotolitografia ou método fotográfico

8.3.1 Materiais utilizados na fotolitografia

Para a fabricação da placa de circuito impresso pelo método fotográfico, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Placa de FR4 (fibra de vidro revestida com cobre);
- Lã de aço;
- Broca de 0.8 e 1.0 mm;
- Tinta fotossensível PLC8220;
- Revelador de tinta fotossensível PLCRV;
- Removedor de tinta fotossensível PLCRM;
- Percloreto de ferro para 500ml;
- Lâmpada UV;
- Expositor UV confeccionado a partir de sucata de impressora;
- Papel Transfer para impressora laser (90 g/m²);
- Filme laser opaco para fotolito (Laser Film A4);
- Rolinho de pintura;
- Pincel;
- Recipiente para água;
- Secador;
- Microretífica;
- Luvas de proteção;
- Máscara de proteção;
- Caixa de papelão;
- Ferro de passar roupa;
- Régua;
- Fita crepe;
- Óculos de proteção.



8.3.2 Passo a passo do método de fabricação com o método fotográfico

A seguir o passo a passo para confecção da PCI no método fotografico.

Figura 100 - Placa de fenolite

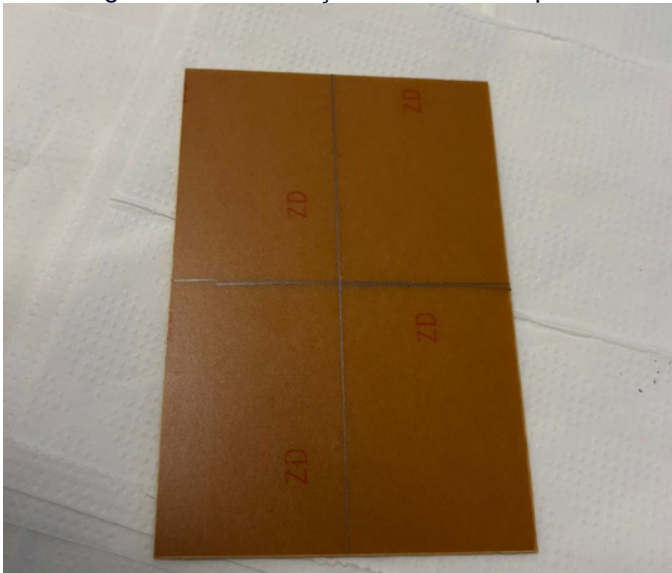


Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 1

O primeiro passo o projetista deve lavar e secar a placa FR4 ou fenolite com lã de aço para retirar as sujidades e posiciona-la sob papel tolha ou um plástico.

Figura 101 - Marcação do centro da placa



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 2

Com uma régua marque o centro da placa no lado sem cobre. Essa marcação serve para centralizar a placa.



Figura 102 - Placa com tinta fotossensível



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 3

Com a proteção de máscara e luvas, passamos sobre a placa a tinta fotossensível com um pincel.

Figura 103 - Centrifugação com a microretífica



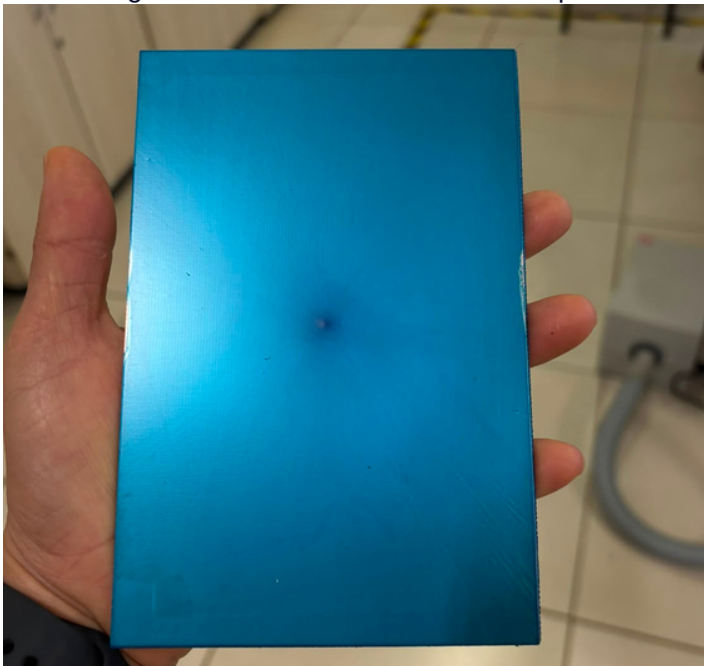
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 4

Fixe a placa pelo centro utilizando uma micro-retífica ou uma furadeira. Em seguida, realize a centrifugação por aproximadamente dois minutos para distribuir a tinta fotossensível de maneira uniforme sobre toda a superfície da placa. Recomenda-se executar esse procedimento dentro de uma caixa de papelão para evitar respingos de tinta no ambiente e utilizar olhos de proteção.



Figura 104 - Tinta uniforme sobre a placa



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 5

Após o término do processo, a placa ficará semelhante à apresentada na figura ao lado.

Figura 105 - Secagem da placa



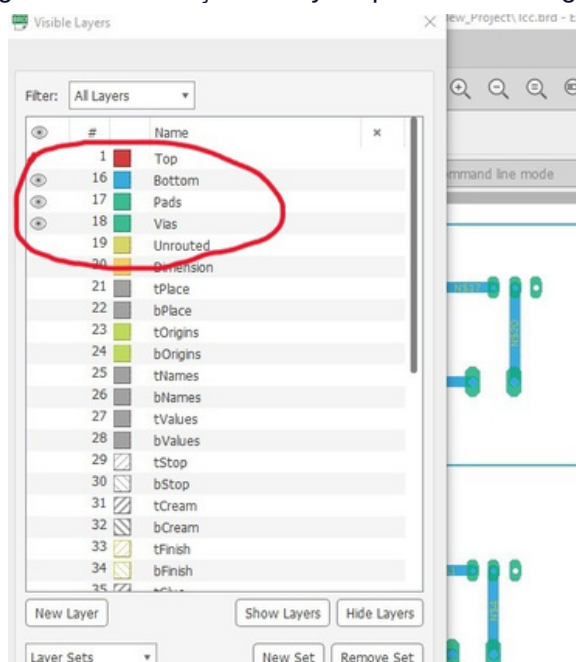
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 6

Após a aplicação uniforme da tinta sobre a placa, deixe-a secar com o auxílio de um secador por aproximadamente 30 minutos, ou permita a secagem natural de um dia para o outro.



