

# Tutorial de fabricação de placas de circuito por usinagem CNC

## Introdução

Neste tutorial serão explicados todos os passos necessários para a fabricação de circuito por meio da usinagem CNC. O processo se inicia com o projeto e desenho da placa de circuito utilizando o software de preferência, seguido da geração do código G utilizando FlatCAM, e por último, fabricando a placa utilizando o software Candle para o controle da máquina de CNC.

Utilizaremos a máquina CNC TTC-3018 S <<https://www.slim3d.com.br/laser-e-fresadoras/maquina-cnc-3018-s>> da marca TwoTrees. Por favor leia o tutorial inteiro uma vez antes de segui-lo pois existem avisos importantes!

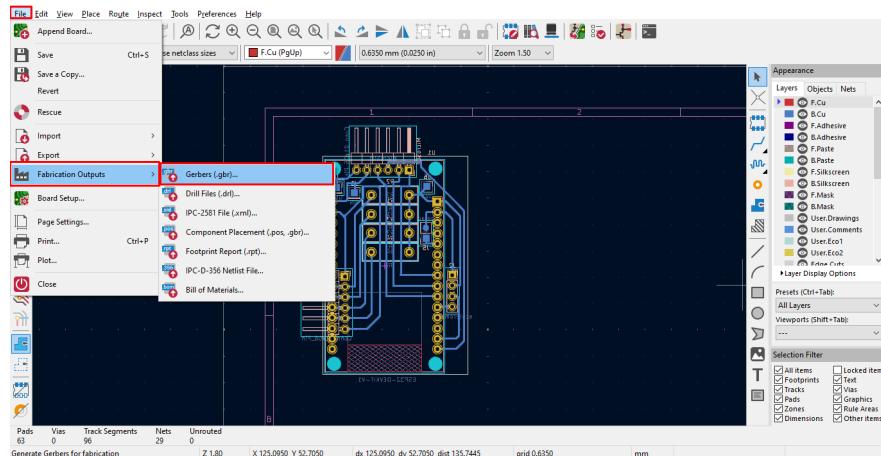
## Exportando sua placa de circuito

O foco desse tutorial é a fabricação da placa e não seu projeto, portanto, iniciaremos com uma placa de circuito já projetada por meio do software KiCad. Porém, é importante notar que a placa foi desenhada na parte de trás (No KiCad, o lado azul) para que durante a fabricação a placa tenha a orientação correta.

Nosso primeiro passo é exportar os arquivos Gerber(.gbr) e Drill(.drl) que nos mostram as trilhas da placa e os furos para os componentes respectivamente.

- **Exportando Gerber no KiCad:**

Uma vez com a PCB aberta, selecione File>Fabrication outputs>Gerbers(.gbr), como na figura a seguir



Ao selecionar essa opção, a seguinte janela aparece, onde podemos escolher quais camadas da placa serão exportadas, além de escolher onde os arquivos serão salvos. Na aba de include layers selecione as opções B.Cu (área de cobre) e Edge.Cuts (Corte do contorno) e depois clique em “Plot”.

É importante notar que esse tutorial serve para a fabricação de PCB com um lado de cobre. Para placas com dois lados é necessário importar ambos e o processo se torna um pouco mais complexo

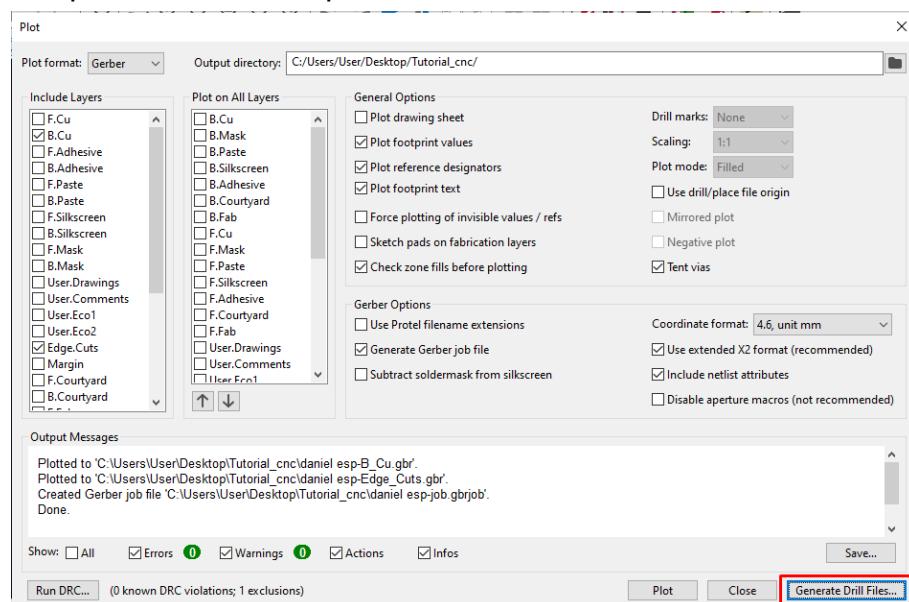
Não feche a janela pois os furos serão gerados também por ela.

Com isso os seguintes arquivos devem ser criados:

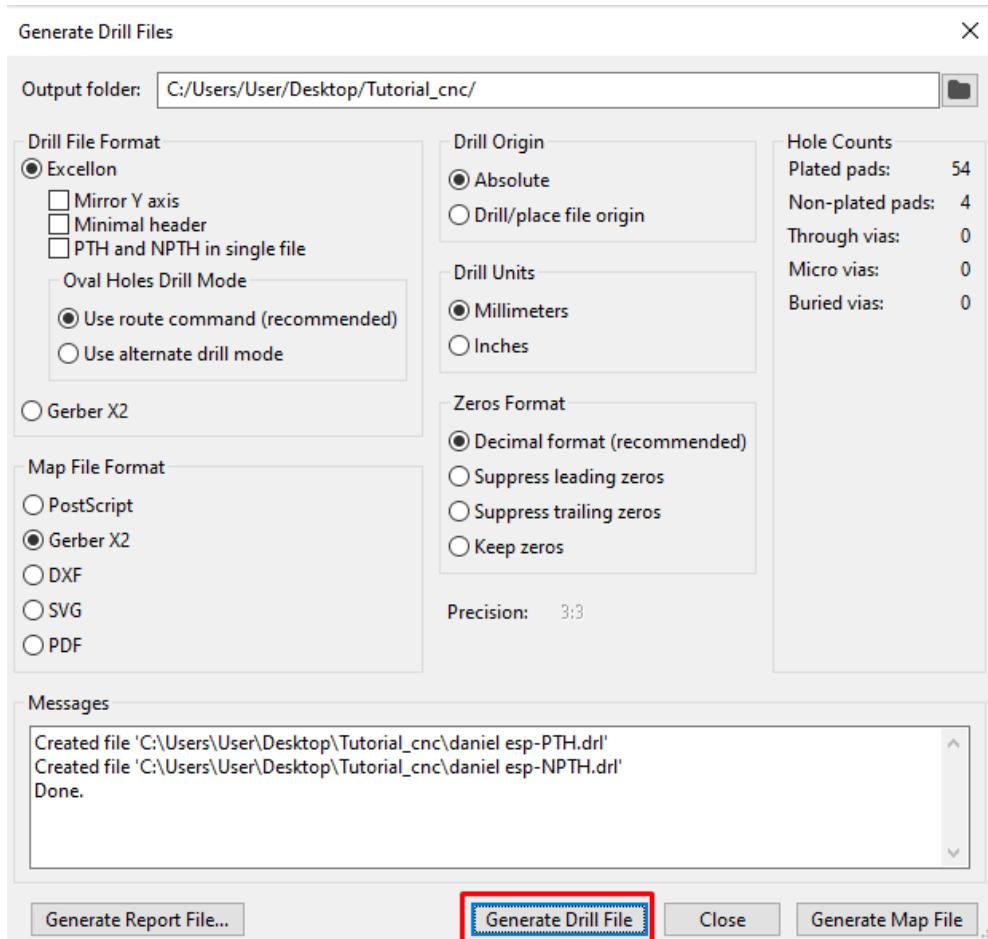
tutorial_cnc-Cu	3/22/2024 2:42 PM	GBR File	11 KB
tutorial_cnc-Edge_Cuts	3/22/2024 2:42 PM	GBR File	1 KB
tutorial_cnc-job	3/22/2024 2:42 PM	GBRJOB File	2 KB

- **Exportando arquivos para os furos no KiCad:**

Para exportar os furos clique em “Generate Drill Files...” na mesma janela.



Na próxima janela escolha as opções de unidades e formato de arquivo e pressione “Generate Drill File”.

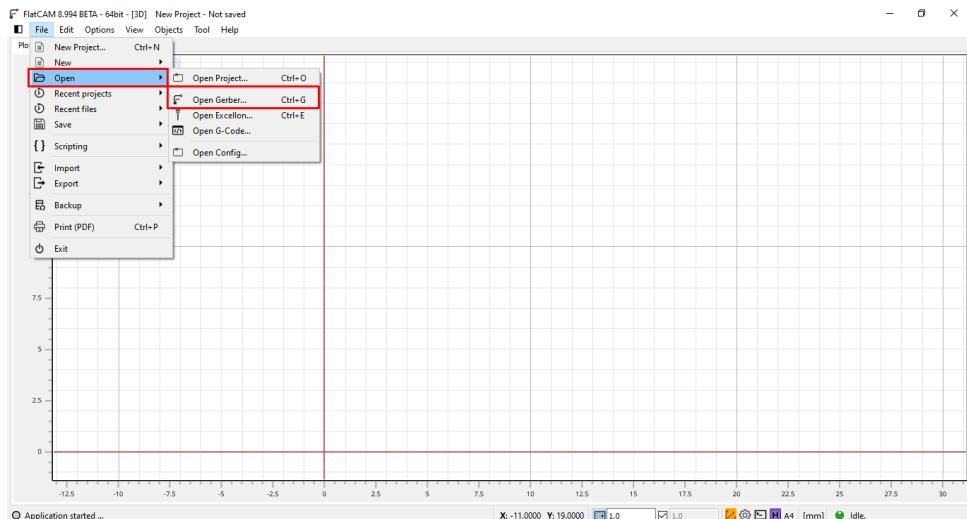


Com isso temos em mãos todos os arquivos necessários para a fabricação e o KiCad não será mais necessário.

tutorial_cnc-NPTH.drl	3/22/2024 2:50 PM	FlatCAM	1 KB
tutorial_cnc-PTH.drl	3/22/2024 2:50 PM	FlatCAM	2 KB
tutorial_cnc-Cu	3/22/2024 2:42 PM	GBR File	11 KB
tutorial_cnc-Edge_Cuts	3/22/2024 2:42 PM	GBR File	1 KB
tutorial_cnc-job	3/22/2024 2:42 PM	GBRJOB File	2 KB

## Configurando e utilizando o FlatCAM

Utilizaremos o FlatCAM beta 8.994 <<http://flatcam.org/download>> (Qualquer versão funcionará mas recomendo utilizar a ultima disponível) para gerar o código G necessário para que nossa máquina fabrique a placa. Para isso primeiro abra o programa e selecione File>Open Gerber, selecione a pasta onde estão salvos os arquivos exportados e abra os arquivos referentes às trilhas e bordas da placa nomeados nome-Cu.gbr e nome-Edge\_Cuts.gbr respectivamente.

