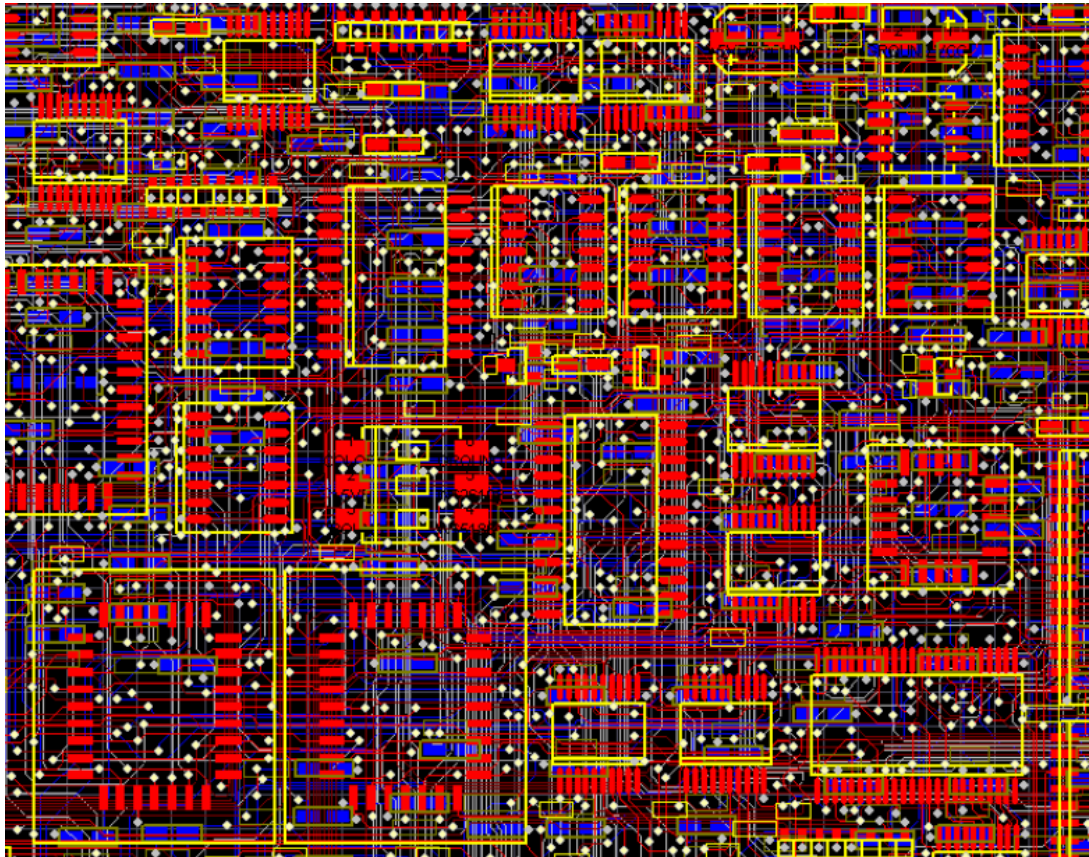


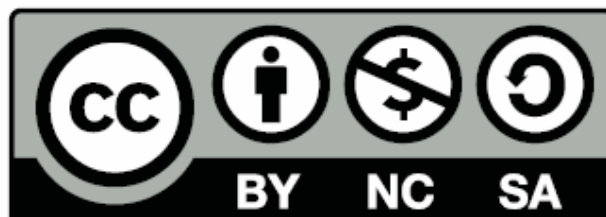


# PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO COM O *SOFTWARE* EAGLE

## 1ª PARTE: CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)



EWALDO LUIZ DE MATTOS MEHL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



Esta obra é licenciada sob as cláusulas Creative Commons – Common Deed:  
**Atribuição – Uso Não-Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 2.5 Brasil**



COMMON DEED

**Atribuição-Usu Não-Comercial-Compatilhamento  
pela mesma licença 2.5 Brasil**

Você pode:

- copiar, distribuir, exibir e executar a obra
- criar obras derivadas

Sob as seguintes condições:



#### **Atribuição**

Você deve dar crédito ao autor original, da forma especificada pelo autor ou licenciante.



#### **Usu Não-Comercial**

Você não pode utilizar esta obra com finalidades comerciais.



#### **Compatilhamento pela mesma Licença**

Se você alterar, transformar, ou criar outra obra com base nesta, você somente poderá distribuir a obra resultante sob uma licença idêntica a esta.

- Para cada novo uso ou distribuição, você deve deixar claro para outros os termos da licença desta obra.
- Qualquer uma destas condições podem ser renunciadas, desde que Você obtenha permissão do autor.

**Qualquer direito de uso legítimo (ou “fair use”) concedido por lei, ou qualquer outro direito protegido pela legislação local, não são em hipótese alguma afetados pelo disposto acima.**

# PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO COM O *SOFTWARE* EAGLE

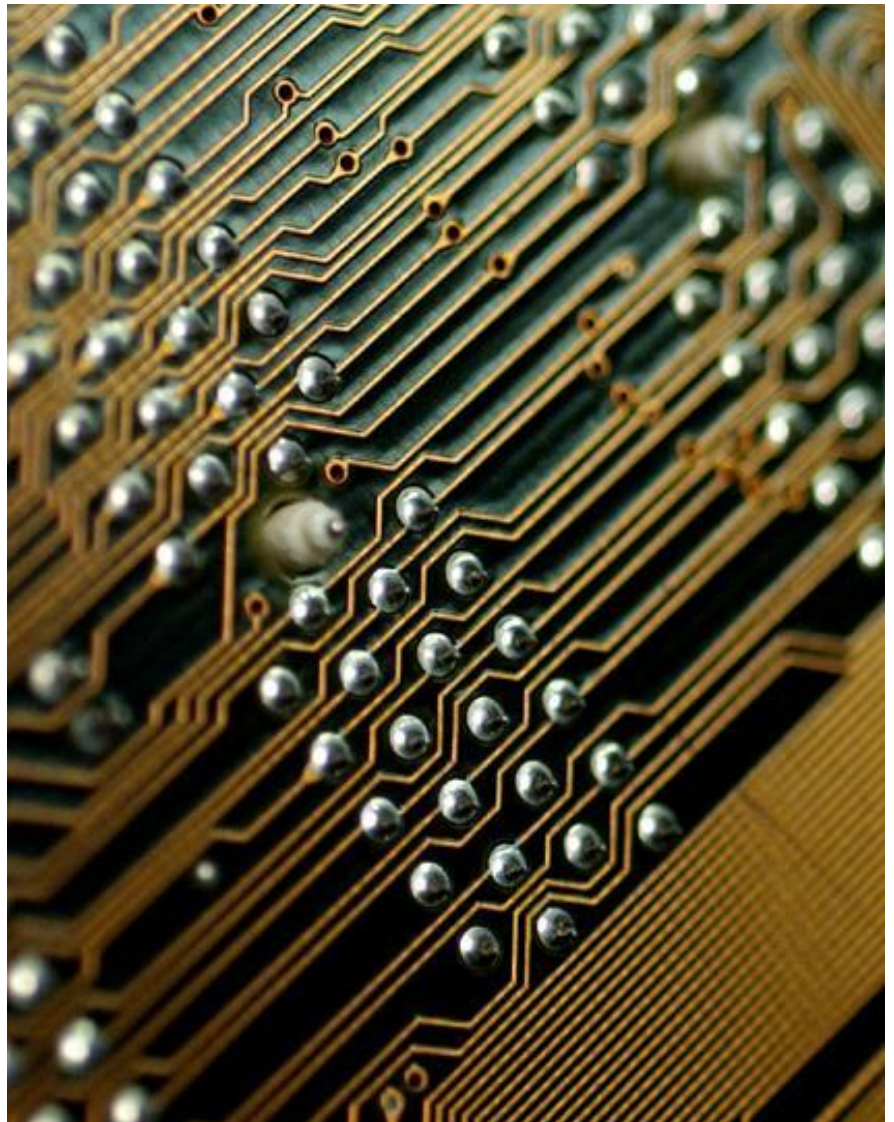
EWALDO LUIZ DE MATTOS MEHL

## 1<sup>A</sup> PARTE: CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

### 1. CIRCUITOS IMPRESSOS – ORIGENS E MATERIAIS

A maioria das publicações sobre o assunto credita a invenção do circuito impresso a um engenheiro austríaco chamado Paul Eisler (1907 - 1995) que na década de 1930, enquanto trabalhava na Inglaterra, utilizou uma placa isolante com trilhas metálicas de cobre na construção de um aparelho de rádio. No entanto, a primeira vez que os circuitos impressos foram usados de uma forma mais ampla foi por volta de 1943, quando foram empregados em equipamentos de rádio para uso militar, onde era essencial que o circuito funcionasse em situações extremamente adversas. Após a Segunda Guerra Mundial os circuitos impressos foram usados em outras aplicações e, com o advento dos transistores, tornou-se a forma mais comum de construção de circuitos transistorizados. Atualmente, placas de circuitos impressos (**PCIs**) são amplamente empregados em todos os tipos de equipamentos eletrônicos, principalmente quando se empregam em sua construção circuitos integrados.

Figura 1: Fotografia ampliada de uma placa de circuito impresso (PCI) empregada em um microcomputador.



O material inicialmente usado para a fabricação de placas de circuito impresso (PCIs) foi uma chapa conhecida como *fenolite*. Na verdade o nome *fenolite* era originalmente a marca comercial

de um fabricante de chapas isolantes, muito usada pela indústria de máquinas elétricas e transformadores. As chapas são feitas com a mistura de uma resina fenólica com certa quantidade de papel picado ou serragem de madeira (carga), apresentando cor marrom claro ou escura, dependendo do tipo de carga utilizada. A mistura é moldada e prensada a quente na forma de chapas, com diferentes espessuras. O principal problema das chapas de fenolite para circuitos impressos decorre justamente do uso da carga à base de celulose, que a torna higroscópica. Ou seja, em um ambiente úmido as placas de fenolite absorvem certa quantidade de água, o que além de prejudicar as suas características isolantes frequentemente faz com que as placas empenem.

Em resposta aos problemas apresentados pela fenolite, foram desenvolvidas na década de 1960, como alternativa de melhor qualidade, as placas conhecidas como **fibra de vidro** (FV). Na verdade estas chapas são feitas com resina epóxi e apenas há internamente uma fina manta de tecido de fibras de vidro. O uso da resina epóxi faz com que as placas de FV sejam totalmente inertes à água mas, por outro lado, produz uma placa extremamente difícil de ser cortada e furada. De fato, a dureza do epóxi é semelhante à do granito, fazendo com que sejam necessárias ferramentas especiais para fazer o corte e a furação das placas de circuito impresso de FV. As placas FV são também cerca de 30% mais caras do que as de fenolite. Apesar disso, devido à sua excelente capacidade isolante e estabilidade dimensional, a grande maioria das placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos são fabricadas com placas de FV, ficando a fenolite geralmente restrita a projetos de pouca qualidade ou quando se utiliza uma técnica mais artesanal na fabricação. Segundo a norma NBR 8188/83, as chapas para circuito impresso de fenolite são referenciadas como **FR-2** e as de fibra de vidro como **FR-4**.

