

## 1 - Introdução

Esta aula destina-se à construção de circuitos eletrónicos. Está organizada da seguinte forma:

- Técnicas de construção de circuitos.

- Com tinta metálica.
- Breadboards.
- Placas perfuradas com furos metalizados.
- Placas perfuradas lineares.
- Placas perfuradas com 3 pontos.
- Placas de circuito impresso, também chamada PCB.

Começamos por falar sobre técnicas usadas na construção de protótipos. As características das placas e preços.

- Construção de circuitos impressos (PCB)

Iremos dedicar especial atenção à construção de PCBs. PCB é sigla que significa Printed Circuit Board.

Falaremos sobre técnicas de construção de PCB. Procedimentos de furação, montagem e soldadura de componentes também serão descritos.

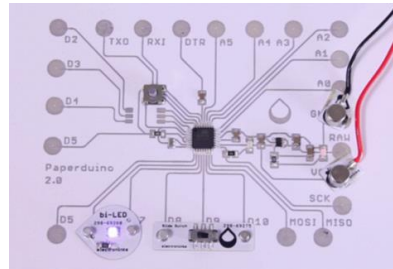
## 2 – Construção com tinta condutora de eletricidade

Há diversas técnicas de construção de placas de circuito.

A mais simples consiste em utilizar como substrato papel ou plástico.

As pistas são traçadas com tinta condutora de eletricidade.

Na figura vê-se um exemplo deste tipo de circuito.



Existem canetas com tinta à base de níquel, como a da figura cujo custo ronda os 20 euros.

### 3 - Breadboard

Este tipo de placa permite o teste rápido de circuitos. Foram utilizadas nas aulas de laboratório. Há breadboards de vários tamanhos, desde 170 furos.

Os furos estão distanciados de 0.1". A distância entre terminais de muitos componentes eletrônicos tais como potenciômetros, encapsulamentos DIP, TO220, etc. é igual ou múltipla de 0.1".

A distância entre os 2 blocos da breadboard é de 0.30" como mostra a figura. Isso permite colocar componentes com 2 linhas de terminais, cujo encapsulamento é chamada DIP.

As breadboards possuem 2 linhas de alimentação de corrente contínua: positiva, marcada a vermelho e negativa marcada a azul.

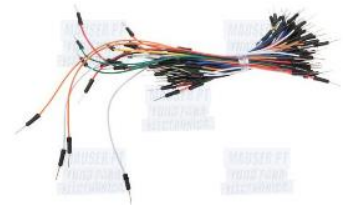
As breadboards são muito úteis no teste de circuitos. São usadas para circuitos de baixa frequência, até 10 ou 20 MHz, devido à capacitância associada (2 a 30pF) aos contactos e também à resistência elétrica das ligações. Suportam corrente elétrica até 1 a 3 A.

Circuitos de alta frequência precisam de construídos em PCB pois precisam de uma proteção de Ground.

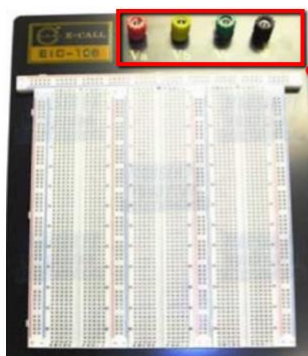
O custo de uma breadboard de 830 contactos é cerca de 4 euros.

As ligações com as breadboards devem ser feitas com fios o mais curto possível. Isto simplifica a verificação do circuito em caso de problemas e evita problemas.

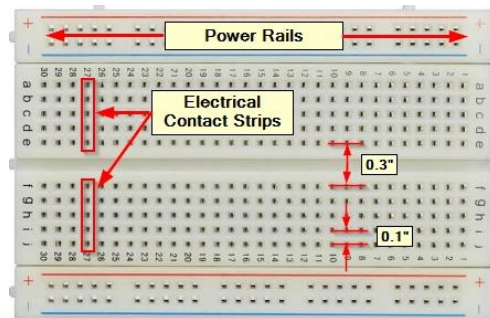
Existem kits de cabos multifilares com pontas mais largas que evitam situações de mau contacto. Um conjunto de 60 cabos custa cerca de 4 euros.



Existem também à venda breadboards com terminais para ligar a alimentação externa. A alimentação é efetuada por cabos com ligação tipo banana. O custo destas ronda os 35 euros.

