

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Toledo  
Engenharia da Computação – COENC

## Sistemas Embarcados

# Projeto e fabricação de placas de circuito impresso

Tiago Piovesan Vendruscolo



Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito aos autores originais. [4.0 international](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

# Fabricando uma PCB

# Encapsulamentos

- PTH (Pin Through Hole)
  - Os componentes são inseridos em buracos feitos na PCB (Printed Circuit Board) e soldados do lado oposto.
  - Dominou o mercado na décadas de 50 a 80.
  - Produção mais cara da PCB devido ao uso de brocas para a perfuração.
  - Ainda utilizado na fabricação de protótipos de baixa complexidade.
  - É difícil projetar uma placa com mais de 2 camadas utilizando PTH.

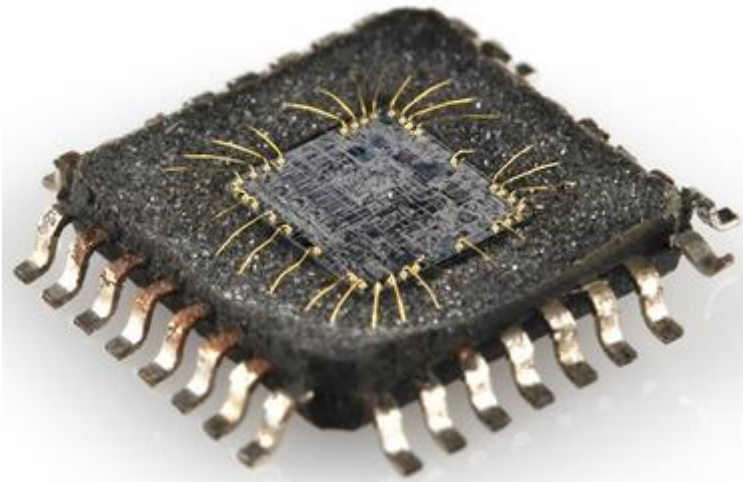


- PTH DIP (Dual In-line Package)
  - Circuitos integrados que utilizam o tecnologia PTH.



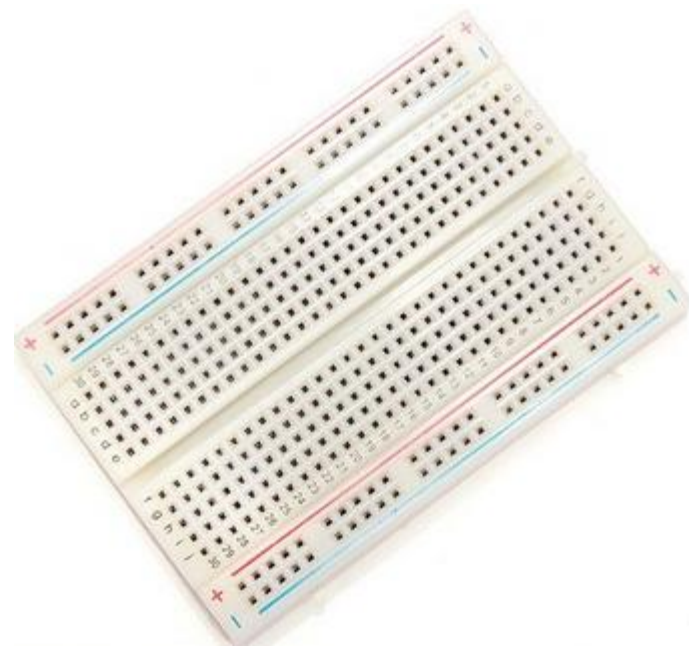
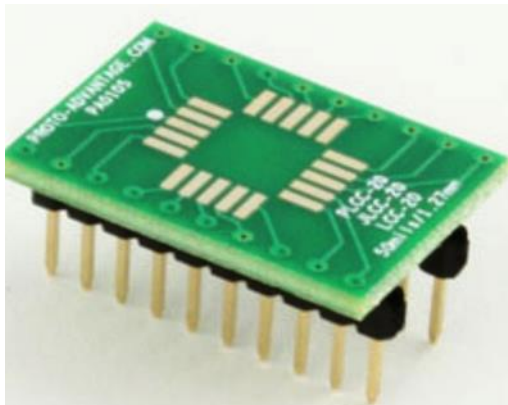
# Encapsulamentos

- SMT: Surface Mount Technology
  - *SMD (Surface Mount Device): nome dado aos componentes utilizados na tecnologia SMT.*
  - *Os componentes são soldados na superfície da PCB.*
  - *Padrão nas PCBs atuais, pois além do baixo custo na fabricação das PCB, também facilita a automatização do processo de montagem e soldagem.*
  - *Miniaturização dos componentes e consequentemente das PCBs.*



# Montagem

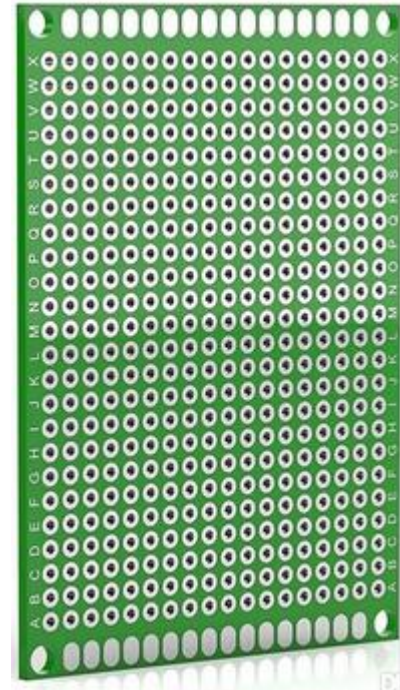
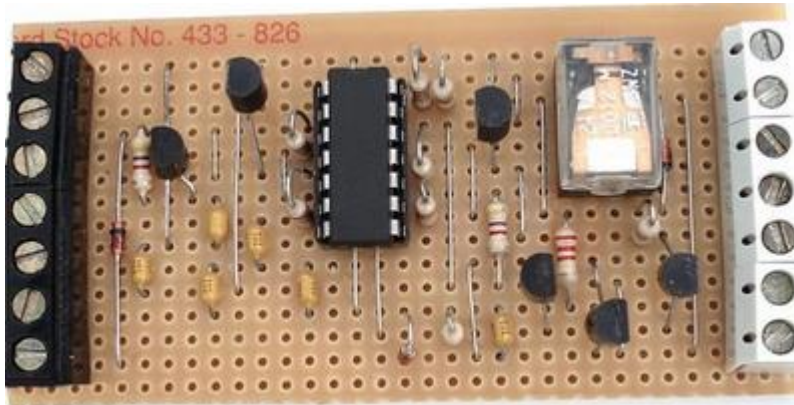
- **Protoboard**
  - *Utilizada para testes de protótipos de baixa complexidade.*
  - *Utiliza diretamente componentes PTH.*
  - *Para a utilização de componentes SMD é necessário a utilização de adaptadores.*



- Protoboard
  - *Vantagem:*
    - Montagem rápida.
    - Reutilização de componentes.
  - *Desvantagens:*
    - Mau contato e circuitos instáveis.
    - Altas resistências, capacitâncias e indutâncias parasitas.
    - Resistência de contato da ordem de 1 m $\Omega$  a 10 m $\Omega$ .
    - Limitações de corrente (máximo de 5 A nominal).
    - Limitações de tensão de isolamento.
    - Limitações de frequência devido às reatâncias parasitas.
    - Bitolas dos componentes devem estar entre 22 AWG e 30 AWG (0,25 mm a 0,64 mm de diâmetro).

# Montagem

- Placa de circuito impresso universal.
  - *Utilizada para protótipos simples.*
  - *Menos suscetível à ruídos e mau contato.*
  - *Nem todos os componentes poderão ser reutilizados.*



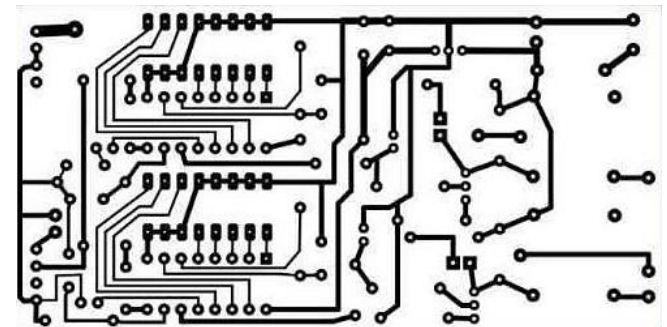


- Materiais artesanais para corrosão:
  - *Tipo de PCB: Fenolite e fibra de vidro revestidas com cobre.*
  - *As placas de fenolite podem ser furadas com perfurador manual.*
  - *Placas de fibra de vidro só podem ser furadas com furadeiras.*





- Materiais artesanais para corrosão
  - As partes onde deseja-se manter o cobre deve ser protegido por uma máscara, isso pode ser feito das seguintes maneiras:
    - Com uma caneta permanente;
    - Imprimindo o circuito com uma impressora a laser;
    - Utilizando fotolito.
  - O cobre desprotegido é corroído.