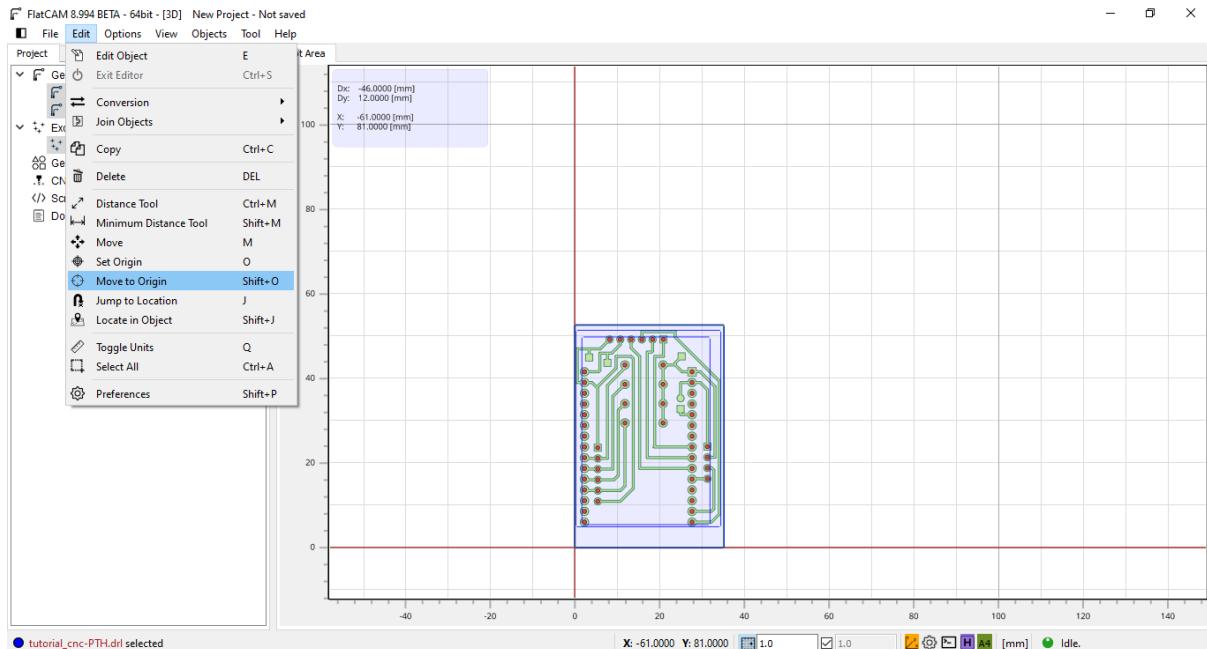


<a href="#">tutorial_cnc_Cu</a>	3/22/2024 2:42 PM	GBR File
<a href="#">tutorial_cnc-Edge_Cuts</a>	3/22/2024 2:42 PM	GBR File

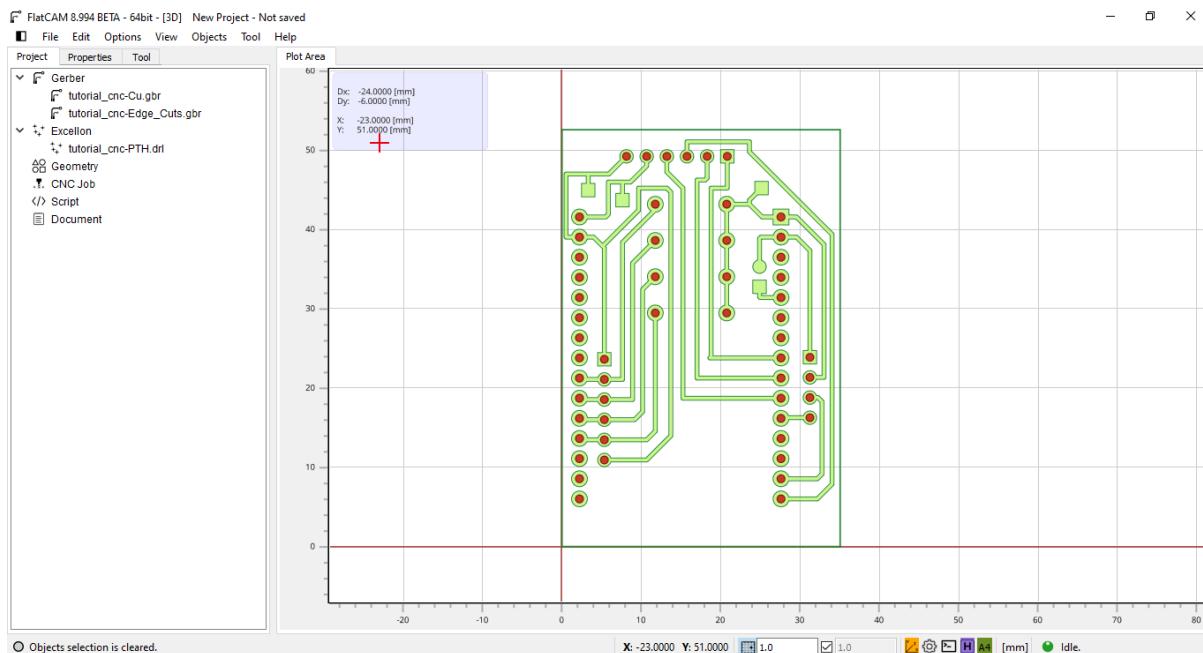
Em seguida, clique na opção File>Open>Open Excellon e selecione o arquivo nome-PTH.drl responsável por demarcar os furos na placa.

<a href="#">tutorial_cnc-PTH.drl</a>	3/22/2024 2:50 PM	FlatCAM	2 KB
--------------------------------------	-------------------	---------	------

Clique e arraste em cima dos objetos e depois em “Edit” clique em Move to origin (shift + O) para deixar sua placa na origem.



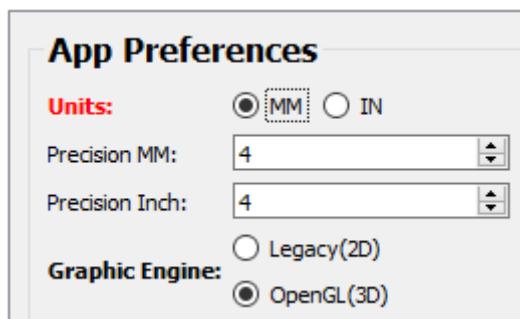
Dessa forma, seu programa deve ficar parecido com a imagem a seguir:



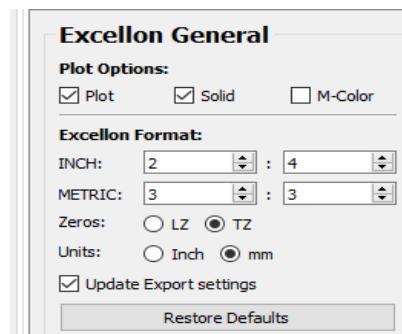
- **Configurando parâmetros:**

Em seguida, configure os parâmetros do FlatCAM de acordo com as ferramentas que utilizará.

Para isso clique em Edit>Preferences. Em “General” altere a unidade preferida para mm.

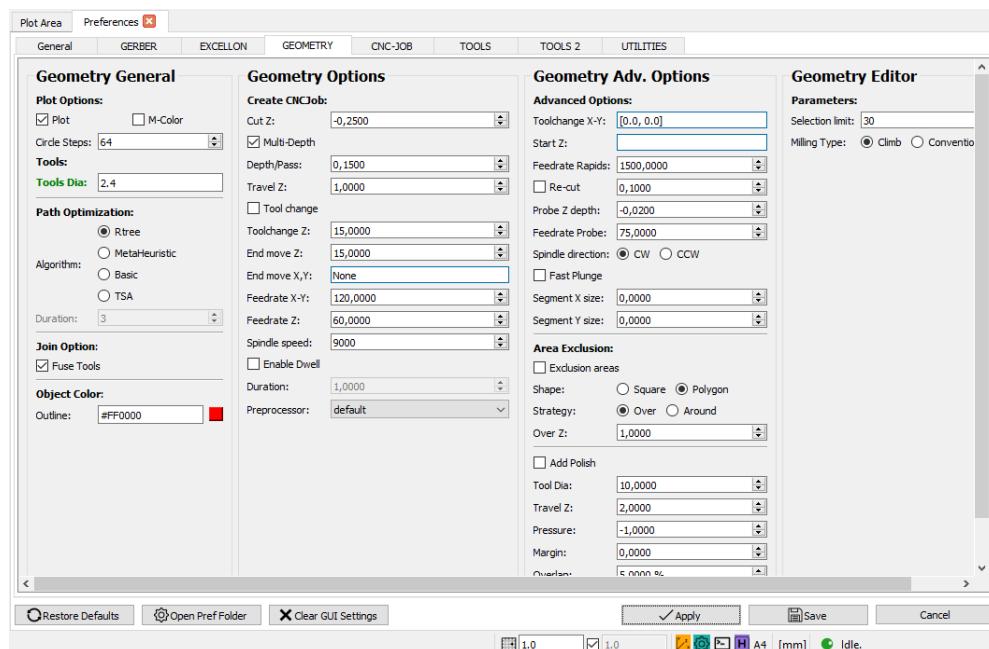


Em seguida em Excellon, altere as unidades para mm.



Em geometry faça as seguintes mudanças. Cut Z (o quanto corta da placa) = -0,25. Ative multi-depth e depth/pass = 0,125 (Ou seja, 0,15 mm por passada, logo duas passadas para cortar os 0,25 mm desejados). Travel Z (Altura da ferramenta enquanto viaja de um ponto ao próximo sem cortar) = 1. Spindle speed = 9000. Deixe os feed-rates padrões. Esse parâmetro determina a velocidade de corte e deve ser experimentada.

Vale notar que, em caso de dúvida, ao colocar o mouse sobre qualquer parâmetro uma pequena descrição aparece. Sua página de configurações deve parecer com isso.



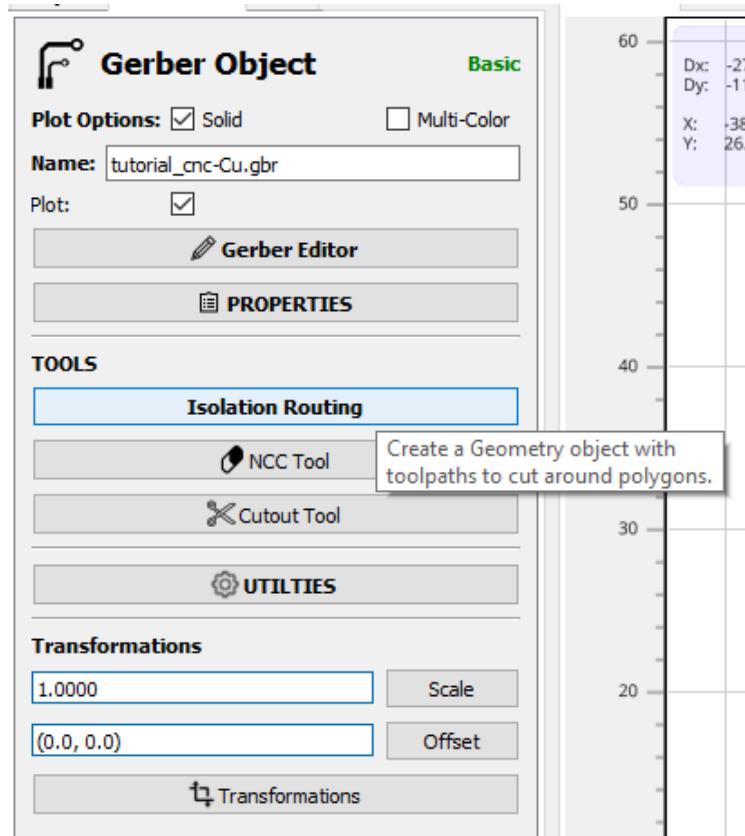
Em seguida altere as opções em Tool. Utilize os seguintes parâmetros:

As demais opções não foram alteradas.