Figura 106 - Seleção de layers para fotolito Eagle

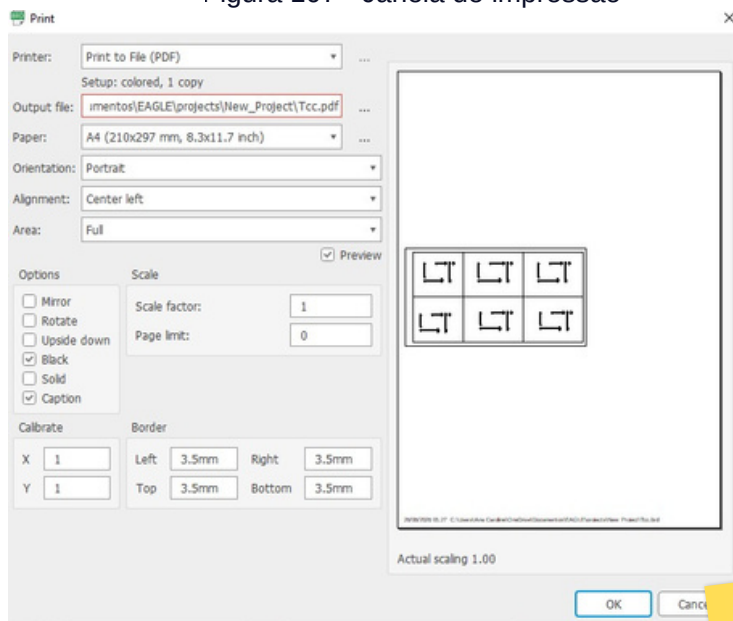


Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 7

A confecção do fotolito é realizada utilizando o filme laser opaco (Laser Film A4). No Eagle, selecione estritamente as camadas Bottom, Pads, Vias e Dimension para a geração do arquivo.

Figura 107 - Janela de impressão



Fonte: Elaborado pela autora no software Eagle

Passo 8

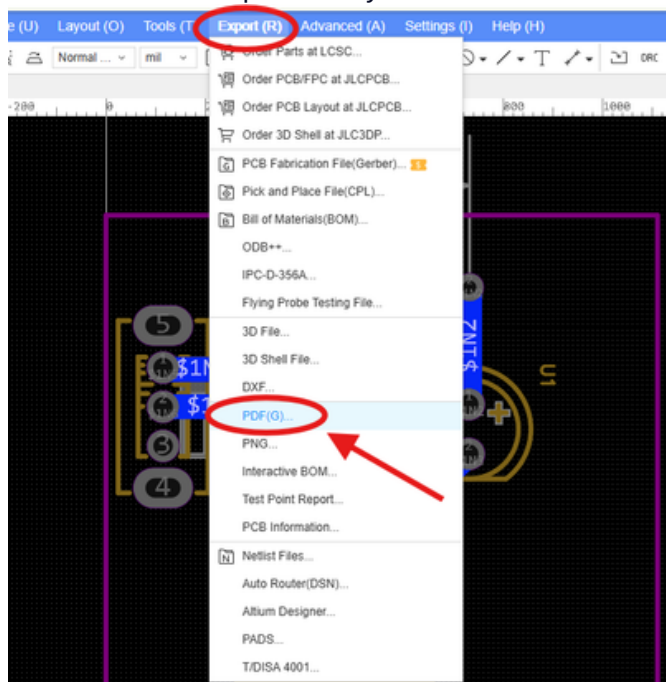
Após selecionar os layers corretos basta selecionar o icone da impressora. Essa tela surgirá e entao basta salvar no computador. O fotolito exige que as trilhas da placa fiquem brancas e o fundo ao redor fique preto. Essa inversão de cores deve ser realizada em um software de edição gráfica — para este projeto, utilizou-se a plataforma Canva.

Dica do Especialista:

Essa parte pode haver confusão pois alguns software exigem que espelhe as trilhas e outros não. Então imprima uma folha em papel com para conferir a posição.



Figura 108 - Ferramenta para gerar PDF da placa EasyEDA

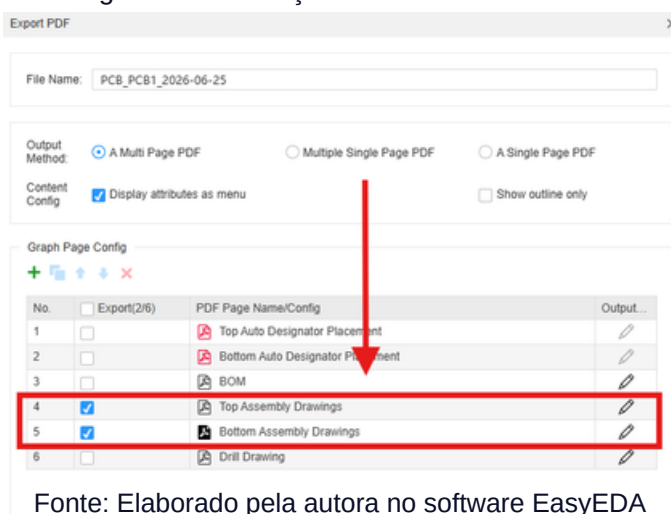


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

Passo 9

No software EasyEDA, deve-se acessar a opção “Export” e, em seguida, selecionar a alternativa “PDF”.

Figura 109 - Seleção das camadas da PCI

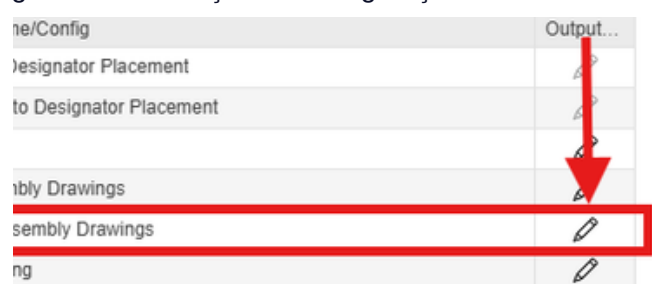


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

Passo 10

Ao acessar essa opção, uma janela de configurações será aberta. Selecione apenas as caixas “Top Assembly Drawings” e “Bottom Assembly Drawings” para prosseguir.

Figura 110 - Seleção da configuração da camada inferior



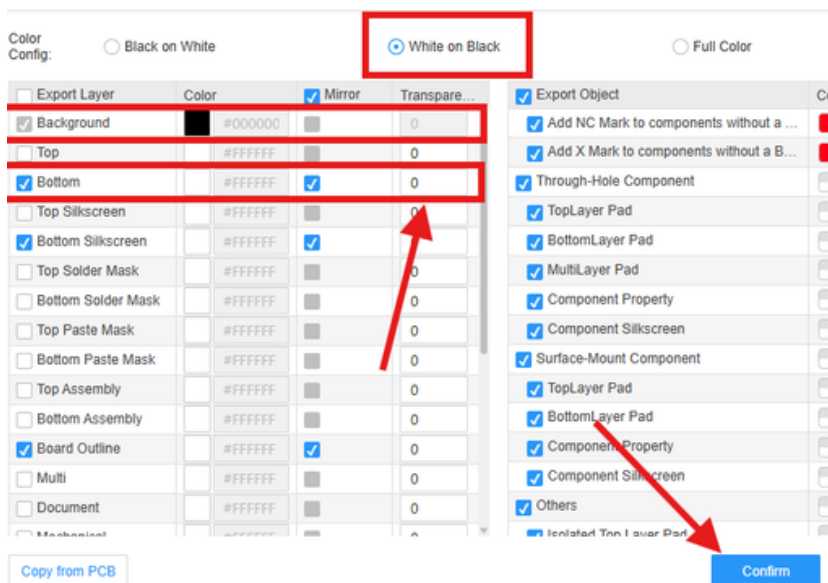
Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

Passo 11

Em “Bottom Assembly Drawings”, clique no ícone representado por um lápis; uma janela de configurações será aberta em seguida.