# Montagem

- Formas de gravação da máscara:
  - Manualmente, com caneta permanente.
  - Método térmico
    - Com o uso de um ferro de passar roupa para transferir a tinta da impressão (impressão laser) ou transparência para a placa.
    - Normalmente se utiliza papel couche ou glossy.



Bolha após aquecimento excessivo

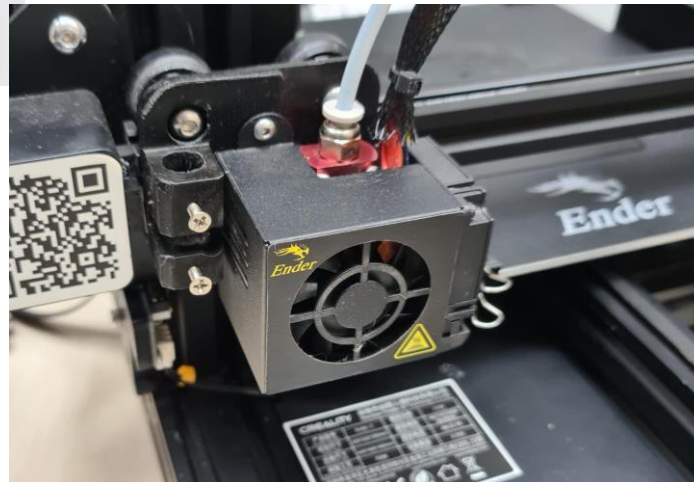


Transferência incompleta

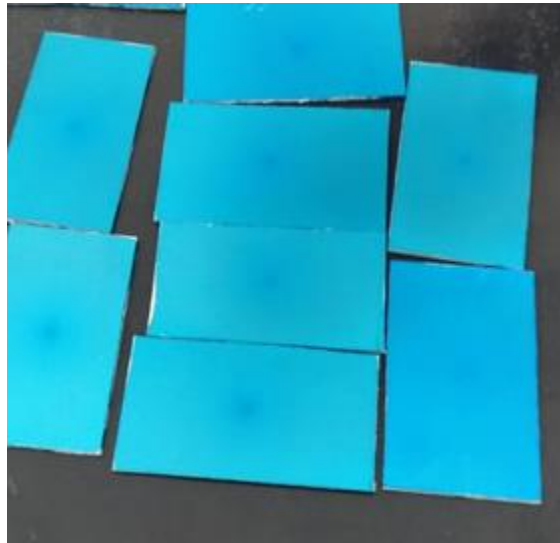
<http://p3r3.com/confeccao-de-placa-de-circuito-impresso-pci-usando-ferro-de-passar/>

# Montagem

- Formas de gravação da máscara:
  - Impressora 3D
  - Espessura da trilha/isolamento: 0.8 mm (ideal 1 mm)



- Formas de gravação da máscara:
  - Método fotográfico. Passos:
    - Corte e lave a placa com palha de aço para tirar a oxidação.
    - Pinte a placa com tinta fotossensível e seque.



Tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=NtVEvFsT46I>

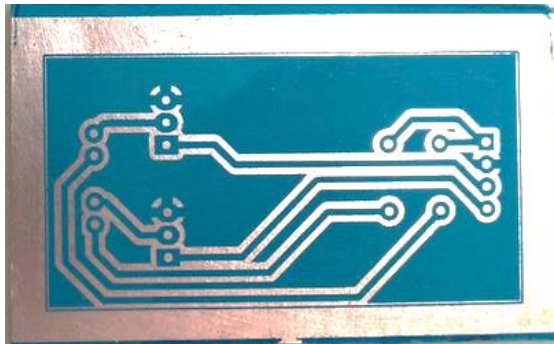
- Formas de gravação da máscara:
  - Método fotográfico. Passos:
    - Prenda o fotolito (deve ser impresso o negativo em papel vegetal) na placa e exponha a placa à luz UV, a parte que ficar exposta à luz UV irá aderir a placa.



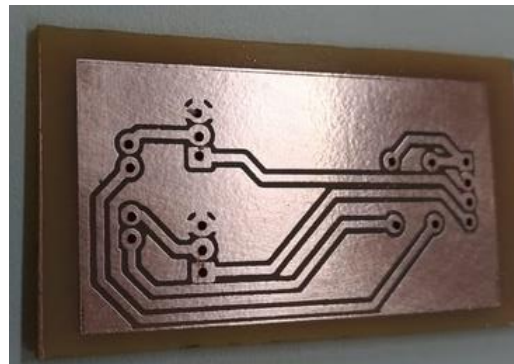


# Montagem

- Formas de gravação da máscara:
  - Método fotográfico. Passos:
    - Coloque a placa na água com barrilha (revelador).



- Finalização:
  - Método fotográfico. Passos:
    - Faça a corrosão, fure a placa e retire a tinta com o removedor (soda cáustica) ou palha de aço.





- Métodos de corrosão: Após transferir a máscara para a PCB, pode-se utilizar os seguintes métodos de corrosão:
  - Ácido clorídrico (ou muriático) e água oxigenada: corrosão rápida, porém de risco elevado. Solução não pode ser reutilizada.
  - Percloreto de Ferro: corrosão mais lenta. Solução pode ser reutilizada algumas vezes (porém, a corrosão fica cada vez mais demorada).
  - Sal, vinagre e água oxigenada: corrosão lenta, porém segura e barata.

<http://www.instructables.com/id/Is-the-best-PCB-etchant-in-every-kitchen-/>



# Montagem

- Acabamento:
  - Permanente.
  - Protótipos.



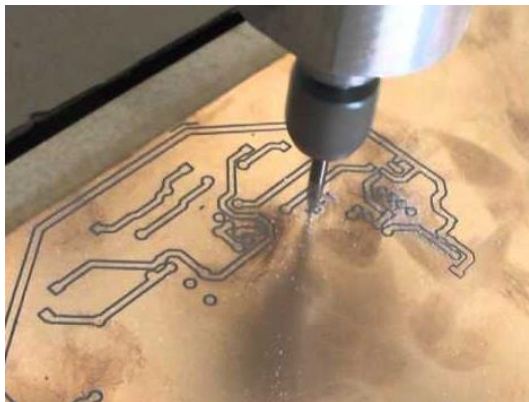
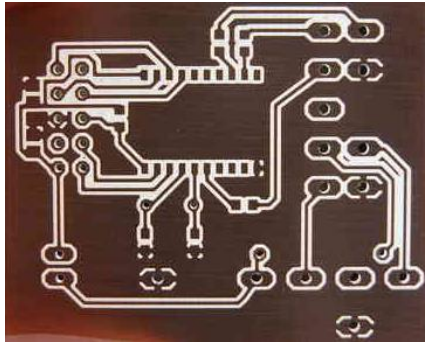
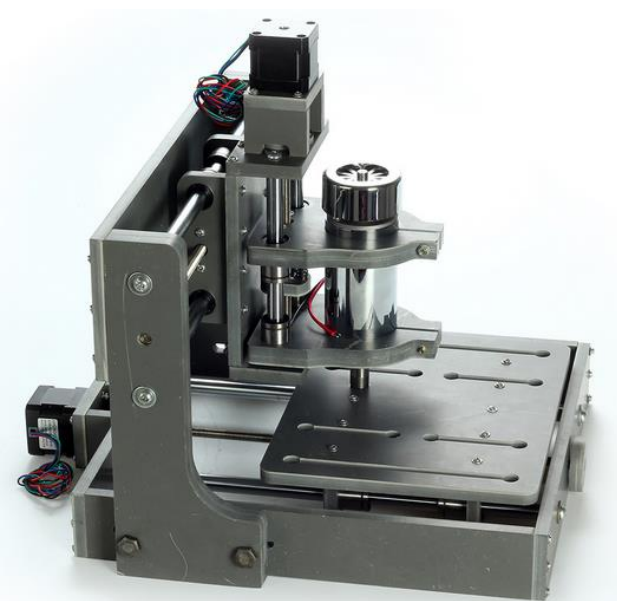
- Espaguete Termoretrátil