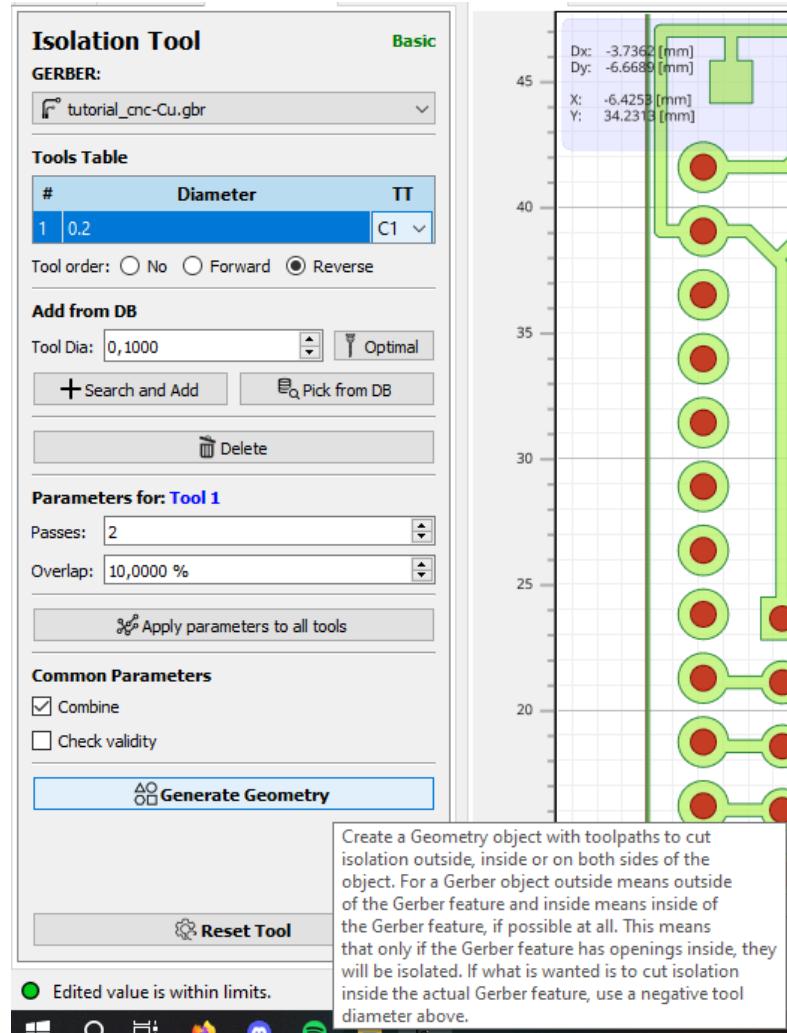
Aplique as mudanças e salve.

- **Isolation routing:**

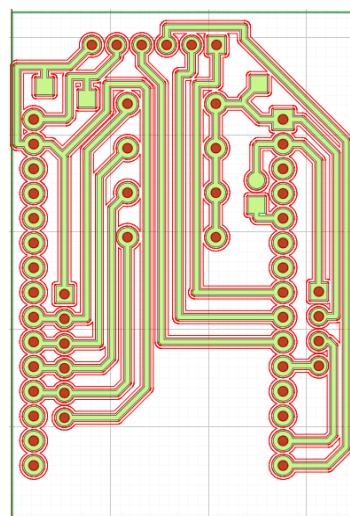
Agora vamos gerar o CNC-Job começando pelas trilhas de cobre. Clique duas vezes em nome-Cu.gbr e selecione Isolation Routing.



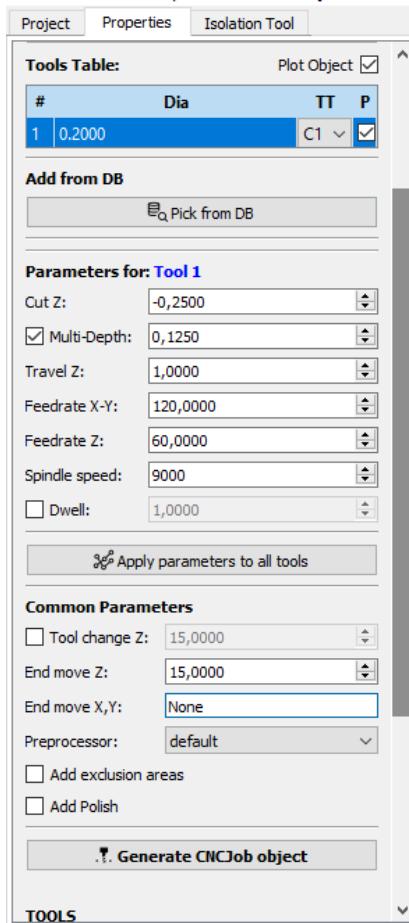
Selecione o diâmetro da ferramenta (Tool Dia) como 0.2 e TT (Tool type) C1, esse valor determina o tamanho da trilha cortada pela máquina, em seguida clique Generate geometry.



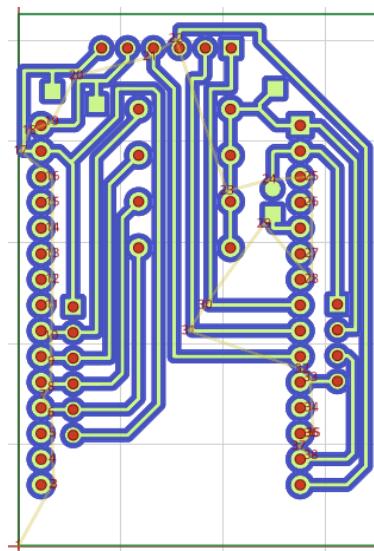
Nesse ponto verifique a geometria gerada com zoom e verifique que não existem erros ou trilhas comidas.



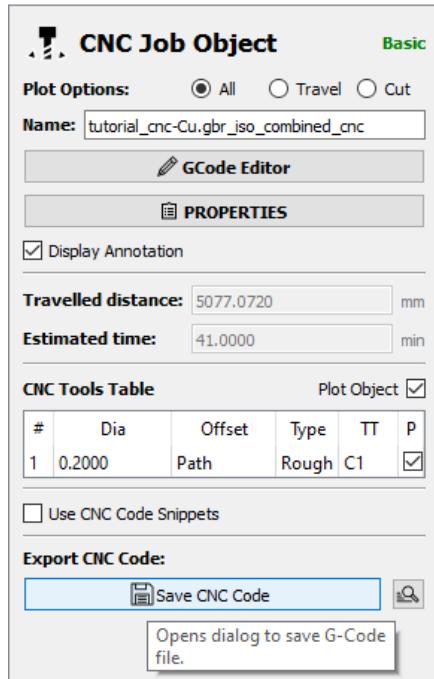
Em seguida, gere o CNCJob.



O resultado será o seguinte, onde a trilha azul simboliza onde a placa será fresada. Novamente é importante dar zoom e procurar qualquer erro ou trilha comida que resultará na placa tendo mal contato.

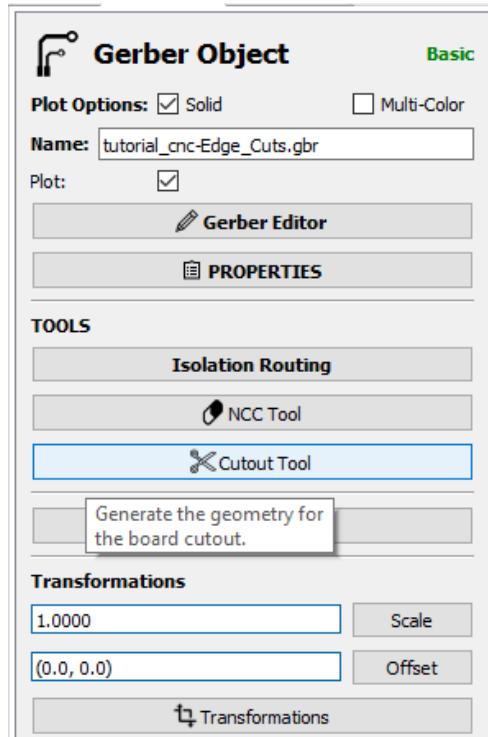


Depois, salve o código de CNC.

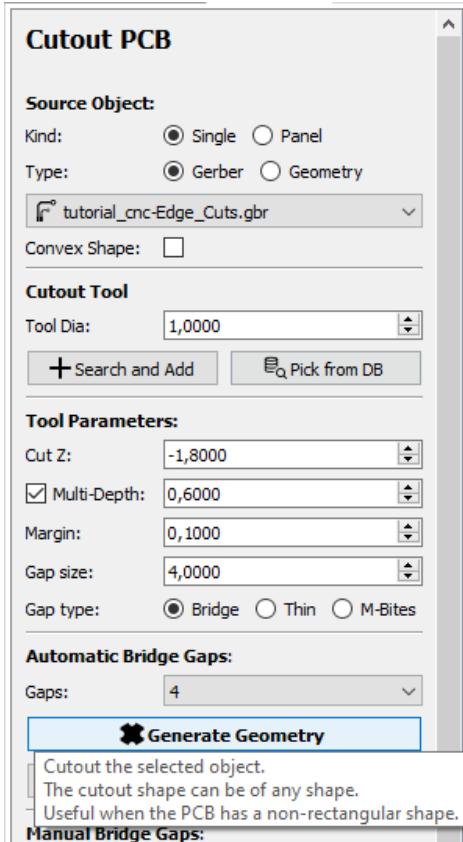


- **Cutout:**

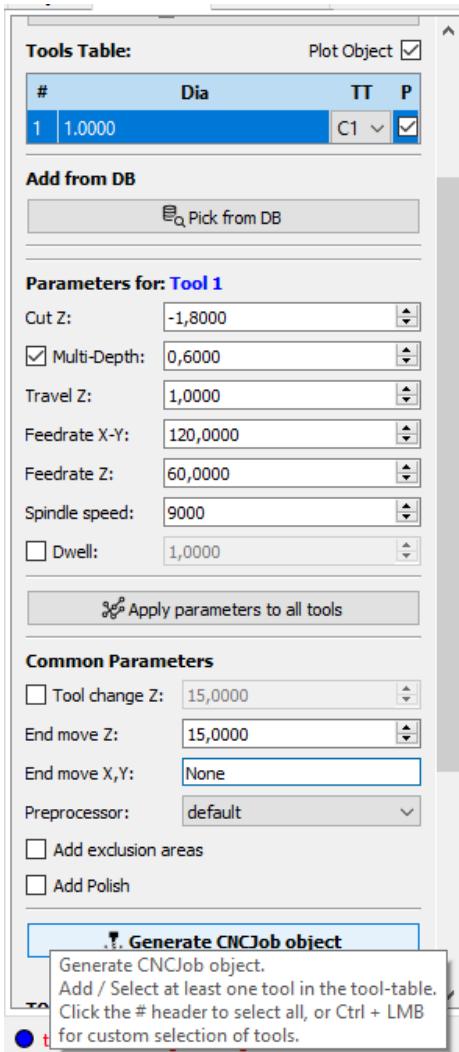
Agora vamos gerar o código G do recorte da placa. Para isso clique duas vezes em nome-Edge\_Cuts.gbr e dessa vez em Cutout Tool.



