

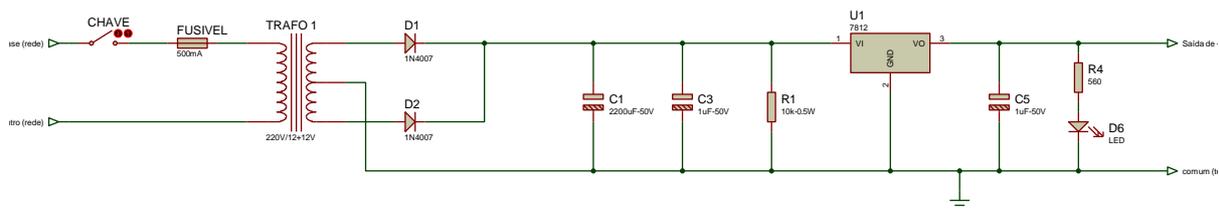
# Retificadores

(ENG - 20301)

## Tutorial do Proteus – Parte B - PCB<sup>1</sup>

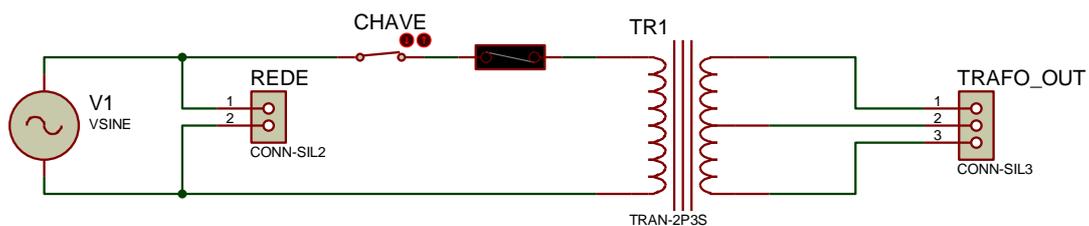
### Circuito exemplo

O circuito que será usado para o desenho da placa de circuito impresso é o mesmo que foi simulado na parte A deste tutorial<sup>2</sup> e que está mostrado na figura 1.

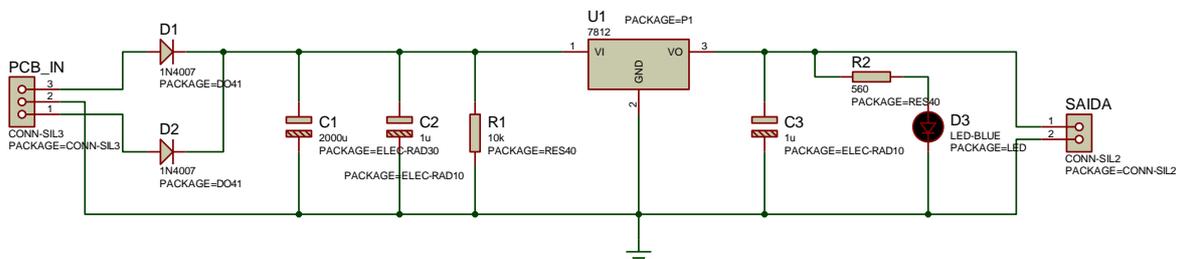


*Figura 1 – Circuito da fonte para este tutorial.*

Antes de desenhar a placa, é interessante preparar o desenho para esta finalidade. Todos os componentes que serão colocados na placa principal devem ter o encapsulamento certo, aqueles que não farão parte da placa devem ser excluídos da PCB. Note na figura 2 que a placa principal contém os componentes após o transformador. Todos os componentes do circuito da figura 2 devem ser **excluídos da PCB**.



*Figura 2 – Circuito pertencente à placa auxiliar.*



*Figura 3 – Circuito pertencente à placa principal.*

1 Versão 2008/2. Elaboração: Prof. Clovis Antonio Petry.

2 Este tutorial pode ser melhor aproveitado se o leitor se familiarizar com um tutorial anterior, denominado de “Tutorial de projeto de indutores em PCB”.

## Conceitos iniciais

A largura das trilhas a ser usada no desenho da placa é função da corrente que irá circular pelas mesmas.

No tutorial intitulado “PCB Design Tutorial” de David L. Jones é dada uma tabela com alguns valores de corrente e a largura da trilha, para espessuras de cobre de uma onça por polegada quadrada (1 oz). Esta mesma unidade é usada na figura 1.

Track Width Reference Table (for 10deg C temp rise). Track Width is in Thous (mils)			
Current (Amps)	Width for 1oz	Width for 2 oz	milli Ohms/Inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

No entanto, para facilitar a elaboração da placa pelo processo artesanal, pode-se adotar 40 mils como largura mínima das trilhas. Quanto maior a largura mais fácil será a confecção da placa.

Portanto:

$$\omega = 40 \text{ mil} = 1,016 \text{ mm}$$

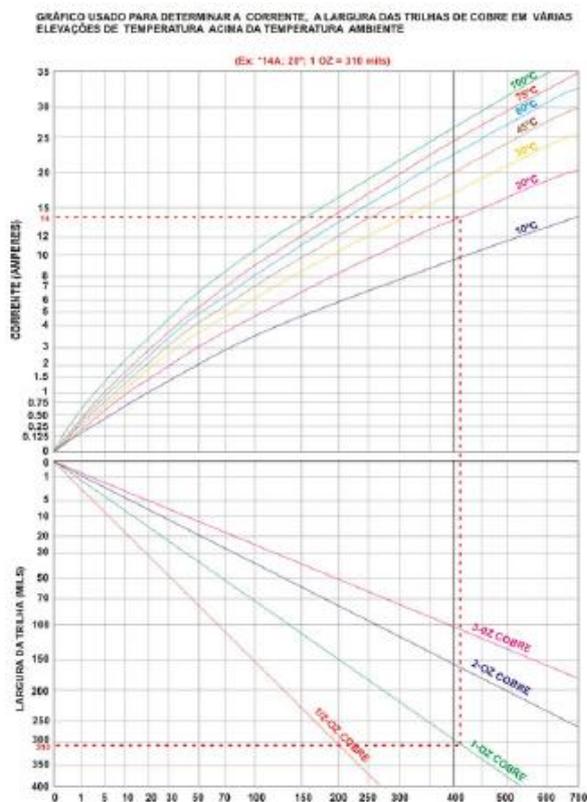


Figura 4 – Gráfico para obter a largura da trilha em função da corrente.

A conversão entre mils (uma polegada dividida por mil) e milímetros é:

$$1 \text{ mil} = \frac{2,54 \text{ cm}}{1000} = \frac{25,4 \text{ mm}}{1000} = 0,0254 \text{ mm}$$

Neste caso, 50 mils corresponde a:

$$\text{Largura}_{\text{mm}} = \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ mil} \cdot 1000} \cdot \text{Largura}_{\text{mil}} = \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ mil} \cdot 1000} \cdot 50 \text{ mil} = 1,27 \text{ mm}$$

Por outro lado, para obter o valor em mils:

$$\text{Largura}_{\text{mil}} = \frac{1 \text{ mil} \cdot 1000}{25,4 \text{ mm}} \cdot \text{Largura}_{\text{mm}} = \frac{1 \text{ mil} \cdot 1000}{25,4 \text{ mm}} \cdot 1,27 = 50 \text{ mil}$$

Alguns valores comuns, aproximados, são dados a seguir:

MILs	Milímetros
1 mil	0,0254 mm
5 mil	0,127 mm
10 mil	0,254 mm
20 mil	0,508 mm
30 mil	0,762 mm
40 mil	1,016 mm
50 mil	1,27 mm
60 mil	1,524 mm
70 mil	1,778 mm
80 mil	2,032 mm
90 mil	2,286 mm
100 mil	2,54 mm

O espaçamento entre as trilhas depende do processo usado para elaboração da placa de circuito impresso. Quando se usa fresagem, a distância entre as trilhas é determinada pela precisão e ferramenta utilizada pela máquina. Ao confeccionar a placa pelo processo de corrosão, artesanal, deve-se deixar uma distância razoável entre as trilhas, para evitar que as mesmas permaneçam unidas após a corrosão. Pode-se adotar então um espaçamento de 1,016 mm. Assim:

$$s = 40 \text{ mil} = 1,016 \text{ mm}$$

### **Desenho da PCB no Proteus**

Inicialmente, ainda no Isis, deve-se utilizar a tecla adequada para transferir o esquemático (desenho do circuito) para o Ares e então iniciar o desenho da placa. Esta etapa é mostrada na figura 2.

Se aparecer alguma mensagem de erro, isto é devido ao fato de alguns componentes não terem o encapsulamento escolhido corretamente. Modifique o que for necessário e repita o procedimento de transferência do esquemático para o Ares.

É importante ressaltar que, se o esquemático no Isis e o desenho da placa no Ares, tiverem o mesmo nome, então alterações feitas no esquemático são transferidas diretamente e imediatamente ao Ares ao clicar o botão correspondente no Isis.

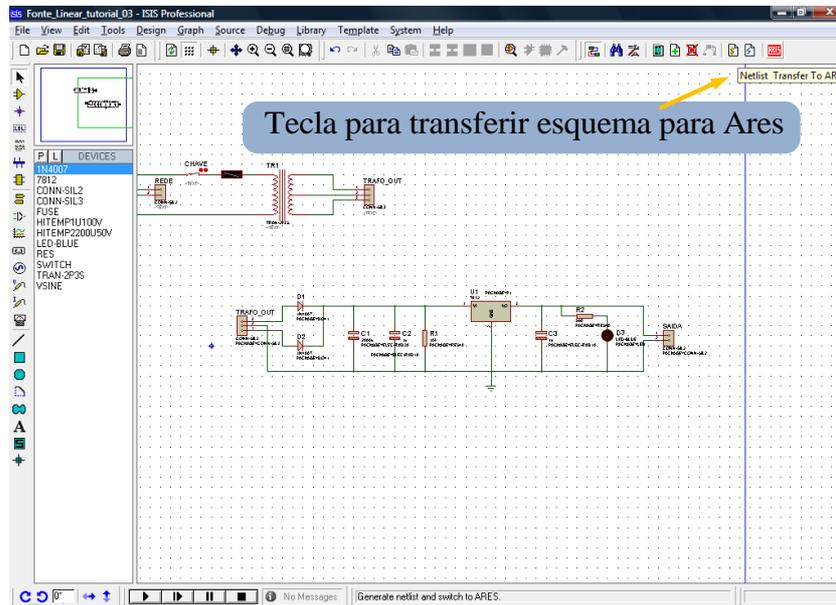


Figura 5 – Transferência do esquemático do Isis para o Ares.

Inicie o Proteus abrindo o Ares. A janela característica do Ares está mostrada na figura 6, abaixo.