<https://www.hellermannntyton.com.br/competencias/tubo-termocontratil>

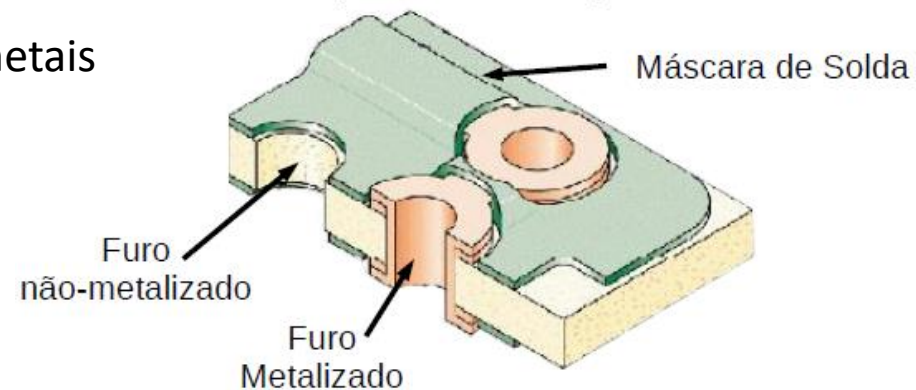
# Montagem

- Prototipagem com fresa CNC
  - Custos determinados pelos insumos (brocas, fresas, placas, manutenção...)



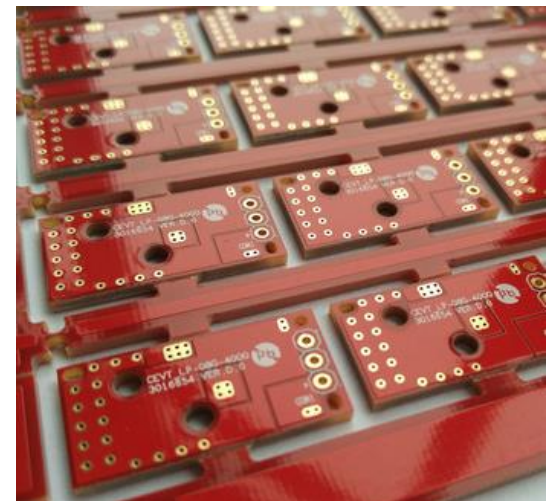
# Montagem

- Produção industrial:
  - FR4: Composto por fibra de vidro e epóxi, resistente a chamas.
  - Possibilidade de placas com múltiplas camadas de cobre.
  - Máscara de solda, silk-screen (para nomear componentes).
  - Furos metalizados, diferentes tipos de metais



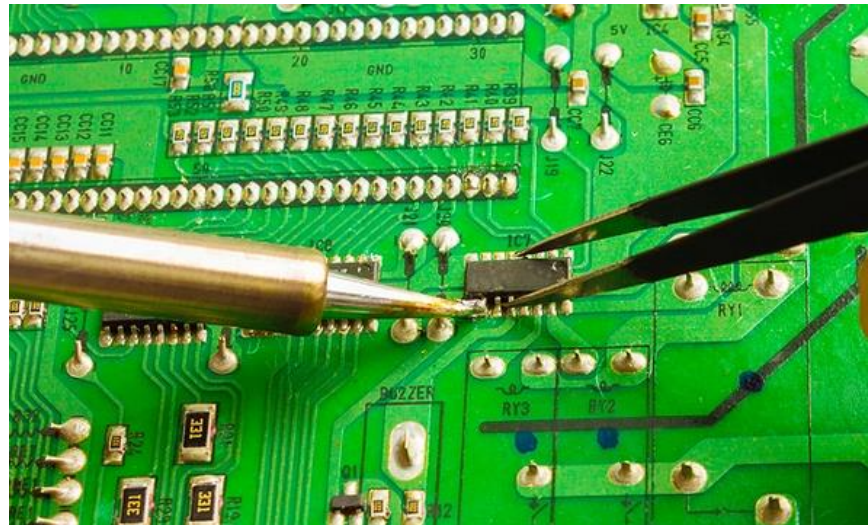
<https://enzfpcb.wordpress.com/2016/12/20/about-pcb-stack-up-for-multilayer-board/>

- Produção industrial:
  - Algumas considerações:
    - Pedido mínimo: É utilizado um painel para a fabricação das placas, sendo assim, esse painel deve ser preenchido com um número mínimo de PCB (depende do tamanho).
    - Necessidade de confecção de matrizes: quanto menor a quantidade, maior o custo unitário.
    - Os arquivos devem ser enviados para a empresa no formato Gerber.
    - Antes de iniciar o projeto é importante observar os limites de confecção das empresas, tais como: distância mínima entre trilhas, largura mínima das trilhas, separação entre trilhas, etc.

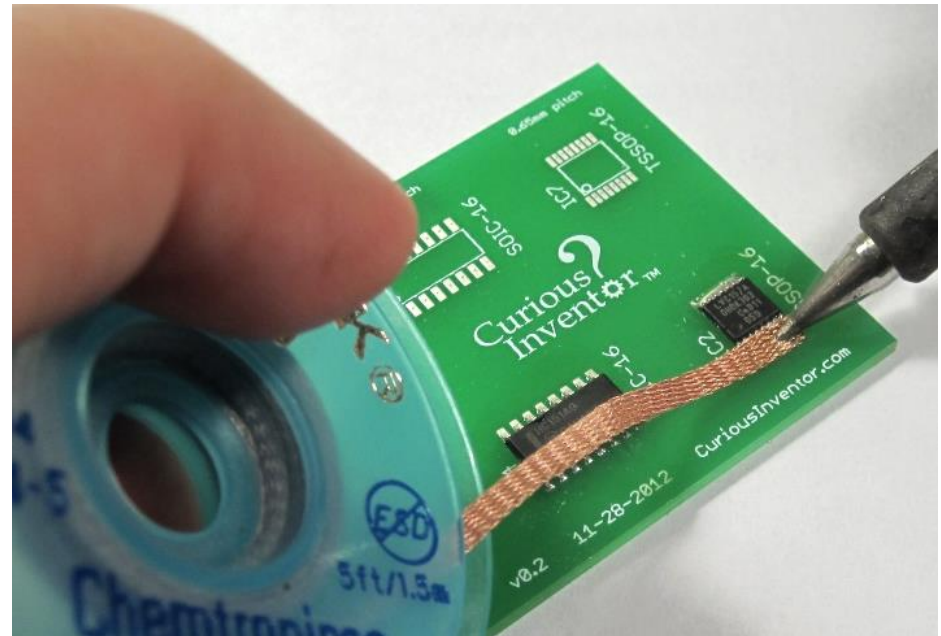
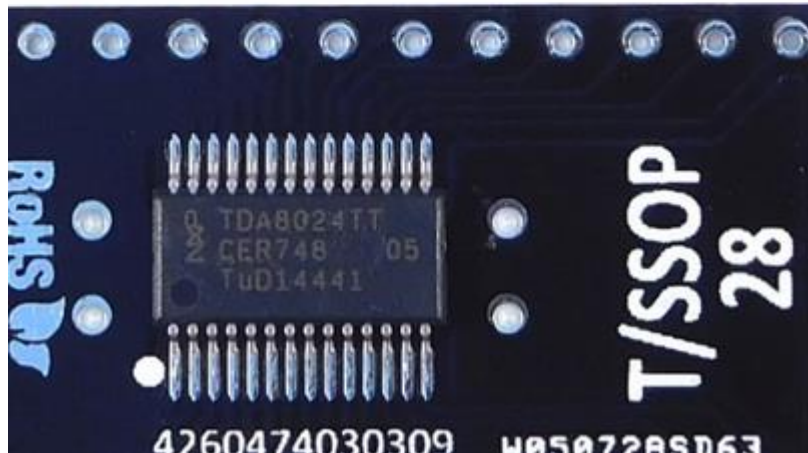
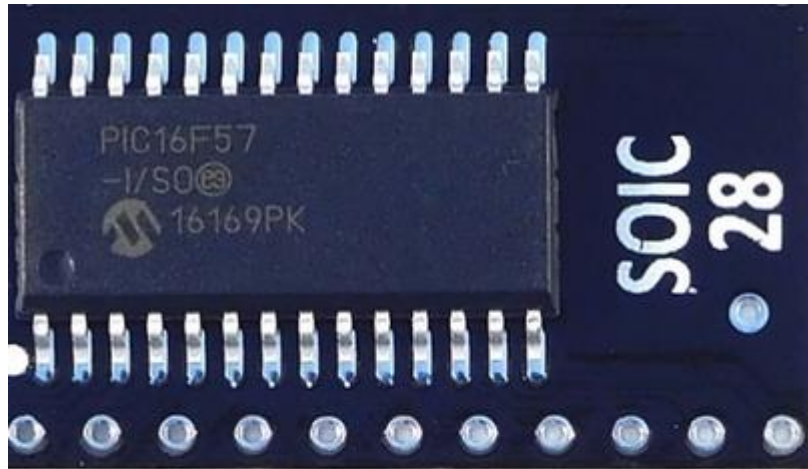