Dessa vez, vamos gerar a geometria do recorte da placa logo, nosso Cut-Z será um pouco maior que a altura total da placa de fenolite ou fibra de vidro (cerca de 1.8 mm). Além disso, tool dia é o diâmetro da fresa utilizada para fazer o recorte.

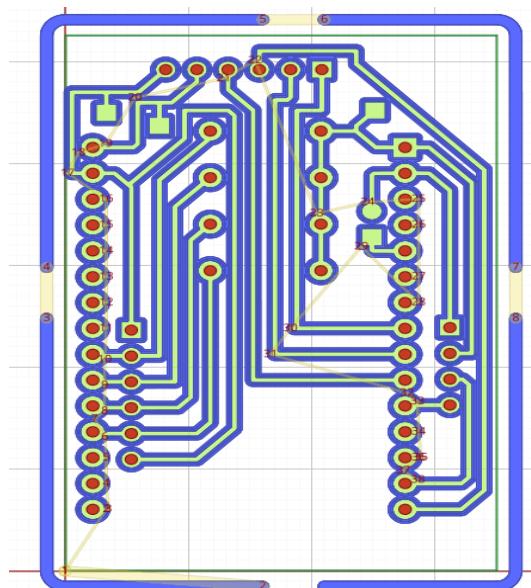


Temos duas opções para gerar a geometria do recorte. A primeira gera uma geometria com o mesmo formato do Edge Cuts desenhado na placa, útil quando a placa não é retangular. A segunda gera um recorte retangular em que a placa cabe. Depois de gerar a geometria volte a aba Project e clique duas vezes em nome-Edge\_Cuts.gbr\_cutout e gere o CNCJob.



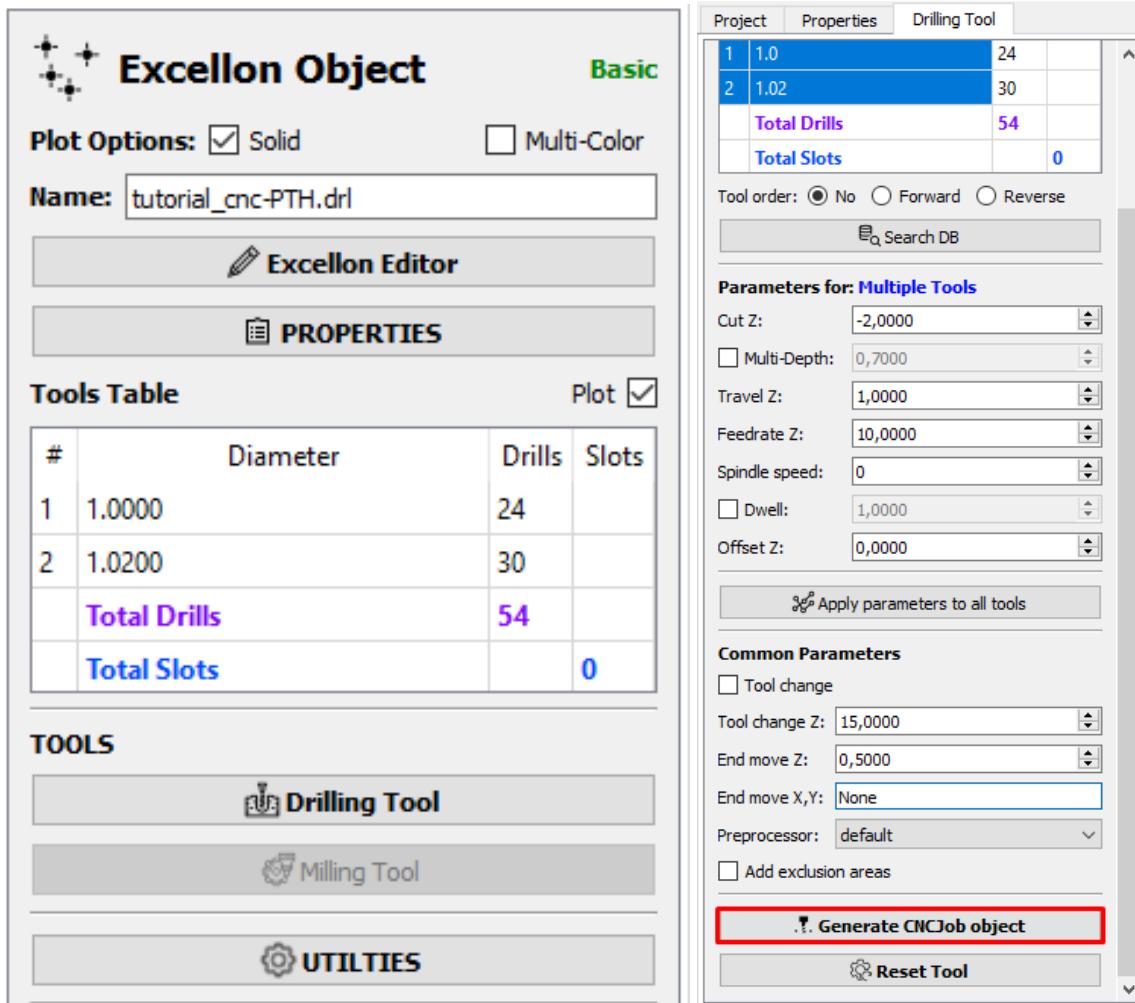
O resultado será o seguinte:

Salve o código CNC.



- **Furos:**

Por último geramos o código G dos furos da placa. Para isso, em Project, clique duas vezes em nome-PTH.drl para abrir a seguinte tela. Abra drilling tool e depois gere o CNCJob



E salve o código CNC.

Com isso temos todos os códigos G necessário e vamos utilizar a máquina CNC.

## Conhecendo a máquina CNC e avisos importantes.

Algumas etapas são necessárias para fabricar qualquer coisa em CNC. É preciso escolher uma origem onde o trabalho será feito, zerar o eixo Z, gerar um mapa de altura da placa e depois rodar os códigos G para que os cortes ocorram. O software Candle 1.2b <<https://github.com/Denvi/Candle>> será utilizado para controlar a máquina e completar os passos citados acima. É importante entender que o software deve estar configurado para a máquina que será utilizada, apesar de que, normalmente máquinas compradas já vem com a configuração certa embarcada na placa.



Para gerar o mapa de altura e o zero do eixo Z é necessário um probe para que a máquina reconheça a altura certa.



**AVISO IMPORTANTE! – SEMPRE QUE FOR EFETUAR ESSAS AÇÕES  
VERIFIQUE QUE O PROBE ESTÁ CONECTADO AO EIXO DA FRESA E À  
PLACA. CASO NÃO ESTEJA A SUA FRESADORA SERÁ DANIFICADA**

**AVISO IMPORTANTE! – SEMPRE QUE FOR ESCOLHER UMA ORIGEM PARA O  
TRABALHO CNC CERTIFIQUE-SE QUE A MÁQUINA POSSUI ÁREA DE  
TRABALHO SUFICIENTE. CASO O CONTRÁRIO A BASE DA MÁQUINA SERÁ  
FORÇADA CONTRA A PAREDE DA MESMA E OS MOTORES E A ESTRUTURA  
SERÃO DANIFICADAS.**

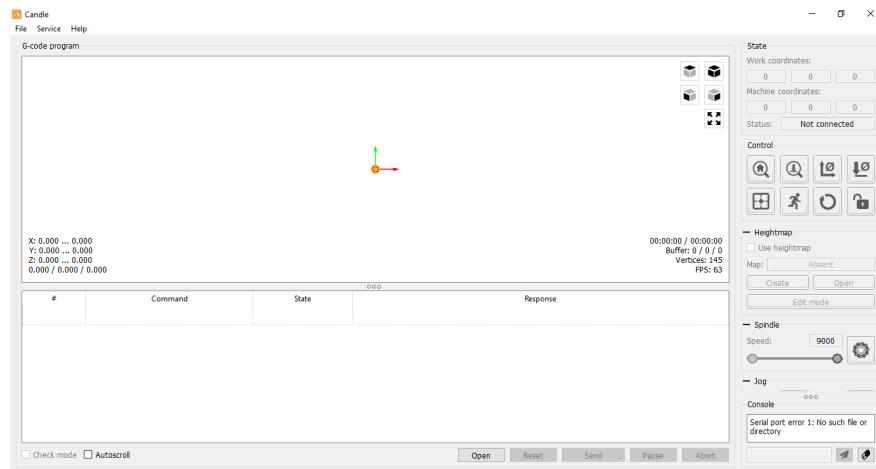
O primeiro passo é ligar a máquina na energia e conectá-la ao computador.



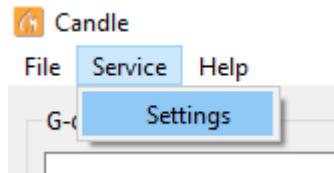
## Utilizando o Candle.

- **Conhecendo o programa:**

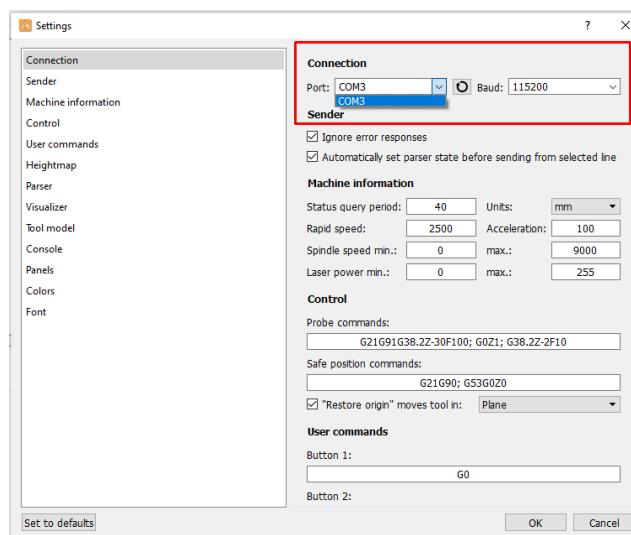
Ao abrir o programa sua tela deve se parecer com a imagem a seguir, onde o primeiro passo é escolher a porta COM da máquina CNC.



