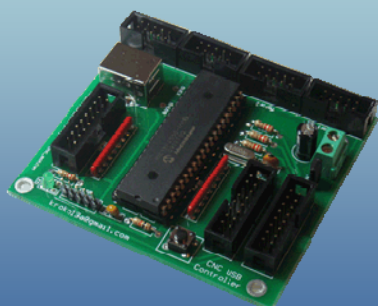


TE232 – CAD para Eletrônica

Ewaldo Luiz de Mattos Mehl  
Departamento de Engenharia Elétrica  
[mehl@ufpr.br](mailto:mehl@ufpr.br)

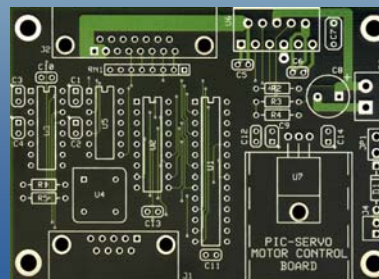
**PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO – CONCEITOS FUNDAMENTAIS**



TE232 – CAD para Eletrônica

**PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO – CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

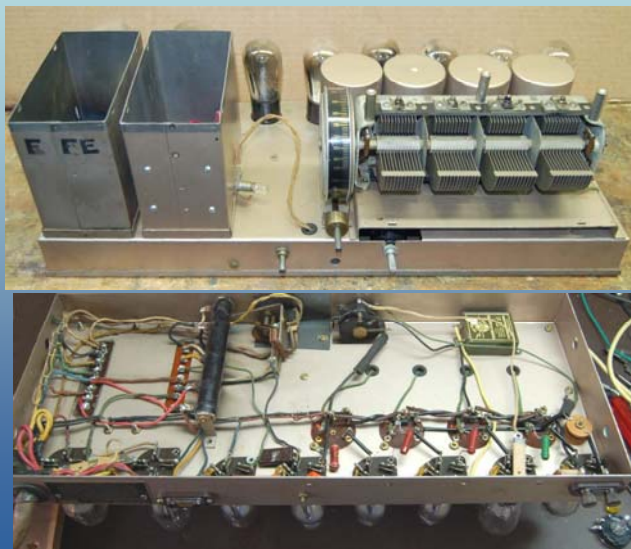
- Histórico
- Materiais para Circuitos Impressos
- Produção Industrial de Circuitos Impressos
- Componentes convencionais e SMD
- Nomenclatura - *Layers & Vias*
- Padronização dos Componentes Eletrônicos
- *Software* para Projeto de PCI
- Orientações Gerais



TE232 – CAD para Eletrônica

## Histórico

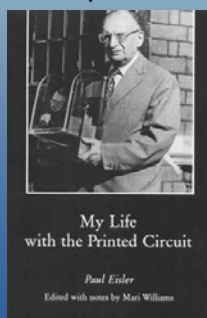
- Equipamentos a válvula não usavam circuitos impressos....



TE232 – CAD para Eletrônica

## Histórico

- 1936 - Paul Eisler (Inglaterra) – Patente sobre um método de corrosão de folhas de cobre sobre chapas isolantes.



Rádio construído em 1946 por Paul Eisler, usando circuito impresso

## TE232 – CAD para Eletrônica

**Histórico**

- Segunda Guerra Mundial: circuitos de rádio-comunicador montados em placas isolantes.



Rádio *Handie-Talkie* produzido pela MOTOROLA durante a II Guerra Mundial

## TE232 – CAD para Eletrônica

**Histórico**

- 1945: Montagem de circuitos transistorizados na forma de placas isolantes paralelas para equipamentos militares (mísseis teleguiados)



## TE232 – CAD para Eletrônica

**Histórico**

- 1950 – Registro de uma Patente descrevendo a montagem de componentes eletrônicos sobre placas isolantes, com interligação através de trilhas de cobre.

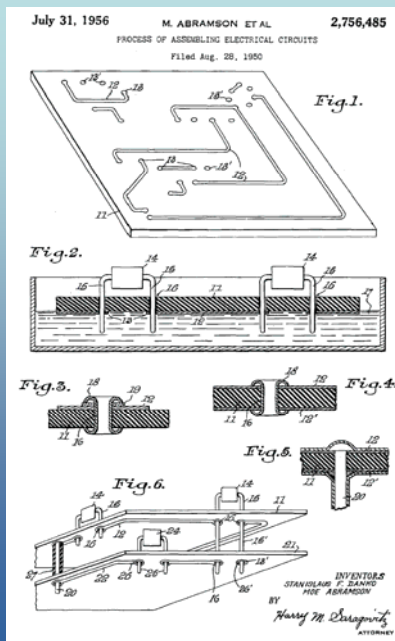
**PROCESS OF ASSEMBLING ELECTRICAL CIRCUITS**

Moe Abramson, Long Branch, and Stanislaus F. Danko, Neptune, N. J., assignors to the United States of America as represented by the Secretary of the Army

Application August 28, 1950, Serial No. 181,906

6 Claims. (Cl. 29—155.5)

(Granted under Title 35, U. S. Code (1952), sec. 266)

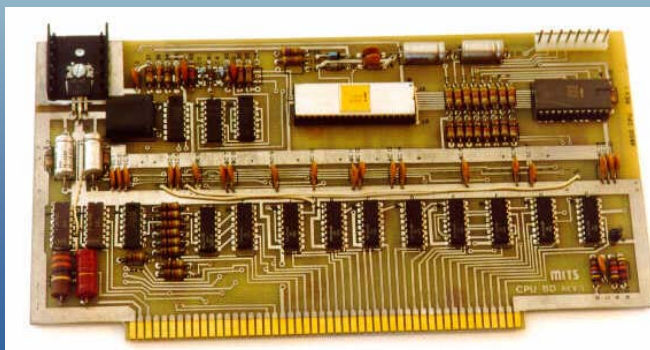


## TE232 – CAD para Eletrônica

- Popularização de circuitos transistorizados: amplo uso de PCI



PCI do ALTAIR 8800 da MITS Technology, de 1975, o primeiro microcomputador vendido em *kit* para ser montado