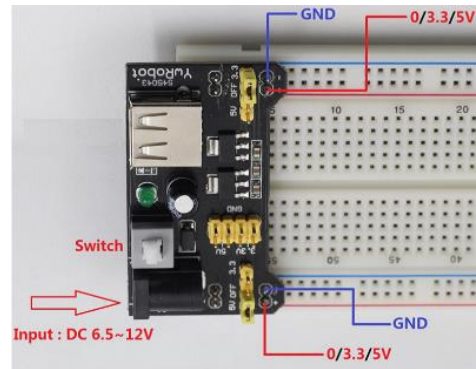


Breadboard com  
ligação exterior



#### 4 - Alimentação da breadboard

A alimentação do circuito é feita com tensões contínuas. Há módulos de alimentação para Breadboards cujo custo é muito baixo ( poucos euros). Repare-se nas características do módulo da figura.



##### CARACTERÍSTICAS:

- Tensão entrada: fonte alimentação 6.5-12 VDC ou USB 5 V (usar potência regulada)
- tensão de saída: 5 VDC fixo + 3.3 V / 5 V, comutável
- corrente de saída máxima: máximo 500 mA, fusível reinicializável de 500 mA
- duas saídas de alimentação: 1 saída fixa de 5 V e outro seleccionável de 3.3 V ou 5 V
- entrada DC: ficha 5.5 x 2.1 mm

Há breadboards com alimentação incorporada. Podem custar mais de 100 euros. A tensão pode ser regulada.



As breadboards têm a vantagem de rapidez e baixo custo mas pecam pela incerteza associada ao mau contacto.

### 5 - Placas perfuradas por pontos com furos metalizados.

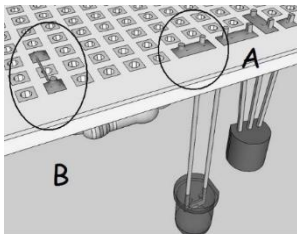
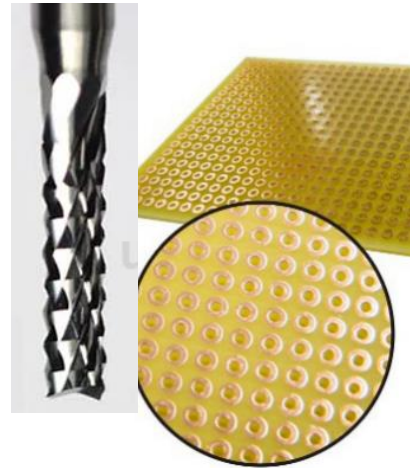
Existem com várias dimensões, como por exemplo 160x100 mm.

Os furos são de 1mm de diâmetro e a distância entre furos é de 0.1" (polegadas).

O custo destas placas varia entre 1 e 8 euros. Depende da qualidade do material isolante e da camada de cobre. As melhores são de epoxy.

A fiabilidade dos circuitos efetuados com estas placas é excelente e o custo é baixo.

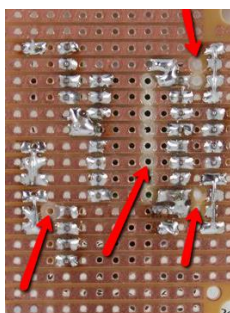
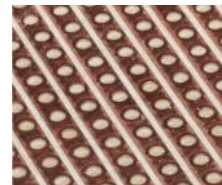
A desvantagem está na estética e na dificuldade de ligar vários terminais de componentes num nó.



### 6 - Placa de circuito perfurada linear

São constituídas por linhas metalizadas com furos de 1 mm distanciados de 0.1".

Têm a vantagem de permitir ligações de nós com muitos terminais de componentes.



A linha metalizada é cortada pelo utilizador na zonas onde há necessidade de interromper a ligação elétrica. A imagem ao lado mostra as interrupções.

Desvantagem:

São usadas minifresas para o corte das linhas metalizadas ou discos de corte de miniberbequins cujas imagens pode ver nas figuras.