Para aplicações em frequências muito elevadas, tanto a fenolite como a FV podem apresentar problemas de polarização dielétrica. Como alternativa existem chapas para circuito impresso onde o material isolante utilizado é o politetrafluoroetileno (PTFE), um material mais conhecido pelo nome comercial de **Teflon** (®Du Pont). São placas muito caras e geralmente utilizadas em circuitos onde estão presentes frequências de muitos MHz. Outro material alternativo é o **poliéster**, que permite fabricar circuitos impressos flexíveis, usados em alguns equipamentos portáteis.

Quanto ao material condutor, é empregado o **cobre**. O processo de deposição do cobre sobre as placas isolantes inicia-se pela aplicação de uma tinta à base de grafite. Em seguida as placas são ligadas ao pólo negativo de uma fonte de corrente contínua e mergulhadas em uma solução saturada com sais de cobre, sendo tal solução ligada ao pólo negativo da fonte. Ocorre então um processo eletroquímico chamado **galvanoplastia**, obtendo-se a deposição de uma fina camada de cobre metálico sobre a placa. Ao se obter a espessura de cobre desejada, a placa é retirada do processo de galvanoplastia e passada por uma calandra metálica aquecida, que fixa a camada de cobre à placa e deixa-a com uma superfície lisa e uniforme. Geralmente as placas de circuito impresso usadas em eletrônica são chamadas de "cobre a uma onça"; isto significa que a camada de cobre existente em uma área de **um pé quadrado** (1 sq.ft. - square foot) pesa **uma onça** (28,34 g). A tabela 1 mostra as características usualmente encontradas nas placas de FV (**FR-4**) disponíveis para a indústria de PCI.

Tabela 1: Características das chapas tipo FR-4, disponíveis para PCI.

<b>Espessura da camada de Cobre</b>	<b>1/2 onça</b> (espessura de 18µm)	<b>1 onça</b> (espessura de 35µm)
<b>Largura mínima das trilhas</b> (**)	<i>8 mils = 0,08 inch</i>	<i>12 mils = 0,12 inch</i>
<b>Espessura da chapa isolante</b>	0,8mm, 1mm, 1,2mm, 1,6mm (típico), 2mm e 2,4mm	

(\*) A largura mínima da trilha depende do processo de fabricação utilizado. Os valores citados são usuais nos prestadores de serviço de confecção de placas disponíveis no Brasil.

Apesar de aparente muito pouco espessa, a camada de cobre existente na face de uma placa de circuito impresso possibilita a condução de corrente elétrica em níveis elevados. A Figura 2 mostra

um ábaco existente na norma NBR 8188/89 que permite calcular a largura da trilha de cobre, em função da corrente a ser transmitida pela trilha, da espessura de cobre existente na placa e da temperatura máxima permitida.

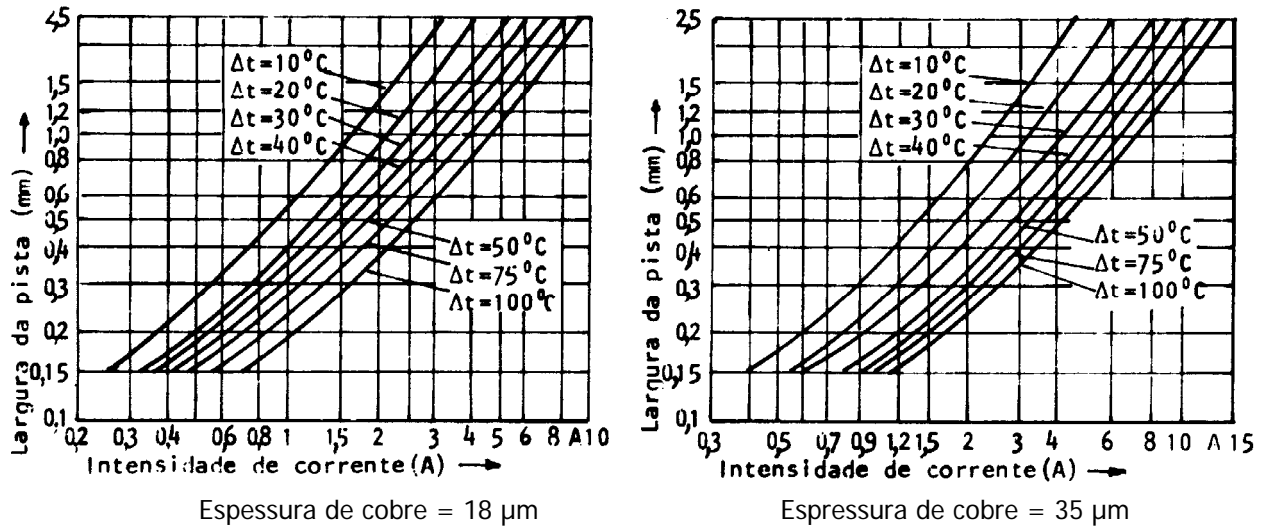


Figura 2: Ábacos existentes na NBR 8188/89, para dimensionamento da corrente máxima que pode fluir nas trilhas de um circuito impresso.

Quanto ao espaçamento mínimo entre trilhas contíguas, este é uma função da tensão entre elas. O ábaco da Figura 3, extraído da NBR 8188/89, possibilita verificar tal espaçamento mínimo.