- União de dois materiais condutores por um terceiro material condutor, que se funde com temperatura mais baixa.
  - *Produz resistência mecânica, permanente e com mínima resistência elétrica entre os condutores.*
- Antes de soldar, as superfícies devem ser limpas e polidas (no caso de PCB artesanal).
  - *Oxidações ou impurezas aumentam a resistência e deterioram a solda com facilidade.*



- Para soldar componentes TSSOP e outros SMD com pinos muito próximos:





- Liga metálica utilizada na solda:

- *As mais comuns (e baratas) são compostas por 60% de estanho e 40% de chumbo. Possui temperatura de fusão de 183 °C.*



- *Atualmente, boa parte já é feita sem chumbo, devido à sua toxicidade. Temperatura de fusão mais alta (227 °C), dificultando a dessoldagem.*
  - *Algumas vem com fluxo de solda, o que reduz a oxidação e facilita a adesão ao metal no momento da solda.*

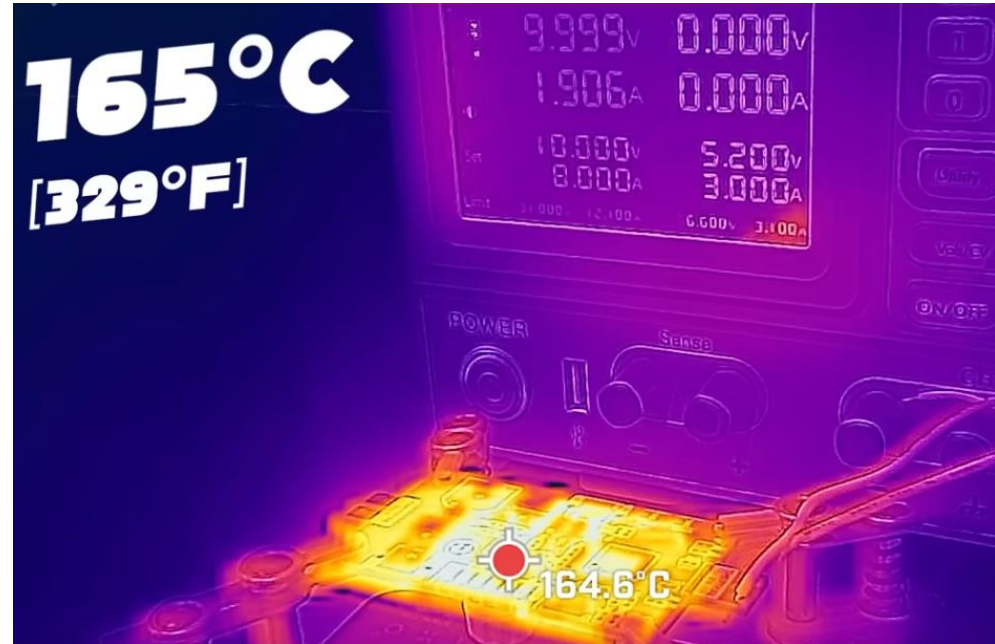
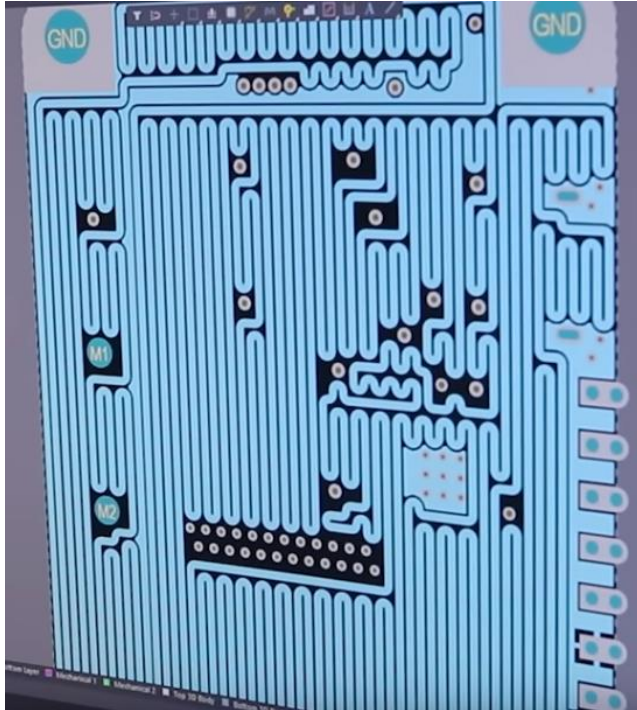
- Solda em pasta

- *Útil para a soldagem de circuitos integrados*
  - *Exemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=pR48F0-HIMI>*



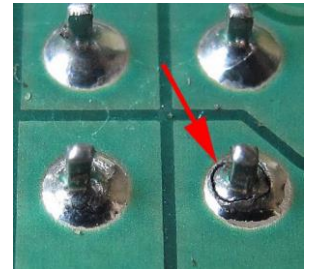
# Soldagem

- Placa “auto-soldável”



<https://youtu.be/r0csHZveVvY?si=kSWKFSLuaNrWCIDc&t=143>

- Problema no processo de soldagem
- Solda Fria:
  - *Acontece que um dos condutores não está aquecido o suficiente, dificultando a fusão com a solda.*
  - *Impurezas também podem criar solda fria.*
  - *Solda fria se caracteriza com ser opaca e não uniforme.*
  - *Gera mau contato.*



- Fluxo de solda
  - Facilita a fusão do estanho com o condutor e protege da oxidação.
  - Se a solda não aderir à superfície, é possível que a superfície esteja oxidada, essa camada deve ser removida com uma lixa fina ou palha de aço.
  - Nunca lixe/raspe a ponta do ferro de solda.
- Temperatura durante a soldagem
  - *Ver o datasheet.*