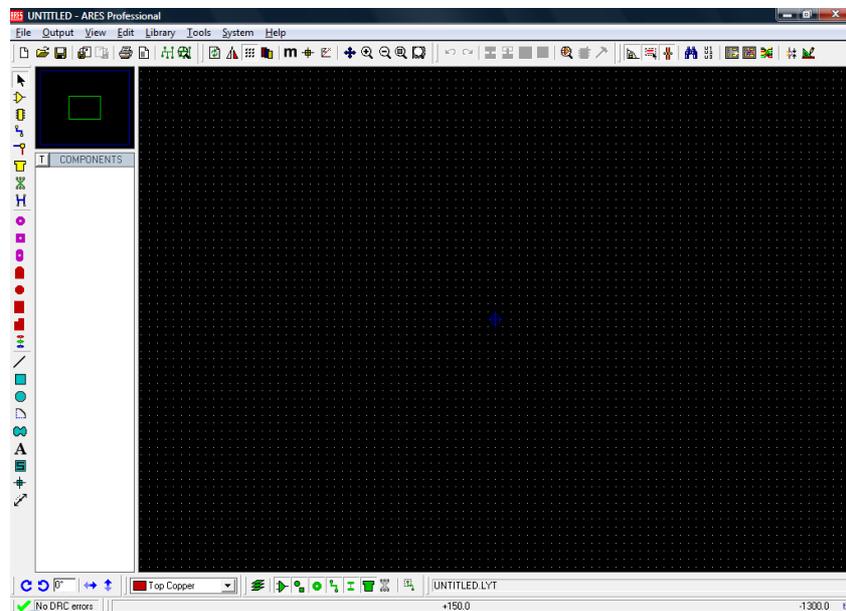


Figura 6 – Janela característica do Ares.

Escolha no *layer* (camada) a opção *Board Edge* e desenhe um retângulo, conforme a figura 7.

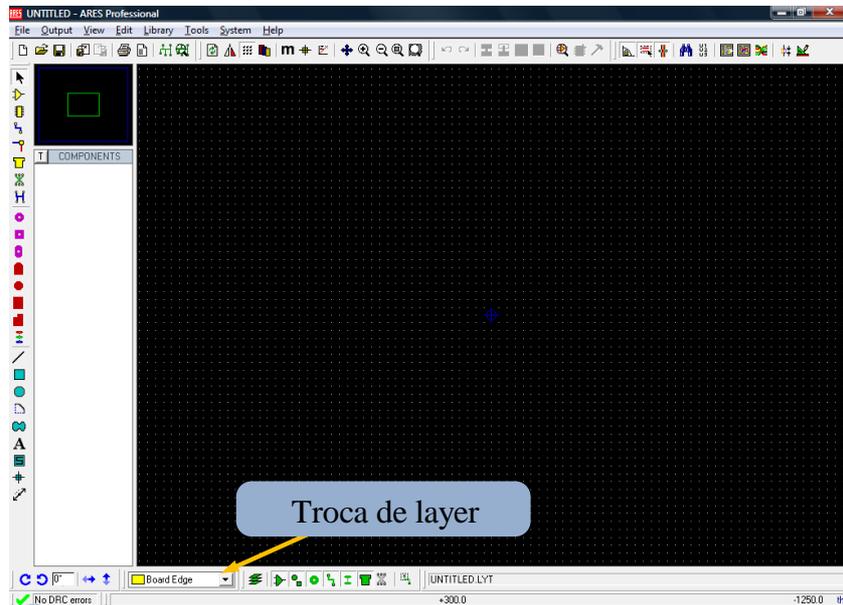


Figura 7 – Escolha do layer adequado.

Atente para as coordenadas mostradas na tela, que auxiliam no desenho de objetos com dimensões bem definidas.

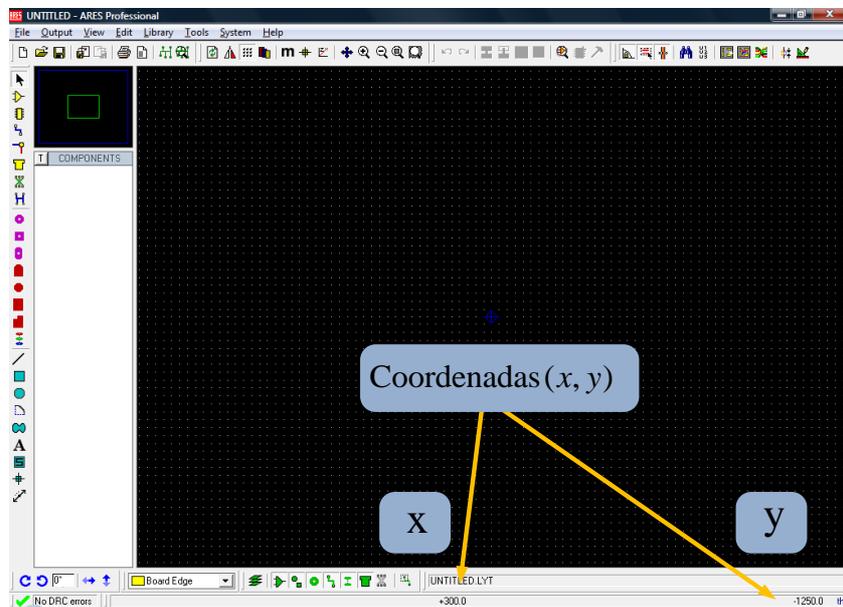


Figura 8 – Coordenadas  $x$  e  $y$  em mils ou milímetros.

Observe que existe um ponto na tela que indica as coordenadas  $x = 0$  e  $y = 0$ . Mantenha o cursor em algum ponto da tela e aperte a tecla **o** tornando este ponto a coordenada  $(0, 0)$ .

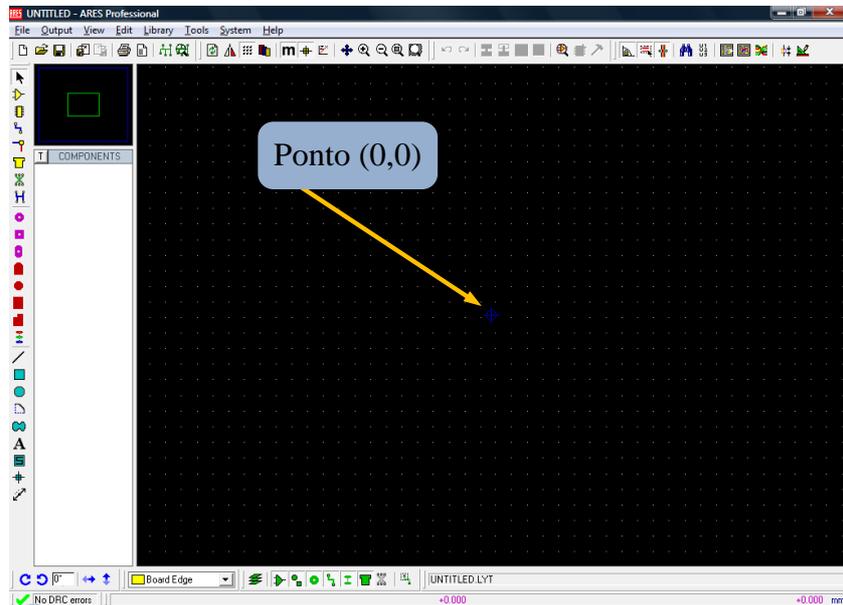


Figura 9 – Ponto com coordenada (0,0).

Em seguida defina um tamanho aproximado para a placa, desenhando um retângulo na tela de tamanho 5 cm x 5 cm, ou seja 50 mm x 50 mm.

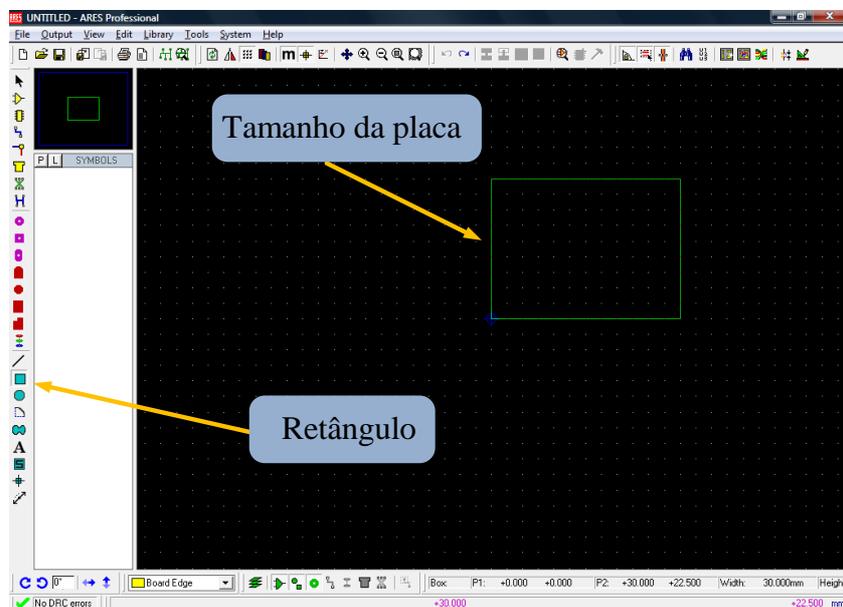


Figura 10 – Definição das dimensões da placa.

Note na figura 10 as dimensões da placa, aproximadas, visto que não se conhece ainda o tamanho final da mesma.

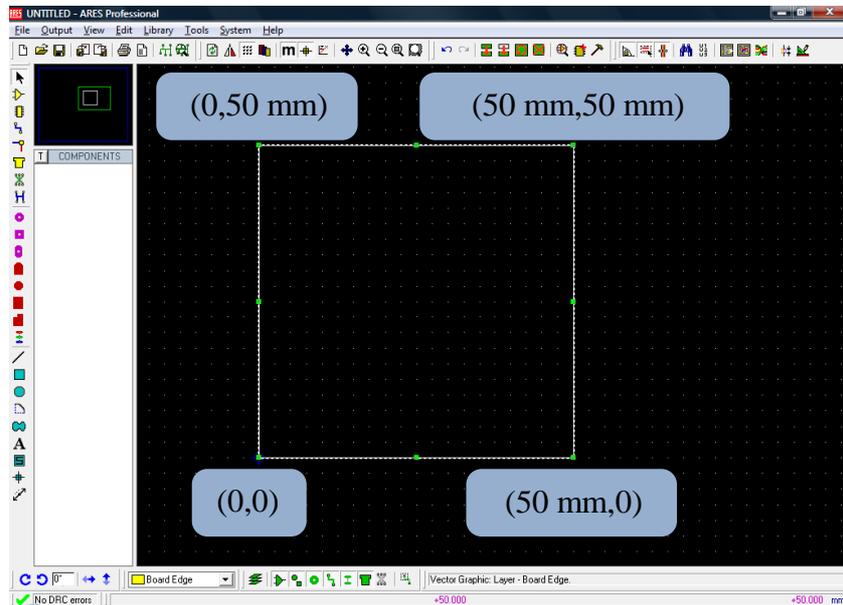


Figura 11 – Área da placa definida.

O *grid* (escala) pode ser alterado livremente para facilitar o desenho de objetos. Como neste exemplo de projeto e desenho de placa se está usando múltiplos de 40 mils, então é mais adequado modificar o *grid* (grade) conforme mostrado na figura 11.