Figura 111 - Janela de configuração do Bottom

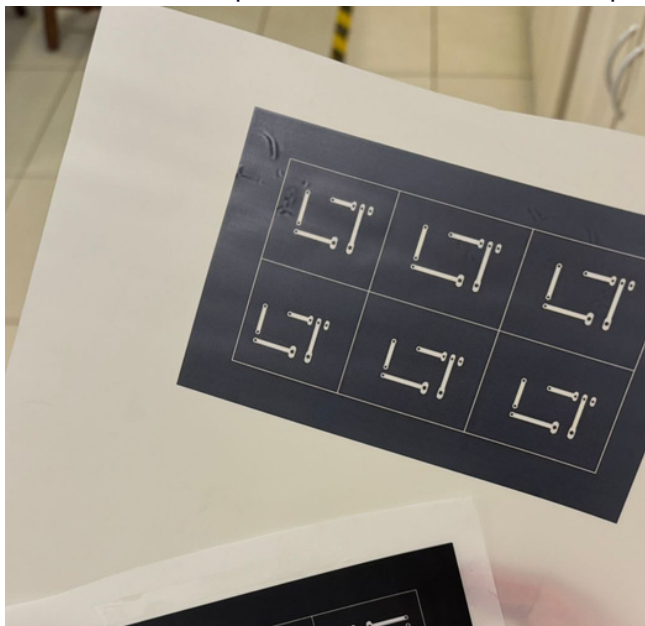


Fonte: Elaborado pela autora no software EasyEDA

Passo 12

Nessa janela, realiza-se a inversão das cores das trilhas selecionando as opções “White on Black” e “Bottom”. O parâmetro de transparência (Opacity ou Transparency) deve ser definido em 0 e o “Background” configurado na cor preta, caso já não esteja padronizado dessa forma. Em seguida, clica-se em “Confirm” para fechar a janela, aciona-se o comando “Print” e o arquivo gerado pode ser salvo no diretório de preferência do computador.

Figura 112 - Fotelito impresso no material laser film opaco



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 13

Após a inversão das cores das trilhas da placa, o fotolito deve ser impresso em formato A4, utilizando uma impressora a laser configurada na sua resolução máxima com a qualidade FastRes 1200. Nas configurações do equipamento, deve-se selecionar a opção de mídia adequada para transparência de impressora a laser.

Para este experimento foram feitas 6 layouts iguais ao que foi feito no procedimento de desenvolvimento de placas no Eagle.



Figura 113 - Exposição a radiação UV



Fonte: Elaborado pela autora.

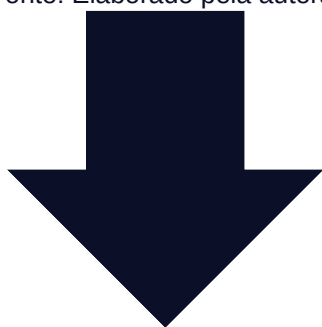
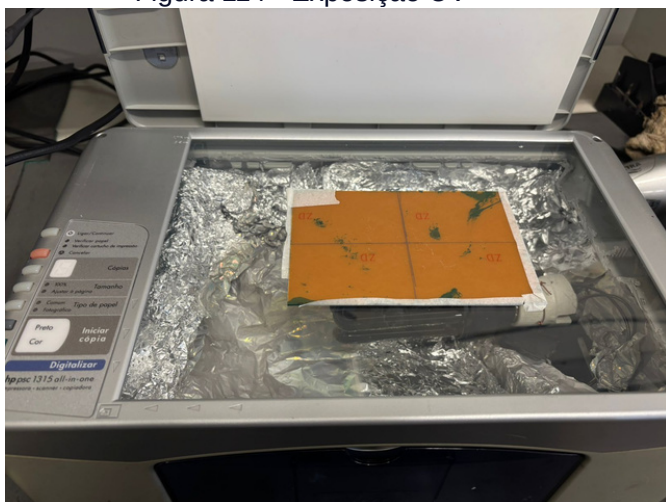


Figura 114 - Exposição UV



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 14

Após a secagem da tinta sobre a placa, o fotolito deve ser fixado sobre ela com o auxílio de fita crepe. Em seguida, o conjunto deve ser inserido, voltado para baixo, na mesa de vidro do equipamento de exposição UV. O processo de exposição deve durar entre 3 a 5 minutos, e a estrutura foi desenvolvida de forma vedada para evitar a exposição direta dos operadores à radiação UV.

Dica do Especialista:

Foi utilizada uma sucata de impressora como suporte para a lâmpada ultravioleta (UV). Alternativamente, pode-se utilizar uma caixa de papelão ou outra estrutura adequada que impeça a exposição direta do projetista à radiação ultravioleta.



Figura 115 - Etapa de revelação



Fonte: Elaborado pela autora.

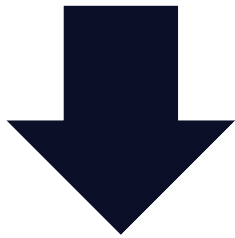
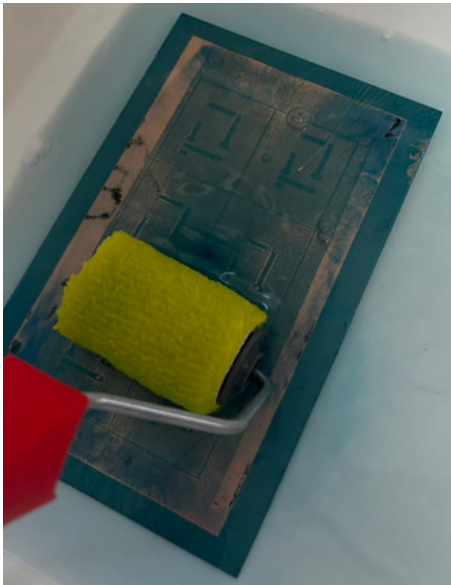
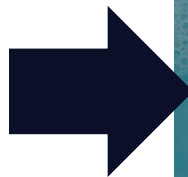


Figura 116 - Revelando as trilhas do fotolito



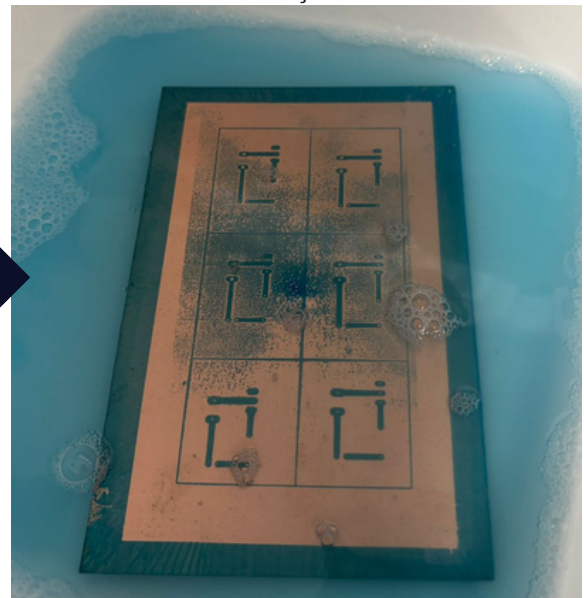
Fonte: Elaborado pela autora.



Passo 15

Para a etapa de revelação, o produto revelador deve ser dissolvido em 200 ml de água. Em seguida, a placa deve ser submersa na solução, permitindo a visualização imediata do processo de revelação e a definição das trilhas na superfície do circuito.

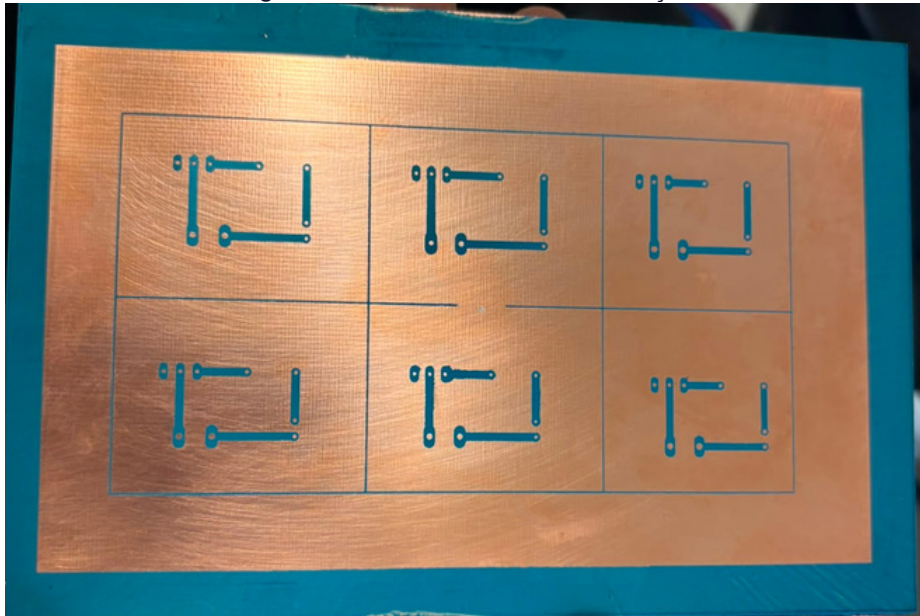
Figura 117 - Trilhas reveladas com a solução



Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 118 - Resultado da Revelação



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 16

Resultado da revelação das trilhas com tinta fotossensível.

Dica do Especialista:
Um fotolito com baixa densidade de preto permite a passagem parcial da radiação UV. Esse fenômeno compromete a proteção da tinta fotossensível e resulta em microfalhas ou descontinuidades nas trilhas após o processo de revelação.

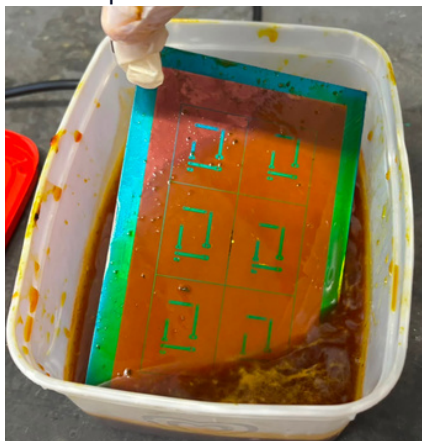


Figura 119 - Percloreto de ferro



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 120 - Solução com o
percloro de ferro



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 17

Após a revelação das trilhas e feito o processo de corrosão com percloro de ferro em uma recipiente. Esse saquinho utilizado tem que ser diluido em 500ml de água em recipiente de plástico. O tempo estimado para que a placa fique submergida na solução é 30min.

Figura 121 - Solução do percloro de
ferro engarrafada



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 18

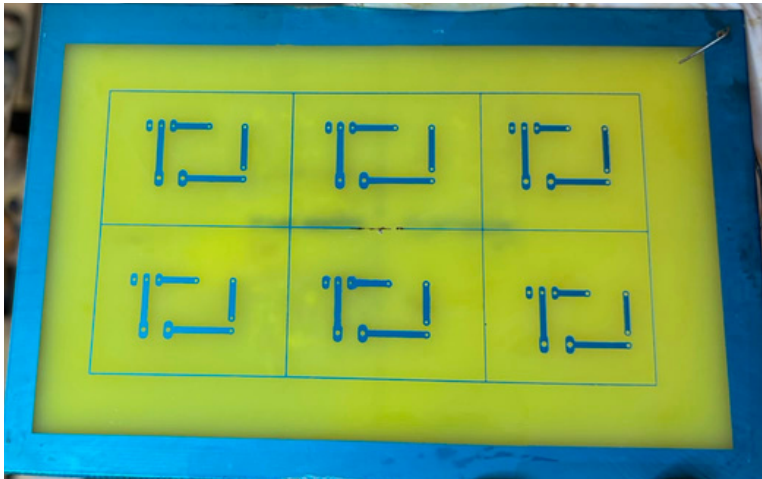
Após o processo de corrosão da placa, o percloro de ferro utilizado deve ser armazenado em um recipiente plástico resistente, devidamente identificado e com tampa. Não descarte a solução em pias, ralos, vasos sanitários ou diretamente no solo, pois ela pode contaminar o meio ambiente e danificar tubulações.



Atenção: O percloro de ferro é um resíduo químico. Nunca o descarte na rede de esgoto ou no solo. Faça a destinação em um ponto de coleta adequado.



Figura 122 - Resultado da corrosão



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 19

Esse é o resultado da placa após a corrosão.

Figura 123 - Remoção da tinta



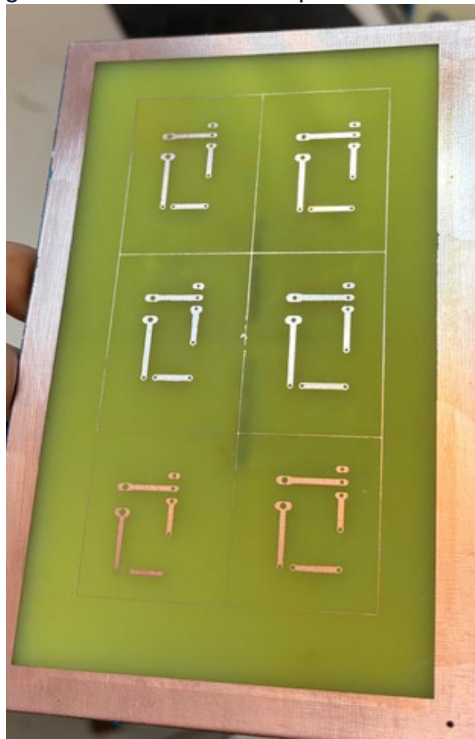
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 20

Após todo o cobre seja retirado e restar apenas as trilhas fazemos a remoção da tinta fotossensível com o removedor de tinta diluído em 200ml de água e submergido a placa sobre a solução.



Figura 124 - Resultado da placa sem a tinta

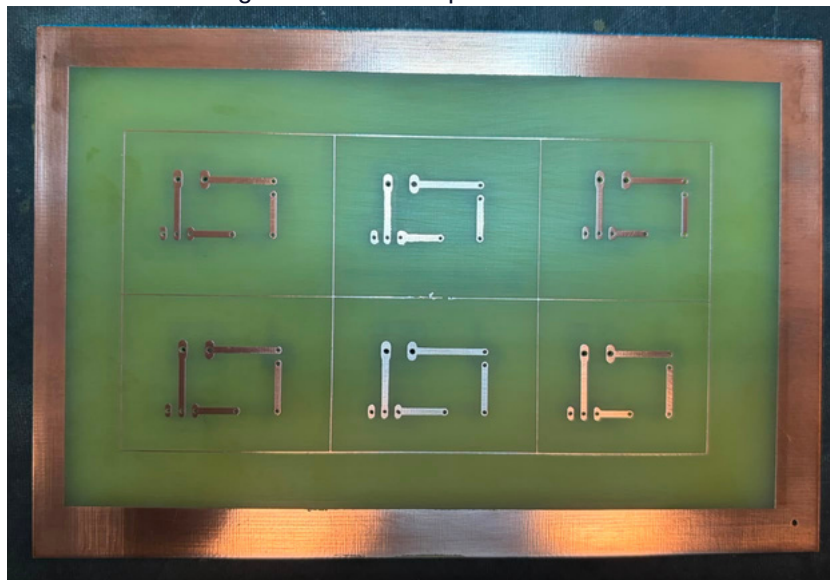


Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 21

Esse ó resultado da placa.

Figura 125 - Placa perfurada



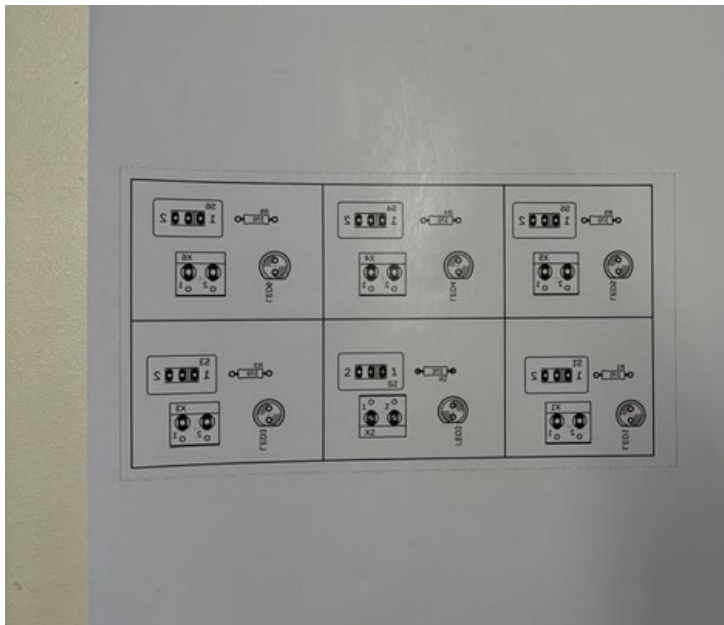
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 22

Agora furamos a placa no locais determinados com uma broca de 0.8 ou 1.0 mm.



Figura 126 - Desenho dos componente no Papel transfer



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 23

A impressão do desenho dos componentes que fica na parte superior da placa e feita no papel transfer para impressoras a laser. Nesse caso o processo para gerar o arquivo e o mesmo das trilhas, basta não selecionar o bottom e gerar o PDF.

Figura 127 - Aquecendo o papel sobre a placa



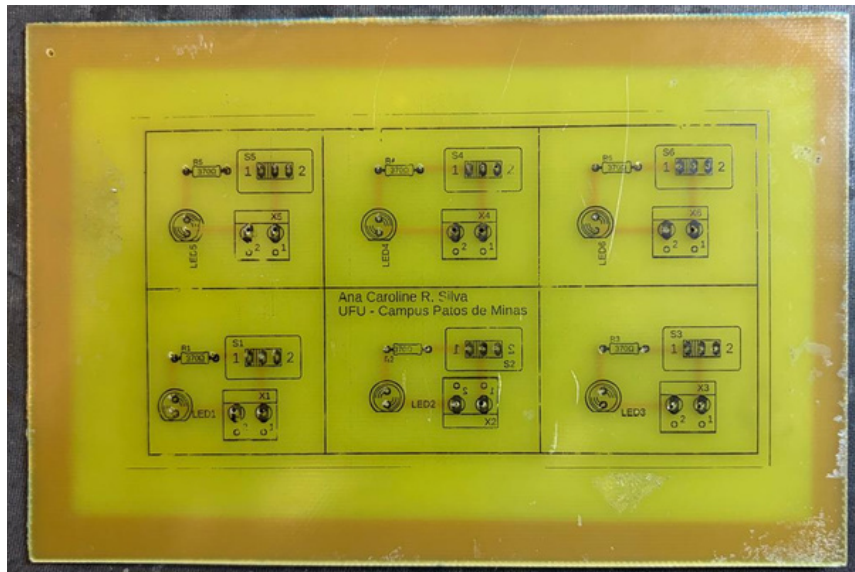
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 24

Com a placa furada, com o auxílio de arame bem fino posicionamos o papel transfer com o desenho do componente espelhado no lado sem cobre da placa e fixamos com fita crepe. Posteriormente com um ferro de passar quente, passamos por toda superfície do papel.



Figura 128 - Resultado da transferência



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 25

Esse é o resultado da placa no top (camada superior).

Dica do Especialista:

A transferência da identificação dos componentes para a face superior da placa é uma etapa opcional. No entanto, sua realização proporciona um acabamento mais profissional, além de facilitar a identificação e a montagem dos componentes. Caso os materiais necessários estejam disponíveis, recomenda-se a execução desse procedimento.



9. REQUISITOS DE SOLDAGEM PADRÃO IPC

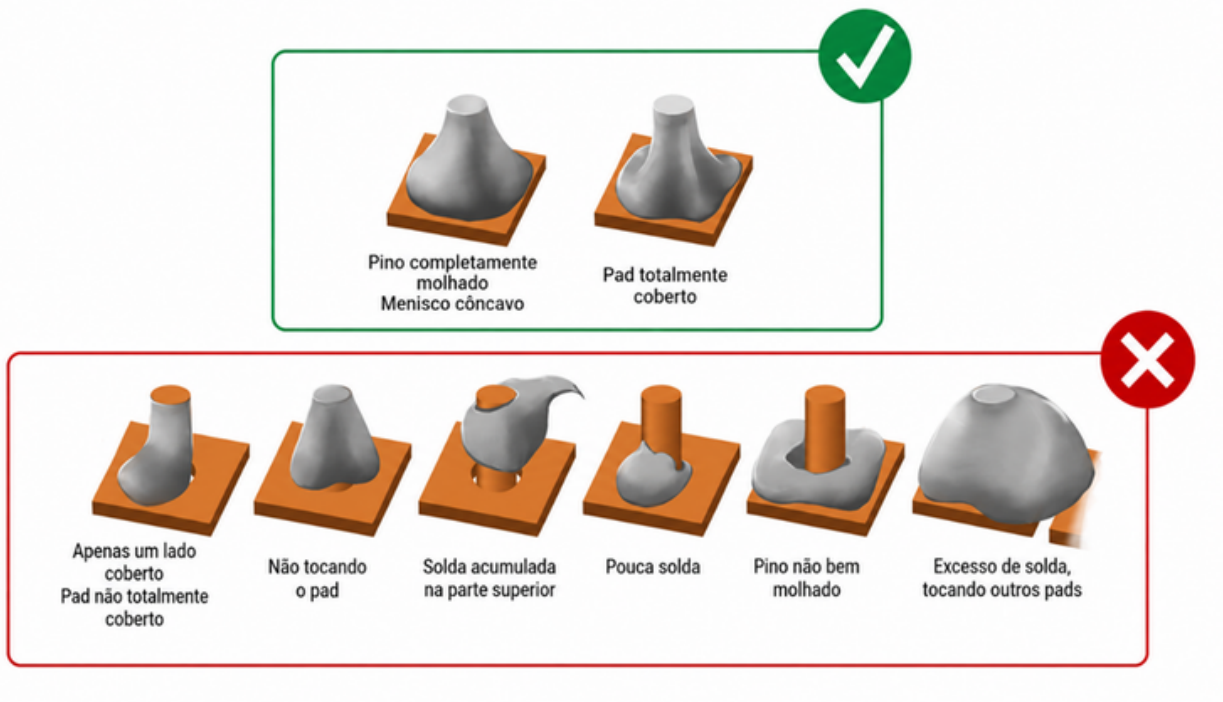
O padrão IPC é uma organização comercial global que cria e mantém os padrões de qualidade para fabricação de produtos eletrônicos, tem uma norma para requisitos e processo de soldagem. A IPC J-STD-001 é a norma que rege sobre conjuntos e eletrônicos soldados.

De acordo com a J-STD-001 os requisitos importantes para soldagem são:

1. A limpeza que evita contaminação de materiais, ferramentas e superfícies;
2. As taxas de aquecimento e resfriamento que ser os padrões do fabricante;
3. Os fios não devem ser danificados. A solda deve molhar a área estanhada do fio;
4. Inspeções de soldagem e limpeza devem ser realizadas antes da aplicação do revestimento;
5. Defeitos que não estejam de acordo com a forma, o encaixe e a função do conjunto podem ocorrer. Esses erros de soldagem devem ser retrabalhados ou descartados. Na imagem da figura tem alguns exemplos de erros comuns na solda e exemplos de solda aceitáveis;
6. Para a indústria a inspeção visual deve ser realizada usando AOI (inspeção óptica automatizada) e AXI (inspeção automatizada de raios X);
7. Condutores, terminais de componentes, padrões de aterramento e máscara de solda de acordo com o projeto são capazes de acomodar metal base exposto.



Figura 129 - Defeitos de soldagem



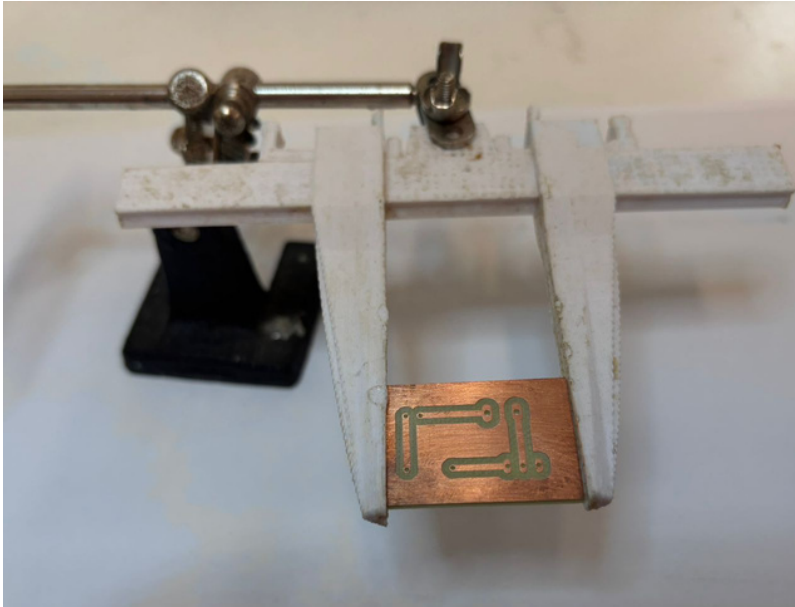
Fonte: Adaptado de Protoexpress (2017).



9.1 Passo a passo para soldar componentes PTH na PCI

A seguir, são descritos os procedimentos recomendados para a soldagem segura de componentes PTH.

Figura 130 - Placa posicionada

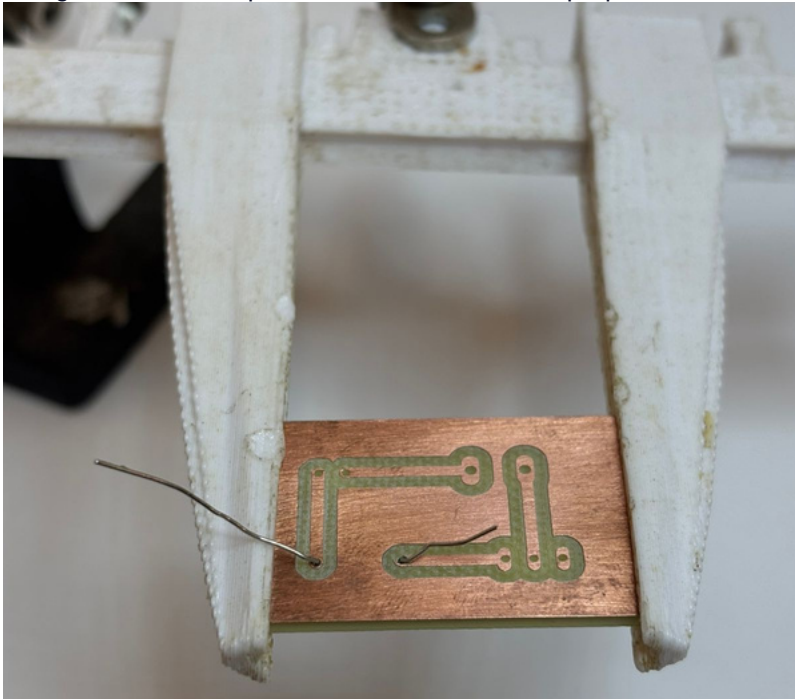


Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 1

Antes da soldagem, limpe a PCI com palha de aço e álcool para remover impurezas. Se possível, fixe a placa em um suporte para facilitar o trabalho.

Figura 131 - Componente inserido no local apropriado



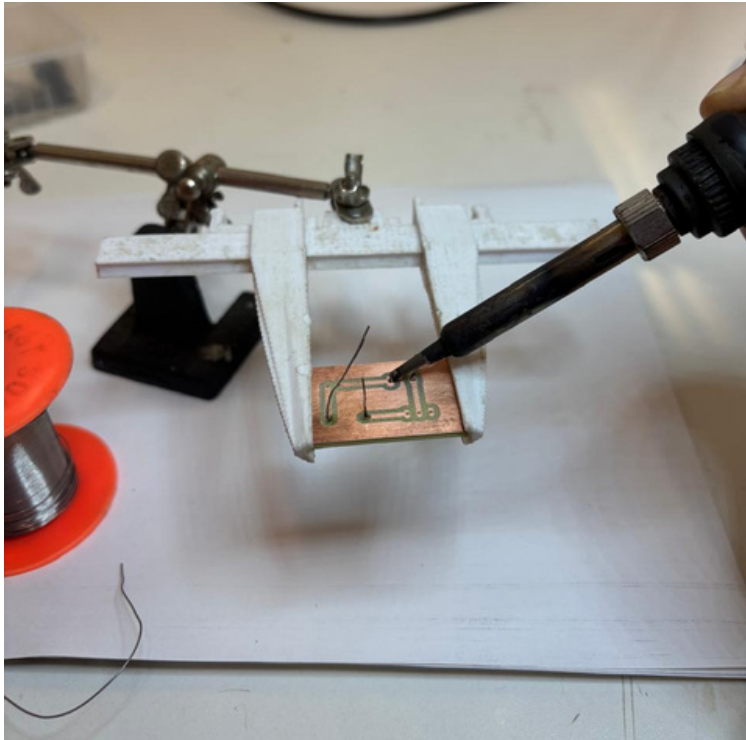
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 2

Insira o componente pelo lado sem cobre da placa e dobre levemente seus terminais para fixá-lo antes da soldagem.



Figura 132 - Aquecendo o pad

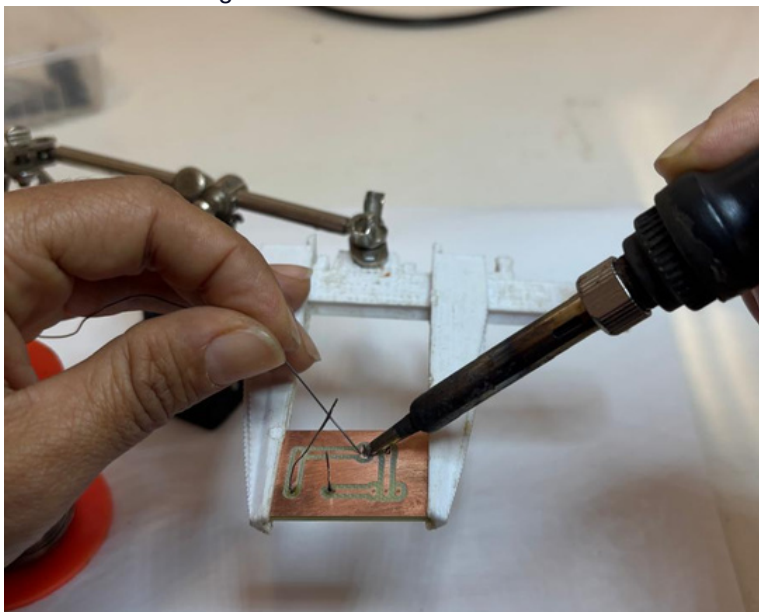


Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 3

Limpe a ponta do ferro de solda, removendo oxidações até que a superfície apresente aspecto metálico. Aplique uma pequena quantidade de estanho e encoste o ferro simultaneamente no terminal e no pad, permitindo o aquecimento uniforme de ambos.

Figura 133 - Inserindo estanho



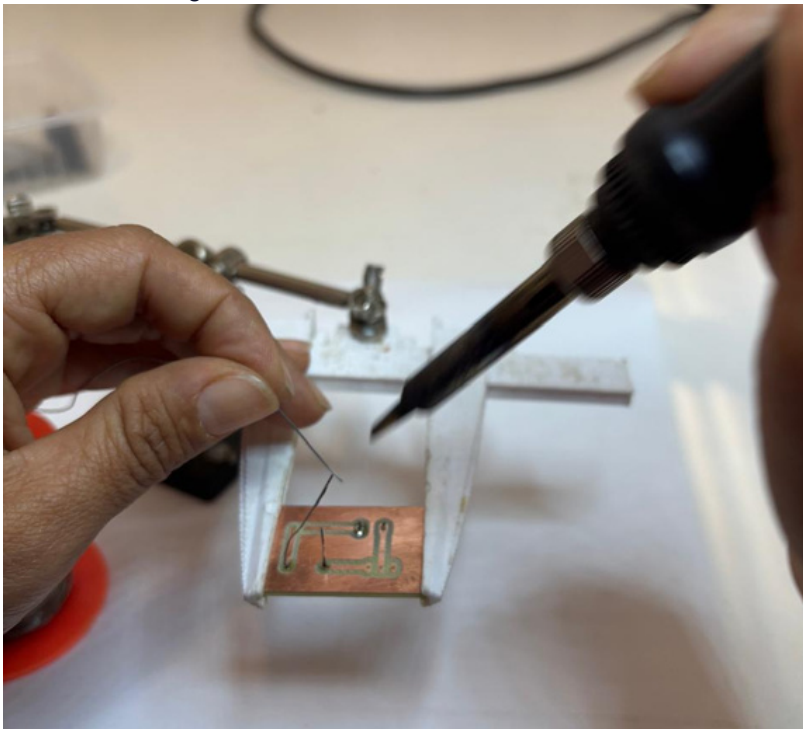
Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 4

Aplique o estanho na junção entre o terminal do componente e o pad, mantendo o ferro de solda em contato com ambos.



Figura 134 - Retirando o ferro de solda

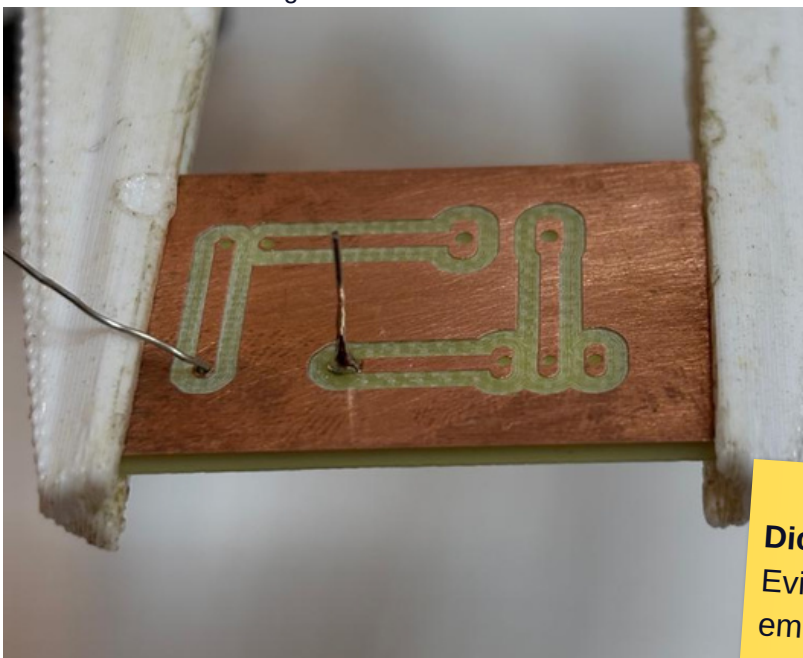


Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 5

Retire a ponta do ferro de solda após a solda preencher adequadamente a conexão.

Figura 135 - Solda feita



Fonte: Elaborado pela autora.

Passo 6

Na figura ao lado, o pad está totalmente preenchido com solda, apresentando brilho metálico e formato cônico, indicando uma soldagem adequada.

Dica do Especialista:

Evite manter o ferro de solda em contato com a placa por tempo excessivo. Em placas de fenolite, o aquecimento prolongado pode causar o descolamento dos pads e danificar as conexões das trilhas.





Neste manual didático não serão abordadas técnicas de soldagem de componentes SMD. Por envolverem procedimentos e materiais mais avançados, como o uso de pasta de solda, o foco será a soldagem de componentes PTH, que apresenta maior facilidade de montagem para iniciantes.



10. CHECKLIST DO DESENVOLVIMENTO DAS PCIS



Todos os componentes possuem footprint?



O esquemático foi revisado?



As trilhas estão conectadas?



O DRC foi executado?



Os footprints correspondem ao componente do projeto real?



A largura das trilhas está adequada?



O tamanho da placa foi definido?



Os arquivos Gerber foram gerados?



11. CONCLUSÃO

O objetivo deste manual foi construir uma sequência didática destinada a estudantes e iniciantes das áreas de elétrica e eletrônica que necessitam desenvolver projetos com Placas de Circuito Impresso (PCI). Sua elaboração baseou-se na observação de dificuldades recorrentes enfrentadas por alunos em etapas como a seleção de componentes, a escolha de footprints, a soldagem e os processos de fabricação.

A abordagem iniciou-se com conceitos fundamentais da eletrônica e avançou pelas principais etapas do desenvolvimento de uma PCI, contemplando componentes PTH e SMD, bem como as diferenças entre símbolo, footprint e biblioteca, cuja compreensão é essencial para evitar erros durante o projeto da placa. Em seguida, foram apresentadas as diferenças entre o esquemático e o layout da placa (board), além dos principais elementos que compõem uma PCI. O manual também demonstrou, passo a passo, o desenvolvimento do layout de um circuito básico em dois softwares distintos.