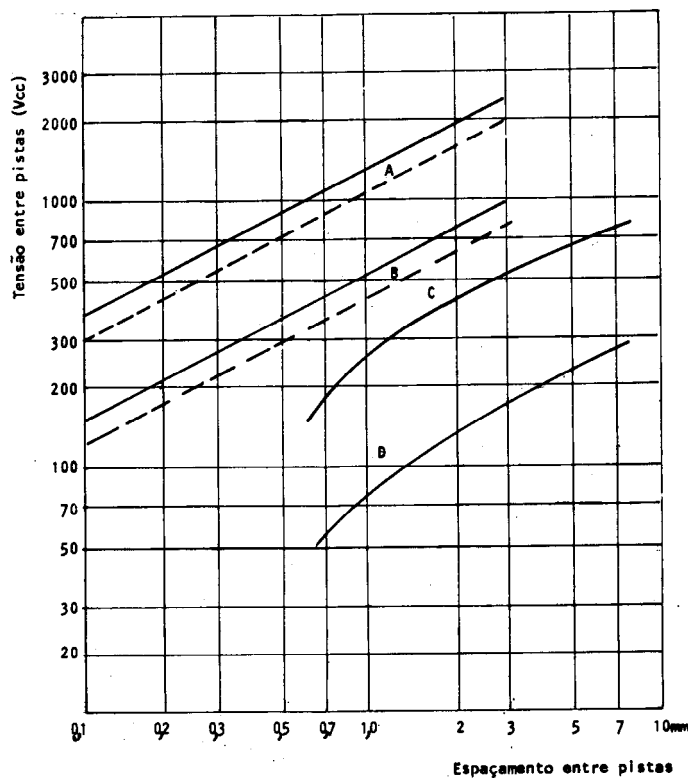


Figura 3: Ábaco que permite estabelecer o espaçamento entre duas trilhas contíguas, em função da tensão verificada entre tais trilhas. Fonte: NBR 8188/89.

- Em recintos fechados acima de 1000 m de altitude.
  - - - Em recintos abertos mas cobertos acima de 1000 m de altitude.
  - Curva A Tensão de descarga parcial em placa revestida de tecido de vidro epoxi com poeira quimicamente inativa.
  - Curva B Tensão de operação onde é apropriado um fator de operação de 2,5.
  - Curva C Tensão de operação onde é apropriado o fator de operação de aproximadamente 5.
  - Curva D Tensão de operação onde é apropriado o fator de operação de aproximadamente 11.
- Nota: Para espaçamentos acima de 8 mm, a relação entre a tensão e o espaçamento deve ser determinada para cada caso.

## 2. CIRCUITOS IMPRESSOS SMD

Apesar do amplo uso de circuitos impressos, até a década de 1970 muitos dos componentes eletrônicos continuaram a ser fabricados como se não fossem destinados a serem usados nesse tipo de montagem. Principalmente os capacitores e os resistores eram produzidos com terminais longos, na forma de arames de cobre revestidos com estanho. Após a soldagem desses componentes na placa de circuito impresso, era necessário cortar o comprimento em excesso dos terminais. A necessidade de orifícios para passarem os terminais também representa uma etapa a mais no processo de fabricação do circuito e faz crescer o seu custo final. Em face desses fatos, a partir de 1975 começaram a surgir PCIs com uma nova classe de componentes, chamados **SMD** (*surface mount devices* – dispositivos para montagem em superfície).

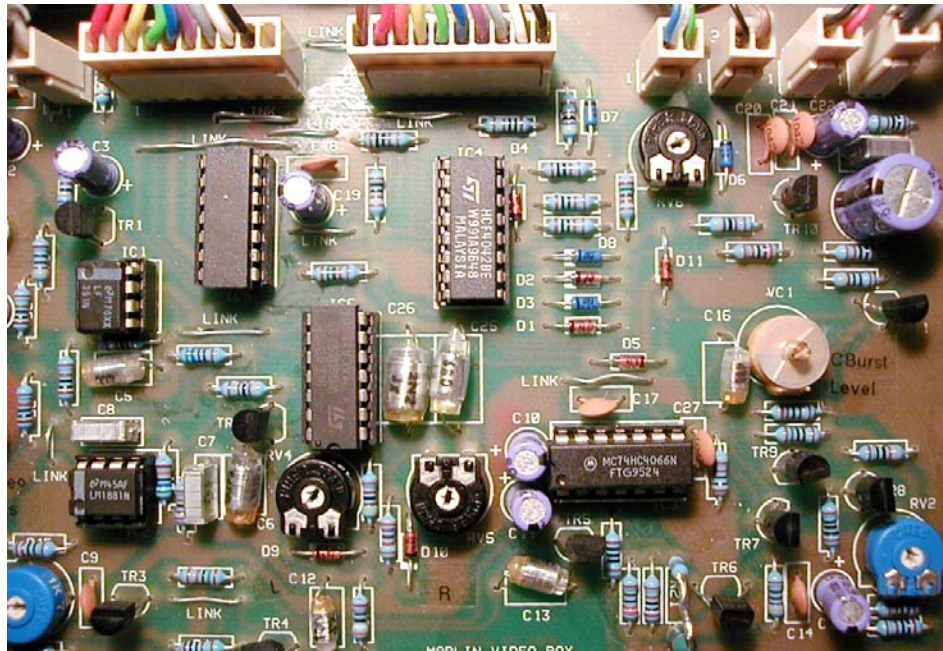


Figura 2: Placas de circuito impresso com componentes tradicionais e com SMD.

Na montagem de placas com SMDs, geralmente são usadas máquinas automáticas conhecidas como *Pick & Place*. Os componentes são fornecidos pelos fabricantes afixados em rolos. Um sistema robotizado coloca os componentes de forma muito precisa nos pontos corretos na placa, aplicando a eles uma pequena gota de cola. Nos circuitos de maior complexidade, os SMDs podem ser aplicados em ambas as faces da placa. Após a colagem dos componentes na placa, segue-se um processo de soldagem feito pela rápida imersão da placa em um banho da liga de solda em

estado de fusão. Ou seja, todos os componentes de tecnologia SMD são soldados nesse processo e, posteriormente, componentes de maiores dimensões são soldados com técnicas tradicionais.