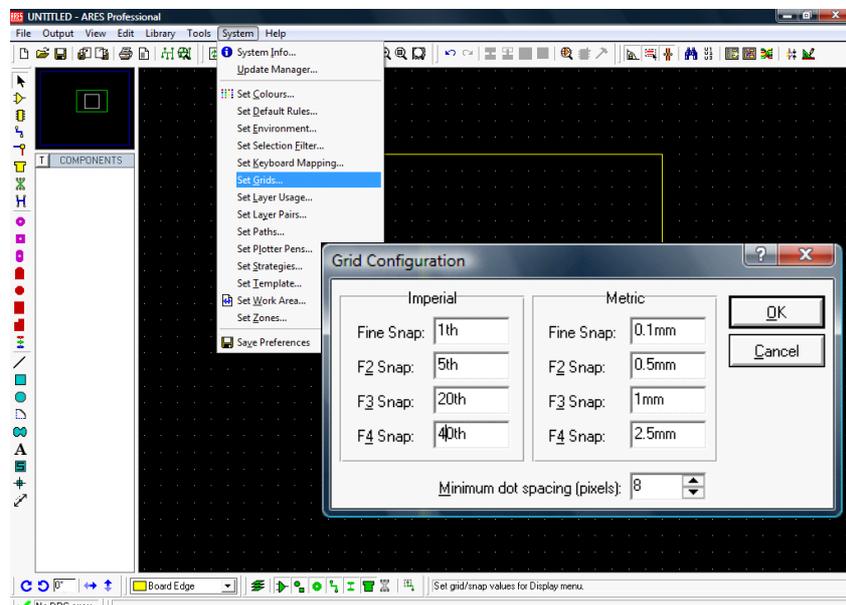


Figura 12 – Alteração das propriedades do grid.

Observe na figura 12 que o *grid* está em mm. Para alterar para mils deve-se pressionar a tecla **m** do teclado, alternando assim entre os dois sistemas métricos. Observe a figura 13.

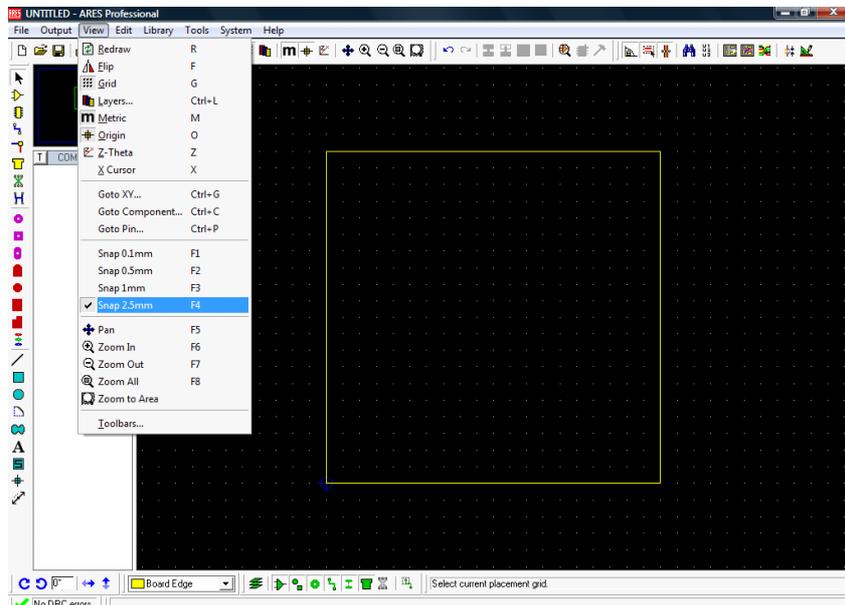


Figura 13 – Especificação do grid atual.

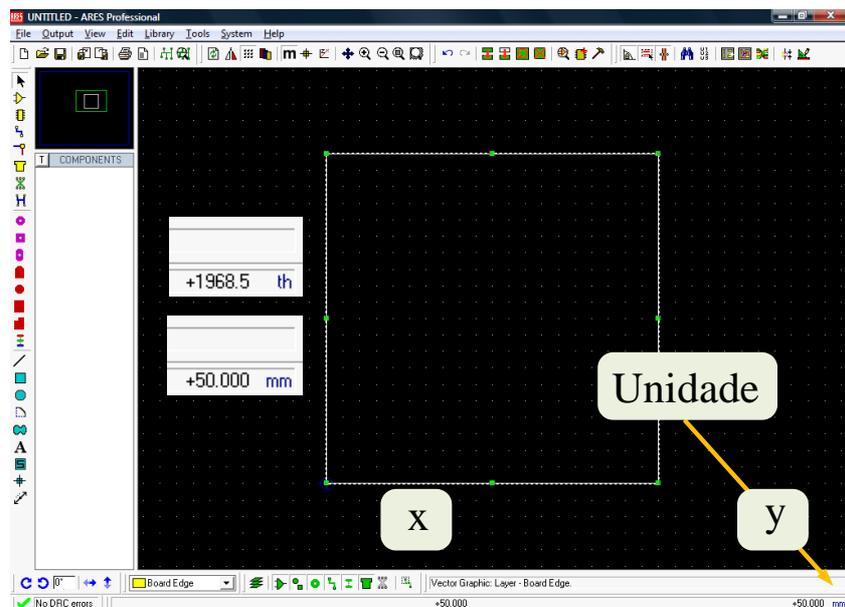


Figura 14 – Alteração para mils.

A próxima etapa é o posicionamento dos componentes. Este posicionamento pode ser realizado de forma automática, clicando a tecla adequada, como mostrado na figura 15. Esta opção não é recomendada, pois a disposição dos componentes normalmente não é muito boa, exigindo um reposicionamento praticamente total dos elementos da placa.

Um exemplo de como ficaria a disposição dos componentes na placa usando auto-posicionamento é mostrado na figura 16. Nota-se que os componentes não foram distribuídos de forma equidistante e homogênea em toda área da placa.

Sugere-se que o posicionamento seja feito de forma manual, seguindo uma coerência entre o esquemático e a posição física do elemento na placa. Conectores sempre devem ser posicionados nos extremos da placa, facilitando assim a saída dos cabos e a conexão dos mesmos.

Elementos que necessitam dissipador de calor devem ter atenção especial, pois estes dissipadores ocupam um espaço considerável e podem ter sua colocação impedida devido a presença de outros componentes.

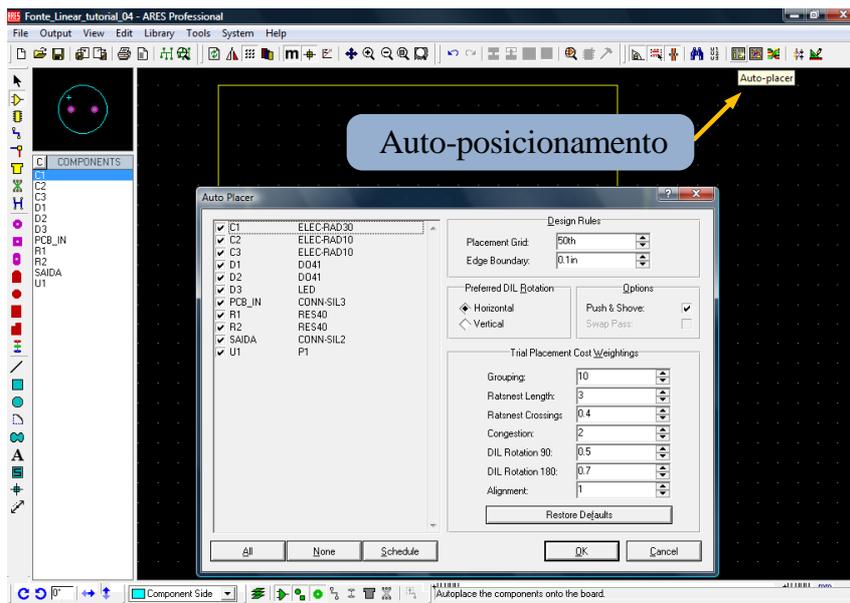


Figura 15 – Posicionamento automático dos componentes na placa.

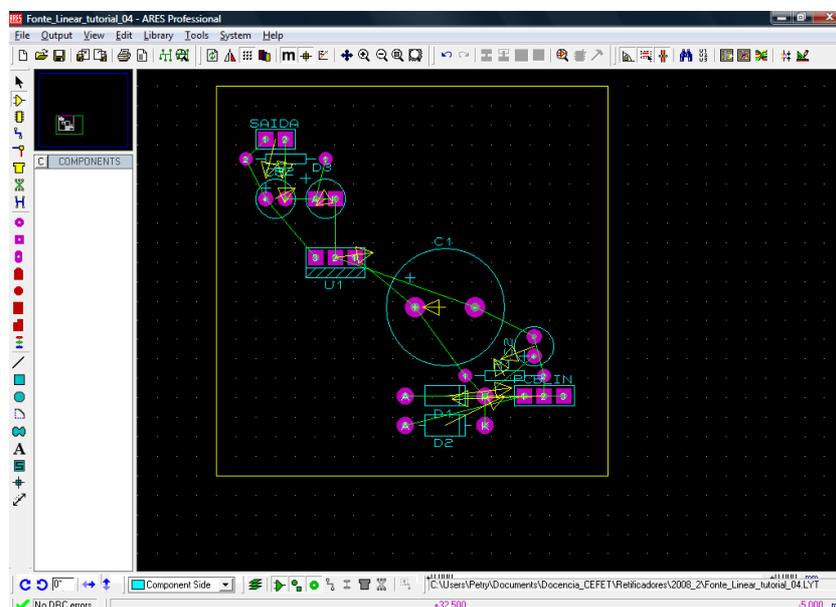


Figura 16 – Exemplo de auto-posicionamento de componentes.

Os componentes são posicionados (colocados) na PCB utilizando a opção adequada no Ares e arrastando os mesmos para a área da placa, conforme figura 17.

Distribuindo os componentes de maneira coerente, iniciando da entrada (conexão do transformador) para a saída (conector da saída), se pode obter algo parecido com a figura 18.

Note que os componentes são colocados do lado da placa denominada de lado dos componentes, pois esta é uma placa de face simples, ou seja, apenas um lado. No Proteus, por default, a cor azul clara é usada para o layer (camada) dos componentes.

Cuidado ao espelhar componentes, pois estes podem ser levados a outra face da placa. Note na figura 18 que a área inicial, de 5 cm x 5 cm, não está sendo utilizada totalmente e por isso pode ser diminuída, evitando o desperdício de material.

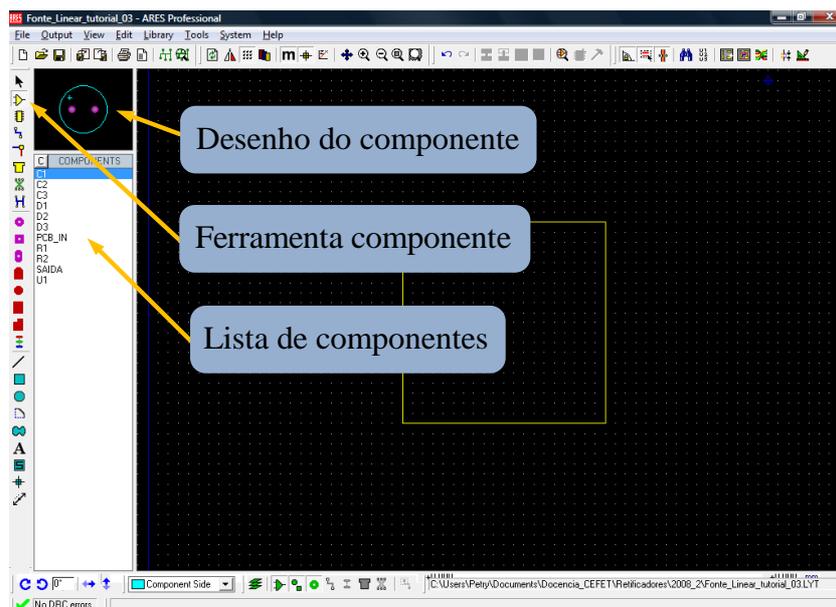


Figura 17 – Posicionando componentes manualmente na placa.