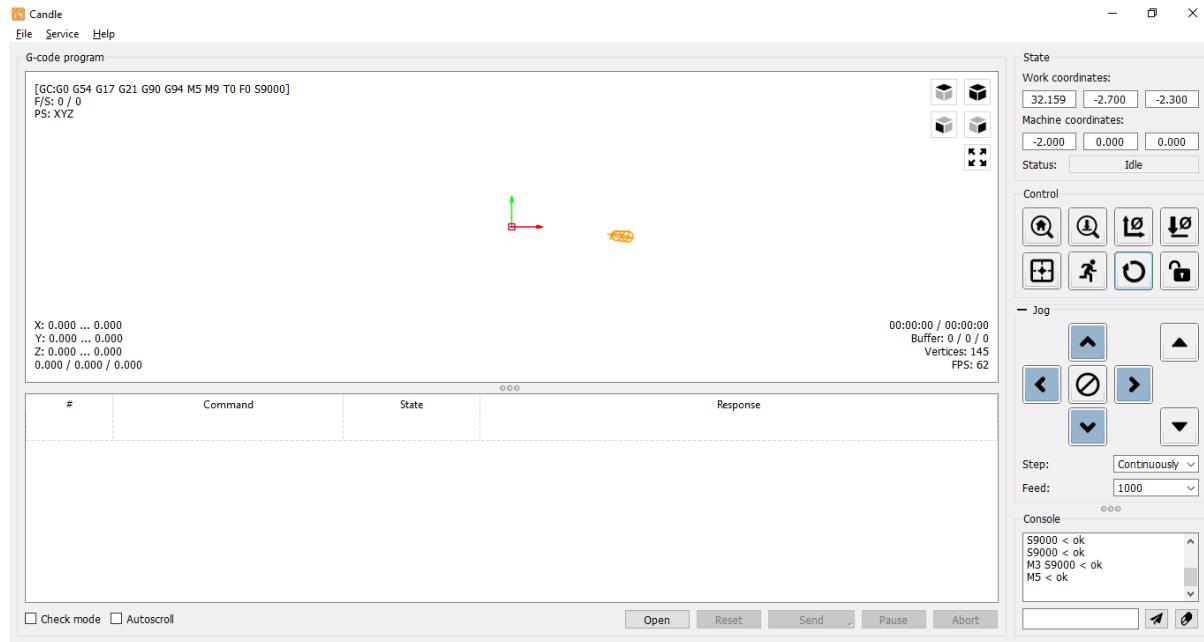
Para isso vá em Service>Settings



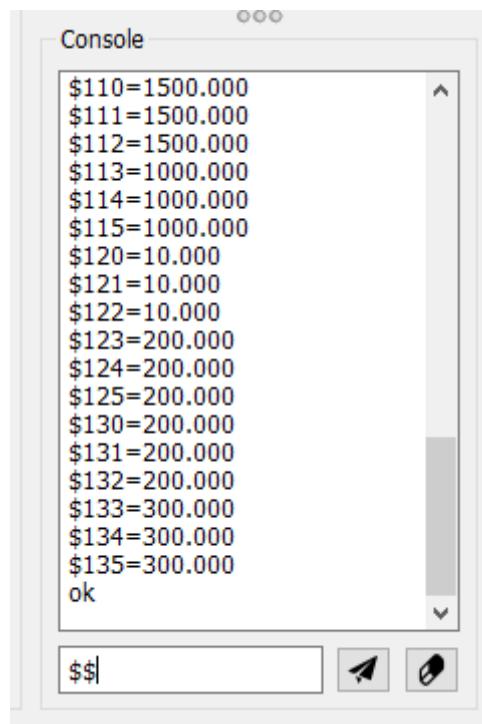
Na janela de configurações temos diversas opções que podem ser ajustadas para sua máquina. Em Connection, selecione a porta na qual a CNC está conectada.



Com isso, podemos enviar comandos para a máquina como mover seus eixos e ligar e desligar o motor da broca. Nesse ponto, é importante notar se os eixos da máquina se movem na mesma direção no programa e na bancada. Caso as direções estejam trocadas é preciso mudar algumas configurações em sua CNC.



Os parâmetros da máquina podem ser acessados com o comando \$\$ no console.



Cada número possui um significado que pode ser checado em <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration>. Problemas comuns que podem ser resolvidos são inverter a direção dos motores com \$3 e inverter a lógica

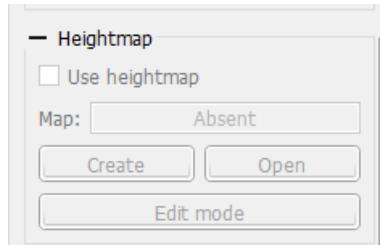
do probe com \$6. Caso todas as configurações estejam corretas podemos seguir em frente.

Para fabricar a sua placa utilizaremos os seguintes comandos do candle: Z-probe, Zero XY e Zero Z:

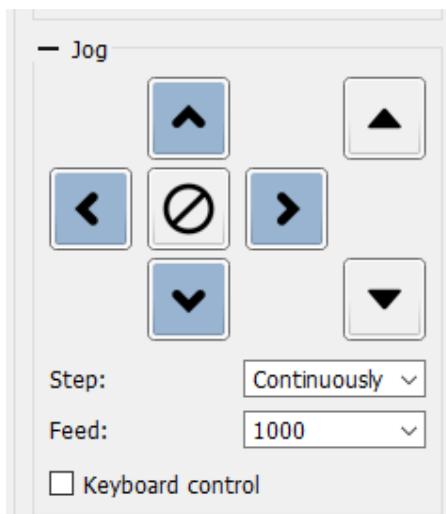


Os comandos são autoexplicativos. Probe-Z é utilizado para detectar o ponto Z onde existe contato com a placa, Zero XY e Zero Z são utilizados para zerar os respectivos eixos.

Utilizaremos também o comando heightmap para criar um mapa de altura da placa e permitir que a fresa mantenha altura constante mesmo com imperfeições ou partes empenadas da placa. Essa função será explicada em mais detalhes à frente.



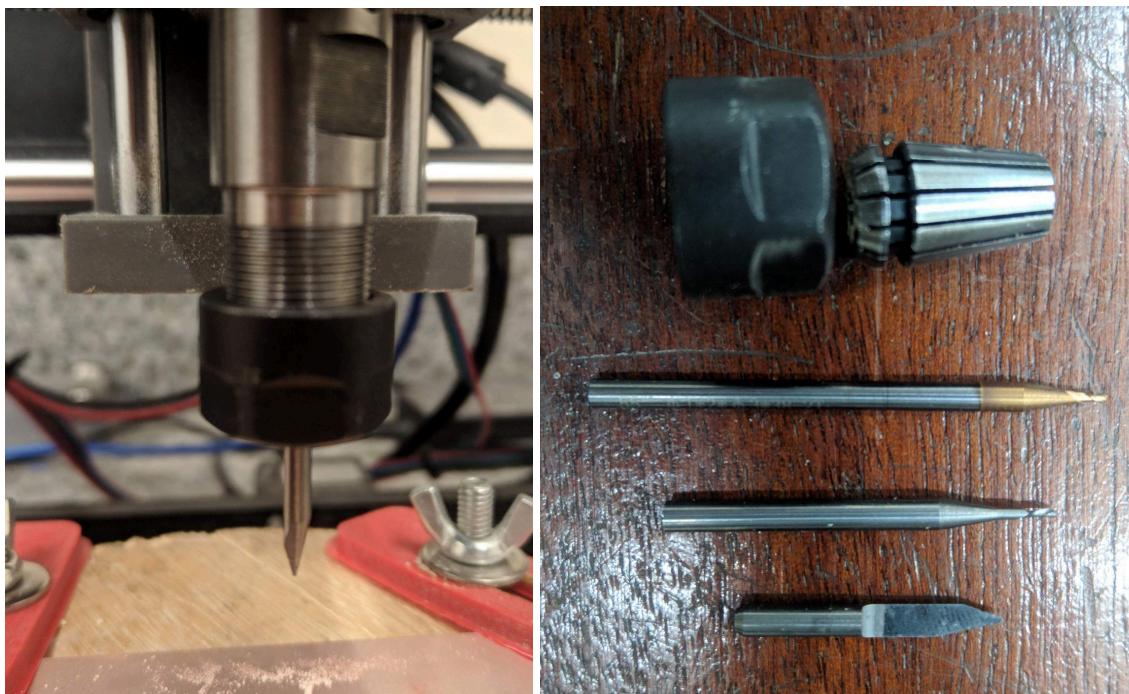
Por último, a função Jog será utilizada para mover a máquina para a posição onde desejarmos que a placa seja fabricada e ajustar a altura da broca quando necessário (troca de ferramenta).



- **Conhecendo brocas e fresas**

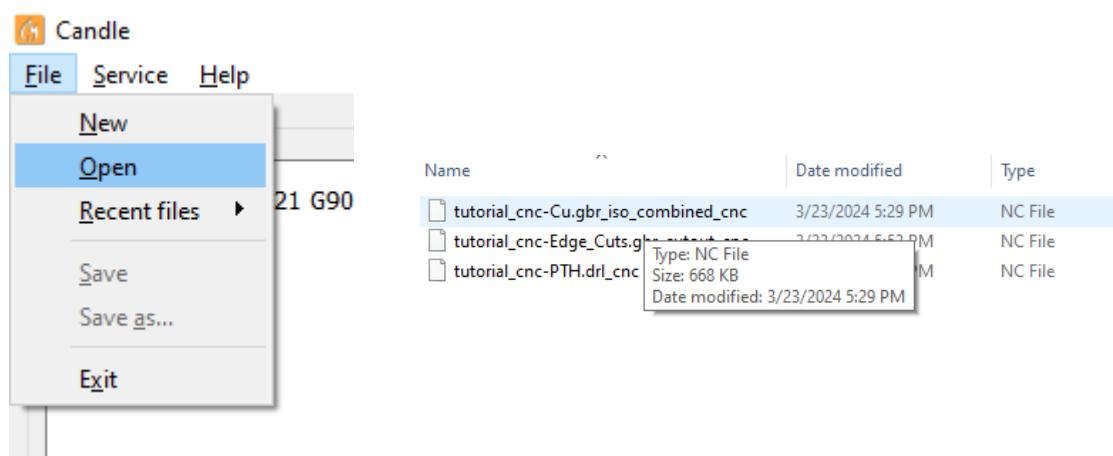
Utilizaremos dois tipos diferentes de fresas para completar o trabalho. A fresa tipo V é utilizada para traçar as trilhas da placa enquanto a fresa esférica será utilizada para fazer os furos e recortar a placa. As fresas são presas à CNC utilizando a pinça.

Primeiro, instale a fresa tipo V e verifique que a mesma está alinhada.  
(Quanto menor a ponta e o angulo da fresa maior a precisão)