### 3. **LAYERS E VIAS**

A técnica de projeto de circuitos impressos evoluiu consideravelmente nos últimos anos e os circuitos atingiram um elevado grau de complexidade. Como resultado das pequenas dimensões dos SMDs, surgiu a necessidade de se projetar placas com trilhas em camadas intermediárias, além das trilhas normalmente existentes nas faces superior e inferior da placa. Algumas placas chegam a ter trilhas em 16 "camadas", chamadas de **layers**. Por exemplo, um circuito com 4 **layers** significa que a placa de circuito impresso possui trilhas nas faces superior e inferior e também duas camadas metálicas intermediárias, onde igualmente existem trilhas gravadas. Geralmente os **layers** intermediários são usados para a alimentação elétrica dos componentes; outros projetos usam **layers** intermediários ligados à "terra" do circuito, para controle da emissão de ruído eletromagnético, funcionando nesse caso como "plano de terra".

As trilhas existentes nas diferentes camadas são interligadas através de orifícios cuja superfície interna recebe um revestimento metálico, através de um processo eletroquímico. Estes orifícios metalizados são chamados de **vias**. Nos projetos que empregam exclusivamente SMDs, as **vias** servem unicamente como meio de interligação entre **layers**; se forem usados componentes tradicionais com terminais na forma de fios, os orifícios de **vias** podem ser usados também para a fixação e soldagem desses terminais.

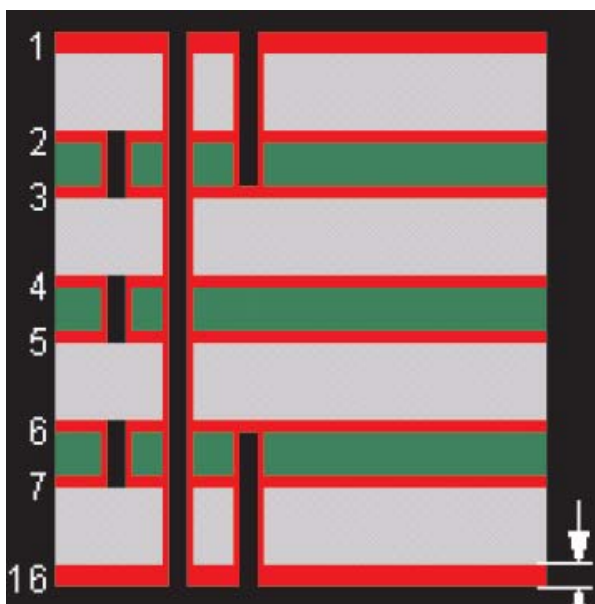


Figura 3: Esquema representando uma placa de circuito impresso (PCI) com 16 **layers**. Observar que existem **vias** que interligam as faces externas bem como **vias** que apenas interligam **layers** intermediários.

### 4. **PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS**

Com a evolução dos circuitos eletrônicos e a necessidade de automação no processo de montagem de placas de circuito impresso, tornou-se mandatório padronizar os componentes eletrônicos. Em projetos de PCI a unidade de medida empregada é a **polegada (inch)**, equivalente a 2,54 cm. Geralmente os componentes eletrônicos têm suas dimensões estabelecidas em **mil**, que significa **um milésimo de polegada**. Para se ter uma idéia da grandeza dessa unidade, padronizou-se que a distância entre dois pinos laterais de qualquer circuito integrado, no encapsulamento conhecido como **dual in line (DIP)** é de **0,1 inch**, ou **100 mils**.

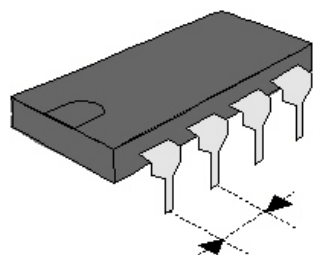


Figura 6: A distância padronizada entre os pinos contíguos de um circuito integrado DIL é de **0,1 inch** ou **100 mils**.

A distância entre as duas fileiras de pinos de um circuito integrado DIL varia um pouco. Os CIs com poucos pinos (exemplos: 555 com 8 pinos, 74LS00 com 14 pinos, 74LS373 com 20 pinos) apresentam a distância de **0,3 inch** ou **300 mils** entre as fileiras. Já chips com maior número de pinos (exemplos: memórias EPROM 27C64 com 28 pinos, RAM 62256 com 28 pinos, microprocessadores Z80 e 80C31 com 40 pinos) apresentam largura de **0,6 inch** ou **600 mils**.