## TE232 – CAD para Eletrônica

**Materiais para PCI****NBR 8188/83**

FR-2: Resina fenólica com carga de papel

FR-3: Resina epóxi com carga de papel – não é usado

FR-4: Resina epóxi reforçada com tecido de fibra de vidro

{FR = *flame resistant* = resistente ao fogo}

**Outros Materiais**

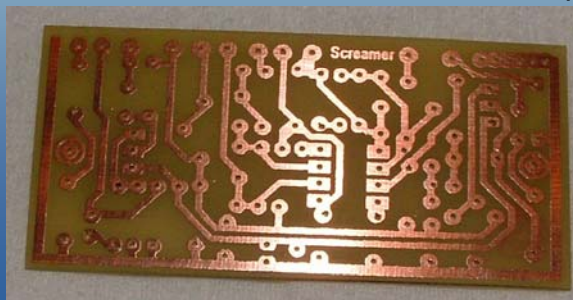
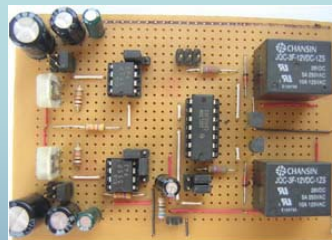
- PTFE – politetrafluoroetileno - TEFLON®
- Filme de poliimida – KAPTON® e poliéster - MYLAR®
- Placas cerâmicas de alumina ( $Al_2O_3$ )
- *Metal Core Printed Circuit Boards* (MCPCB)

## TE232 – CAD para Eletrônica

**“Fenolite”**

FR-2: Resina fenólica com carga de papel – “fenolite”

- Baixo custo
- Fácil de cortar e furar
- Absorção de umidade  $\Rightarrow$  isolamento ruim e empenamento

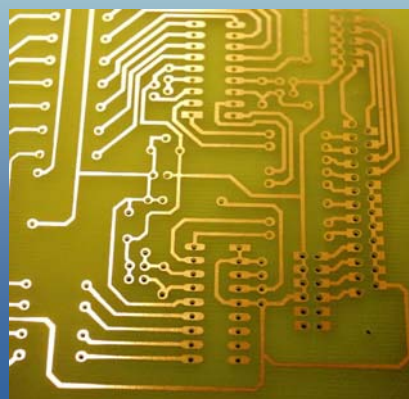


## TE232 – CAD para Eletrônica

**“Fibra de Vidro”**

FR-4: Resina epóxi reforçada com tecido de fibra de vidro

- Custo maior do que FR-2
- Alta dureza ⇒  
dificuldade de corte e furação
- Não empena
- Não absorve água



## TE232 – CAD para Eletrônica

**“Fibra de Vidro”**

FR-4: Resina epóxi reforçada com tecido de fibra de vidro

Espessura da chapa isolante	
	0,8mm
	1mm
	1,2mm
	1,6mm (típico)
	2mm
	2,4mm

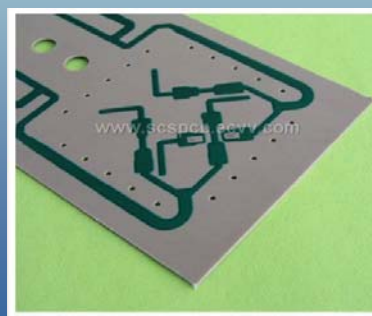
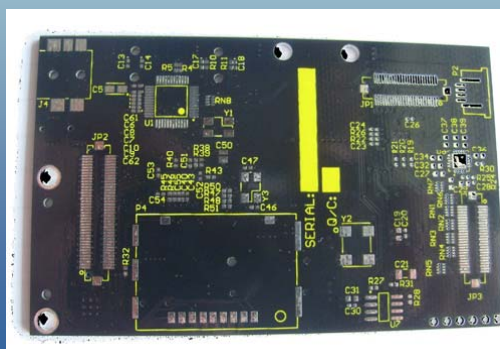


## TE232 – CAD para Eletrônica

**PTFE**

PTFE = politetrafluoroetileno – TEFLON®

- Constante dielétrica invariável com a frequência
- Indicado para circuitos de alta frequência > GHz

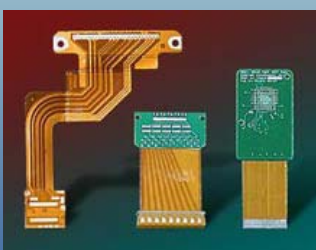
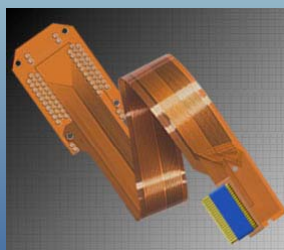


## TE232 – CAD para Eletrônica

**Materiais Isolantes**

Filme de poliimida – KAPTON® e poliéster - MYLAR®

- Circuitos flexíveis
- Interligação flexível entre placas

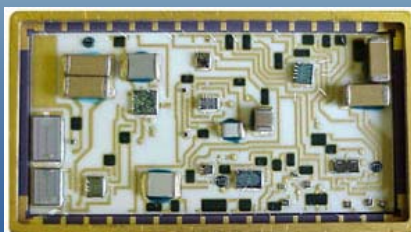
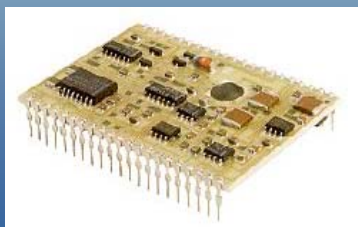


## TE232 – CAD para Eletrônica

**Cerâmica**

Placas cerâmicas de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

- Alta rigidez dielétrica
- Usadas em circuitos fabricados pela técnica *thick film*
- O coeficiente de dilatação térmica é semelhante ao do alumínio, permitindo aplicação direta sobre dissipadores

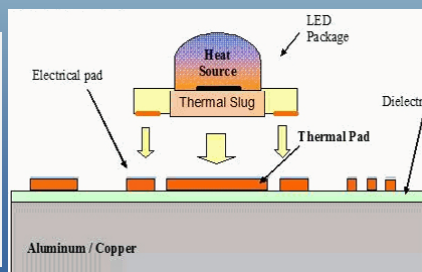
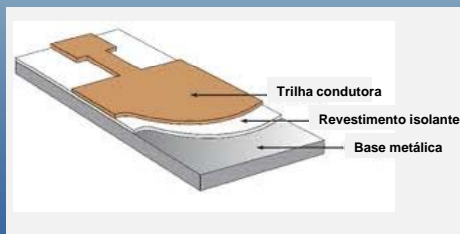


## TE232 – CAD para Eletrônica

**MCPCB – Metal Clad Printed Circuit Boards**

Placas metálicas recobertas dielétrico (0,05 mm a 0,2 mm)