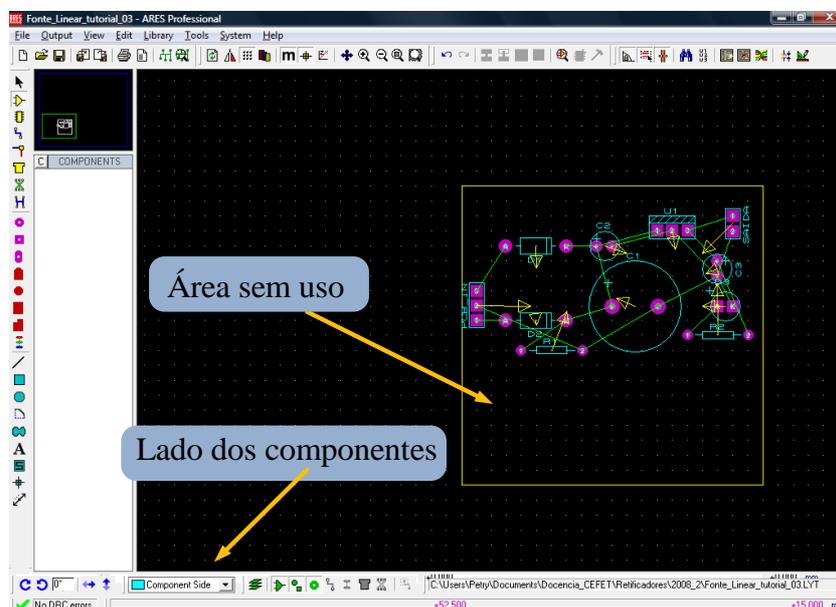


Figura 18 – Componentes distribuídos manualmente na PCB.

Após a colocação dos componentes na placa pode-se iniciar a conexão dos mesmos através das trilhas. Esta conexão pode ser feita manualmente ou automaticamente. Sugere-se que a conexão manual seja realizada após o roteamento automático, para fins de ajustes.

Se for desejado realizar o desenho das trilhas de forma manual, acesse aos botões correspondentes conforme as figuras 19 e 20.

É importante ressaltar que no Proteus podem-se elaborar placas de várias camadas (*layers*). Como a placa é desenhada visualizando-se a mesma pelo lado dos componentes, ou seja, do lado denominado *Top* na figura 21, as trilhas deveriam ser desenhadas no *layer Bottom* desta figura. No entanto, se isto for feito, ao realizar a impressão e transferência para confecção

da placa, não se deve esquecer de espelhar a impressão.

Por isso, sugere-se desenhar as trilhas na camada (*layer*) *Top*, pois assim evita-se a necessidade de espelhamento na impressão.

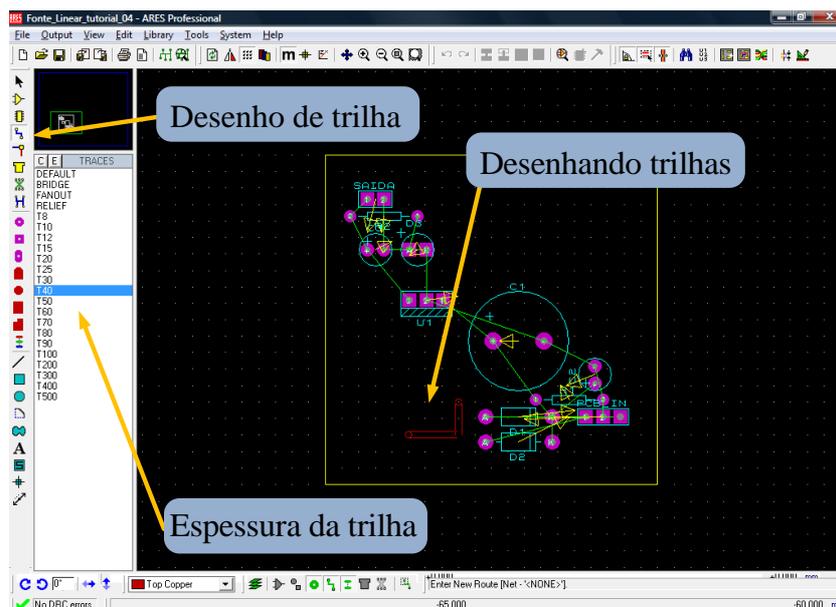


Figura 19 – Escolha da espessura da trilha.

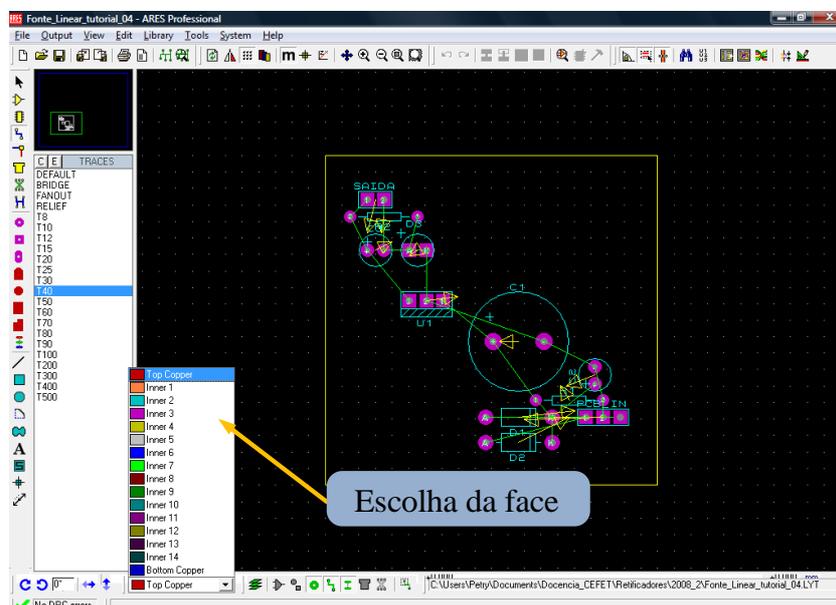


Figura 20 – Escolha da face para desenho das trilhas.

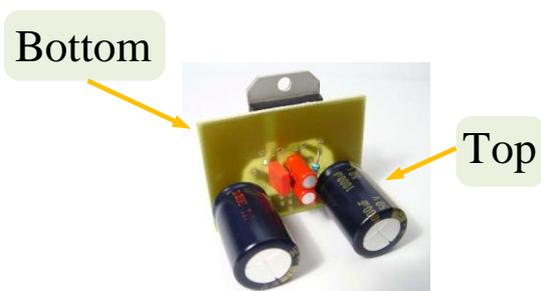


Figura 21 – Lado dos componentes (*Top*) e lado das trilhas (*Bottom*).

Antes de iniciar o roteamento automático, é necessário definir as estratégias de roteamento, conforme mostrado na figura 22.

Em circuitos que possuem etapas de potência e etapas de sinal, como por exemplo, em um amplificador de áudio, é possível definir trilhas de potência e outras de sinal. Isto significa que as trilhas de potência podem ter largura maior, pois irão conduzir correntes maiores, enquanto as trilhas de sinal terão largura bem menor, em virtude das pequenas correntes que circulam pelas mesmas. Assim, devem-se definir corretamente as estratégias de roteamento tanto para as trilhas de potência como para as trilhas de sinal, como mostrado nas figuras 23 e 24.

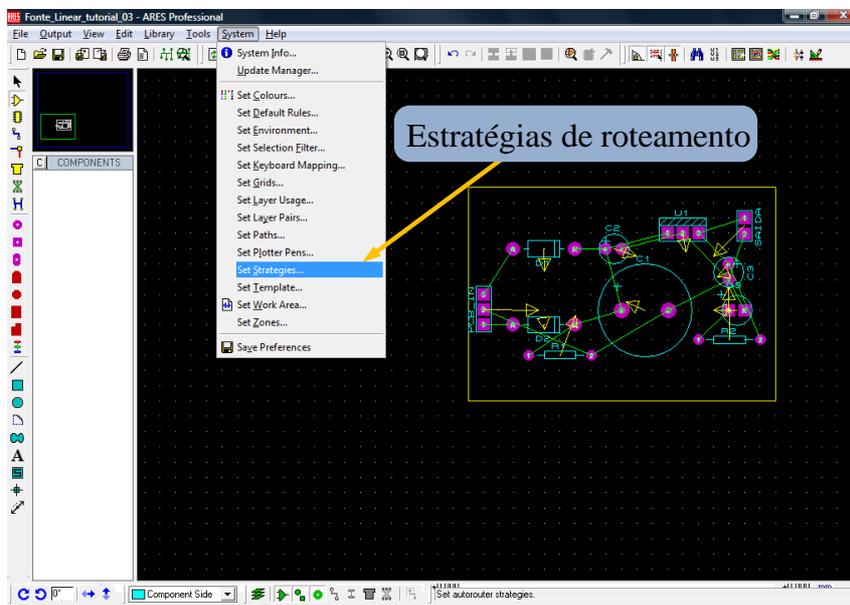


Figura 22 – Definindo as estratégias de roteamento.

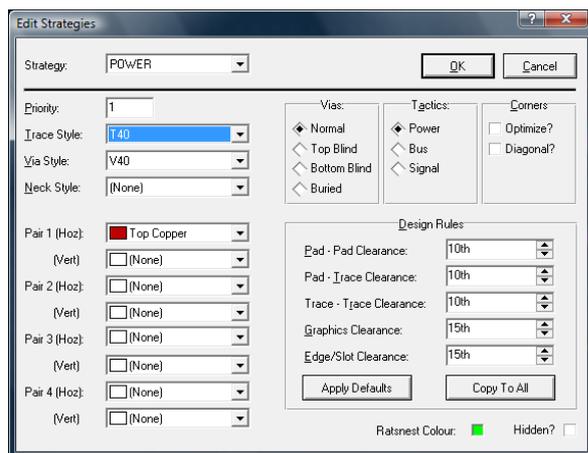


Figura 23 – Definindo as estratégias de roteamento para as trilhas de potência.

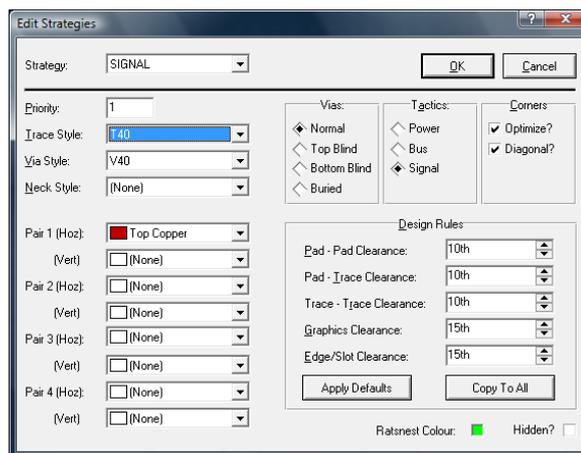


Figura 24 – Definindo as estratégias de roteamento para as trilhas de sinal.