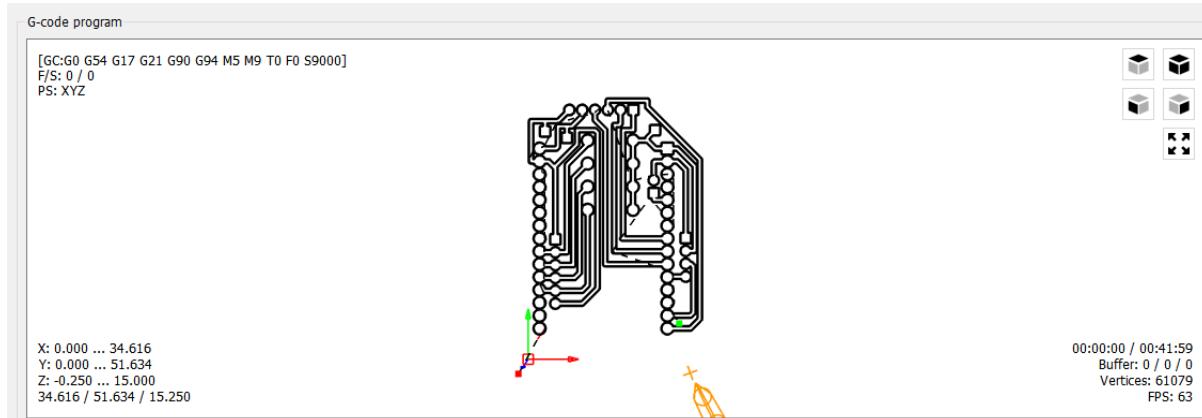


- **Abrindo código G, posicionando área de trabalho e probando**

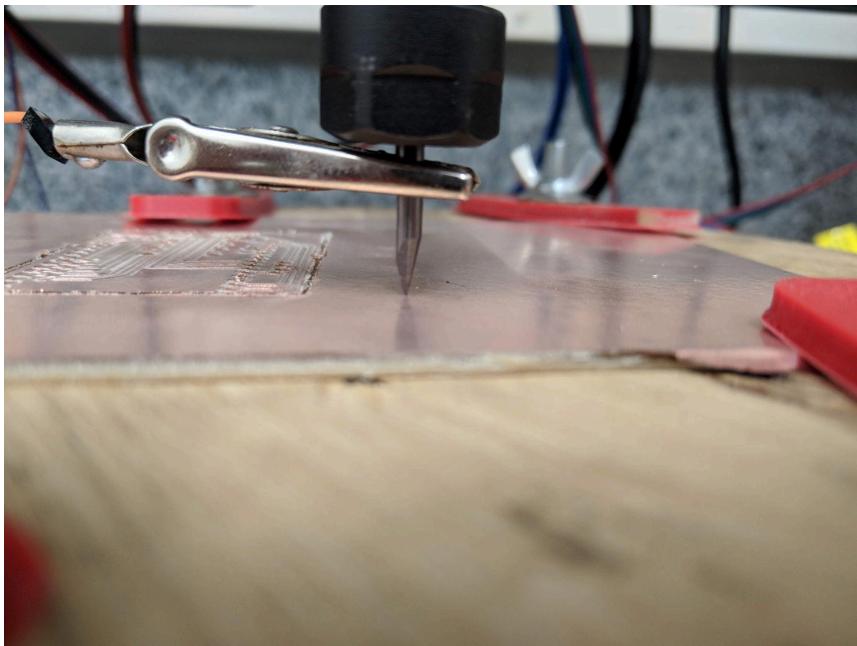
Vamos começar fabricando as trilhas da placa. Para isso vá em File>Open e selecione o arquivo. Esse mesmo passo será repetido para abrir o arquivo do corte das bordas e dos furos.



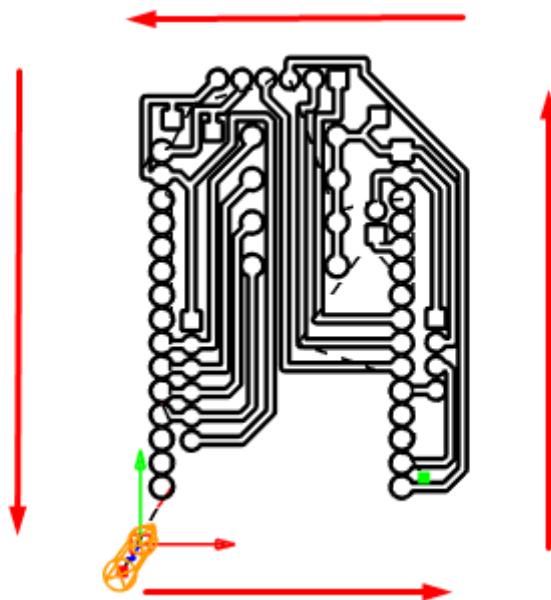
Seu programa deve parecer assim:



Agora na bancada vamos escolher onde será recortada a placa. Para isso move a fresa para o ponto de início desejado, utilizando a função Jog, e depois aproxime a fresa da placa movimentando o eixo Z. Com isso zere o eixo XY. sua nova origem é o local definido e todos os movimentos no Candle devem ser iguais aos na máquina.



Verifique que existe espaço o suficiente para a placa. Para isso, com a função movimento a fresa fazendo o contorno da placa no Candle e certifique-se que ela não esbarre em nada ou que a placa de cobre acabe.

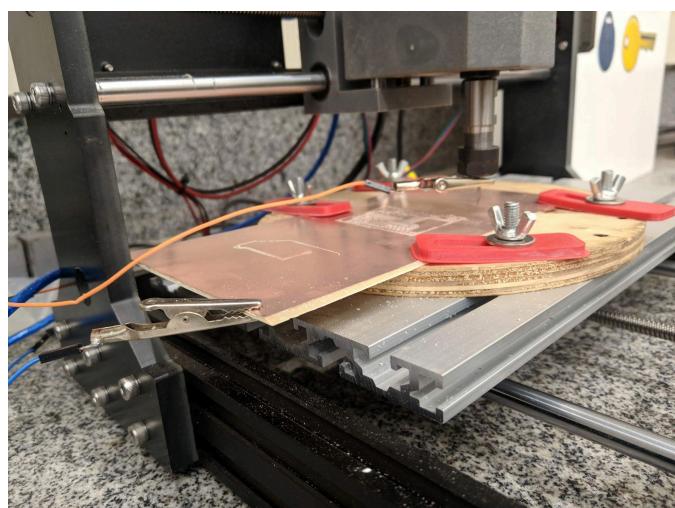


**Leia com atenção antes de seguir os passos para não danificar a máquina ou as fresas.**

Em seguida vamos zerar o eixo Z. Para isso verifique se seus probes funcionam corretamente. Basta encostar os probes e no Candle aparecerá um P indicando que eles estão em contato. Caso não apareça, seus probes estão instalados ou configurados incorretamente.

```
[GC:G0 G54 G17 G21 G90 G94 M5 M9 T0 F0 S9000]  
F/S: 0 / 0  
PS: PXYZ
```

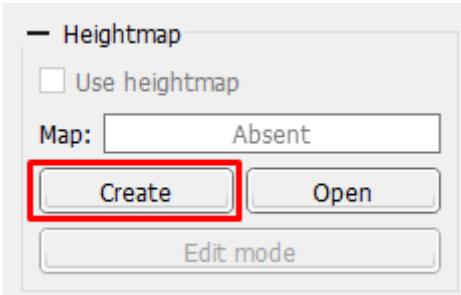
Com os probes funcionando, conecte um à fresa e um à placa de cobre.



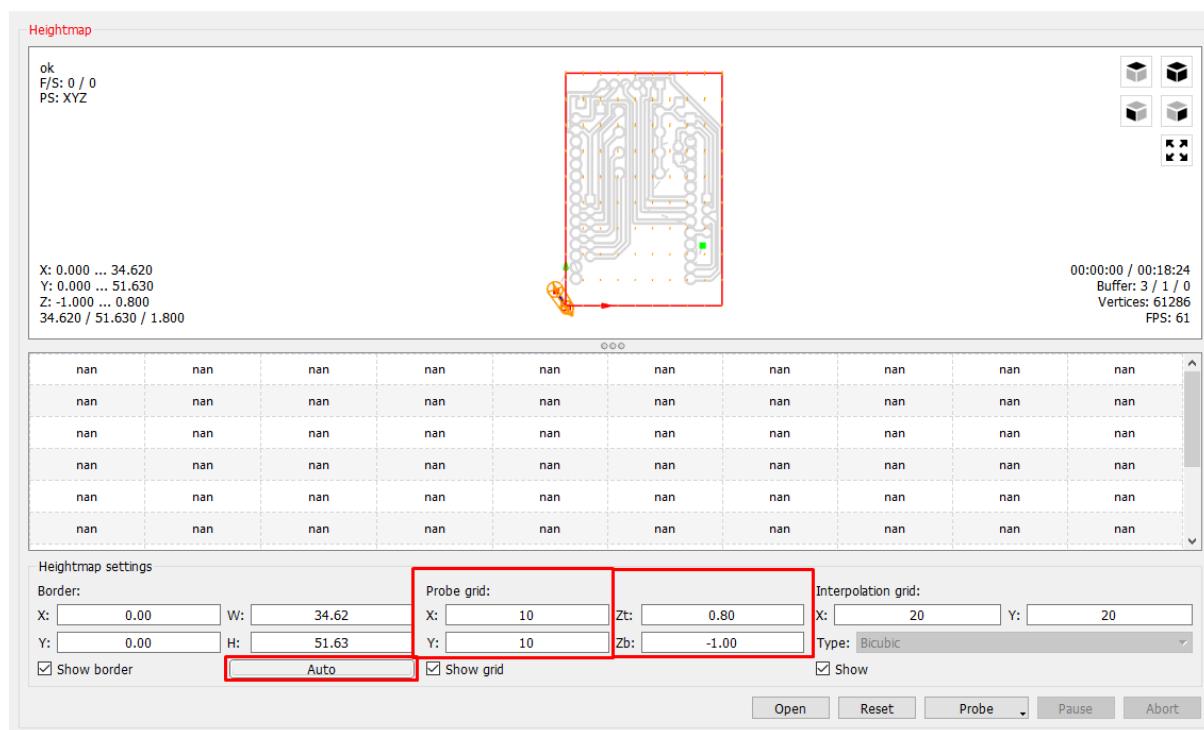
Selecione a função Probe-Z. A fresa descerá até que encoste na placa e então selecione Zero Z para setar o zero do eixo Z.

- **Heightmap e iniciando fabricação.**

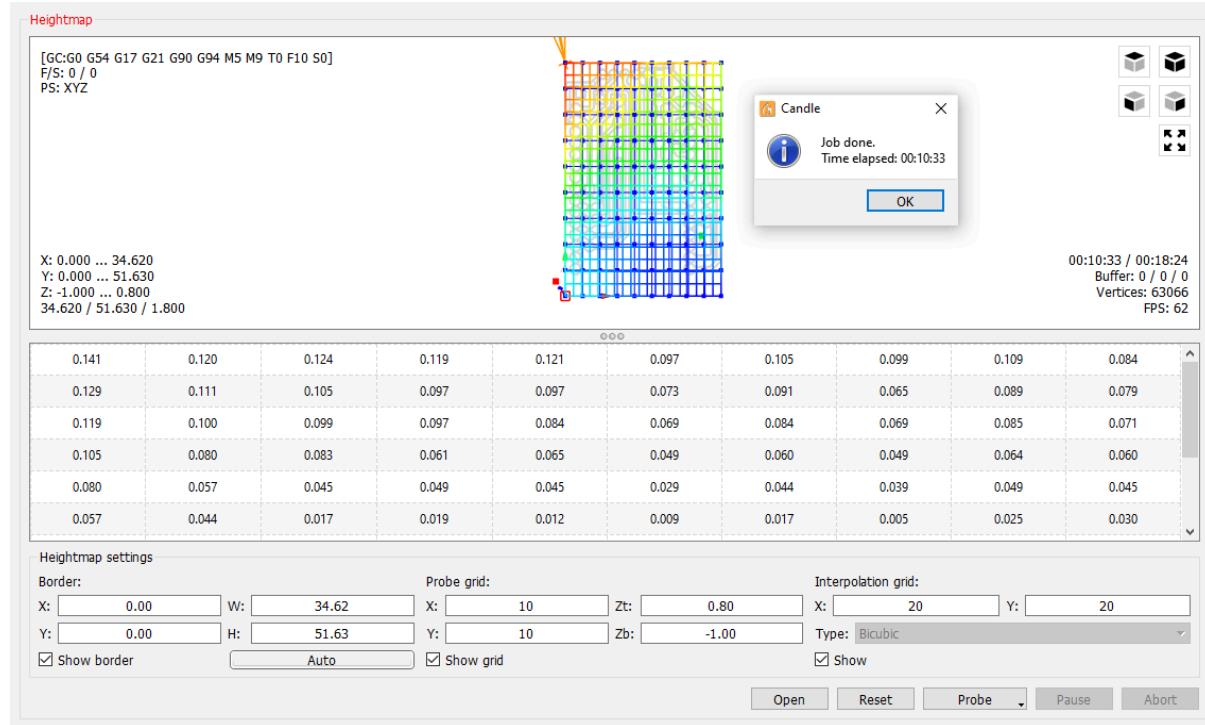
Agora vamos utilizar a função heightmap para certificar que a placa será fresada uniformemente. Para isso, em heightmap selecione Create.