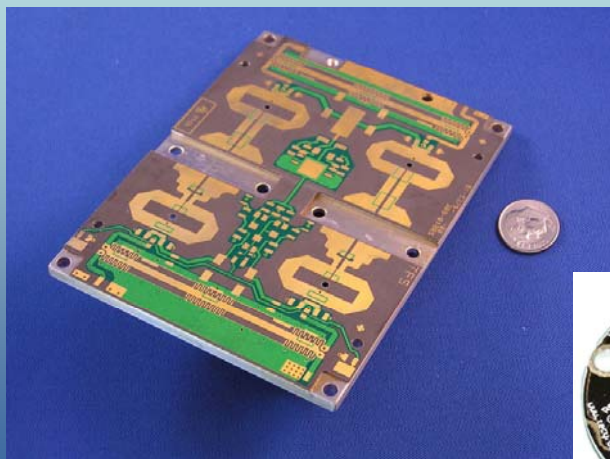
- Alta condutividade térmica
- Usadas em circuitos onde a dissipação de calor é crítica: LEDs, Conversores DC-DC, Injeção Eletrônica





TE232 – CAD para Eletrônica

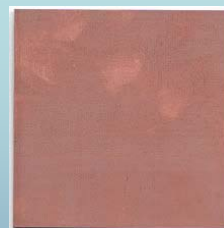
## MPCB – *Metal Clad Printed Circuit Boards*



TE232 – CAD para Eletrônica

### Material Condutor: COBRE

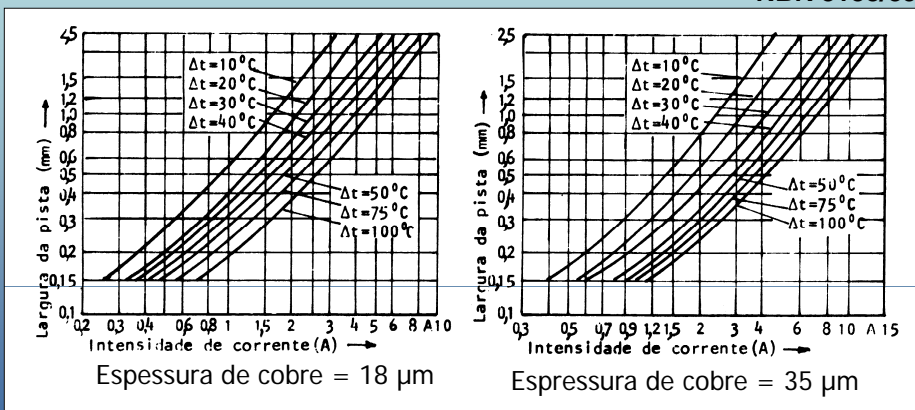
- É o metal com a 2ª mais elevada condutividade elétrica e a 2ª mais elevada condutividade térmica
- Aplicada sobre a superfície isolante por galvanoplastia
- Adesão por calandragem à quente
- Placa de  $\frac{1}{2}$  onça: 14,17 g de Cu por pé-quadrado (30,48 cm X 30,48 cm) = **espessura de 18  $\mu$ m**
- Placa de 1 onça: 28,54 g de Cu por pé-quadrado (30,48 cm X 30,48 cm) = **espessura de 35  $\mu$ m**



TE232 – CAD para Eletrônica

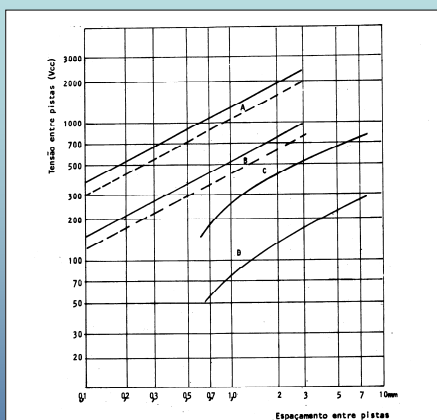
**Material Condutor: COBRE**

NBR 8188/89



**Regra prática: Corrente de 1 A ⇒ trilha com 1 mm de largura**

TE232 – CAD para Eletrônica



— 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.

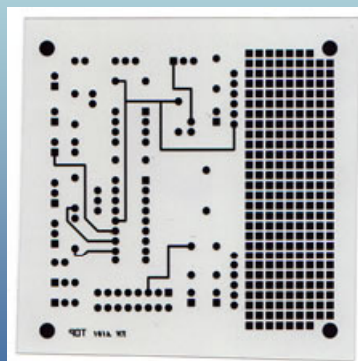
**Regra prática:  
 Tensão de 100 V ⇒  
 Espaçamento de 1 mm  
 entre trilhas adjacentes**

NBR 8188/89

TE232 – CAD para Eletrônica

## Fabricação Industrial

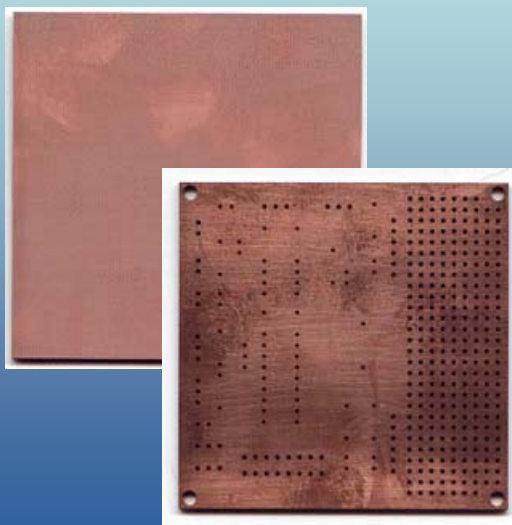
1.  
FOTOLITO:  
Representação do circuito  
em tamanho real sobre um  
filme transparente.



TE232 – CAD para Eletrônica

## Fabricação Industrial

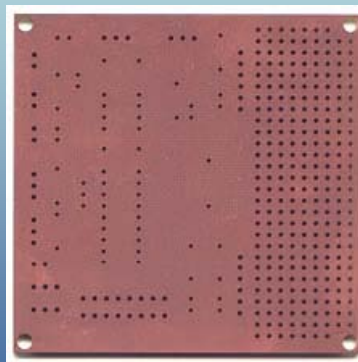
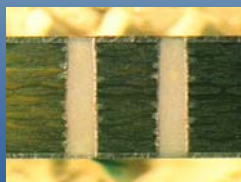
2.  
FURAÇÃO:  
Executada com máquina  
controlada por computador  
(CNC)



TE232 – CAD para Eletrônica

## Fabricação Industrial

3.  
METALIZAÇÃO:  
Revestimento com cobre da superfície interna dos furos, para posterior formação das *vias* de interligação entre camadas

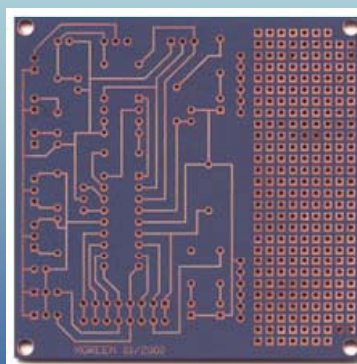


TE232 – CAD para Eletrônica

## Fabricação Industrial

4.  
PHOTORESIST:  
Revestimento com resina foto-sensível e exposição à luz UV com o fotolito. As áreas expostas à luz UV se polimerizam e as áreas protegidas são eliminadas com um solvente.