Após a definição das estratégias de roteamento, pode-se iniciar o mesmo clicando no botão correspondente, conforme a figura 25.

Em alguns casos, quando a placa é complexa ou não há espaço suficiente para a passagem das trilhas, o software pode entrar em loop infinito, ou seja, realizar um número grande de tentativas sem sucesso para conectar todos os componentes do circuito. Para sair desta “armadilha” tecle o botão *esc* do teclado. Ao fazer isto, você perceberá que uma ou mais trilhas não foram traçadas, ou seja, as conexões não foram finalizadas. Estas conexões podem ser

realizadas manualmente, se for possível, ou então alguns componentes podem ser reposicionados e novamente pode-se tentar o auto-roteamento. Em último caso, se as soluções anteriores não resolverem o problema, então se devem usar *jumpers* para a outra face da placa ou realizar a conexão faltante com fio convencional.

Se o roteamento for bem sucedido, todas as trilhas estarão conectadas, como mostrado na figura 26. Note que alguns pontos podem ser melhorados, como a eliminação de curvas de 90 graus, trilhas muito longas, etc.

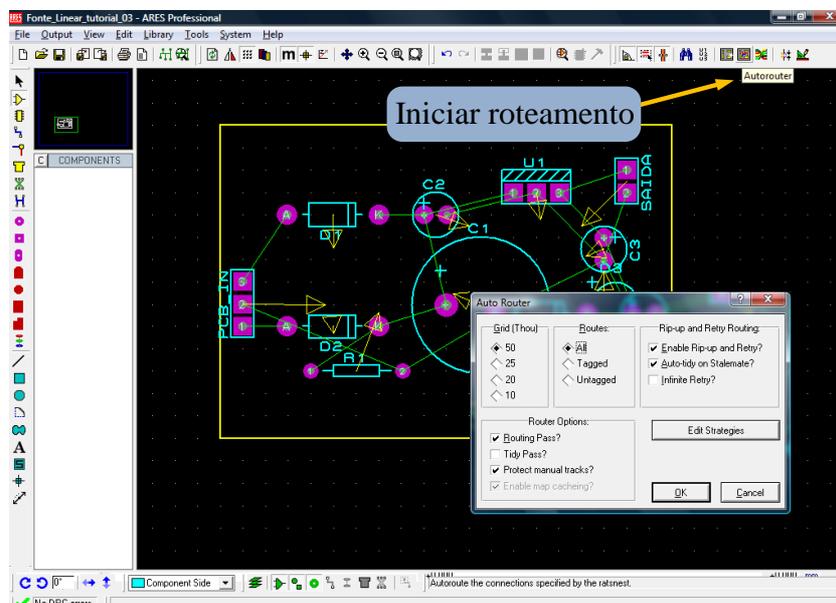


Figura 25 – Iniciando o roteamento automático.

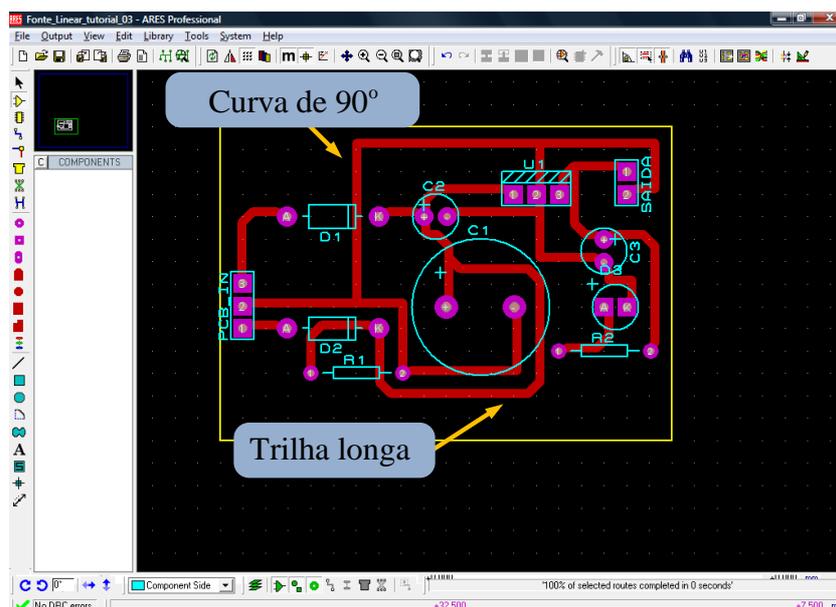


Figura 26 – Roteamento realizado com sucesso.

Para evitar trilhas longas, tente reposicionar alguns componentes e em seguida traçar novamente as trilhas usando o auto-roteamento. Isso é mostrado na figura 26.

Note que as trilhas dos componentes que forem reposicionados devem ser apagadas antes de alterar o posicionamento dos mesmos. Após a alteração e do novo traçado, a placa ficará com o aspecto da figura 27. Nesta mesma figura se mostra a opção de alterar parcialmente algumas

trilhas e posição de componentes, como é o caso do conector de saída do circuito.

Para eliminar cantos de 90 graus, utilize a ferramenta *Mitre* do Ares. Para isso selecione a trilha desejada e clique no botão adequado, conforme figura 28.

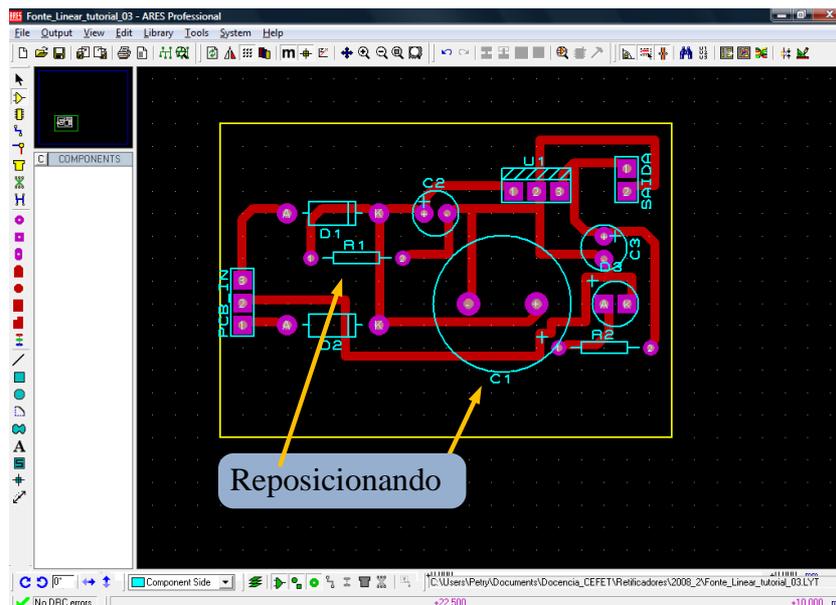


Figura 27 – Reposicionando componentes na placa.

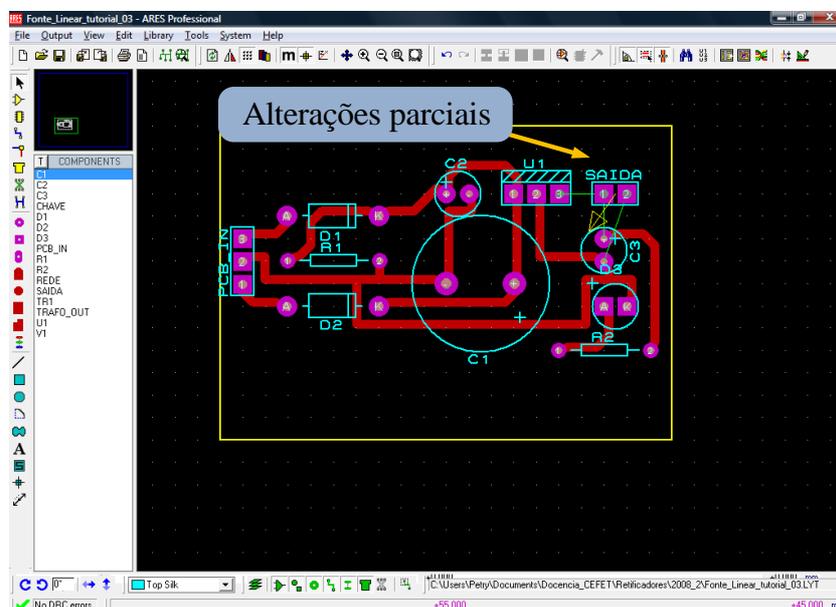


Figura 28 – Novo roteamento e alterações parciais.

Para facilitar a fixação da placa no gabinete do equipamento, podem ser colocadas vias nos cantos da placa, conforme mostrado na figura 21. Os *pads* não ultrapassam a placa, enquanto as vias ultrapassam e podem ser metalizadas para conectar do *layer top* ao *layer bottom*.

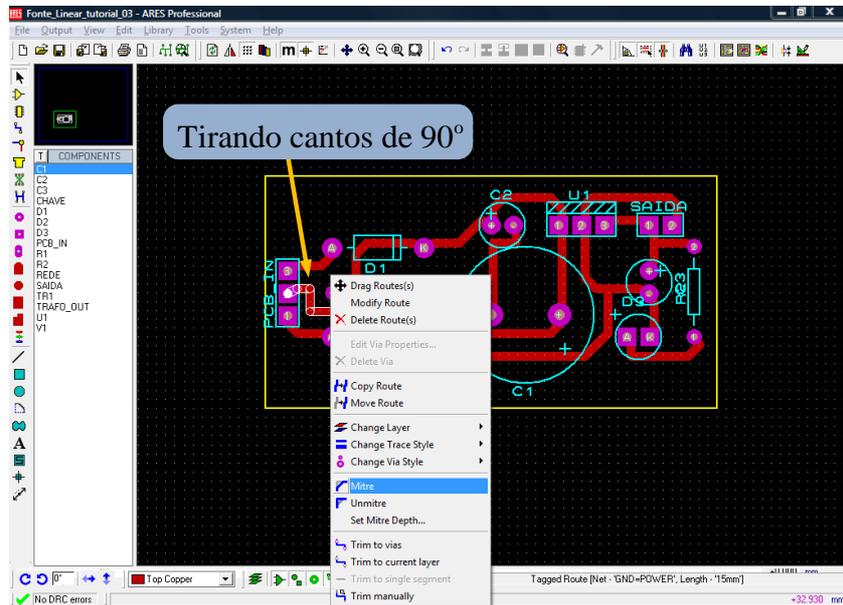


Figura 29 – Eliminando cantos de 90 graus.