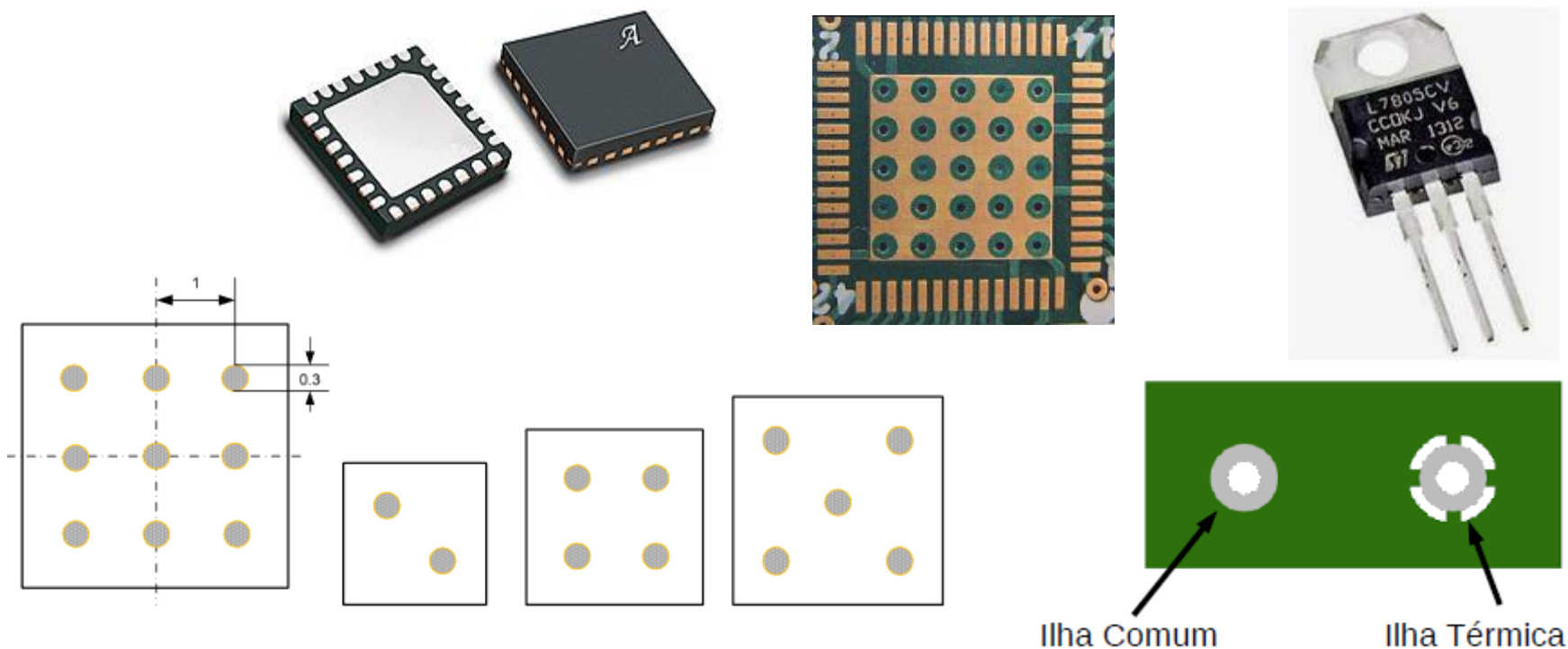
## OPA655

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Total Supply Voltage Across Device ( $V_{S(TOTAL)}$ ) .....	11V
Internal Power Dissipation .....	See Thermal Considerations
Differential Input Voltage .....	$V_{S(TOTAL)}$
Common-Mode Input Voltage Range .....	$\pm V_S$
Storage Temperature Range: P, U .....	-40°C to +125°C
Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C
(soldering, SO-8, 3s) .....	+260°C
Junction Temperature ( $T_J$ ) .....	+175°C

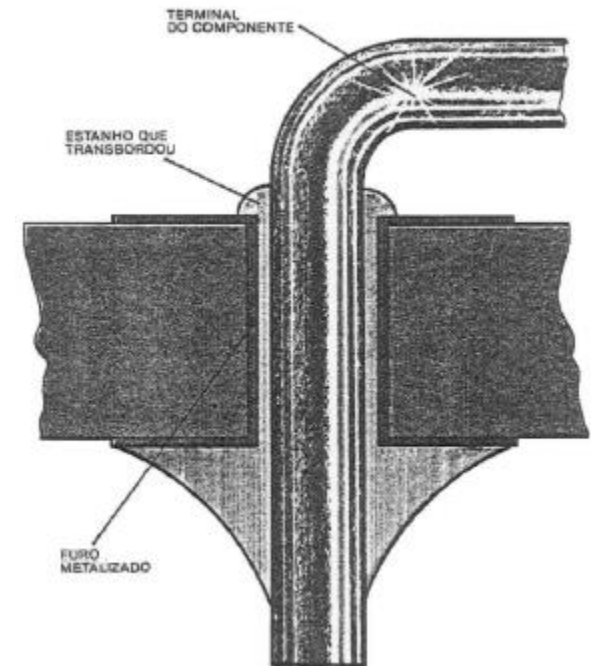


- Thermal pad (ilha térmica)
  - É comum a utilização de footprints para componentes PTH/DIP que possuem ilhas térmicas. Elas são utilizadas para reduzir a dissipação de calor e evitar a solda fria.
  - Também é utilizado para dissipar calor.



# Soldagem

- Para a soldagem de cabos ou fios é recomendável estanhar a parte que será inserida na placa.
- Quando estiver utilizando furos metalizados, deixe o estanho escorrer até aparecer na outra camada.
- Evite utilizar temperatura muito alta na soldagem, pois pode soltar as trilhas e ilhas.





# Dessoldagem

- Malha dessoldadora
  - *Malha de cobre que absorve o estanho.*
  - *Deve ser aquecida sobre sobras de solda na placa ou nos terminais do componente.*
  - *A aplicação de fluxo de solda na malha facilita o trabalho.*
- Sugador de Solda
  - *Utilizado para remover excessos de estanho.*





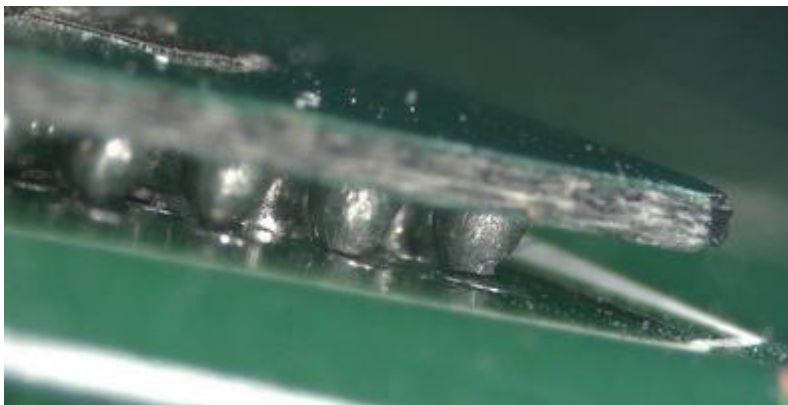
# Dessoldagem

- Solda de baixa fusão (salva chip)
  - *Temperatura de fusão em torno de 140 °C.*
  - *Facilita a remoção do estanho em CI com muitos pinos.*
  - *Demora mais para solidificar, permitindo a fusão de vários pinos sem exceder a temperatura permitida.*
- Estação de dessoldagem
  - *Possuem ferro de solda e sugador de solda.*



# Dessoldagem

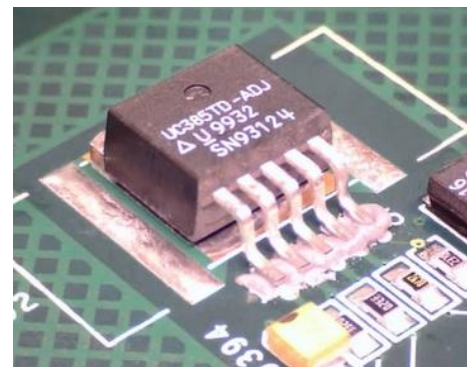
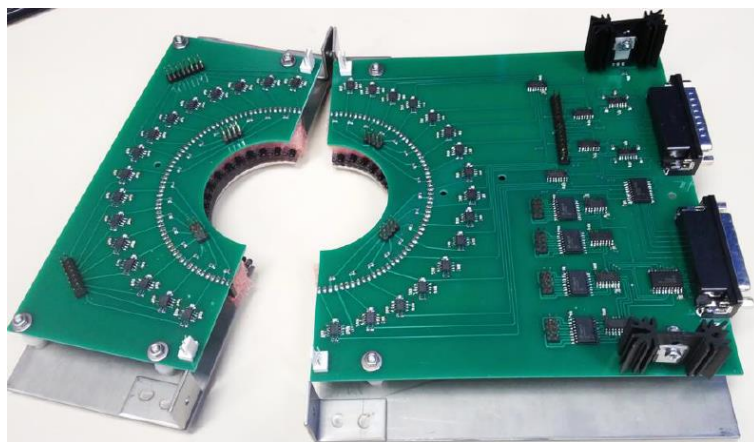
- Estação de retrabalho
  - *Utilizado principalmente para componentes SMD.*
  - *Composta de ferro de solda e soprador térmico regulável.*
  - *Essencial para trabalhar com CI BGA (Ball Grid Array).*