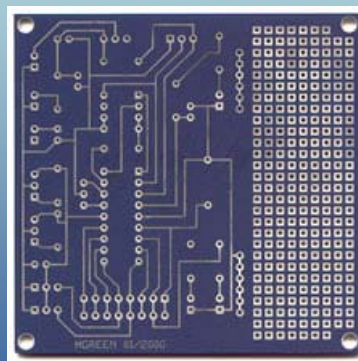
**O resultado é o cobre exposto apenas nas regiões da trilhas e dos futuros pads de soldagem.**



TE232 – CAD para Eletrônica

## Fabricação Industrial

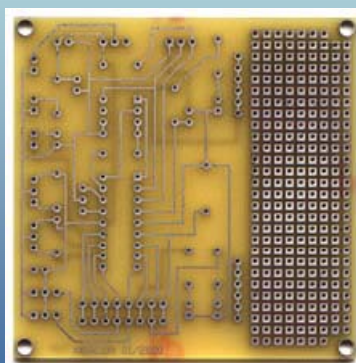
5.  
**METALIZAÇÃO:**  
Revestimento das partes expostas de cobre com liga estanho / chumbo. Geralmente isso é obtido através de imersão da placa em um cadinho com a liga estanho / chumbo em estado de fusão, a aproximadamente 350 °C. O metal que se deposita nos furos é removido com jatos de ar quente.



TE232 – CAD para Eletrônica

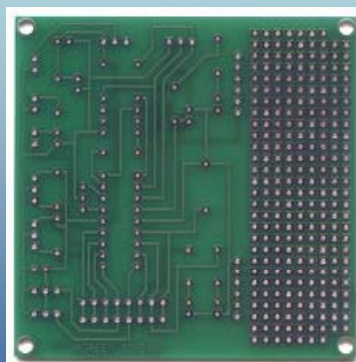
## Fabricação Industrial

6.  
**CORROSÃO:**  
O *photoresist* restante é removido com um solvente forte, expondo as regiões de cobre antes protegidas. A corrosão é feita com ácido clorídrico ou percloroeto de ferro sob aquecimento. As regiões protegidas pela liga estanho / chumbo não são corroídas.



## Fabricação Industrial

7.  
MÁSCARA DE SOLDAGEM:  
É uma tinta, geralmente na cor verde, aplicada por serigrafia, deixando somente as regiões dos *pads* de soldagem expostas.



## Fabricação Industrial

8.  
DESENHOS DOS COMPONENTES (silkscreen):  
Para facilitar a montagem e posterior manutenção do circuito, geralmente são usados desenhos dos componentes e de suas referências, aplicados por serigrafia na cor branca. Nesta etapa também são realizados acertos na forma final da placa, abertura de rasgos e furos especiais.



TE232 – CAD para Eletrônica

## Máquinas para fabricação de protótipos

### Rapid PCB board prototyping System



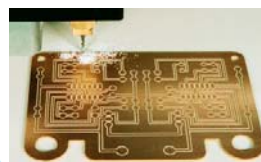
#### Proto-Mill 15

**Table Size:** 6" x 4" x 2.375" (Z)

**Max. Speed:** 0.56"/sec (15 mm/sec)

**Resolution:** 0.000246"/step (0.00625 mm/step)

**Spindle:** 10W DC, 6500 RPM



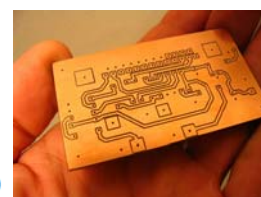
#### Proto-Mill 20

**Table Size:** 8" x 6" x 2.375" (Z)

**Max. Speed:** 0.56"/sec (15 mm/sec)

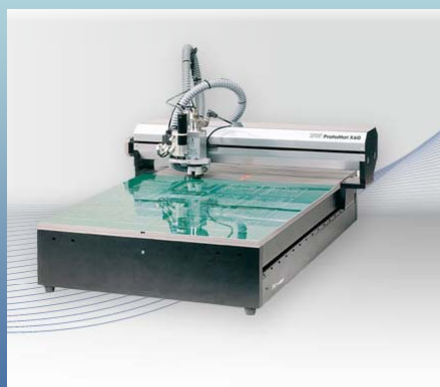
**Resolution:** 0.000246"/step (0.00625 mm/step)

**Spindle:** 10W DC, 6500 RPM



TE232 – CAD para Eletrônica

## Máquinas para fabricação de protótipos



TE232 – CAD para Eletrônica

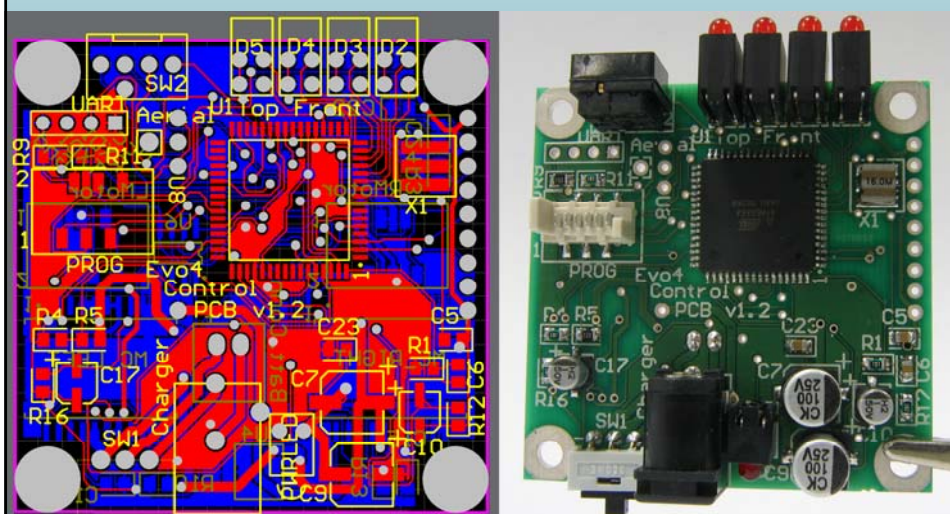
## Máquinas para fabricação de protótipos



[Mostrar vídeo](#)