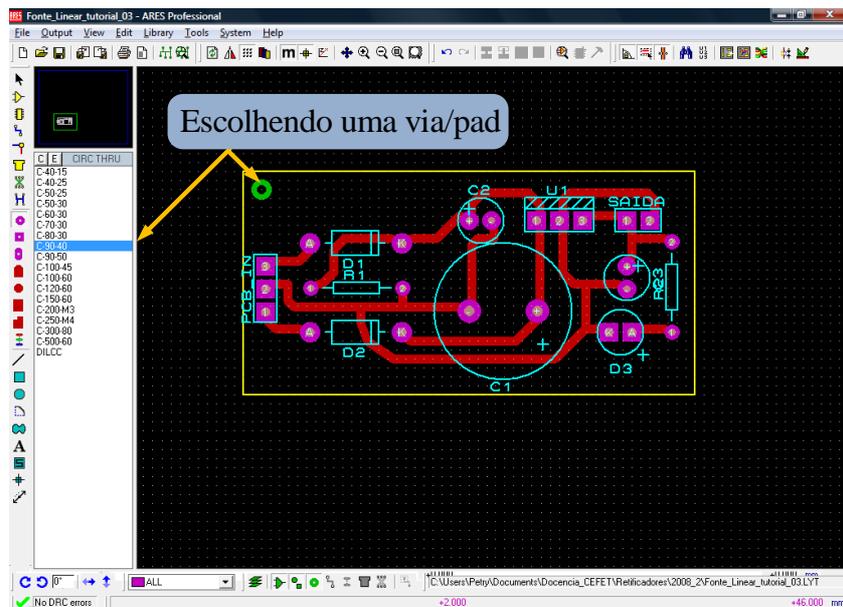


Figura 30 – Inserção de vias ou pads.

A placa pode ser considerada finalizada. No entanto, o regulador de tensão necessita de dissipador de calor e este componente não foi considerado no *layout* da PCB. Componentes específicos normalmente não constam na biblioteca dos *softwares*, e por isso podem ser desenhados manualmente.

Um dissipador de pequeno tamanho é mostrado na figura 31 com as dimensões em milímetros.

Para criar (desenhar) este componente no Ares, utilize o *layer Top Silk* e desenhe um retângulo com as dimensões adequadas, como é mostrado na figura 32.

Ao posicionar o dissipador no regulador de tensão ocorre sobreposição com o capacitor C<sub>2</sub>. Portanto, o posicionamento do capacitor deve ser alterado. Isto pode ser observado na figura 33.

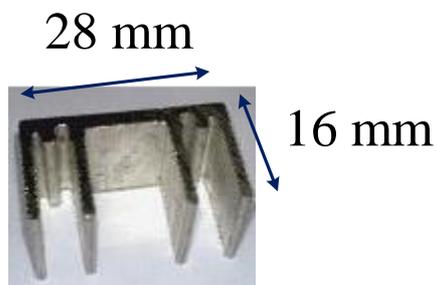


Figura 31 – Dissipador de tamanho pequeno.

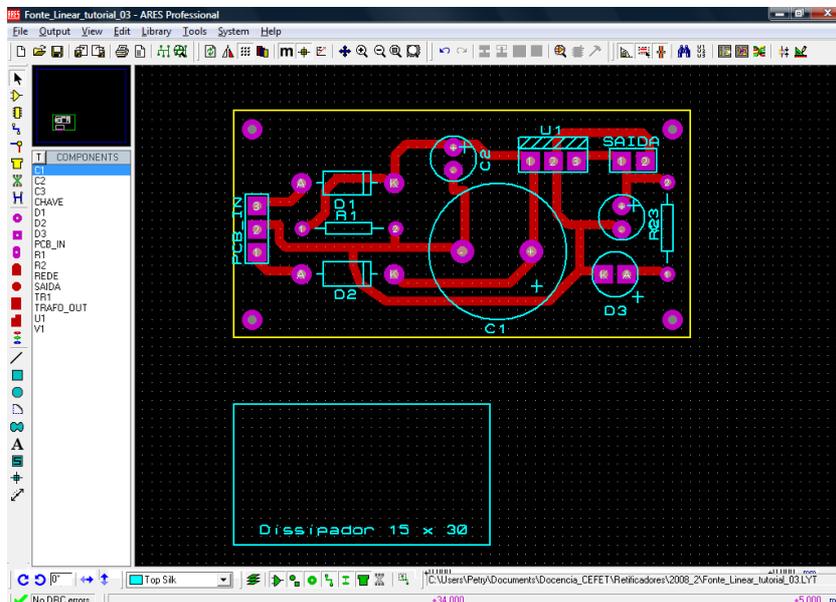


Figura 32 – Dissipador desenhado no Ares.

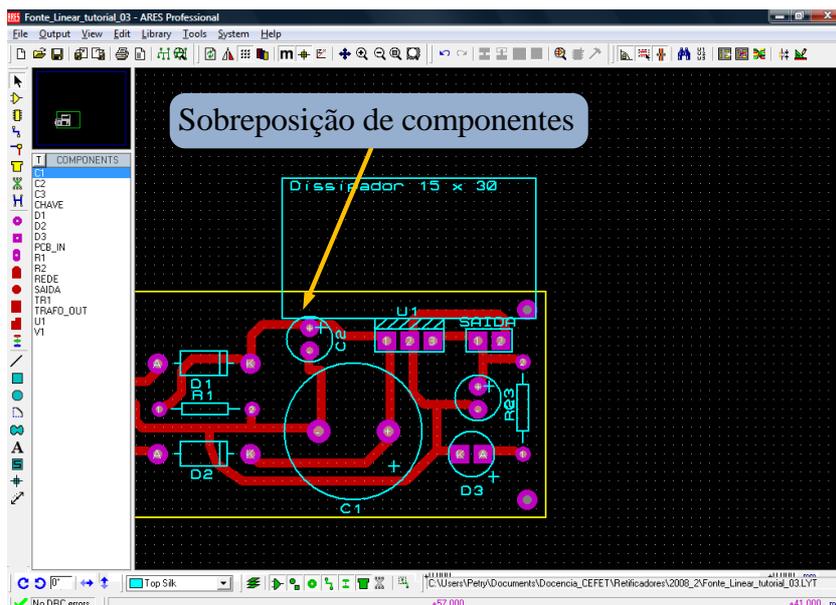


Figura 33 – Sobreposição de componentes.

Note pela figura 33 que o dissipador está posicionado para fora da placa. Se for desejado que este elemento fique sobre a placa, as dimensões da mesma e o posicionamento dos componentes devem ser completamente alterados.

O procedimento correto seria desenhar o dissipador antes do posicionamento dos componentes e traçado das trilhas. Desta forma suas dimensões seriam levadas em conta no dimensionamento da placa, posicionamento dos componentes e traçado das trilhas.

O aspecto final da placa, reposicionando o capacitor  $C_2$  e com a inclusão do dissipador, é mostrado na figura 33.

É importante ressaltar que esta placa é apenas um exemplo didático e sem dúvida poderia ser melhorada ou ter um acabamento melhor.

Por fim, é possível visualizar em três dimensões (3D) o aspecto da placa com os componentes. No caso do dissipador, como este é apenas um retângulo e não um componente, sua visualização fica prejudicada usando esta ferramenta do Proteus. Componentes podem ser criados, levando em conta todas as suas dimensões (tridimensional), mas isto não será abordado neste tutorial.

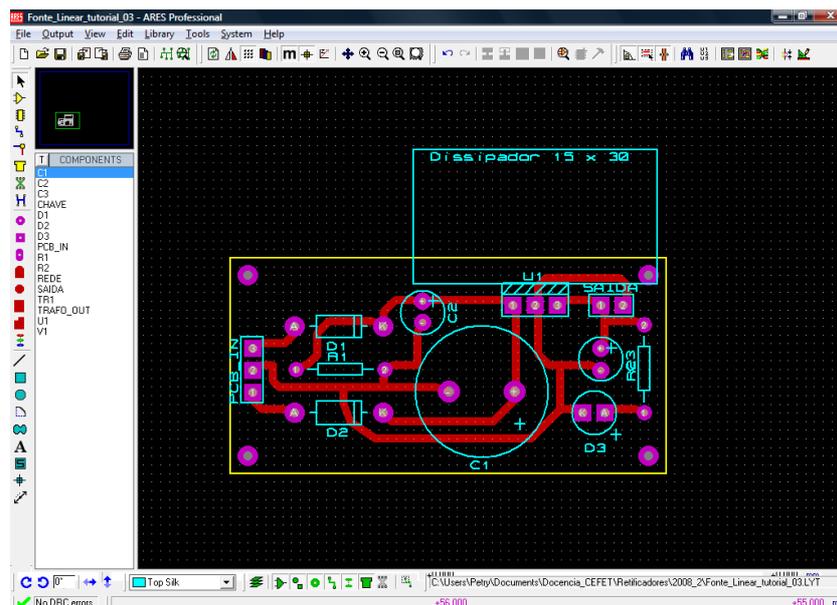


Figura 34 – Aspecto final da placa.

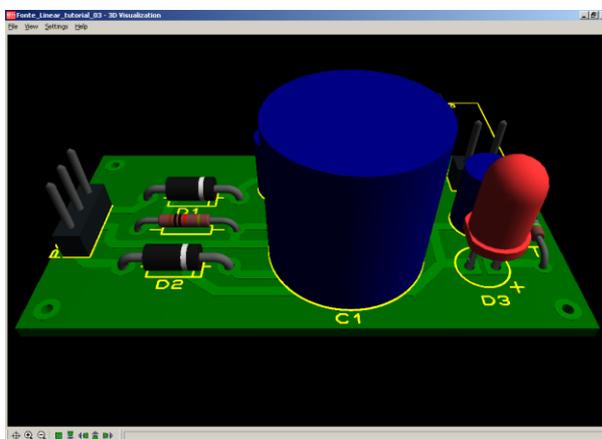


Figura 35 – Visualização 3D da placa.

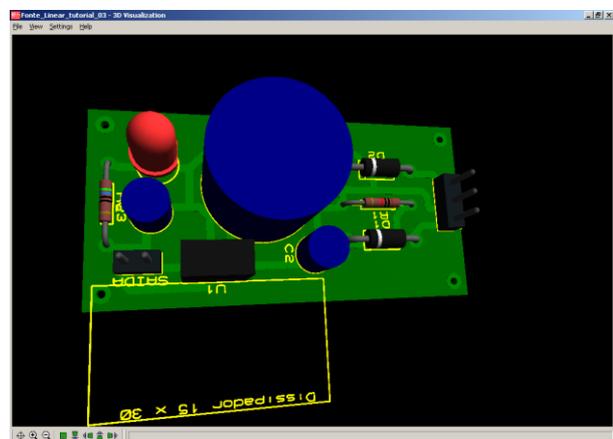


Figura 36 – Visualização 3D da placa.

## Impressão e exportação do desenho

Ao finalizar a placa, é necessário imprimir o *layout* realizado para a posterior confecção da PCB. Se for utilizado o processo de transferência térmica, então será necessário imprimir o desenho da placa numa impressora laser, por exemplo. Esta opção é mostrada na figura 37.

Para a inserção do desenho da placa em documentos, relatório, por exemplo, pode ser usada a opção de exportar o desenho em *bitmap*, formato padrão do Windows. Isto é mostrado na figura 38, juntamente com as opções de configuração de saída para geração do arquivo com extensão bmp.