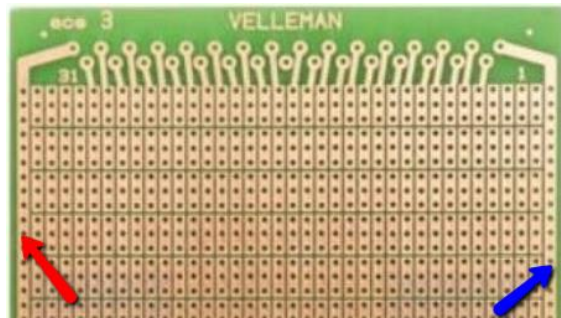
Uma placa 80x100 mm, epoxy, custa cerca de 5 euros.



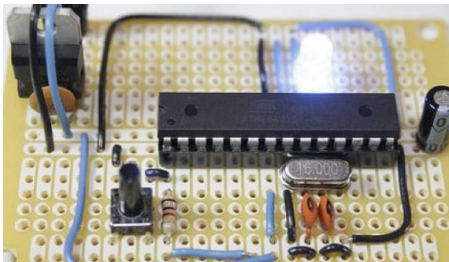
## 7 - Placas perfuradas de 3 pontos

São muito práticas. Possuem conjuntos de 3 furos metalizados ligados.

Há placas mais versáteis que possuem também 2 conjuntos de linhas que podem ser usadas para a alimentação, indicadas na imagem com as setas.



Exemplo de circuito.



Uma placa epoxy 160x100 de 3 pontos custa cerca de 8 euros.

As placas de papel laminado são muito mais baratas.

## 8 – Wire wrap

Está técnica era usada para pequenas linhas de produção em circuitos de alta frequência, até gigahertz.

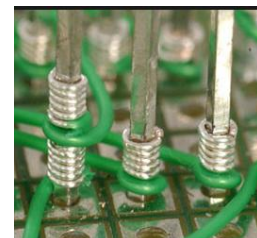
Não envolve soldadura.

Os fios são enrolados normalmente em modo automático ao redor de pequenas hastes metálicas.

O enrolamento é efetuado com pequenas pistolas.

Uma das vantagens é o comprimento dos fios serem curtos pois fazem ligações diretas.

Esta técnica é pouco usada atualmente.





## 9 - PCB

Uma placa de circuito impresso representa uma materialização do circuito elétrico.

As ligações entre componentes são realizadas por pistas que não são mais do que linhas de material condutor de eletricidade, de determinada largura e espessura.

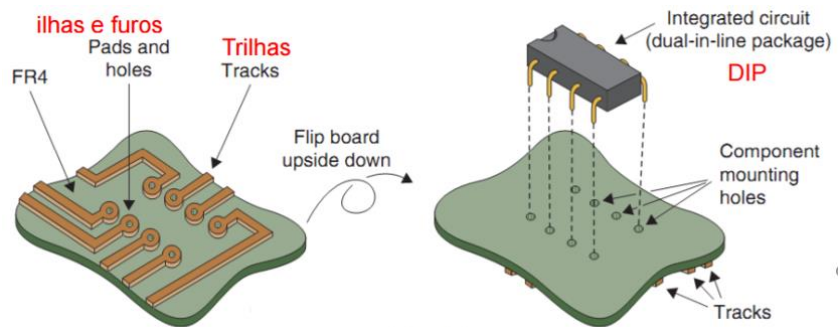
As ilhas são os elementos que permitem ligar os componentes eletrónicos ao circuito impresso.

Podem ter a forma de quadrado, retângulo ou círculo.

A camada das pistas é suportada por um material isolante.

Os circuitos mais simples são construídos numa só camada condutora.

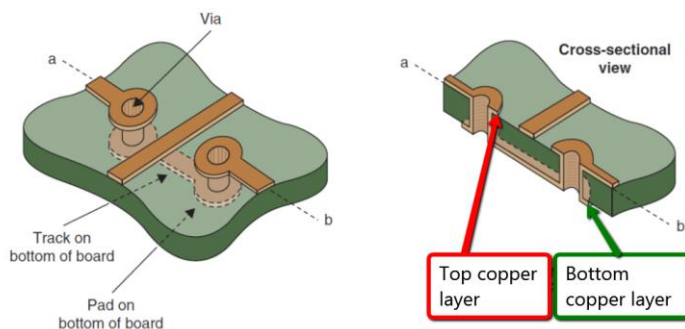
Os componentes são colocados sobre a camada isolante, em furos efetuados nas ilhas.



Neste caso chama-se bottom copper layer à camada condutora inferior.