TE232 – CAD para Eletrônica

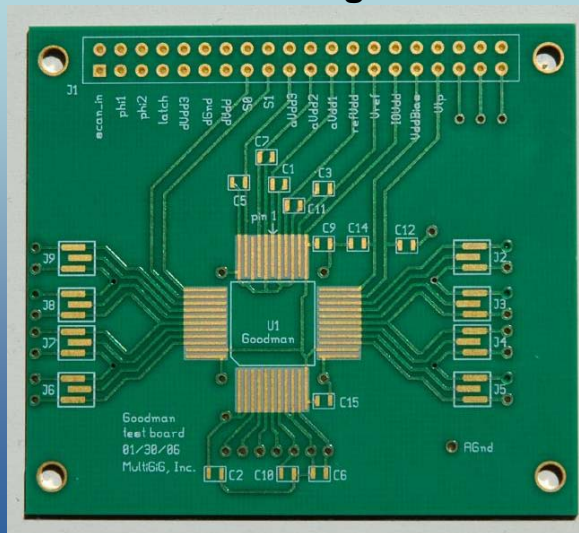
## SMD – Surface Mounting Devices





TE232 – CAD para Eletrônica

### SMD – Surface Mounting Devices



Mostrar vídeo

TE232 – CAD para Eletrônica

### SMD – Surface Mounting Devices

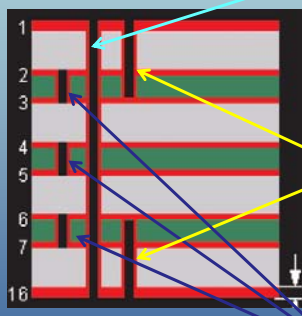


Máquinas *pick-and-place*

Mostrar vídeo

TE232 – CAD para Eletrônica

## Nomenclatura



**Layers:**  
Camadas de cobre onde são gravadas as trilhas.

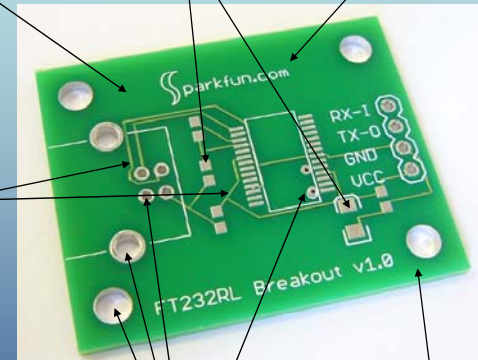
**Vias:**  
Furos metalizados que fazem a interligação elétrica entre as diferentes camadas de cobre. Muitas vezes as vias são usadas também para fixar componentes.

**Blind Vias:**  
São as vias que interligam a camada inferior ou a camada superior com camadas internas da placa. Não podem ser usadas para fixar componentes.

**Buried Vias:**  
São as vias que interligam camadas internas da placa.

TE232 – CAD para Eletrônica

## Nomenclatura



**Máscara de Soldagem**

**Pads**

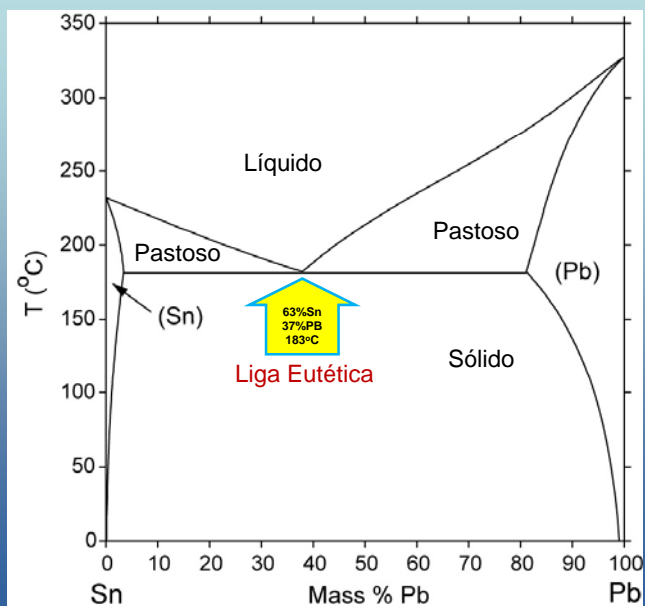
**Silkscreen**

**Trilhas**

**Furos**

**Face superior da PCI**

TE232 – CAD para Eletrônica

**Solda: Estanho - Chumbo**

TE232 – CAD para Eletrônica

**Solda: Estanho - Chumbo**

COMPOSIÇÕES QUÍMICAS			
LIGA Sn / Pb	DENS. g/Cm <sup>3</sup>	INTERVALO DE FUSÃO	APLICAÇÕES
20 / 80	10,20	183 a 280°C	Soldagens por imersão
25 / 75	10,00	183 a 267°C	Soldagens por imersão, maçarico ou ferro de soldar
30 / 70	9,70	183 a 255°C	Soldagem de radiadores de automóveis, calhas, terminais e cabos elétricos
40 / 60	9,30	183 a 235°C	Trocadores de calor, calhas e motores elétricos
50 / 50	8,90	183 a 212°C	Manutenção elétrica, tubulações e conexões de cobre, terminais elétricos
60 / 40	8,60	183 a 189°C	Soldagem com ferro de soldar, circuitos impressos, componentes eletrônicos
63 / 37	8,40	183°C	Eletroeletrônica, soldagem por onda em máquinas automáticas, por imersão e ferro de soldar

TE232 – CAD para Eletrônica

## Soldas sem Chumbo

Europa – desde julho de 2006:

- WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equip.)

<http://www.rohs.gov.uk/Docs/Links/WEEE%20directive.pdf>

- RoHS (Restriction of Hazardous Substances)

<http://www.rohs.gov.uk/Docs/Links/RoHS%20directive.pdf>



RoHS ("ro-has")

- Substâncias proibidas:

- ❖ Chumbo (solda para PCI)
- ❖ Mercúrio (Interruptores, Relés e Baterias)
- ❖ Cádmio (Interruptores e Relés)
- ❖ Cromo Hexavalente (revestimentos metálicos)
- ❖ Polybrominated biphenyls (PBBs)
- ❖ Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs)