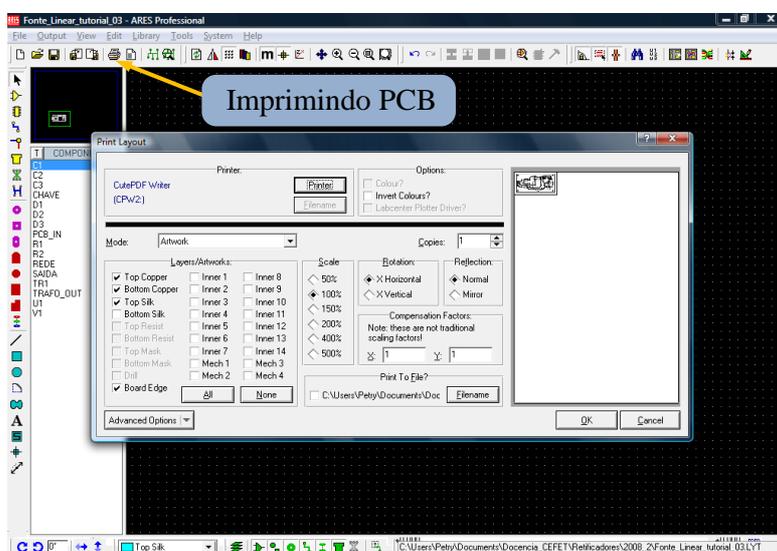


Figura 37 – Imprimindo a placa.

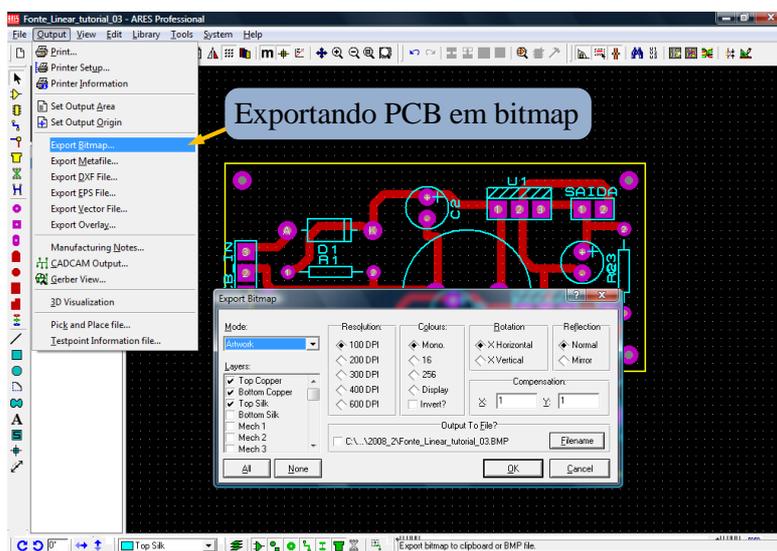


Figura 38 – Exportando a placa.

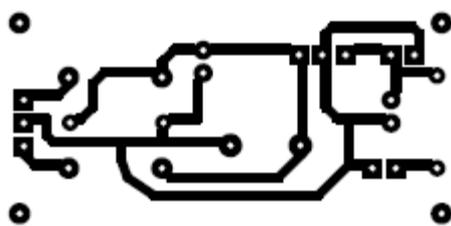


Figura 39 – Desenho impresso para transferência para a placa.

## Placa auxiliar

A placa principal desenhada anteriormente incorpora todos os componentes eletrônicos após o transformador. Este elemento, além da chave liga-desliga e do fusível, podem ser montados no gabinete, realizando as conexões com cabos, ou então com uma placa específica.

Esta placa, denominada aqui de placa auxiliar, tem seu circuito mostrado na figura 2, no início deste tutorial.

É importante salientar que os componentes mostrados na figura 2 não possuem encapsulamento, devendo-se fazer o desenho dos mesmos manualmente. Para conservar as conexões e evitar erros durante a transferência do esquemático do Isis para o Ares foram definidos encapsulamentos “provisórios” para a chave e para o fusível, substituídos por resistores, por possuírem o mesmo número de terminais e conexões, conforme a figura 40.

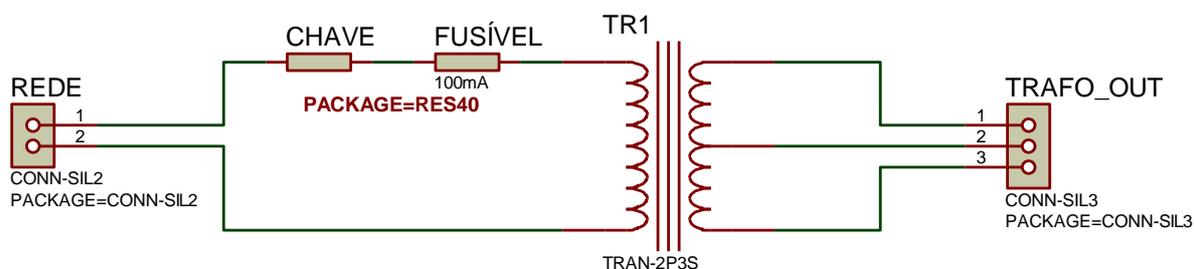


Figura 40 – Circuito elétrico da placa auxiliar.

Inicialmente devem ser desenhados os componentes que não possuem encapsulamento. Para isso é necessário medir os mesmos com cuidado, para posterior desenho no Ares. Nas figuras 41 a 43 são mostradas fotos com as dimensões em milímetros destes componentes.

Com base nas medidas dos componentes, o tamanho inicial e estimado da placa será de 10 cm x 10 cm, como está mostrado na figura 44.

A seguir, com as dimensões dadas nas figuras 41 a 43 e considerando sempre as dimensões importantes para a placa, são desenhados formatos aproximados para os elementos, como está mostrado na 45. Note que para as conexões são necessários o emprego de *pad/vias*. No caso do transformador, como o mesmo possui cabos de conexão, são previstos terminais justamente para a conexão destes cabos. Estas conexões do transformador foram realizadas com *pad/vias* maiores, visando facilitar a conexão dos cabos deste elemento.



Figura 41 – Chave liga-desliga.



Figura 42 – Suporte e fusível.

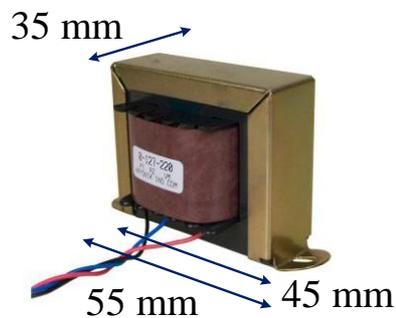


Figura 43 – Transformador.

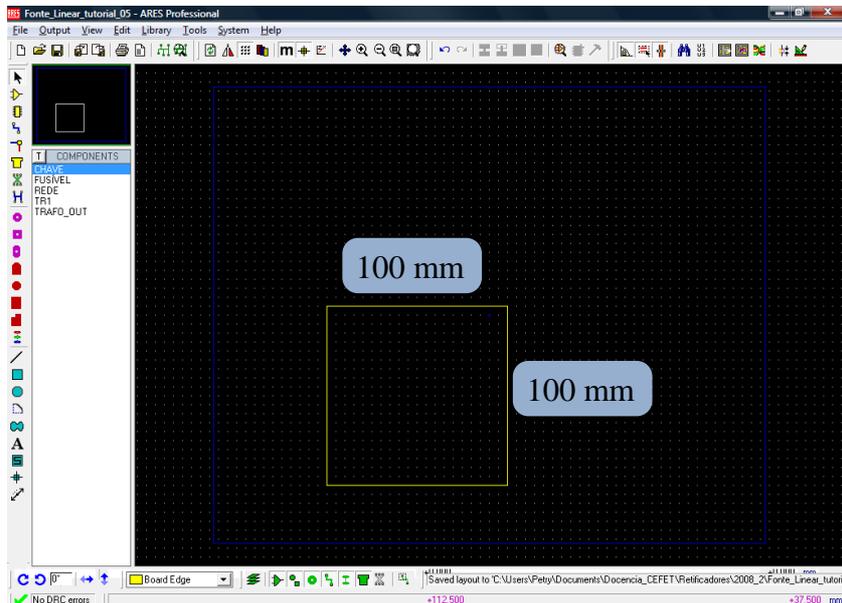


Figura 44 – Tamanho estimado da placa auxiliar.

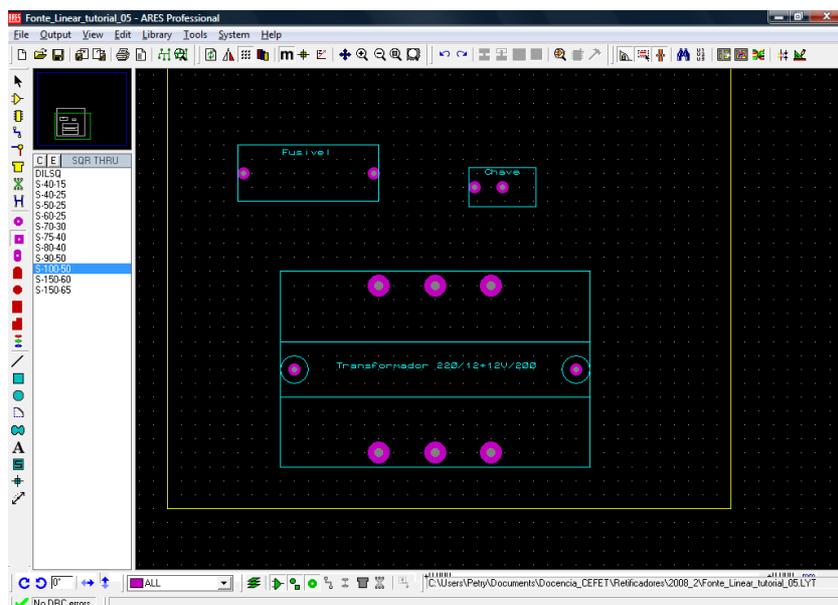


Figura 45 – Encapsulamentos desenhados.

Com o componente desenhado, podem-se agrupar suas partes e criar um componente. Para isso, selecione todas as partes do componente e clique o botão direito, como é mostrado na figura 46.

Ao clicar em “fazer encapsulamento” será mostrada uma janela, na qual se podem entrar com algumas definições sobre o novo encapsulamento, como: nome, biblioteca, categoria, desenho 3D, etc. Estes detalhes são mostrados na figura 47.

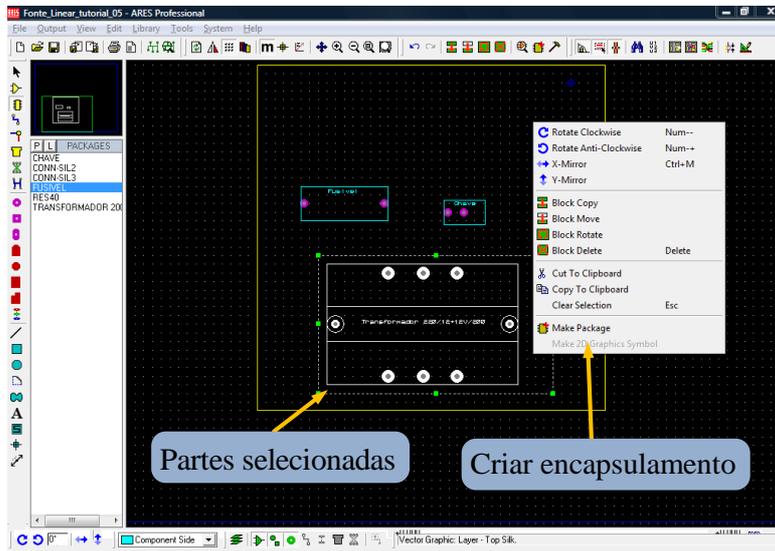


Figura 46 – Criando um novo encapsulamento.