## 10 – PCBs em dupla camada

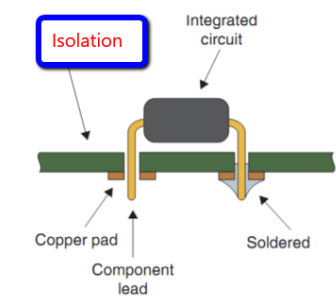
Para os circuitos mais complexos usam-se 2 camadas condutoras. Top copper layer e bottom copper layer. As ligações entre as duas camadas é efetuada, sempre que necessário, por furos metalizados chamados vias.



## 11 – Material de suporte

O material isolante desempenha um papel muito importante. As propriedades mais importantes deste material são:

- Estabilidade dimensional.
- Temperatura de trabalho.
- Absorção de humidade.
- Resistência mecânica.
- Aderência ao cobre.



Com efeito uma alteração dimensional pode quebrar as pistas e danificar o circuito.

O plástico é o material de suporte habitual. Sabe-se que aquecendo um polímero, o material torna-se pastoso a partir de uma determinada temperatura.

A humidade cria problemas de condução elétrica.

A resistência mecânica é importante porque em muitas aplicações a placa está sujeita a impactos.

O plástico é um material que suporta pequenas deformações. Por essa razão usa-se um reforço com papel ou fibra de vidro.

Chama-se compósito pois os materiais são ligados fisicamente. Formam uma estrutura muito mais resistente.

## 12 – Tipos de materiais de isolamento

Quando se pretende escolher o tipo de placa aparece-lhe, nos dados do fabricante, a designação.

Para vermos o que significam as designações vejamos a tabela.

Nesta, pode ver o tipo de material, designação e aplicação.

Material	Designação	Propriedades
Laminado fenólico com base de papel	XXXP	Aplicações que requerem elevada resistência de isolamento, baixa perdas dielétricas sob condições severas de humidade. Perfuração a quente.
	XXXPC	Idênticas mas pode ser perfurado a temperaturas mais baixas.
Laminado fenólico com base de papel	FR-1	Resistente ao fogo. TG= 130 C. FR-2 tem TG= 105 C. Fabricantes produzem FR-1 devido custo semelhante. Usa-se para PCB de 1 camada.
Resina epoxy com base de papel.	FR-3	Semelhante a FR-2. Não se usa para multicamada.
Laminado epoxy com fibra de vidro.	FR-4	É o mais usado. Suporta 120 a 130 C. Pode ser usado em multicamada. FR significa Flame Retardant
	FR-5	TG=160 C. Pode usado até 140 C. Excelentes propriedades mecânicas a alta temperatura. Excelente comportamento na soldadura sem chumbo.
	G-10	G significa Glass Fiber. 10 significa que tem 10% do total. Utilização geral.
	G-11	Resistente a alta temperatura, semelhante a FR-5 (mas não igual).
Resina de PTFE com base de fibra de vidro	GT e GX	Podem ser usados até 220 C.

TG é a temperatura de transição vítrea. Acima desta temperatura o material fica pastoso.

O laminado é produzido com papel impregnado com resina fenólica. É feito em várias camadas preeensadas. Daquí resulta um material que pode suportar condições de humidade severas e pode ser perfurado a quente.

Nas aplicações industriais a capacidade de suportar a perfuração a baixas temperaturas é importante.

Epoxy é um polímero termofixo.

Um polímero é constituído por muitas repetições de unidades chamadas meros. Neste caso é utilizado um catalisador ou endurecedor.

Termofixo significa que não funde. Aumentando a temperatura este polímero degrada-se.

A fibra de vidro é usada para formar um compósito com maior resistência mecânica.

FR significa Fire Retardant.

Entre FR1 e FR2 o custo é aproximadamente igual. Muitos fabricantes produzem só o FR1 que suporta mais o calor que o FR2

FR4 e FR5 suportam mais calor. FR5 pode ser usado até 140C.

A designação G significa que tem vidro (Glass). G10 significa que tem 10% de vidro.

Dos plásticos fluorados – contendo um ou mais átomos de fluor, o mais conhecido é o PTFE . O mero (unidade que se repete) é constituído por 2 átomos de carbono e 4 de fluor.

A marca comercial mais vulgar é *Teflon*. O Teflon suporta 260C . Por essa razão as placas GT e GTX podem ser usadas até 220 C.