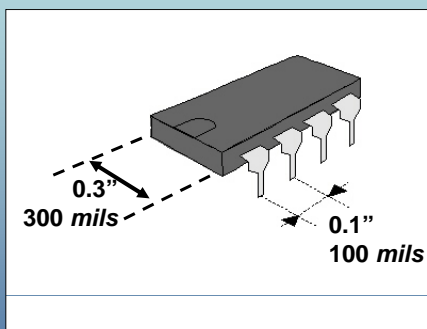
TE232 – CAD para Eletrônica

## Soldas sem Chumbo



Liga	Temperatura ou faixa de fusão (°C)	Vantagens	Desvantagens
SnCu	227°C	- Baixo custo	- Temperatura de fusão elevada
SnAg	221°C	- Boa soldabilidade	- Temperatura de fusão elevada
SnAgCu	~217°C	- Desenvolvimento recente - Melhor soldabilidade e maior confiabilidade do que as ligas SnAg e SnCu	- Temperatura de fusão elevada
SnAgBi	205°C - 215°C	- Temperatura de Fusão relativamente baixa - Boa soldabilidade	- A presença do Bismuto leva a descolamento das trilhas - Contaminação por Pb pode inutilizar a solda
SnZnBi	189°C	- Temperatura de fusão próxima da liga Estanho-Chumbo 63/37	- Tempo de armazenamento curto (oxidação) - Necessita fluxo de ativação

### Padronização das Dimensões dos Componentes



1000 mils = 1 inch

- Espaçamento-padrão entre pinos de um CI *Dual-in-line* (DIL) = 100 mils

- Largura de um CI *Dual-in-line* (DIL):

- 300 mils
- 400 mils
- 500 mils
- 600 mils

### Padronização das Dimensões dos Componentes

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
5. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.25 (0.010).
6. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

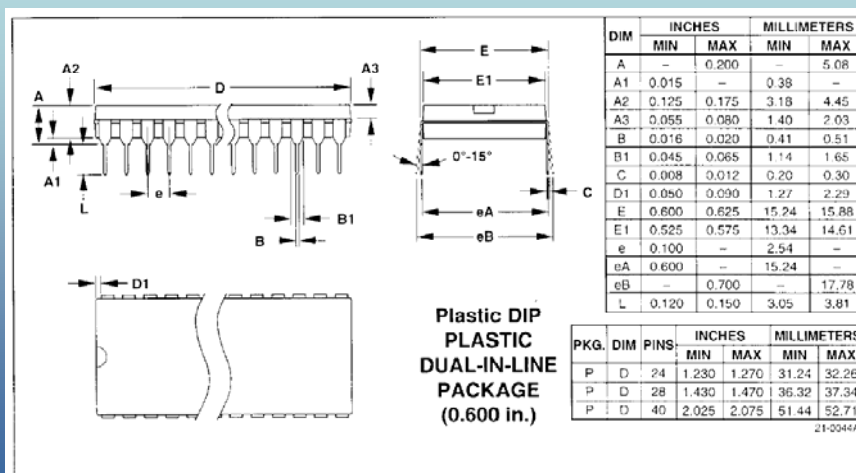
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.760	18.80	19.30
B	0.245	0.260	6.23	6.60
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.050	0.070	1.27	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.120	0.140	3.05	3.55
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.015	0.035	0.39	0.88

⊕ 0.25 (0.010) T B A

DIL16 = 300 mils

TE232 – CAD para Eletrônica

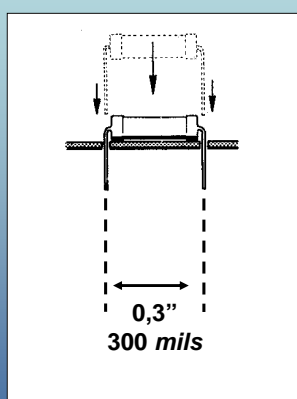
## Padronização das Dimensões dos Componentes



DIL40 = 600 mils

TE232 – CAD para Eletrônica

## Padronização das Dimensões dos Componentes



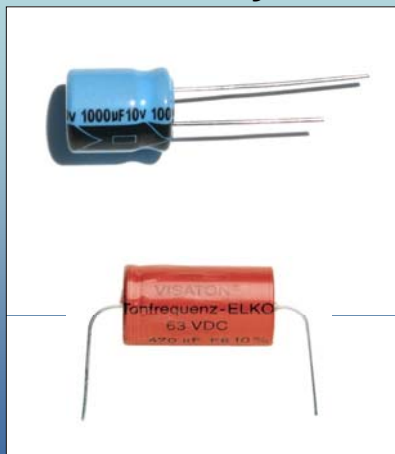
Resistores de 1/8 W:

- Padrão = 300 mils
- Montagem manual:  
usar 400 mils ou 500 mils



TE232 – CAD para Eletrônica

## Padronização das Dimensões dos Componentes

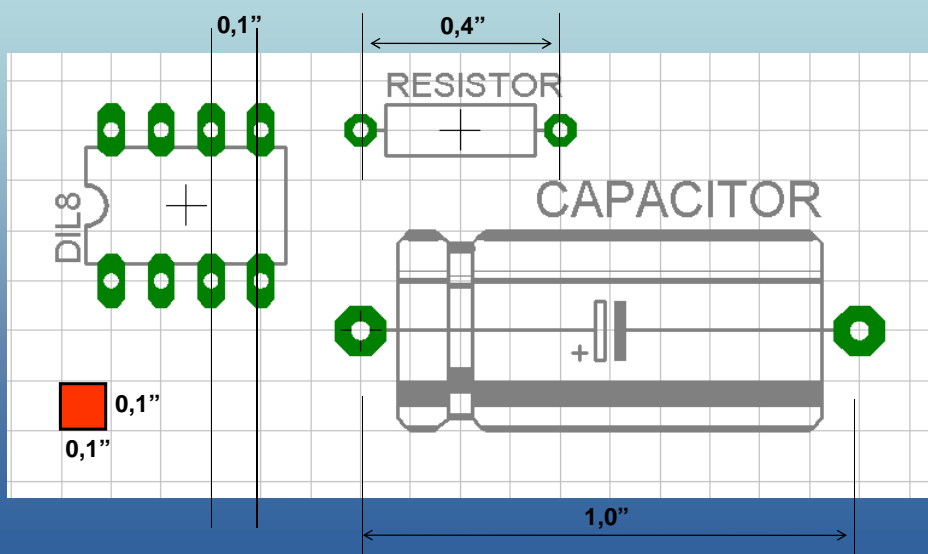


Capacitor Eletrolítico  
Terminais unilaterais / radiais /  
paralelos

Capacitor Eletrolítico  
Terminais axiais

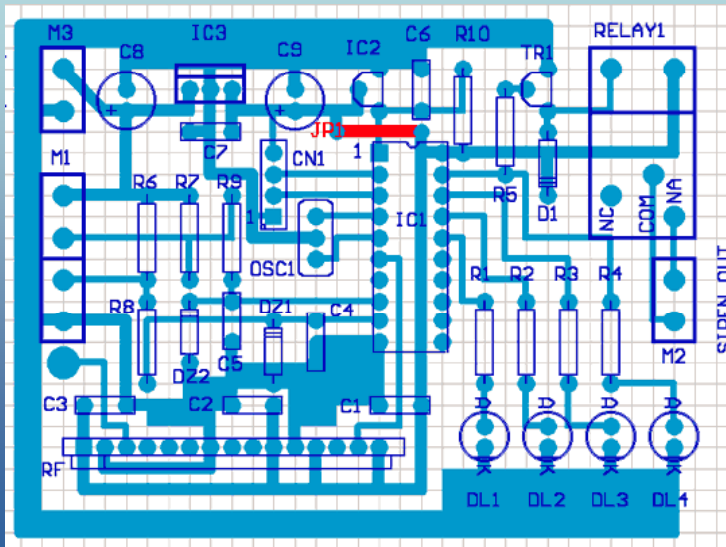
TE232 – CAD para Eletrônica

## Padronização das Dimensões dos Componentes



TE232 – CAD para Eletrônica

Padronização das Dimensões dos Componentes

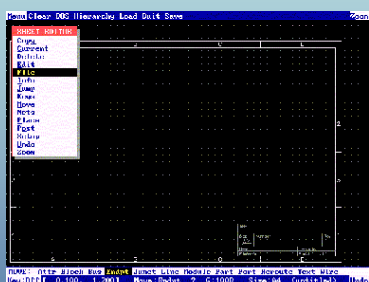


TE232 – CAD para Eletrônica

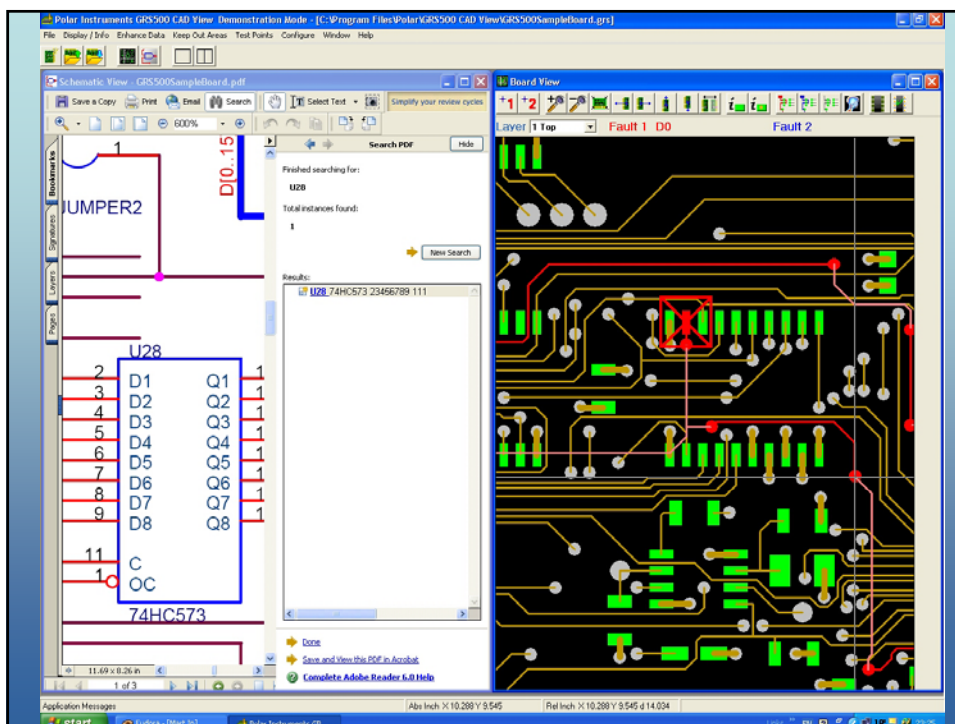
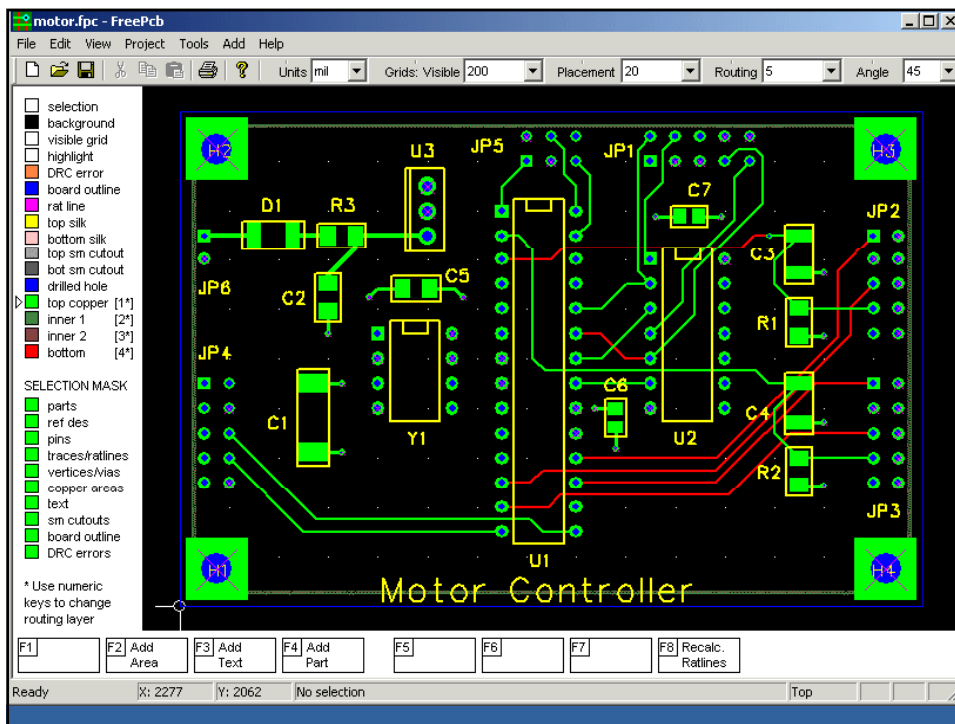
Software para Projeto de PCI