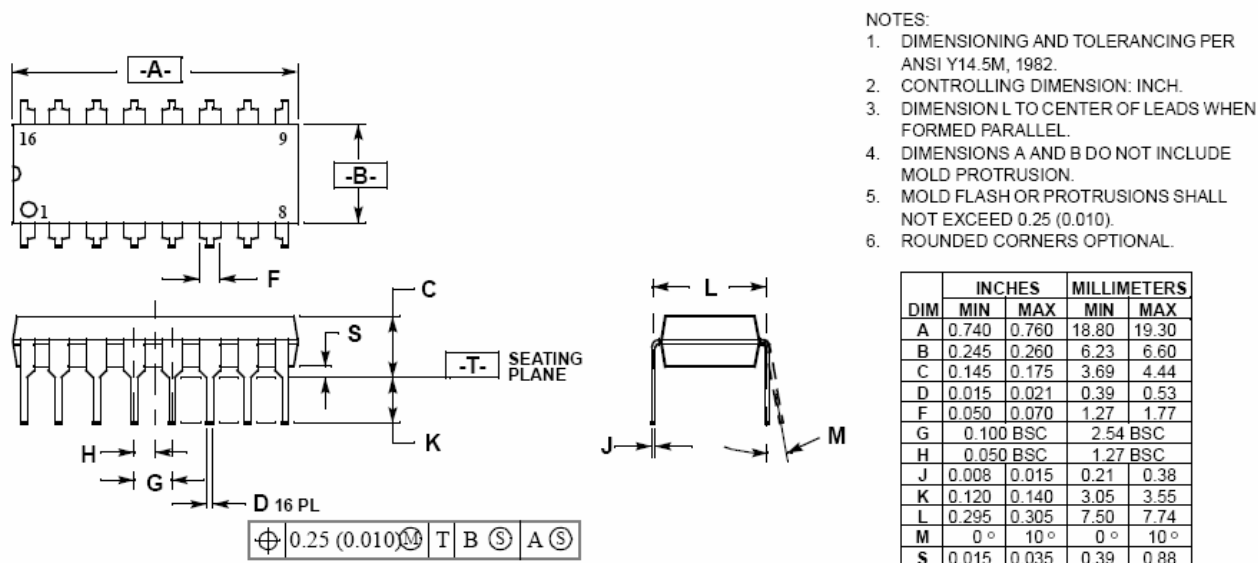


Figura 7: Exemplo de dimensões de um circuito integrado com encapsulamento DIL16, padrão **300 mils**.

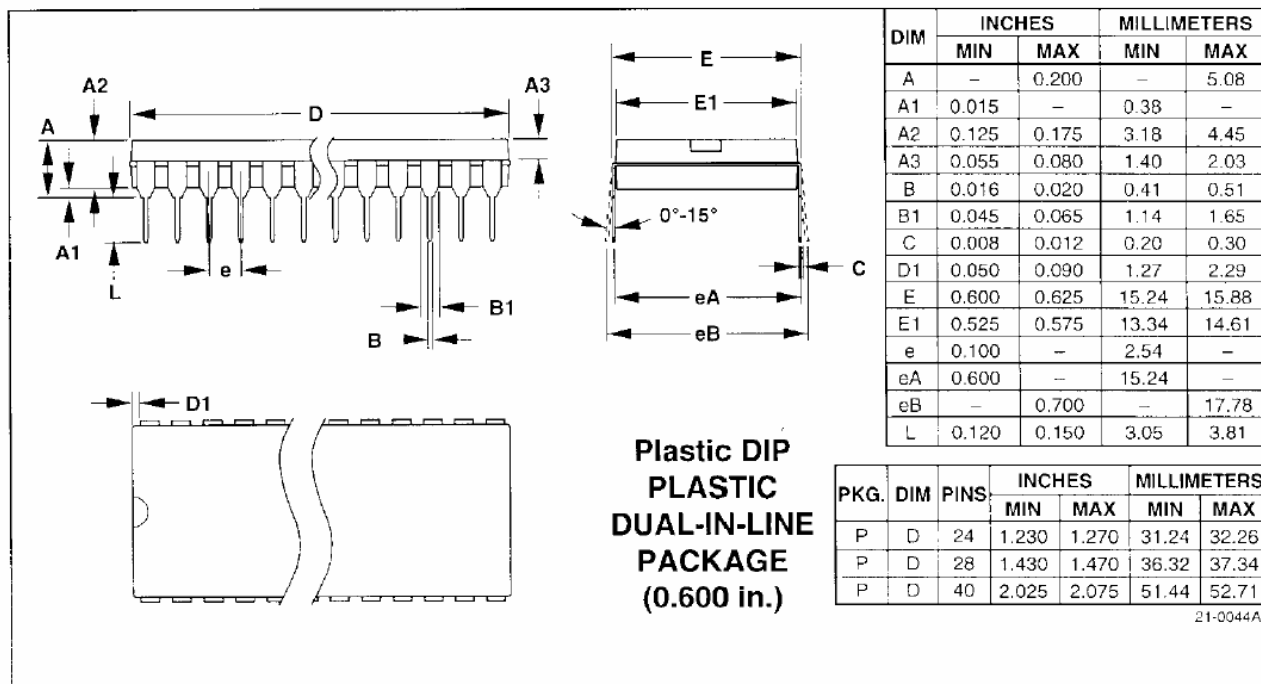


Figura 8: Exemplo de dimensões de um circuito integrado com encapsulamento DIL40, padrão **600 mils**.

Deixando de lado placas com SMDs, os resistores mais comuns em PCI são os de 1/8 W. Na montagem, seus terminais são dobrados e o excesso do comprimento dos terminais é cortado. Em montagens caseiras, os terminais são dobrados à mão ou com a ajuda de um alicate de bico, o componente é soldado à placa e somente depois é que o excesso do comprimento dos terminais é cortado. Em montagens industriais o componente é dobrado e o excesso cortado por uma máquina que possui um padrão de distância esperado entre os pontos de solda. Essa distância é padronizada em **300 mils (0,3 inch)** para resistores de 1/8 W, porém se a montagem for feita manualmente é conveniente usar um espaçamento de **400 mils (0,4 inch)** ou mesmo **500 mils (0,5 inch)**, o que facilitará a soldagem do resistor.