### 13 - Porque razão se usa o cobre como material de condução elétrica?

O gráfico mostra as condutividades elétricas de alguns materiais.



A prata é o melhor condutor de eletricidade mas pouco se usa devido ao custo.

O cobre com a exceção da prata é o melhor condutor de eletricidade.

### 14 – Espessura da camada de cobre

As placas de suporte são revestidas por uma ou 2 películas condutoras de cobre.

A espessura da camada de cobre aparece na literatura, muitas vezes, com a indicação em Oz.

Nesta designação a espessura do revestimento é calculada dividindo massa pela área caberta.



1 Oz significa que é depositada 1 onça de cobre. 1 onça (Oz) equivale a 28.34952 g.

A área de deposição é pé quadrado (square foot).

1 Square foot equivale a 0.0929 m<sup>2</sup>.

1 Oz que corresponde a cerca de 35 µm de espessura.

As placas mais comuns têm 35 µm ou seja 1 Oz.

*No entanto, há firmas especializadas que produzem placas até 20 Oz.*

Quanto maior a espessura da camada de cobre maior será o custo.

Uma placa monocamada de 35 µm com 100x160 custa cerca 1.60 euros.

A película de cobre pode ser revestida com prata, estanho ou ouro.

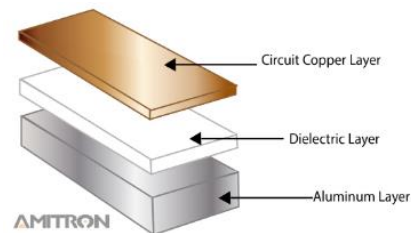
Evita a oxidação do cobre e facilita a soldadura.

## 15 – Placas com grandes necessidades de dissipação de calor

Existem placas especiais em que o substrato é alumínio. Usam-se quando a necessidade de dissipação de calor é elevada ou quando é necessário produzir um circuito que seja flexível (moldado a uma forma).

Consistem de uma camada de alumínio e uma de cobre separadas por um fino dielétrico.

A espessura deste é 1/10 das placas convencionais pelo que a transferência térmica aumenta 5 a 10 vezes.



## 16 - Porque razão se usa o alumínio para dissipação de calor e não o cobre ?

O gráfico mostra as condutividades térmicas de vários metais.

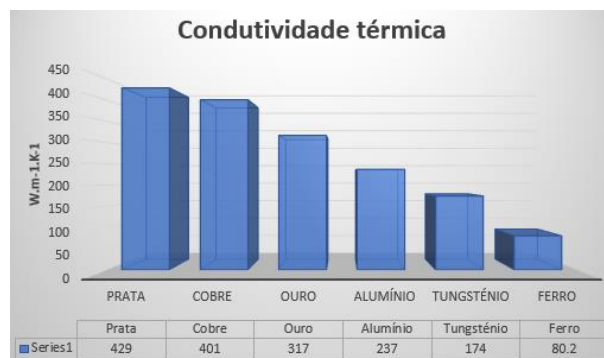
Repare-se que a prata, o cobre e o ouro têm uma excelente condutividade térmica.

O alumínio tem cerca de 60% da condutividade térmica do cobre.

Mas no que se refere a custo, em termos gerais, o cobre é cerca de 4 vezes mais caro do que o alumínio.

Por essa razão é frequente o uso do alumínio como dissipador de calor em vez do cobre.

A escolha do tipo de placa tem a ver com as condições de trabalho e o custo associado.



## 17 – Construção do PCB com corte por laser

Iremos descrever o processo de construção de PCB numa só camada.

A placa de circuito impresso é obtida retirando a zona de cobre ao redor das pistas.

Existem diversas técnicas para o efeito.

No corte por laser é utilizado um laser de potência que retira o cobre excedente ficando só as pistas, como mostra o video. Exige uma máquina de corte por laser cujo custo é dispendioso.

<https://www.youtube.com/watch?v=W-UZUwig6y8>

Como opção faz-se um corte só na periferia da pista.

## 18 - Construção do PCB por Fresagem

Este procedimento implica o recurso a uma máquina chamada fresadora.

As ferramentas de corte chama-se fresas. Têm movimento de rotação.

A figura mostra uma fresa.



Tal como as impressoras 3D, o suporte das fresas pode, além de rodar, deslocar-se nos 3 eixos coordenados.