# Projetando uma PCB

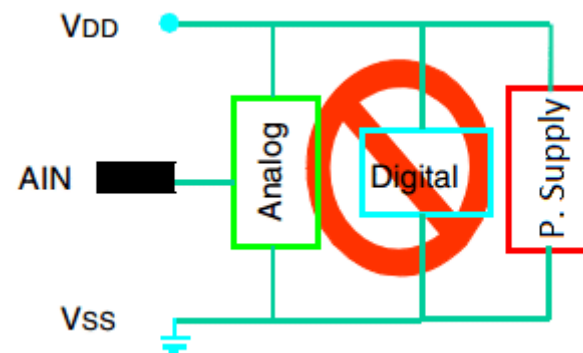
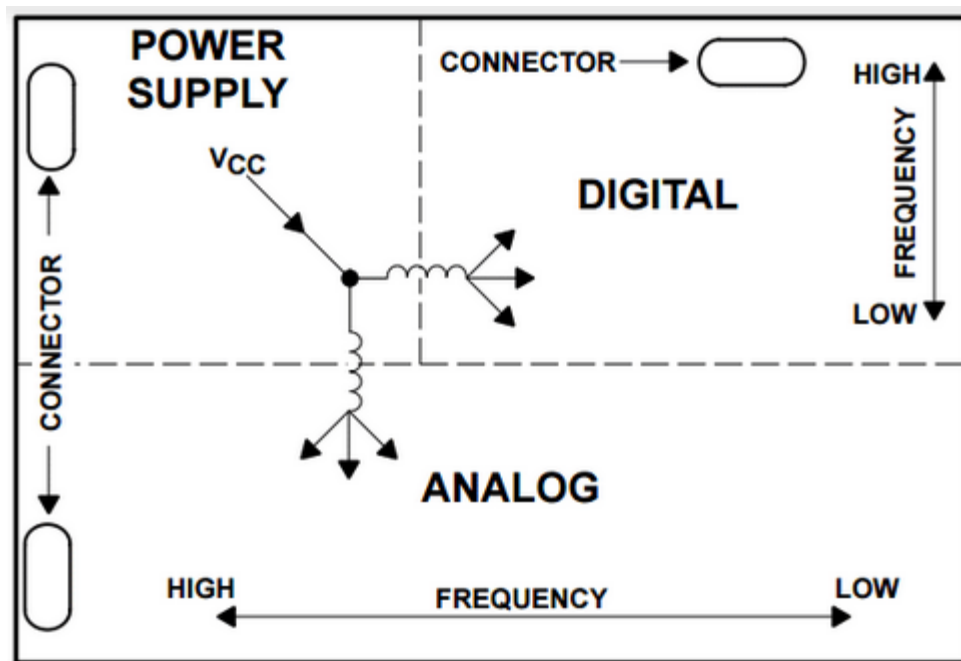
# Projetando uma PCB

- Agrupamento e posicionamento - Notas
  - Posicione primeiros os conectores que precisam de acesso externo.
  - Caso for utilizar algum componente deitado para utilizar a PCB como dissipador térmico, garanta que tenha o espaço necessário.
  - Deixe os capacitores de acoplamento e filtragem o mais próximo possível dos pinos.
  - Caso utilize cristal externo, posicione o mais próximo possível do microcontrolador.
  - Se utilizar mais de uma camada, utilize uma delas como plano de terra com a maior cobertura possível.



# Projetando uma PCB

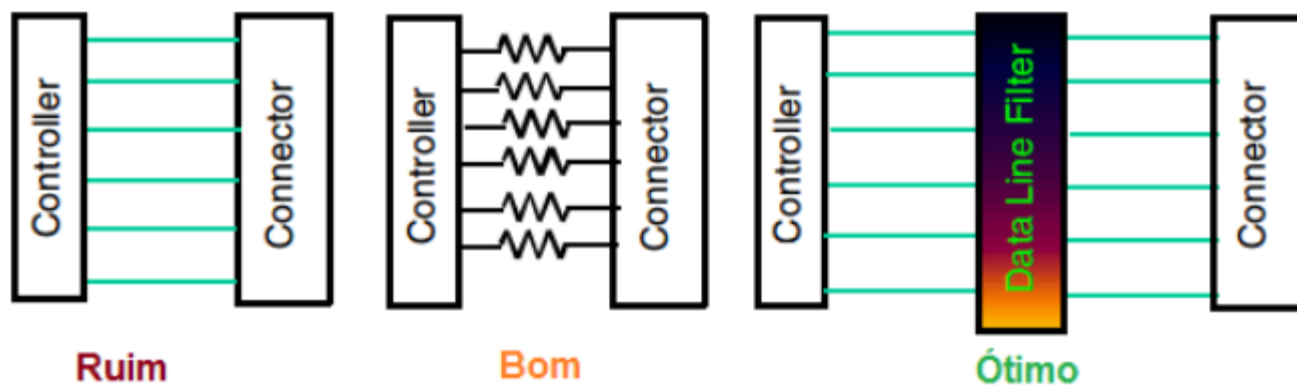
- Agrupamento e posicionamento
  - *Para reduzir ou evitar problemas de EMC, os componentes na PCB devem ser agrupados de acordo com sua funcionalidade, como:*
    - Seção analógica e digital
    - Circuitos de baixa frequência e alta frequência
    - Fonte de alimentação



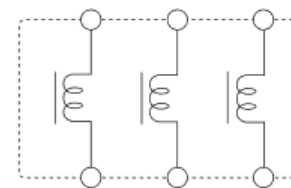
<https://www.embarcados.com.br/10-mandamentos-da-pcb/>

# Projetando uma PCB

- Agrupamento e posicionamento
  - *Também deve-se separar os planos das alimentações, fazendo a ligação entre eles em pontos definidos, ou seja, mesmo eletricamente conectados, são planos de terra diferentes.*
  - *Para conectar um subsistema no outro, deve-se utilizar filtros.*



Circuit Diagram  
• 3 Line



Exemplo de filtros EMC:

[http://data.leocom.kr/datasheets/113715\\_89925.pdf](http://data.leocom.kr/datasheets/113715_89925.pdf)

# Projetando uma PCB

## ■ Planos de Terra

- *Utilizados para minimizar problemas de EMC (Electromagnetic compatibility).*
- *Planos de terra reduzem a indutância de terra, o que reduz emissões eletromagnéticas e o Crosstalk.*
  - Crosstalk: Interferência que um canal de transmissão causa em outro.
- *Deve-se sempre fazer com que o sinal de retorno percorra o menor caminho possível até o plano de terra.*

PARAMETER	$T_A$	TL081M, TL082M			TL084Q, TL084M			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{O1}/V_{O2}$ Crosstalk attenuation	25°C	120			120			dB

Plano de terra      Furos de passagem

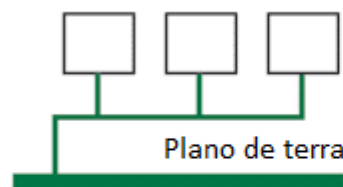
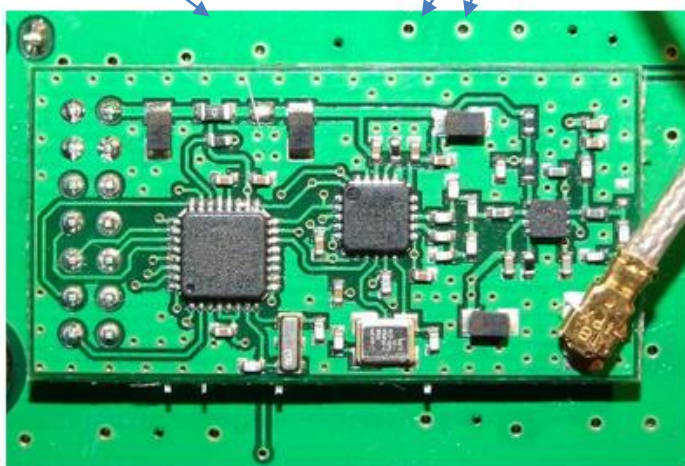


Figura 1: Layout NÃO recomendado!

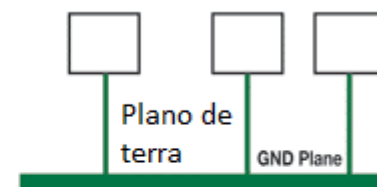


Figura 2: Layout recomendado!



## ■ Planos de Terra

- *Loops de terra em PCB: De acordo com a lei de Kirchhoff, a corrente de saída em nó de um loop é igual a corrente de entrada. Caso seja projetado uma PCB igual ao da figura abaixo teremos um indutor de uma espira. Possuindo uma área grande, a indutância também será grande, o que poderá gerar problemas de EMC na própria PCB (fica mais suscetível a ruídos externos) e também em PCB / componentes próximos.*



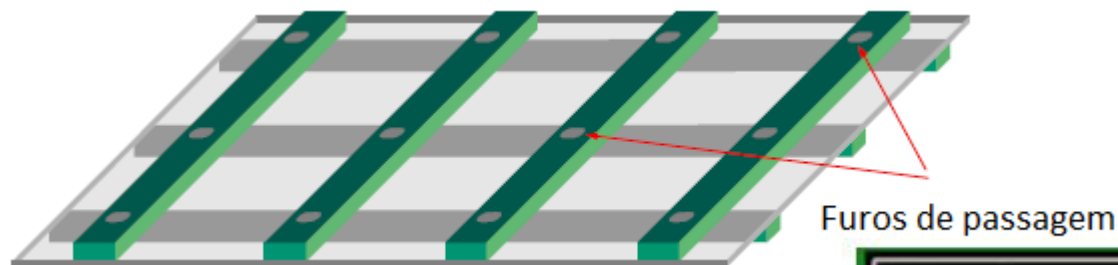
- *Para reduzir esse efeito, o ideal é utilizar um plano de terra, mas caso isso não seja possível, deve-se reduzir a área do loop, ou a área da “bobina”, conforme visto no esquema abaixo:*