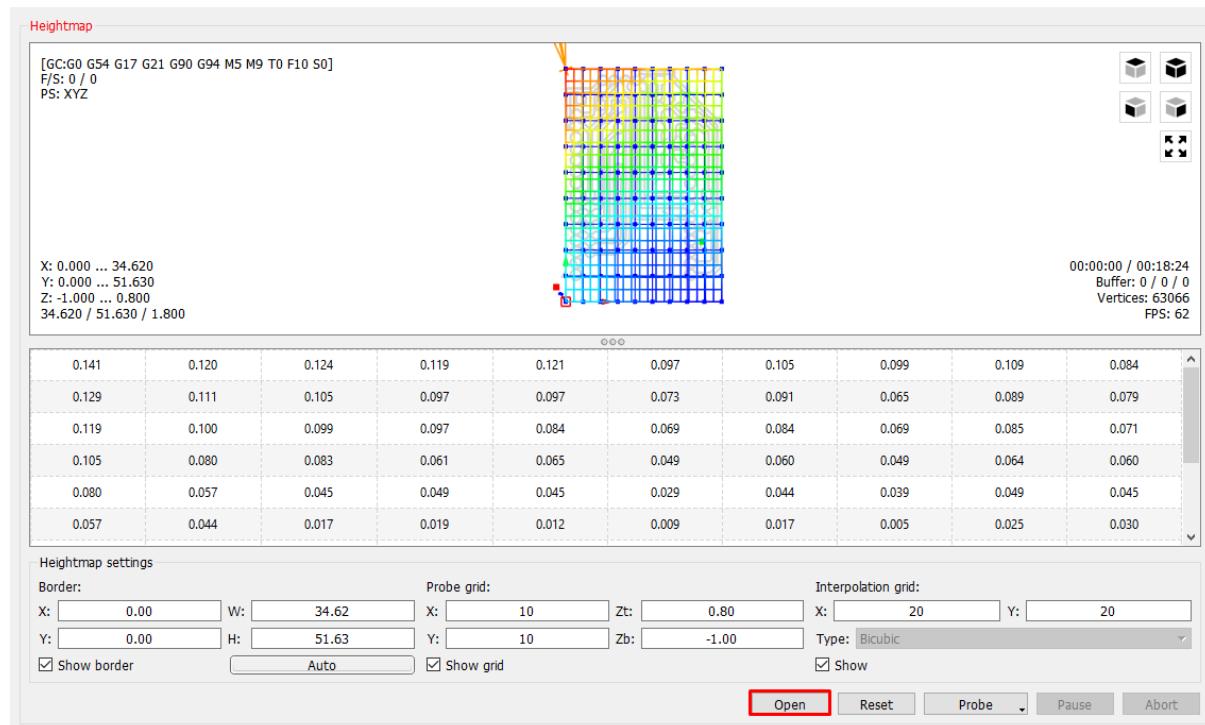
Na janela do heightmap conseguimos alterar alguns parâmetros do nosso mapa de altura. Primeiro, selecione Auto para determinar a área a ser mapeada. Em Probe Grid selecione o número de pontos a serem, quanto maior a placa mais pontos são recomendados e mais tempo demora para que o mapa seja gerado. Zt determina a altura em mm em que a fresa viaja de um ponto ao outro, quanto menor esse valor mais rápido o mapa é gerado porém não é recomendado valores muito baixos e caso a superfície seja muito irregular valores maiores são recomendados. Zb indica o valor mínimo a ser medido, se caso a máquina medir um valor menor do que esse ela entra em modo de alarme e o processo para.



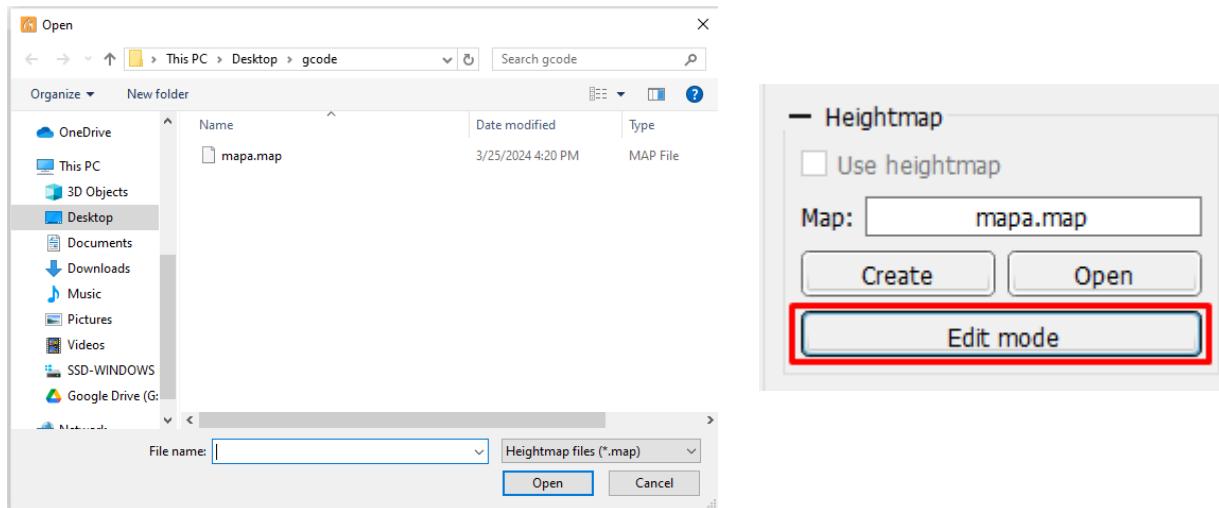
Assim podemos clicar em Probe para iniciar o processo. No final, temos nosso mapa de altura completo.



Em seguida, clique em Open para salvar seu mapa de altura (é confuso mesmo) e clique em Sim



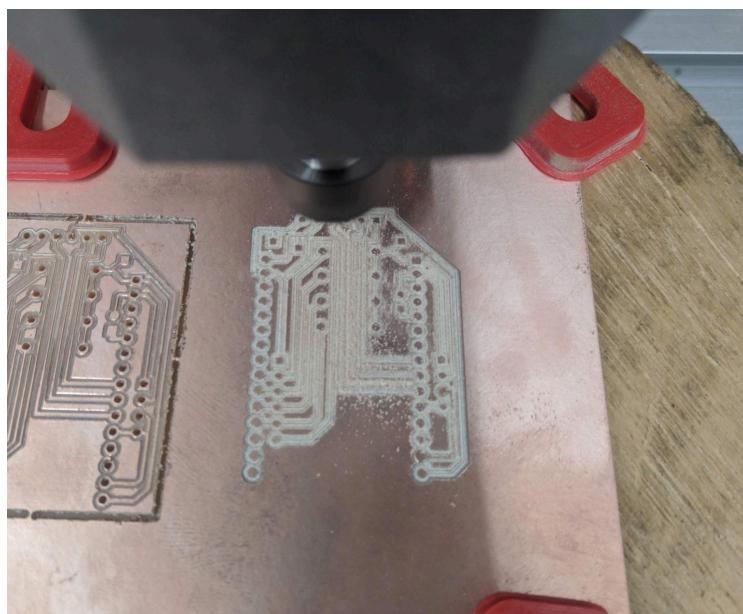
Selecione um nome e salve-o, em seguida abra o arquivo. Seu Candle deve parecer assim.



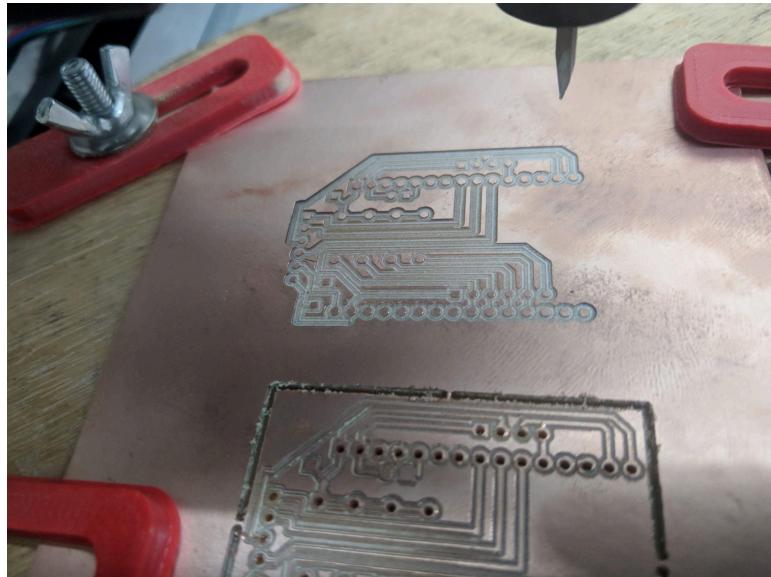
Em heightmap clique em Edit mode para sair do modo de edição e assinale Use heightmap. Você está pronto para fresar suas trilhas! **Retire o probe da fresa** e clique em Send para começar o processo.

Importante notar que com o mapa de alturas e o Zero XY fixado, caso algo dê errado (a fresa não corte a placa o suficiente) basta modificar os parâmetros e gerar outro código G no FlatCam e repetir o processo.

Vamos utilizar o mesmo mapa de alturas sempre daqui em diante.



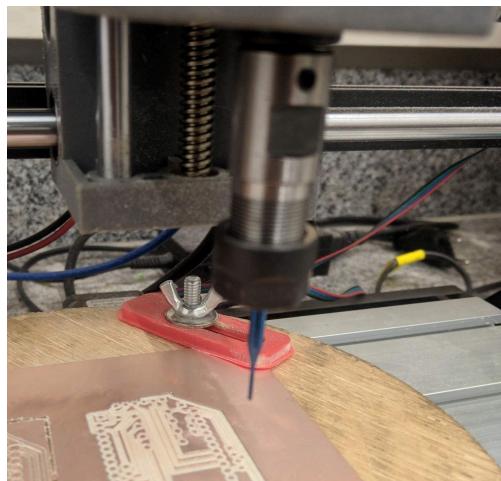
Quando o processo finalizar suas trilhas estarão prontas. O processo de fresa demora um pouco, porém recomendo ficar de olho durante a primeira vez para caso algo dê errado você possa desligar a máquina.