Quanto a capacitores, existem em vários tipos e numa gama ampla de dimensões. Os modelos mais comuns são conhecidos pelo tipo de dielétrico utilizado, cerâmico ou poliéster. Capacitores cerâmicos geralmente apresentam pequenas capacitâncias, na ordem de **pF**. Estes capacitores têm, em geral, uma distância de **200 mils** ou **0,2 inch** entre os terminais. Capacitores de poliéster são produzidos com valores médios de capacitância, da ordem de **nF** e possuem distância usual entre de **200 mils (0,2 inch)** ou **300 mils (0,3 inch)** entre os terminais. Capacitores eletrolíticos são produzidos com valores grandes de capacitâncias, acima de 1  $\mu\text{F}$  até alguns mF. Estes componentes são polarizados e se apresentam em uma gama muito grande de dimensões e distância entre os terminais. Existem capacitores eletrolíticos chamados **axiais**, que se destinam a serem montados "deitados" na PCI; outros, onde ambos os terminais estão no mesmo lado, são chamados **radiais** e destinam-se a ser montados "em pé" na PCI.



Figura 9: Capacitor Eletrolítico com terminais axiais.



Figura 10: Capacitor Eletrolítico com montagem unilateral, terminais radiais ou paralelos

## 5. PROJETO DE CIRCUITOS IMPRESSOS

Durante muitos anos o projeto de PCI era feito manualmente, em um trabalho que envolvia muita paciência e requeria uma excelente noção de espaço tridimensional do projetista. Geralmente o trabalho iniciava-se fazendo a distribuição dos componentes em um desenho com as dimensões da placa desejada. Em seguida, usando lápis e borracha, o projetista começava a tentar estabelecer o melhor caminho para as trilhas, usando como base um papel onde estava traçado um gradeado (ou **grid**) de **0,1 inch**. Como esta é a unidade padronizada para a distância entre os terminais dos componentes eletrônicos, tornava-se conveniente já colocar os componentes em um **grid** com essa dimensão. A Figura 11 mostra alguns componentes eletrônicos desenhados em um papel com um **grid** de **0,1 inch x 0,1 inch**.

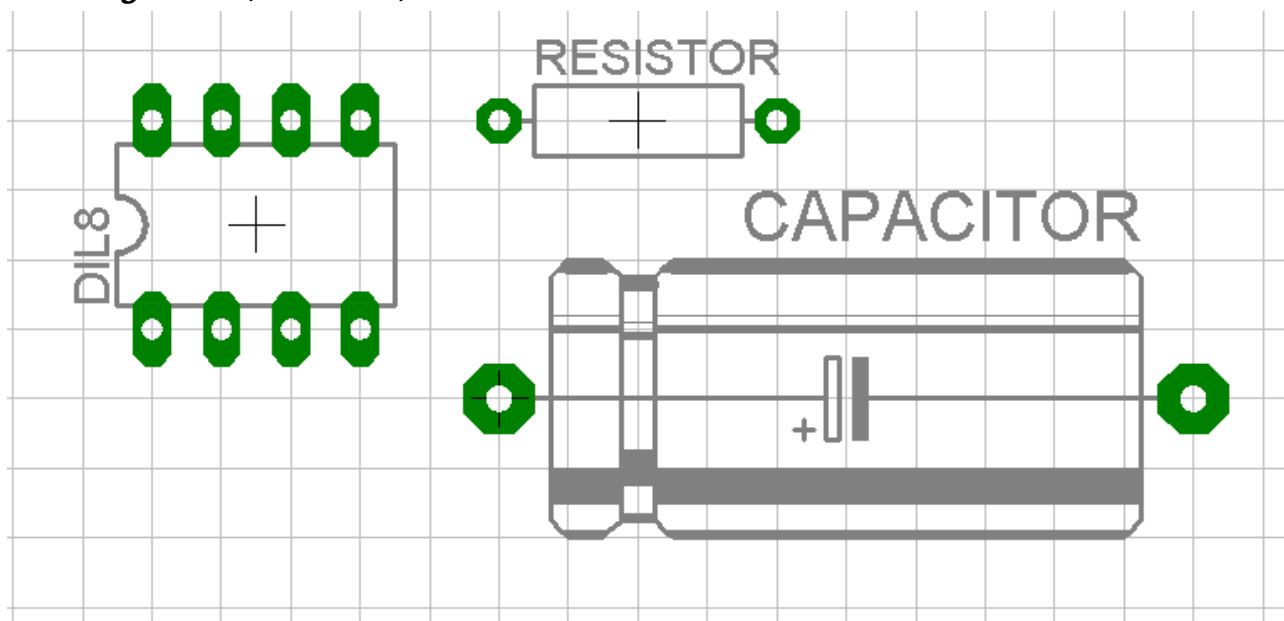
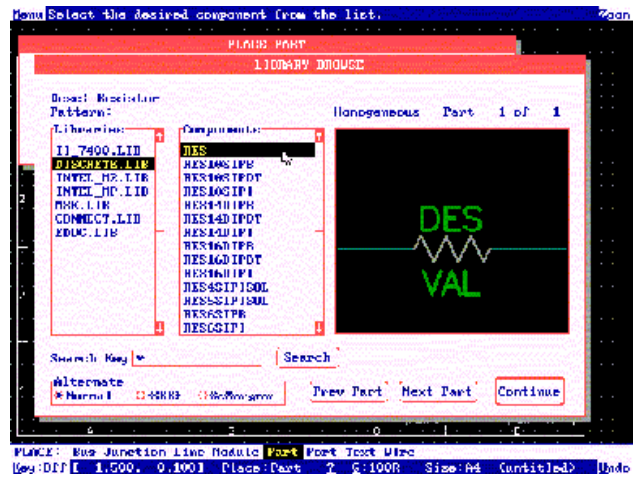
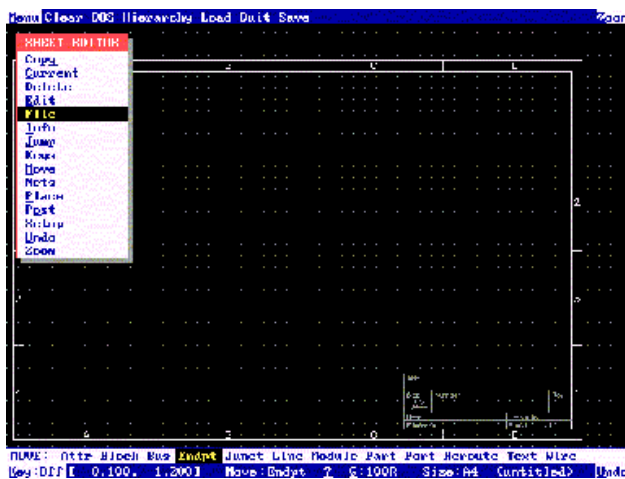