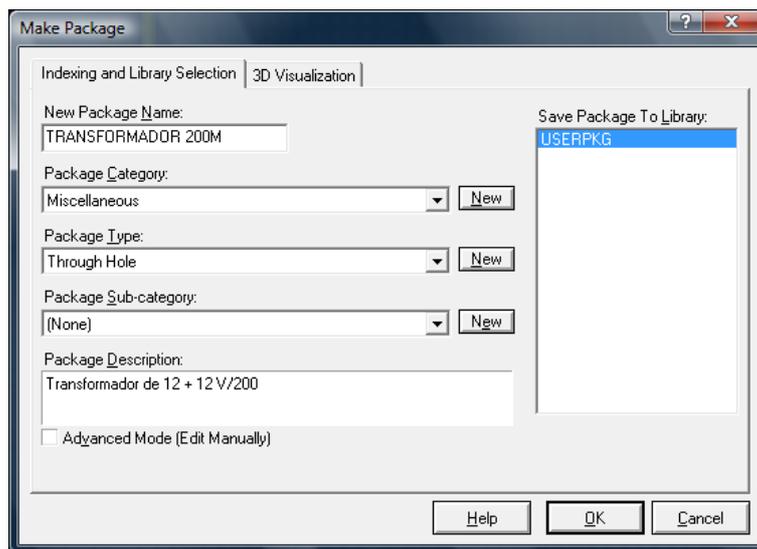


Figura 47 – Definições ao criar novo componente.

Após isso os encapsulamentos denominados chave, fusível e transformador fazem parte da biblioteca do Proteus. Pode-se agora voltar ao Isis e alterar os encapsulamentos provisórios para os nomes corretos. As conexões na figura 48 foram eliminadas para evitar mensagens de erro no Ares. Este problema seria evitado se os terminais dos componentes fossem criados adequadamente, o que não será abordado aqui.

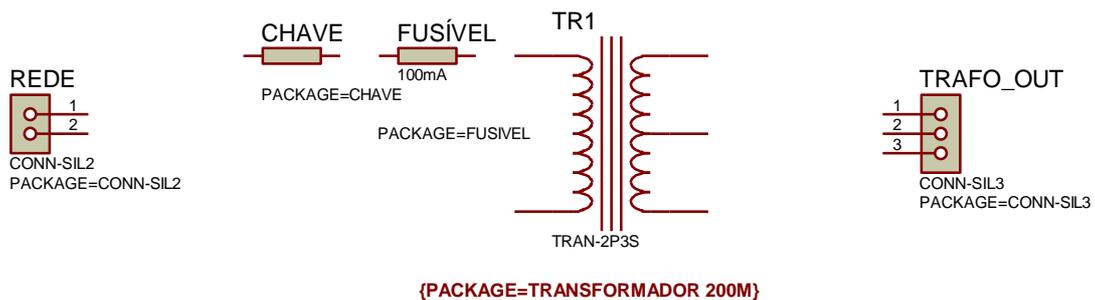


Figura 48 – Encapsulamentos corretos dos componentes no Isis.

Alguns componentes podem não possuir o campo para a escolha do encapsulamento, então isto poderá ser feito com a opção outras propriedades, como ocorre para o transformador.

Reposicionando os componentes no Ares e fazendo as conexões manualmente, obtém-se o *layout* mostrado na 50.

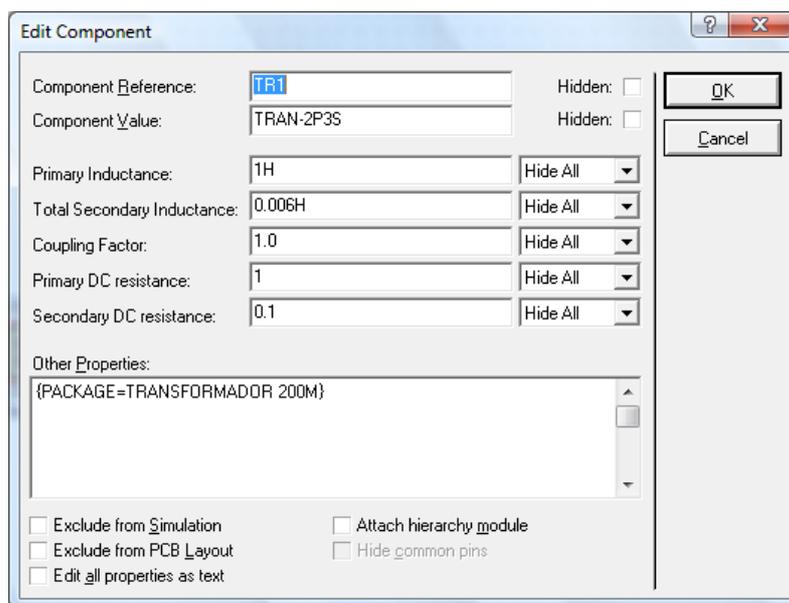


Figura 49 – Definindo encapsulamento em outras propriedades.

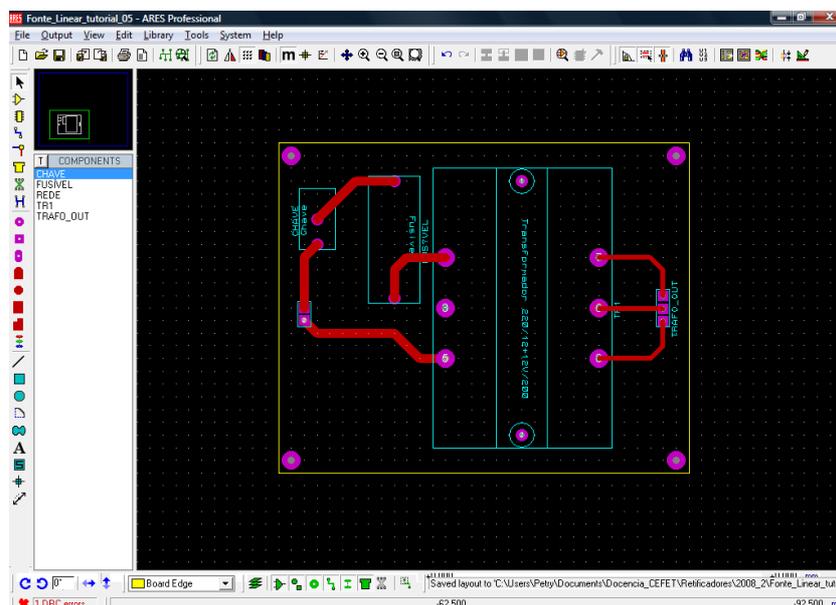


Figura 50 – Placa auxiliar finalizada.

O aspecto da placa finalizada e impressa para transferência é mostrado na figura 51.

A visualização em três dimensões pode ser realizada desde que os componentes tenham seu aspecto e dimensões definidos. Facilmente pode-se alterar o visual 3D do componente clicando o botão direito sobre o componente e escolhendo a opção Visualização 3D, como é mostrado na figura 52.

Na figura 53 mostra-se uma imagem em 3D da placa finalizada.

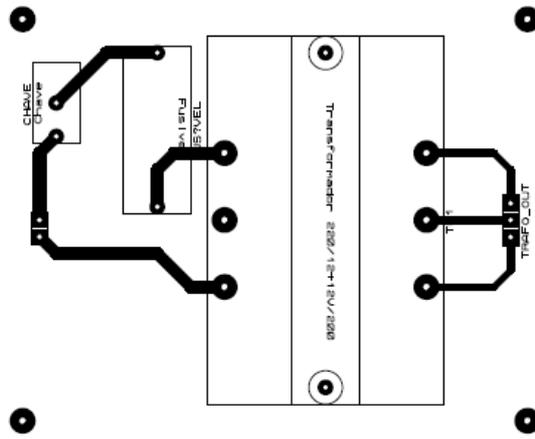


Figura 51 – Desenho impresso para transferência para a placa auxiliar.

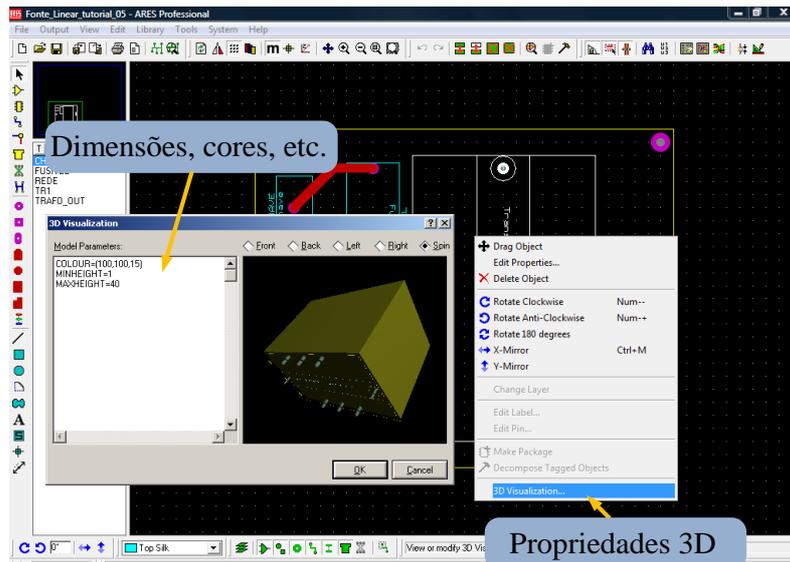


Figura 52 – Alterando as propriedades 3D do componente.

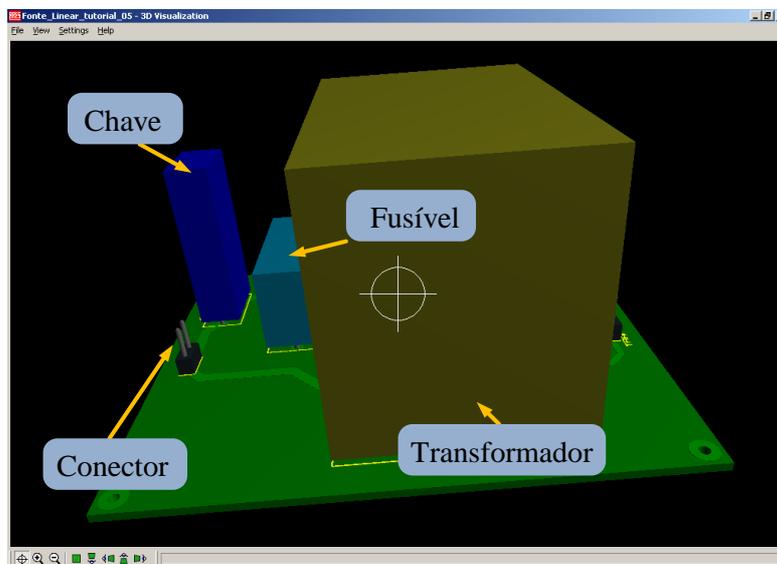


Figura 53 – Imagem em 3D da placa finalizada.