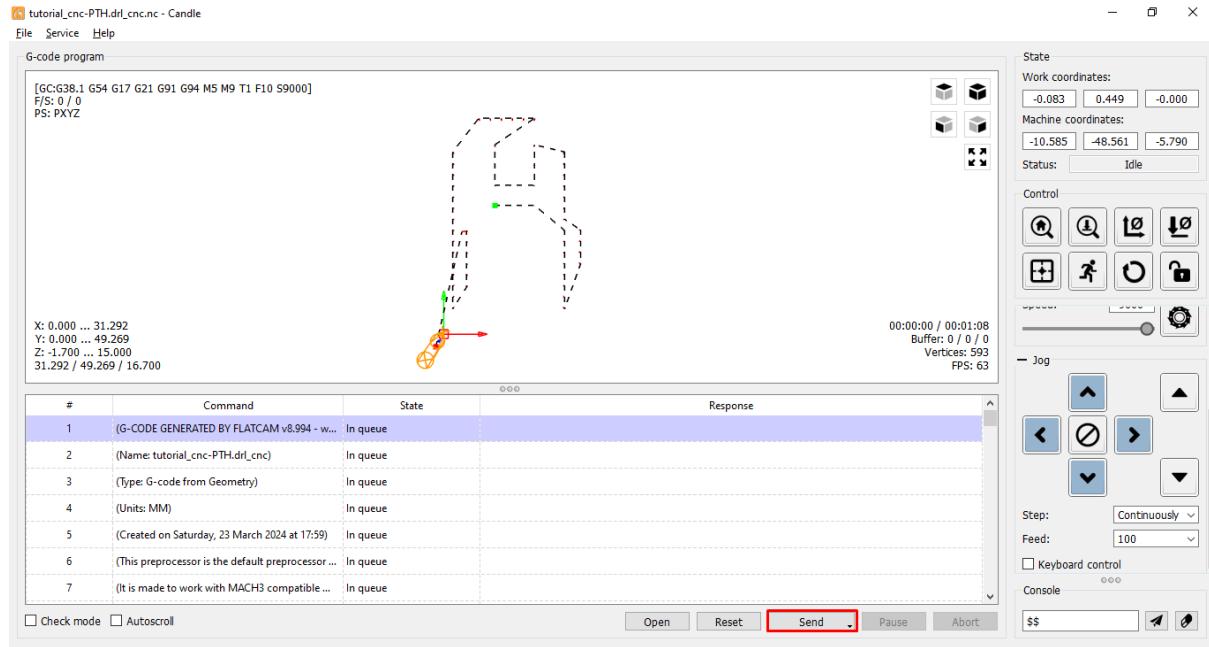
- **Furos e Edge Cut**

Primeiramente, vamos alterar a ferramenta de corte para a fresa circular de 1 mm (tamanho ideal para furos), em seguida vamos abrir o arquivo nome-PTH.drl\_cnc.nc (código G dos furos).

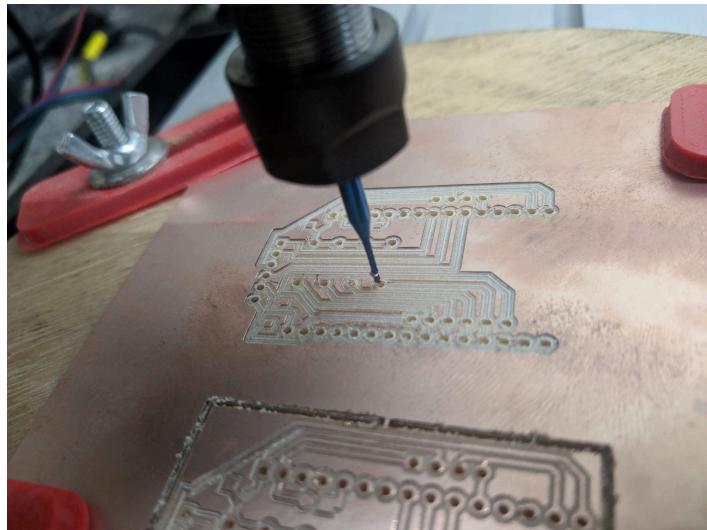
Para trocar a ferramenta levante o eixo Z e efetue a troca. Em seguida, conecte o probe a fresa novamente e efetue o probe e zero do eixo Z na origem do seu trabalho (Não mude a origem XY ou seu trabalho não vai funcionar). Esse passo é importante pois após trocar ferramentas a altura do eixo Z muda.



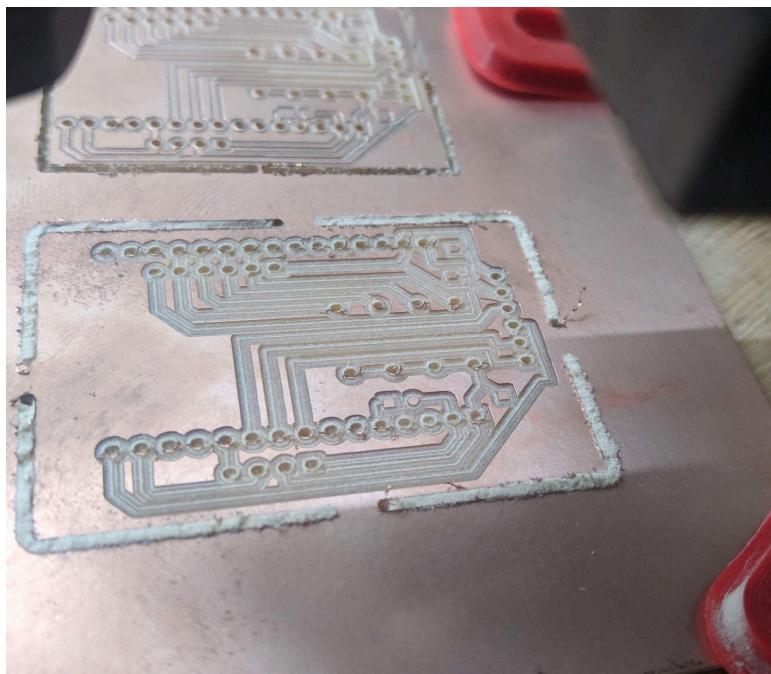
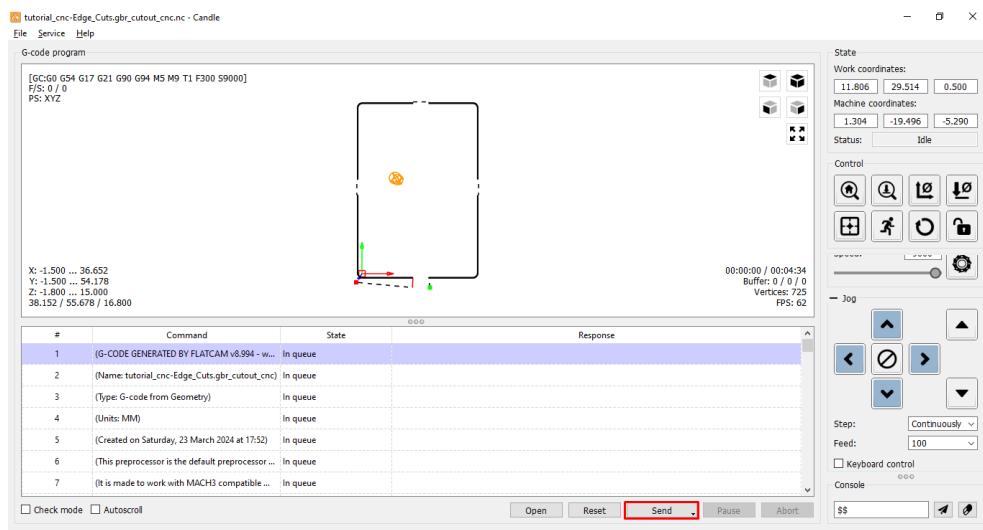
**Retire o probe da fresa!!!** e no candle envie o código G dos furos. É importante efetuar o trabalho nessa ordem (Trilhas > Furos > Recorte da borda) para evitar que a placa se solte caso o recorte das bordas seja feito antes.



Dessa forma, podemos novamente clicar em Send para que os furos sejam feitos.



Por último, abra o código G do edge\_cuts e envie para que a borda seja recortada.

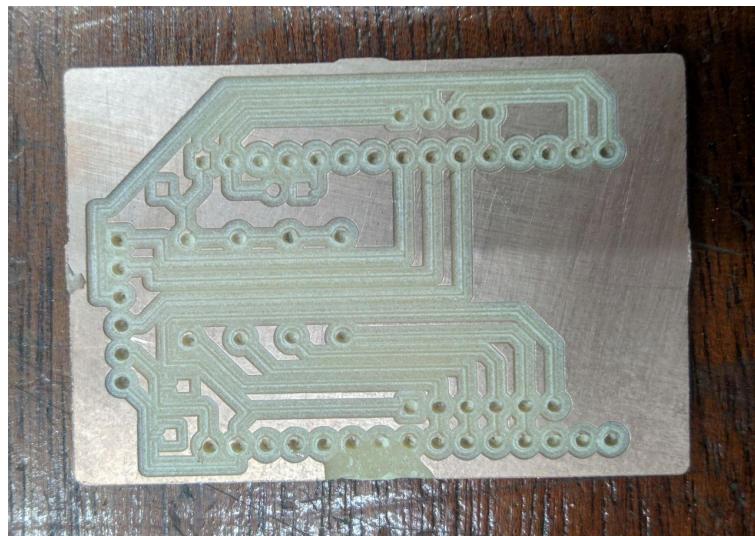


Com isso sua placa estará pronta! Vale lembrar que o processo requer ajustes e algumas tentativas são necessárias até que se encontre os parâmetros ideais para sua máquina e fresa.

## Removendo a placa e preparando para solda.

O último passo desse longo processo é remover sua placa cortando as abas que unem ela à placa de fenolite e passar um bombril para evitar qualquer pedaço de cobre preso que possa causar curto circuito.

Com um multímetro verifique a continuidade nas trilhas para encontrar algum curto circuito ou mal contato.



Com isso basta soldar os componentes na sua placa de circuito e estanha-la para evitar corrosão e seu projeto está finalizado.

## Conclusões, problemas comuns e soluções.

Para a fabricação dessa placa ocorreram problemas em algumas trilhas por conta da escolha da broca tipo V. Para resolve-los é necessário diminuir a altura de corte (Foi utilizado 0.25 mm, talvez 0.2 mm seria o ideal), porém isso depende do ângulo da fresa V. Para o melhor resultado (maior resolução das trilhas) é recomendável utilizar o menor número possível para Cut-Z que resulte no isolamento correto das trilhas.

- **Erros comuns e possíveis soluções**

Problema	Solução
Trilhas muito finas ou comidas	Reducir Cut-Z ou escolher broca com ângulo menor
Furos da PCB estragando as ilhas	Aumentar as ilhas no design da placa. Utilizar uma broca ao invés de fresa para fazer os furos.
Recorte da borda ou furos incompletos (não atravessaram a placa)	Aumentar o Cut-Z da borda e furos
Placa com corte irregular	Aumentar resolução do mapa de alturas
Fresa não cortando a placa	Aumentar Cut-Z

## Considerações finais.

Fabricação de placas de circuito por CNC é um processo muito interessante que pode oferecer ótima precisão, trilhas muito finas e requer pouca mão de obra. O processo pode parecer difícil inicialmente devido a configuração de diversos programas, porém depois de tudo isso organizado fabricar uma placa de circuito do zero é um processo rápido e na maior parte do tempo a máquina CNC trabalhará sozinha. Como podemos notar com o resultado final alguns parâmetros precisam ser ajudados pois a placa resultante possuía trilhas muito finas que geraram mal contato, mas com um pouco de experimentação qualquer um pode se tornar mestre no assunto e ter ótimos resultados. Caso qualquer dúvida permaneça, sinta-se livre para mandar um email e te ajudarei. Boa sorte!

**SEMPRE LEMBRE DE NÃO INICIAR A MÁQUINA COM O PROBE CONECTADO À FRESA E NÃO ESTOURE OS LIMITES DO ESPAÇO DE TRABALHO DA MÁQUINA!**