Figura 11: A utilização de um **grid** de **0,1 inch x 0,1 inch** facilita o desenho da PCI, pois os componentes eletrônicos usam esta dimensão como base.

Com o aumento da complexidade dos circuitos eletrônicos, o projeto manual de PCI tornou-se cada vez mais um trabalho de esforço extremo e sujeito a erros. O primeiro **software** para auxílio nessa tarefa que teve grande aceitação pelos projetistas foi o TANGO, mostrado nas Figuras 12 e 13 em sua versão para DOS.



Figuras 12 e 13: Aspecto do TANGO, versão DOS de um *software* que teve grande aceitação entre os projetistas de PCI.

Apesar do TANGO em sua versão DOS estar tecnicamente superado em favor de diversos outros programas surgidos posteriormente, é interessante observar que grande parte dos conceitos embutidos nesse programa se constitui em padrões ainda seguidos atualmente. Por exemplo, o TANGO introduziu a idéia de se usar "bibliotecas" (*Libraries*), que nada mais são do que um conjunto de desenhos pré-definidos de alguns componentes. A vantagem desse enfoque é que, com a evolução da eletrônica, o *software* pode facilmente ser adaptado, acrescentando-se novas "bibliotecas" à medida que novos componentes são lançados. Esta característica acaba sendo algo extremamente importante sob o ponto de vista econômico, pois as ferramentas de *software* para projeto de PCI tem custo de licença elevados. Também o TANGO foi responsável pela introdução das primeiras ferramentas de **roteamento automático**; ou seja, os programas traçam as trilhas da PCI para o usuário, usando algoritmos de tentativa e erro.

Mesmo sendo evidente que as ferramentas de *software* especializadas em projeto de PCI vieram a facilitar o trabalho dos projetistas, algumas tarefas "tradicionais" continuam sendo necessárias:

- Definir as dimensões da PCI, bem como restrições que possam existir em alguns locais específicos da placa. Por exemplo, podem ser necessários orifícios para fixar componentes, ou ser necessário ter um conector numa posição determinada para ligar um cabo ou outra placa.
- Verificar as dimensões dos componentes eletrônicos que serão utilizados. No caso de circuitos integrados e transistores as dimensões são padronizadas e geralmente podem-se tomar como base os desenhos existentes nos *data sheets*. No entanto as dimensões de capacitores, indutores, chaves, *displays* e outros tipos de componentes necessitam ser verificadas, pois variam entre diferentes fabricantes. Muitas vezes é conveniente ter amostras dos componentes em mãos e medir as distâncias entre os terminais com um paquímetro.
- Verificar condições especiais do circuito, tais como tensões ou correntes muito altas, que vão requerer cuidados no espaçamento entre trilhas ou trilhas de largura maior que o usual.
- Sempre que possível, consultar o fabricante ou potenciais fabricantes da futura PCI, quanto a restrições de largura mínima de trilhas, espaçamento entre trilhas, diâmetros de furos e outros detalhes construtivos. Por exemplo, supondo-se que se solicita ao fabricante um furo com certo diâmetro fora do comum, isso pode representar um custo a mais para a fabricação da placa. O conjunto desses dados é o que se chama de **regras de projeto** (*design rules*), necessários para se obter um resultado conforme esperado.

## Alguns *links* relacionados a PCI:

C-DOT

**<http://www.cdote.com>**

Center for Development of Telematics (India)

IPC

**<http://www.ipc.org/>**

Association Connecting Electronics Industries

EIPC

**<http://www.eipc.org/>**

European Institute of Printed Circuits

PCIF

**<http://www.pcif.org.uk/>**

Printed Circuit Interconnection Federation

JPCA

**<http://www.jpccanet.or.jp/>**

Japan Printed Circuit Association

IPC California

**<http://www.calcircuits.org/>**

California Circuits Association

SMTA

**<http://www.smta.org/>**

Surface Mount Technology Association

EECA

**<http://www.eeca.org/>**

European Electronic Component  
Manufacturers Association

FEI

**<http://www.fei.org.uk/>**

Federation of the Electronics Industry

SMART Group

**<http://www.smartgroup.org>**

SMTnet

**<http://www.smtnet.com/>**

Surface Mount Technologies

IMAPS

**<http://www.imaps.org/>**

International Microelectronics and Packaging  
Society

BSI

**<http://www.bsi.org.uk/>**

British Standards Institute

SYCEP

**<http://www.sycep.fr/>**

French Components Passive Industries

CDAF

**<http://www.cdaf.asso.fr/>**

French Buyers Association

AFNOR

**<http://www.afnor.fr/>**

French Association of Standardisation

JEBA

**<http://www.jeba.org>**

Japan Electronics Business Association

Vdl

**<http://www.pcb-vdl.de/>**

German PCB association

UL

**<http://www.ul.com/>**

Underwriters Laboratories

ISO

**<http://www.iso.ch/>**

International Standards Organisation.

IEC

**<http://www.iec.ch/>**

International Electrochemical Commission  
(IEC)