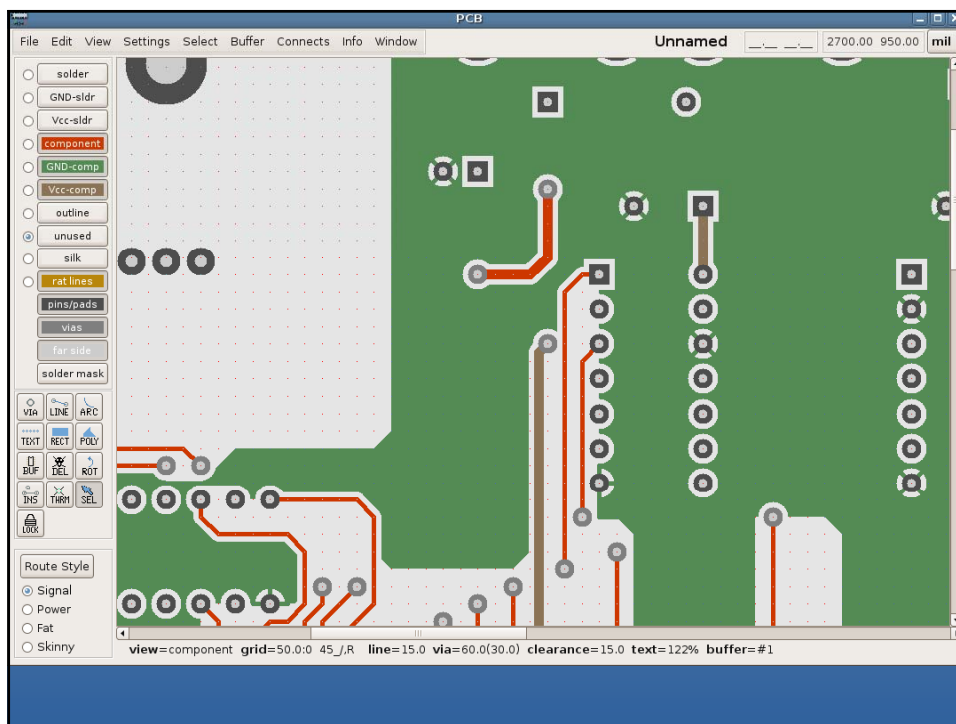
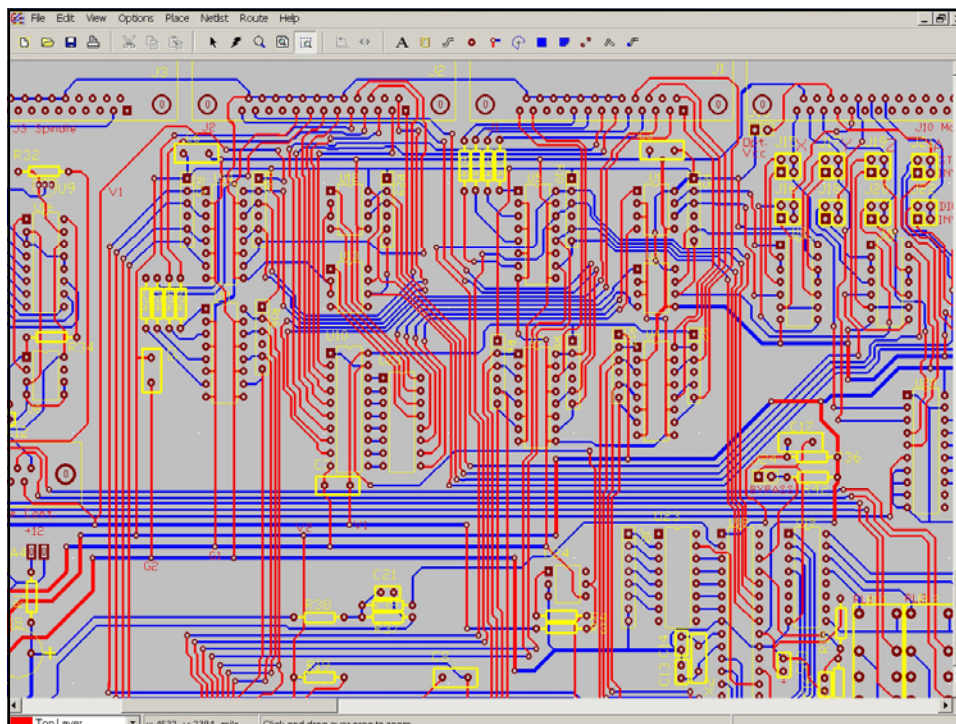
TANGO PCB

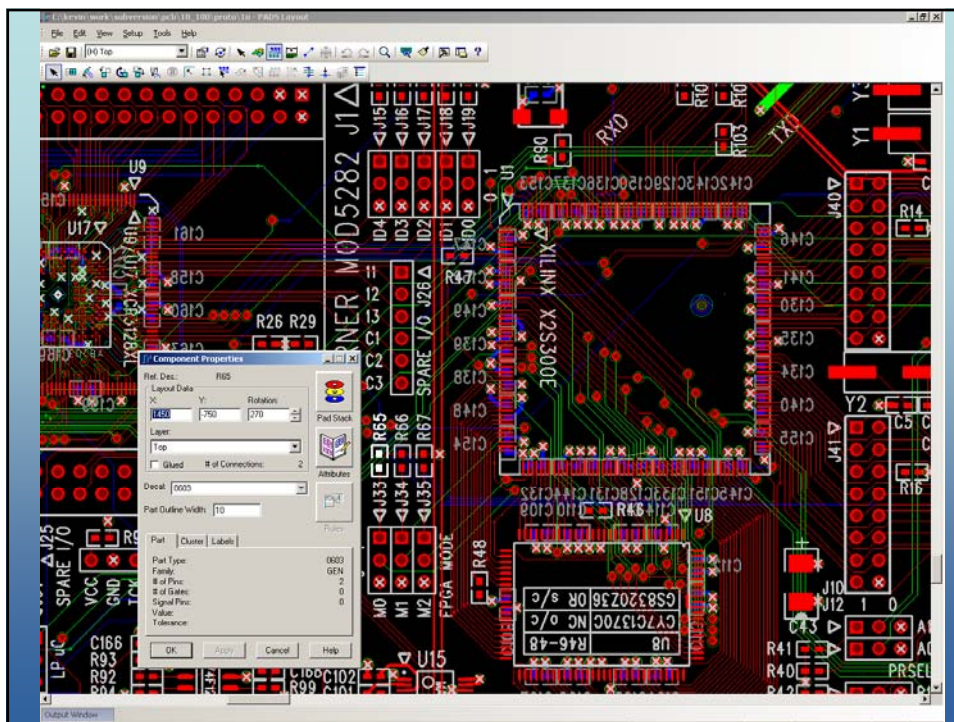
- DOS
- Menus interativos
- Biblioteca de componentes
- Roteamento automático











## TE232 – CAD para Eletrônica

### Recomendações gerais para Projeto de PCI

- Dimensões da PCI + Restrições de instalação.
- Dimensões dos componentes eletrônicos que serão utilizados. Obter amostras dos componentes  
⇒ medir as distâncias entre os terminais com um paquímetro.
- Condições elétricas especiais do circuito:
  - tensões elevadas
  - correntes elevadas
  - frequências elevadas
- Fabricante ou potenciais fabricantes da futura PCI: obter as **Regras de projeto** (*design rules*) e limitações da fabricação.