Este processo é utilizado quando se pretende produzir um grande número de unidades dado que envolve a programação da fresadora.

Este tipo de fresadoras chama-se CNC (Computer Numerical Control).

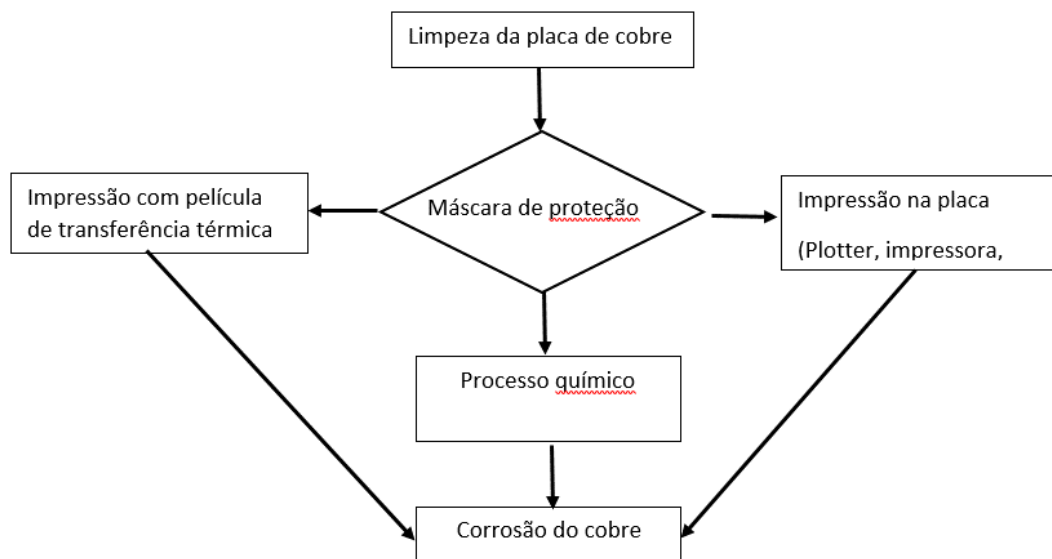
O custo destas máquinas varia muito. Depende da precisão e do uso que se pretende.

É preciso ter também em conta o custo das fresas e o tempo de programação.

<https://www.youtube.com/watch?v=cCm-UL-dCEc>

## 19 – Construção do PCB

O diagrama abaixo mostra a sequência do processo de construção de placas de circuito impresso.



Após o polimento e limpeza da placa é colocada uma máscara.

Esta protege as áreas das pistas e ilhas impedindo que estas desapareçam no processo de corrosão do cobre.

## 20 – Impressão direta da máscara

No vídeo poderá ver a impressão de uma máscara com uma Plotter.

As linhas e ilhas podem ser traçadas com um marcador de acetato.

[https://www.youtube.com/watch?v=tziwG9Ur\\_8A](https://www.youtube.com/watch?v=tziwG9Ur_8A)

## 21 – Impressão da máscara com película de transferência térmica

No caso de protótipos pode utilizar películas de plástico de transferência térmica.

Estas folhas são vendidas em formato A4 em conjuntos de 10. Cada conjunto custo cerca de 18 euros.

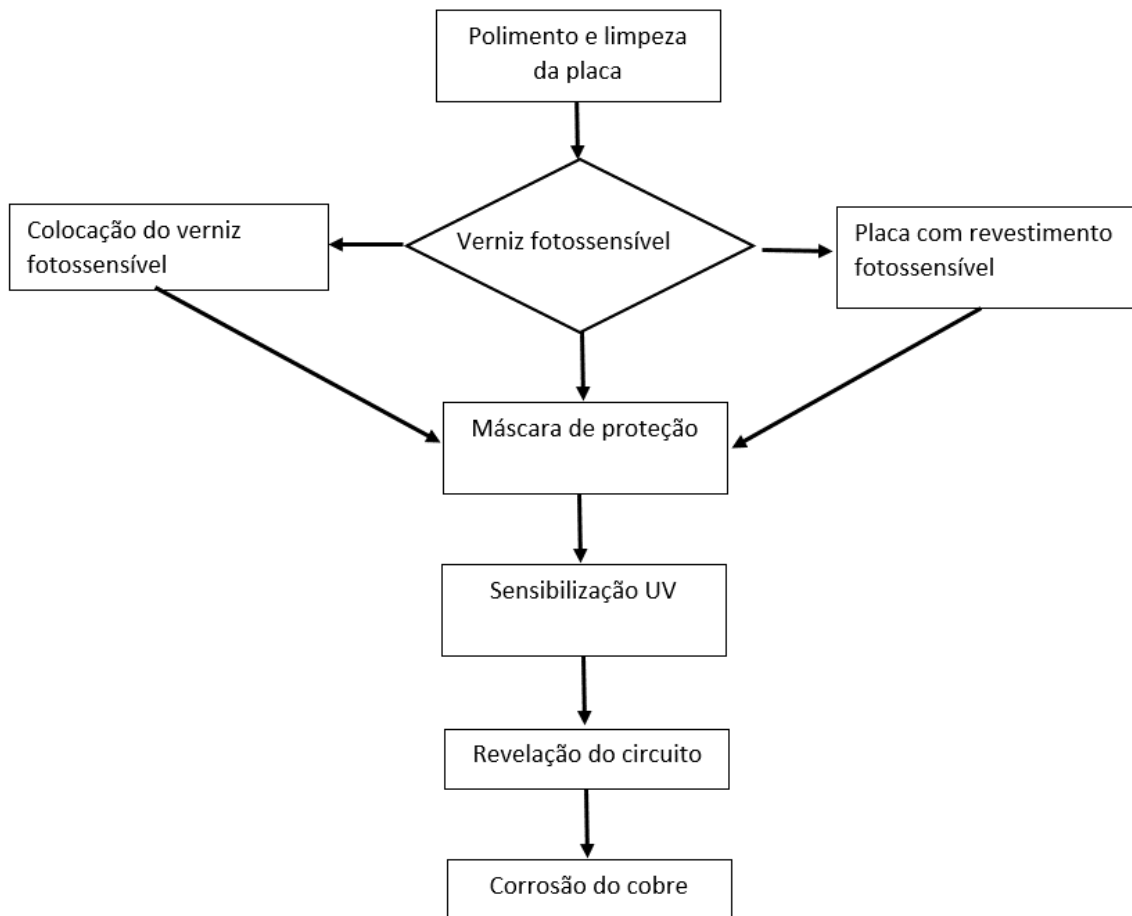
Procedimento:

- Limpar a parte cobreada.
- Imprimir o circuito nesta película de transferência térmica, numa impressora laser.
- Colocar a película sobre a placa cobreada.
- Aquecer a placa cobreada até cerca de 150 C. Pode usar uma placa de indução de temperatura controlada para aquecer uma placa metálica sobre a qual é colocada a placa cobreada. Em alternativa, pode até usar um ferro de engomar.
- Pressionar uniformemente até transferir o toner para placa.

<https://www.youtube.com/watch?v=cC435tU1TkM>

## 22- Criação de máscara no processo químico (fotossensibilização)

O esquema abaixo mostra as diversas fases de construção no processo químico.



- Verniz fotossensível

Pode ser positivo ou negativo. É frequente usar-se o Positiv20. O prazo de validade é curto.

Em alternativa pode comprar uma placa cobreada com revestimento fotossensível. Uma placa 100x75 mm custa cerca de 3 euros.



- Máscara:

Deve ser impressa num material transparente à radiação UV. Pode ser papel vegetal de boa qualidade ou transparência para impressora. A impressão deve ser feita com impressora laser.

- Sensibilização

A máscara é colocada sobre a placa de cobre com o verniz fotossensível.

Para a sensibilização usam-se máquinas de raios UV.

A exposição varia consoante a espessura da camada.

Valores típicos são de 7 a 15 minutos. Se construir uma máquina deve ter especial cuidado com radiação UV pois é prejudicial para os olhos.



- Revelação

Pode ser efetuada numa solução diluída de hidróxido de sódio (8g/litro).

Existem packs à venda. O da imagem contém 22g e custa cerca de 2 euros.



<https://www.youtube.com/watch?v=tKprv1b0OzM>

## 22 - Corrosão da placa

A remoção do cobre excedente pode ser efetuada com diversos produtos, normalmente misturas de ácidos.

O uso do percloroeto ferro aquecido parece ser o que menos perigos apresenta.

As imagens mostram a vista frontal e o interior de uma máquina de corrosão de percloroeto de ferro.



Deve ter-se especial cuidado ao trabalhar com percloroeto de ferro. Usar luvas e não deixar cair na roupa, calçado, etc. As manchas não saem.

O cobre oxida muito facilmente ao ar.

Para proteger a camada de cobre pode usar-se uma solução de nitrato de prata para revestimento.

Se usar verniz de proteção, só deve colocá-lo depois de soldar os componentes.

## 23 - Furação da placa

As furações são efetuadas, frequentemente, com engenhos de furar.

Deve ter-se muito cuidado no manuseio destes aparelhos.

Funcionam a velocidades de rotação muito elevadas: entre 5000 a 30000 rpm (rotações por minuto).

Dado que os furos são efetuados com brocas de 0.80 mm, estas podem partir-se e serem projetadas. É obrigatório o uso de óculos de proteção ou viseiras.

O procedimento é visível no vídeo.

<https://www.youtube.com/watch?v=szGENW2X0JI>



O alargamento dos furos para terminais de maior diâmetro é efetuado numa fase posterior.

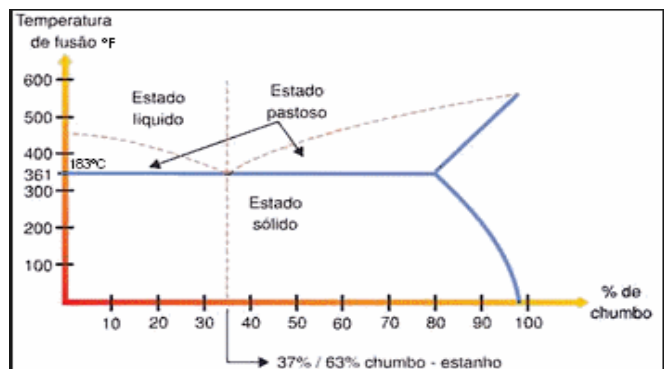
## 24 –Montagem dos componentes

Os terminais dos componentes devem ser dobrados com um alicate de pontas planas.

É útil medir previamente a distância com uma craveira.

## 25- Soldadura dos componentes

Ainda se usa solda de estanho/chumbo (60/40). A solda começa a fundir aos 183°C e a fusão total dá-se a 188°C.



Por razões ambientais o chumbo está a ser substituído por outros metais, como o cobre, prata, etc.

O ponto de fusão destas ligas é maior do que as de Sn/Pb; superior a 200 C.

Para a soldadura pode usar-se um ferro de soldar com temperatura controlada. A potência destes ferros deve ser 30W ou mais e possuir ponta fina.



O ferro de soldar deve ser colocado no suporte para evitar danos.



A soldadura dos componentes deve ser rápida (segundos) e com o mínimo de solda necessária para não danificar o componente.

Deve ser soldado um componente de cada vez na seguinte sequência:

- Terminais, suportes de integrados, jumpers, fios de ligação, etc
- Resistências, condensadores e outros elementos passivos.
- Elementos ativos: transístores, reguladores de tensão, etc

O fio elétrico do ferro de soldar **NUNCA** deve tocar na zona quente da terminação do ferro de soldar. Pode produzir um curto circuito e choque elétrico.

O procedimento é bem visível no vídeo.

<https://www.youtube.com/watch?v=AqvHogekDI4>

A soldadura deve ter um aspeto brilhante e a superfície deve ter um perfil côncavo ou no caso limite um triângulo.

Se for convexo, a solda está em excesso o que pode danificar o componente.

Se solda estiver baça e/ou porosa significa que a soldadura ficou submetida a ciclos de aquecimento/arrefecimento e daí o aspeto oxidado.

Se superfície for arredondada (tipo bola) significa que além de excesso de solda, poderá não ter aderido à ilha.

## 26 – Dessoldadura

Só se retira a solda em situações específicas como por exemplo, quando se pretende substituir o componente.

Para retirar a solda é necessário aquecer a mesma até fundir. Se houver pistas ou zona metálica adjacente a solda irá escorrer para essas áreas onde é difícil retirar.

Podem usar-se estações de dessoldadura, mas o seu custo é elevado (superior a 200 euros).

Os sistemas mais simples, baratos e eficazes baseiam-se em aspiração por vácuo mecânico produzido por um êmbolo interior.