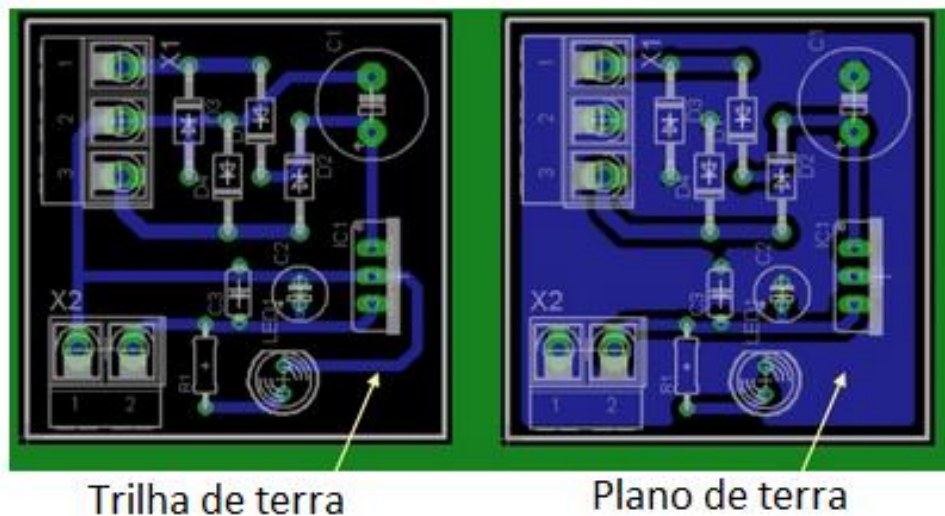
# Projetando uma PCB

## ■ Planos de Terra

- *No caso de PCB com várias camadas, o ideal é ter uma camada que seja inteira só com o plano terra, isso proporcionará o menor caminho (e impedância) possível para as correntes de retorno.*
- *Caso não seja possível ter uma camada apenas com o plano de terra, é aconselhável fazer um grid de terra conforme visto abaixo:*

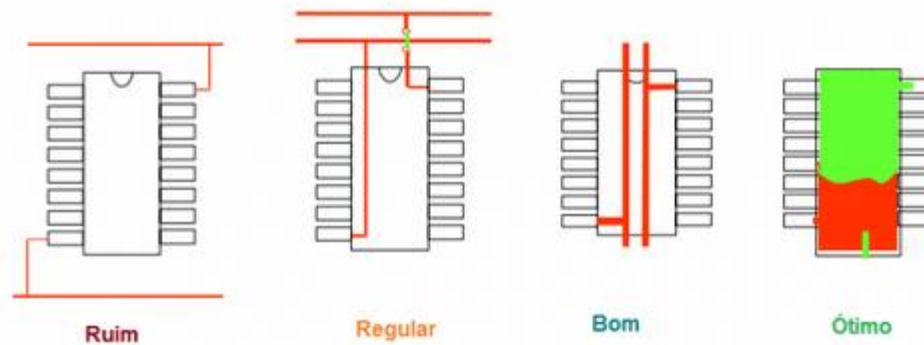


- *Organizar os componentes de forma que o plano de terra fique diretamente conectado com a maior área possível.*



# Projetando uma PCB

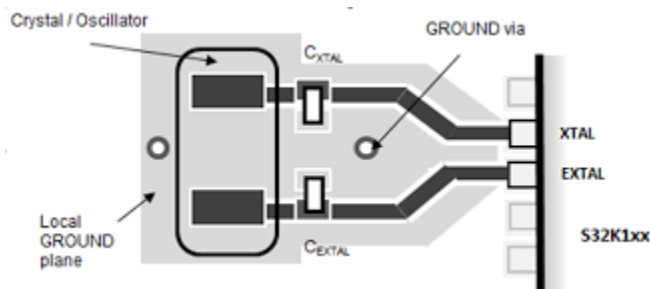
- Roteamento de trilhas
  - *Linhas de alimentação: Caso não seja possível utilizar planos de terra, é aconselhável usar as linhas de forma paralela para manter o sinal sem ruído.*



- *Obs. Para linhas de sinais, principalmente AC, evite que as trilhas fiquem paralelas para evitar capacitâncias parasitas.*

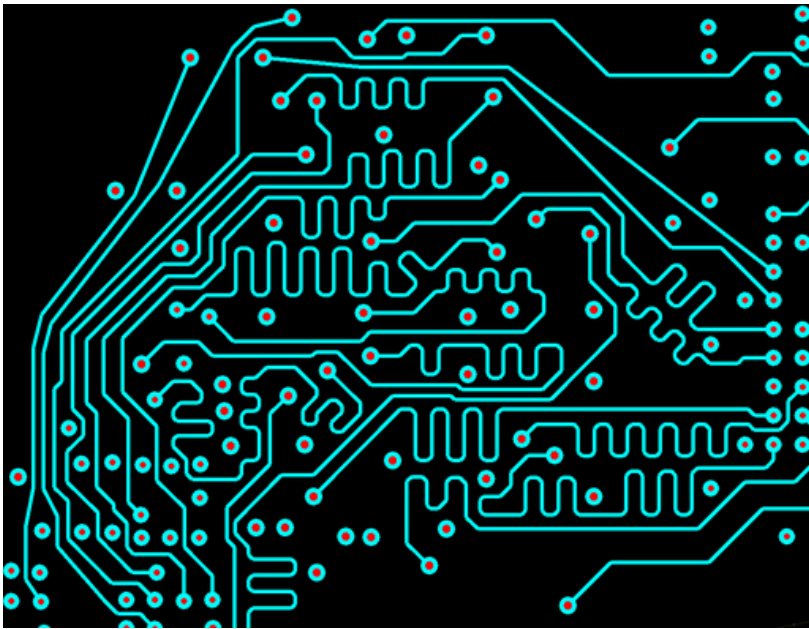
# Projetando uma PCB

- Sinais de clock e com frequências altas
  - *Essas trilhas devem ser as mais curtas possíveis e se localizarem ao lado do plano de terra para manter a radiação e crosstalk sob controle.*
  - *Evite utilizar vias, rotear as trilhas na borda da PCB ou próximo de conectores. Não devem ser roteados no plano de alimentação.*
- Osciladores de cristais
  - *Manter oscilador e os capacitores o mais próximo possível do microcontrolador.*
  - *Não rotear nenhuma outra trilha paralela às trilhas do oscilador.*
  - *Não rotear trilhas embaixo do oscilador, nem na camada inferior.*
  - *A trilha de terra deve ser o mais próximo possível do plano de terra.*

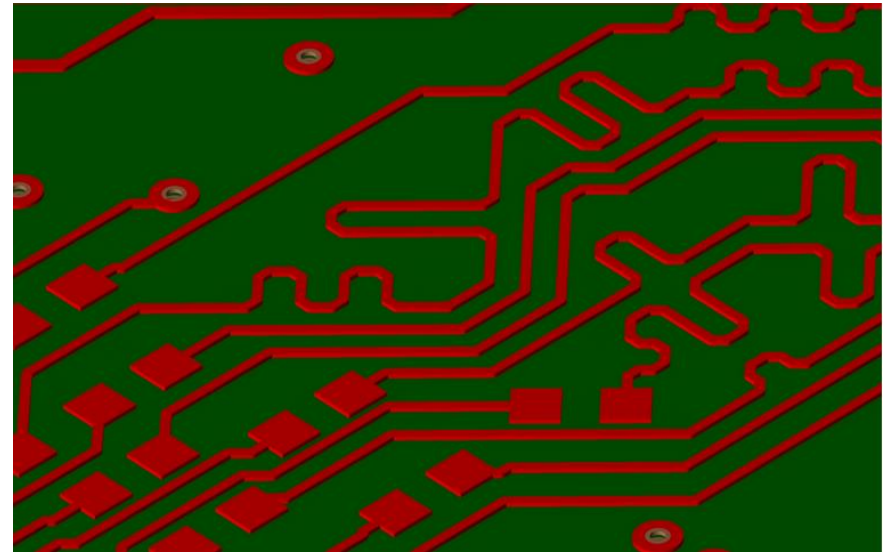


# Projetando uma PCB

- Sinais de clock e com frequências altas
  - *Ao utilizar uma mesma fonte de clock (ou sinal de alta frequência) para mais de um componente, é importante que a trilha até cada um dos componentes seja igual*



<https://www.orcad.com/jp/node/6466>



<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-serpentine-routing-tips-to-snake-in-your-tuned-traces>