Posteriormente, esse mesmo circuito foi fabricado por meio de três técnicas diferentes (placa perfurada, fresagem em CNC e método fotográfico caseiro) acompanhadas dos materiais necessários e de orientações práticas. Por fim, foram incluídos um capítulo sobre boas práticas, uma tabela com erros comuns, orientações práticas baseadas na experiência adquirida durante o acompanhamento de estudantes no laboratório, bem como requisitos e diretrizes fundamentados em quatro dos principais padrões IPC relacionados ao projeto e à soldagem de Placas de Circuito Impresso.

Nesse contexto, o conteúdo buscou simplificar o processo de desenvolvimento e fabricação de placas por meio de exemplos básicos, evitando projetos excessivamente complexos, para que o conhecimento do iniciante possa evoluir de forma gradual. Assim, este manual não pretende estabelecer regras absolutas, mas desmistificar a confecção de Placas de Circuito Impresso, apresentando um caminho claro, prático e acessível para que estudantes desenvolvam seus primeiros projetos com maior segurança e confiança.

Espera-se que este manual contribua para reduzir erros frequentes durante o desenvolvimento e a fabricação de Placas de Circuito Impresso, aumentar a autonomia dos estudantes e servir como material de apoio em disciplinas, projetos acadêmicos e atividades laboratoriais. Além disso, as recomendações práticas e as dicas apresentadas ao longo do manual, fundamentadas na experiência obtida com o acompanhamento de alunos e na prática em laboratório, buscam complementar o conteúdo técnico, aproximando o conhecimento teórico das situações encontradas durante o desenvolvimento de projetos reais.



12. REFERÊNCIAS

JONES, David L. PCB Design Tutorial. Revision A – June 29th 2004. Disponível em: <http://www.alternatezone.com/electronics/pcbdesign.htm>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MERCADO LIVRE. Protoboard Breadboard 400 Pontos Furos Pinos. Disponível em: [Mercado Livre](#). Acesso em: 1 jul. 2026.

SHAMIEH, Cathleen. Eletrônica para leigos. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2020.

ALMEIDA, Nival Nunes de; DUARTE, Marcelo de Almeida. Eletrônica Analógica Básica. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

IMGUR. There was an attempt. Disponível em: [ELETRÔNICA SYSTEM. Resistor 1/2W 560R](#). Disponível em: <https://www.eletronicasystem.com.br/produto/resistor-1-2w-560r>. Acesso em: 18 jun. 2026. Acesso em: 1 jul. 2026.

BRAGA, Newton C. Curso de eletrônica: conceitos básicos de eletrônica. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2012.

ELETRÔNICA SYSTEM. Resistor 1/2W 560R. Disponível em: <https://www.eletronicasystem.com.br/produto/resistor-1-2w-560r>. Acesso em: 18 jun. 2026.

PIAUÍNO. Transistor BC548 – NPN. Disponível em: [ELETRÔNICA SYSTEM. Resistor 1/2W 560R](#). Disponível em: <https://www.eletronicasystem.com.br/produto/resistor-1-2w-560r>. Acesso em: 18 jun. 2026.

JLCPCB. Como criar footprints personalizados para PCB. Disponível em: <https://jlpcb.com/pt/blog/create-custom-pcb-footprints>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FALCON ELETRÔNICA. De PTH para SMD: entenda a migração tecnológica. Disponível em: <https://www.falconeletronica.com.br/blog/post/de-ptb-para-smd-entenda-a-migracao-tecnologica>. Acesso em: 18 jun. 2026.

GUSE, Rosana. Componentes PTH e SMD: entenda a diferença. MakerHero, 2023. Disponível em: [MakerHero – Componentes PTH e SMD: entenda a diferença](#). Acesso em: 18 jun. 2026.

IPC. IPC Standards Handbook. Bannockburn: IPC Association Connecting Electronics Industries, 2025.

PROTOEXPRESS. IPC J-STD-001: requisitos para soldagem. 2017. Disponível em: [IPC. IPC Standards Handbook. Bannockburn: IPC Association Connecting Electronics Industries, 2025.](#) Acesso em: 19 maio 2026.

AUTODESK. EAGLE PCB Design Software. 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/eagle>. Acesso em: 23 jul. 2025.





ANEXO I - Declaração sobre o Uso de Inteligência Artificial

Aluno (a): Ana Caroline Ribeiro Silva

Matrícula: 41511ETE034

Título PFCII: DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL DIDÁTICO PARA PROJETO E FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

Eu, aluno(a) com nome e matrícula supracitados, e com o respectivo trabalho de PFCII, declaro para os devidos fins que as informações prestadas a seguir refletem de forma verídica e completa o uso ou não uso de ferramentas de Inteligência Artificial neste trabalho, em conformidade com a Resolução COLCGETPM Nº 19, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2025.

SELECIONE UMA DAS OPÇÕES A SEGUIR:

☐ **NÃO HOUVE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

(Se marcar esta opção, não é necessário preencher os campos 1 a 4)

Declaro que não utilizei, em nenhuma etapa do desenvolvimento do presente trabalho, ferramentas de Inteligência Artificial para qualquer finalidade e assumo integral responsabilidade pelo conteúdo.

☒ **HOUE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

(Preencher os campos obrigatórios abaixo, assinalando obrigatoriamente os itens 3 e 4)

Declaro que utilizei, durante o desenvolvimento do presente trabalho, as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial e informações descritas nos itens de 1 a 4.

1. Ferramenta(s) e versão(ões) predominante(s): Gemini
Chatgpt

2. Propósito(s) (marque todos os que se aplicam):

- ☒ Exploração inicial de ideias.
- ☒ Busca de referências bibliográficas.
- ☒ Revisão de linguagem (por exemplo, melhoria de gramática ou correção de ortografia).
- ☒ Tradução técnica (conversão do texto ou partes dele para outro idioma).
- ☐ Geração automatizada de tabelas, gráficos ou figuras a partir de dados previamente analisados pelos autores.
- ☐ Programação: sugestão, depuração e documentação de códigos computacionais.

☒ Outros (especificar): Melhorar qualidades de imagens.



3. Autoria e validação humana:

☒ Informo que a autoria intelectual do manuscrito, bem como sua supervisão e validação, são de minha responsabilidade e que o uso de ferramentas de IA foi exclusivamente para os propósitos acima declarados.

4. Princípios éticos:

☒ Declaro que a utilização das ferramentas de IA seguiu práticas éticas, não incluindo atividades que comprometam a integridade científica tais como a geração de conteúdo original, manipulação de dados, plágio, interpretações ou análises pela IA.

☒ Declaro que respeitei direitos autorais, licenças, confidencialidade e políticas editoriais.

☒ Declaro que não enviei dados inéditos ou sensíveis à serviços que utilizam conteúdos para treinamento de modelos, exceto em plataformas institucionais ou com garantias contratuais de confidencialidade e não retenção, assegurando conformidade com a LGPD (Lei nº 13.709/2018) e demais normas de proteção de dados.

Data: 09/07/2026

Assinatura do(a) Discente



Documento assinado digitalmente
ANA CAROLINE RIBEIRO SILVA
Data: 09/07/2026 08:32:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>