# Projetando uma PCB

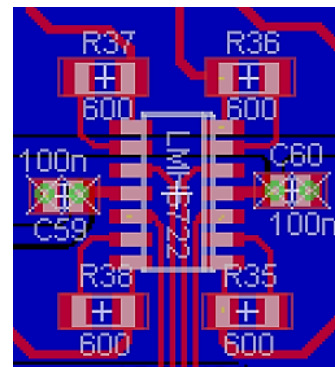
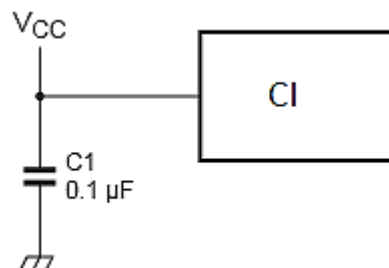
- Sinais diferenciais
  - *Rotear um paralelo ao outro para aproveitar o cancelamento do campo magnético.*
  - *Rotear paralelo ao plano de terra.*
- Reflexão de sinais
  - *Trilhas com ângulo de 90° faz com que a largura da trilha seja aumentada em 1,414 a sua largura original. Isso modifica as características da linha de transmissão, como a capacitância e a indutância, o que resulta na reflexão.*
  - *Quando um sinal é refletido, uma grande quantidade de energia é irradiada.*





- Capacitor de desacoplamento

- Ruídos na fonte de alimentação podem afetar o funcionamento de todo o circuito. Esse ruído, normalmente é de alta frequência. Para separar ou desacoplar o sinal CC dos ruídos de alta frequência, são utilizados os capacitores de desacoplamento.*

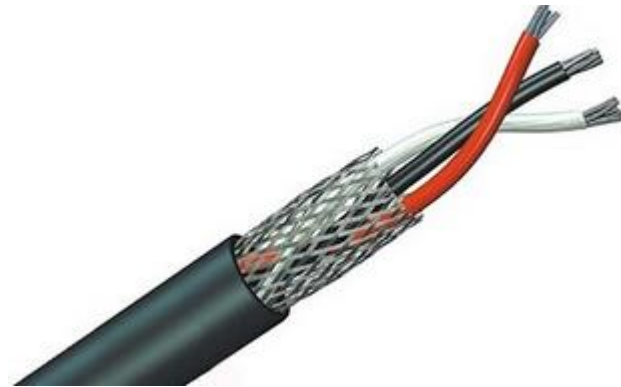
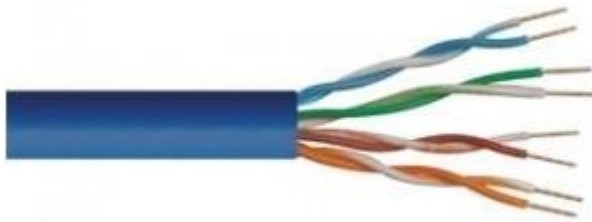


- Esses capacitores devem se localizar sempre “encostados” no circuito integrado. Normalmente é utilizado capacitor cerâmico de 100nF.*

Tipo do Capacitor	Frequência Máxima
Eletrolítico de Alumínio	100KHz
Eletrolítico de Tântalo	1MHz
Mica	500MHz
Cerâmico	1GHz

- Capacitor de desacoplamento
  - *Também são utilizados na saída da fonte de alimentação, com valores de capacitância maiores. Nesse caso, esses capacitores também servem para amenizarem algum transiente indesejado na alimentação.*

- Cabos e Fios
  - *Cabos utilizados para transmissão de sinais funcionam como antenas, o que pode gerar problemas de EMC. É possível atenuar esses problemas das seguintes formas:*
    - Cabos de par trançado: minimizar os campos magnéticos induzidos.
    - Cabos blindados: para sinais de alta frequência. A blindagem deve ser aterrada.



- Espessura das trilhas
  - *Nos softwares de projeto de PCB é comum utilizar a grandeza “mil” que significa 1 polegada/1000 = 0,0254 mm.*
  - *Para calcular a largura mínima da trilha deve-se saber a corrente que fluirá por ela e a espessura do cobre.*
  - *A espessura padrão do cobre para as placas de fenolite é de 1 Oz = 0,035mm.*

- Cálculo para a espessura das trilhas
  - *IPC-2221 - GENERIC STANDARD ON PRINTED BOARD DESIGN*

$$Area [mils^2] = \left( \frac{Corrente [A]}{(k \cdot T[^\circ C])^b} \right)^{\frac{1}{c}}$$

$$Largura da trilha[mils] = \frac{Area[mil^2]}{Espessura[oz] \cdot 1,378 \left[ \frac{mils}{oz} \right]}$$

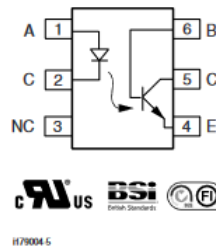
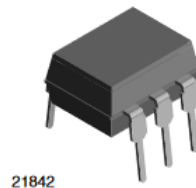
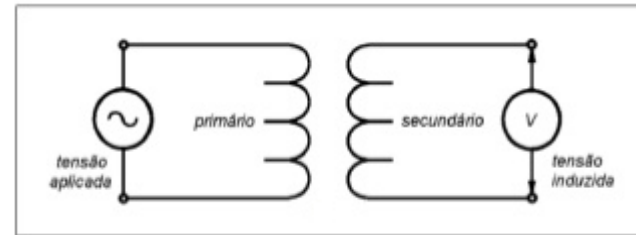
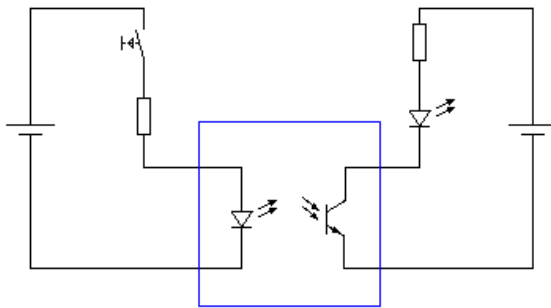
- *T = Aumento da temperatura em relação à ambiente;*
- *k = 0,024, b = 0,44, c = 0,725 para camadas internas;*
- *k = 0,048, b = 0,44, c = 0,725 para camadas externas;*

Calculadora:

<https://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>

# Projetando uma PCB

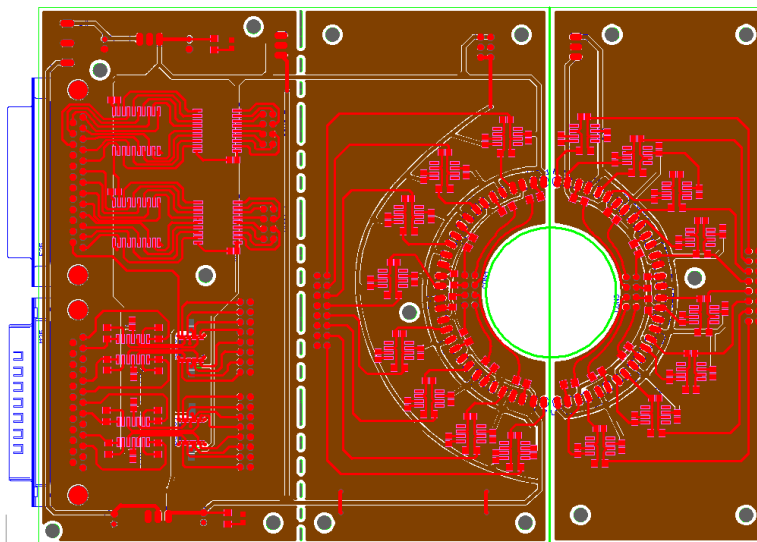
- Isolação do circuito de controle para o circuito de potência.
  - *Isolação galvânica: É quando não existe caminho físico direto entre os sinais.*





## ■ GERBER

- *Quando a PCB for produzida industrialmente, normalmente é enviado apenas o arquivo GERBER.*
- *É um arquivo utilizado pela fresa, que possui as coordenadas exatas das trilhas, furos, vias, camadas, ranhuras e a dimensão da placa.*
- *Também possui outras informações como: pontos de cola, áreas protegidas, metalizações e impressão do nome dos componentes.*
- *Esse arquivo não precisa ter identificação dos componentes, o que evita a cópia do projeto.*



## PCB EasyEDA

# Referências

- Aula sobre “Confecção, Soldagem e Dessoldagem de Placas de Circuito Impresso (PCI)”, Nikolas Libert, UTFPR.
- <https://www.embarcados.com.br/10-mandamentos-da-pcb/>
- <http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator>