



**ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL  
DEP. ARY DE CAMARGO PEDROSO  
TÉCNICO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**Gabriel Martins Pinto**

**MINI LASER CNC**

**Relatório Técnico**

**Piracicaba**

**2024**

## **MINI LASER CNC**

Trabalho de Conclusão de Curso da Etec Deputado Ary de Camargo Pedroso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Automação industrial.

Orientador: Claudio  
Volcov  
Coorientador: Luis  
Eduardo Stabelin

**Piracicaba  
2024**

## **DEDICO ESTE TRABALHO**

*A minha família, que sempre me apoiou e incentivou nos momentos mais difíceis e felizes da minha vida, dedico este trabalho como uma forma de agradecimento e reconhecimento pelo seu amor incondicional. Vocês são a minha inspiração e a minha motivação para seguir em frente e buscar meus sonhos. Obrigado por tudo!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Fabio e Raquel pelo carinho e suporte ao longo da vida,

Aos meus irmãos, Felipe e Talita pela companhia ao decorrer da vida,

A minha família pelo amor incondicional por mim,

Aos meus orientadores Prof. Luis Eduardo Stabelin e o Prof. Claudio Volcov por me orientar na elaboração deste projeto,

Ao Prof. Francisco Esteves que sempre acreditou no meu potencial,

A todos os meus professores que me inspiraram através do ensino,

A equipe de manutenção industrial da Dedini Indústrias de Base, por me mostrar o maravilhoso mundo da manutenção,

E aos meus mentores: Fabio Belardi, João Reame, Paulo Cezar, Rafael Cruz e Antônio Marcos pela paciência, convivência e pelo conhecimento que me passaram.

“Don’t try”.

CHARLES BUKOWSKI

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>JUSTIFICATIVA . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DO CNC: . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Linguagem G e M: . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Execução do processo e controle CNC .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Principais Tipos De Controle do CNC.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>ÓPTICA .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>A Luz .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Newton e a luz:.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>Huygens e a luz: .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b>Dualidade Onda-Partícula .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>DO LASER .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>DADOS DO PROJETO.....</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Peças .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Motor de passo .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Correia dentada .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Acoplamento do eixo do motor .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Perfilados.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1.5</b>	<b>Suporte do motor de passo .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1.6</b>	<b>Guias e roldanas.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1.7</b>	<b>Módulo laser .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1.8</b>	<b>Suporte do módulo laser.....</b>	<b>33</b>

6.1.9	Software e licença .....	35
7	<b>ORÇAMENTO</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## 1 JUSTIFICATIVA

A implementação do Controle Numérico Computadorizado (CNC) na indústria é justificada pela precisão e repetibilidade que a tecnologia proporciona. Os computadores controlam as máquinas de forma extremamente precisa, garantindo resultados consistentes. Além disso, a automação do CNC aumenta a eficiência da produção, permitindo operações contínuas sem interrupções, o que reduz os prazos de entrega.

A versatilidade das máquinas CNC é outra razão para sua adoção generalizada. Elas podem ser reprogramadas para produzir uma variedade de peças, adaptando-se facilmente às mudanças na demanda. A capacidade de produzir peças complexas impulsiona a inovação no design de produtos.

A integração do CNC com softwares CAD/CAM simplifica a programação, permitindo a tradução fácil de modelos digitais em instruções de máquina. Além disso, a automação contribui para a redução do desperdício de material, resultando em práticas mais sustentáveis e econômicas.

A segurança do operador é aprimorada com a automação do CNC, pois os operadores podem realizar tarefas de supervisão em vez de execução manual, reduzindo os riscos de acidentes. Empresas que adotam o CNC ganham competitividade global devido à sua capacidade de produzir eficientemente produtos de alta qualidade. Resumindo, o CNC oferece benefícios econômicos e operacionais substanciais para a indústria moderna.

## 2 INTRODUÇÃO

O laser CNC, abreviação para controle numérico computadorizado, é uma tecnologia revolucionária que utiliza feixes de laser para realizar operações de corte, gravação e marcação em diversos tipos de materiais. Esse sistema combina precisão da automação controlada por computador com potência e versatilidade do laser, proporcionando uma eficaz e ampla gama de aplicações na indústria. Desde a fabricação de peças complicadas até a personalização de produtos, o laser CNC desempenha um papel crucial no cenário da fabricação moderna, oferecendo soluções eficientes para uma variedade de setores. Nesse contexto, exploraremos as características, aplicações e impactos dessa tecnologia inovadora.

O laser CNC opera com base em princípios fundamentais da óptica e controle computadorizado, proporcionando um método altamente controlado e eficiente para manipular materiais. Este sistema consiste em um laser, que emite feixes de luz altamente concentrados, e um sistema CNC que direciona esses feixes com precisão sobre a superfície do material a ser trabalhado.

A principal vantagem do laser CNC é sua capacidade de realizar cortes e gravações extremamente precisos, independentemente da complexidade do design, tornando-o uma ferramenta extremamente versátil.

As aplicações do laser CNC são vastas, abrangendo desde a indústria de joias, onde é utilizado para cortar peças complexas, até a marcação de códigos em componentes industriais. Além disso, a tecnologia tem se destacado na fabricação de protótipos e na produção em larga escala, onde a automação e a precisão são essenciais.

No entanto, é importante considerar as limitações, como a escolha adequada dos parâmetros do laser para cada material e a necessidade de medidas de segurança devido à intensidade do feixe do laser. A constante evolução dessa tecnologia promete continuar moldando e otimizando os processos de fabricação.

Ao longo dessa exploração, vou desvendar as complexidades que fundamentam o laser CNC, desde os princípios ópticos que o impulsionam até suas aplicações multifacetadas em setores em setores tão diversos que vão desde a joalheria de precisão, a indústria automotiva e a produção de

dispositivos eletrônicos. Além disso, abordarei as considerações práticas, como a segurança no manuseio e as contínuas inovações que moldam o futuro dessa tecnologia, que promete redefinir os padrões de excelência na fabricação moderna.

### 3 DO CNC

CNC é um sistema de controle de máquinas através da interpretação direta de instruções codificadas na forma de coordenadas, compostas de letras e números (linguagem G e M), instruções que serão dadas a um computador e com base nessa programação e informações ele fará o controle do processo de confecção da peça. Além de agilizar a produção de peças, as máquinas CNC por serem quase que exclusivamente um sistema de malha fechada aumentam a qualidade e diminuem erros operacionais já que quase não necessitam de intervenção humana.

A história do CNC remonta ao final da década de 1940 e início da década de 1950. Começou em 1949 com a necessidade de aumentar a eficiência na produção de peças para a indústria aeroespacial e militar durante a Segunda Guerra Mundial principalmente na produção de peças complexas como pás de hélice de helicópteros. O engenheiro John Parsons é frequentemente creditado como um dos pioneiros na automação de máquinas-ferramenta bem como Frank L. Stulen, juntamente com a parceria do laboratório de servomecanismos do MIT (Massachusetts Institute of Technology), e a empresa de computadores IBM, desenvolveram o que seria o antecessor de CNC, o então chamado CN (comando numérico).

O CN tem a mesma em essência do que chamamos de CNC contudo os computadores da época ainda eram considerados máquinas de calcular, mas nesse período já tínhamos o conceito de linguagem de computação, instruções e tarefas realizadas através de códigos, com essa base os engenheiros da época foram capazes de criar o protótipo do CNC: uma fresadora vertical controlada por cartões perfurados. Embora rudimentar, esse embrião tecnológico carregava a semente de uma revolução. Ele provou que o controle automatizado de máquinas/ferramenta era possível, abrindo caminho para uma usinagem mais precisa e consistente.

Os anos 1950 testemunharam uma explosão de criatividade no universo do CNC. O controle ponto a ponto (PTP) e a geração contínua de contornos surgiram, permitindo a usinagem de formas complexas com precisão milimétrica.

Na década seguinte, os primeiros computadores dedicados ao controle de máquinas despontaram, marcando o nascimento do CNC computadorizado. A introdução dos primeiros computadores digitais e o desenvolvimento de linguagens de programação específicas para CNC, como o APT (Automatically Programmed Tool), contribuíram para a expansão dessa tecnologia.

### 3.1 Linguagem G e M:

O código G e M é uma linguagem de programação usada na usinagem CNC. Ela orienta o processo de usinagem e cada um dos códigos serve funções para funções distintas, porém complementares. A seguir vou explicar como funciona os dois códigos e como eles em conjunto executam o processo de fabricação das peças.

**Código G (códigos geométricos):** Como o próprio nome sugere, esses códigos lidam com a geometria do objeto que será usinado. Eles definem o percurso da ferramenta de corte, sua posição em relação à peça (coordenadas X, Y e Z), velocidade de avanço (feedrate) e outros parâmetros relacionados ao movimento. Através de uma série de comandos G cuidadosamente programados, a máquina CNC consegue executar fresamentos, furações, rosqueamentos e diversos outros tipos de operações com total exatidão através de uma estrutura básica de codificação onde informamos as seguintes instruções:

**Número de código:** Identifica a função específica a ser executada (exemplo: G01 para movimento linear, G02 para arco circular).

**Eixos:** Letras X, Y e Z indicam os movimentos em cada eixo cartesiano (horizontal, vertical e profundidade).

**Valores:** Números após as letras definem as coordenadas absolutas ou relativas para cada eixo.

Por exemplo, o código G01 X10 Y20 F50 instrui a máquina para realizar um movimento linear em linha reta até o ponto X10, Y20 (coordenadas na horizontal e vertical) a uma velocidade de alimentação de 50 unidades por minuto

**Código M (códigos de máquina):** Enquanto o código G cuida da parte geométrica, os códigos M focam em controlar diversas funções da máquina que não estão diretamente ligadas ao movimento da ferramenta. São como comandos para executar ações complementares durante o processo de usinagem, através de códigos M, é possível iniciar, parar, pausar o programa, trocar ferramentas, ativar/desativar o sistema de refrigeração, abrir/fechar o aperto da peça, permitindo assim, gerenciar o fluxo do programa de usinagem, incluindo a execução de subprogramas, contagem de peças usinadas, parada em caso de erros e outras funções importantes.

Alguns exemplos de funções desempenhadas por código M:

**M00 (Parada programável):** Interrompe o programa até que o operador pressione o botão “Ciclo Iniciar”.

**M01 (Parada opcional):** Interrompe o programa e espera a confirmação do operador para continuar.

**M03 (Rotação do fuso no sentido horário):** Inicia a rotação do fuso no sentido horário.

**M04 (Rotação do fuso no sentido anti-horário):** Inicia a rotação do fuso no sentido anti-horário.

**M05 (Parada do fuso):** Interrompe a rotação do fuso.

**M06 (Troca de ferramenta):** Comando para trocar a ferramenta de corte por outra.

**M08 (Ativação do sistema de refrigeração):** Ativa o fluxo de fluido de corte para refrigerar a ferramenta e a peça.

**M09 (Desativação do sistema de refrigeração):** Desativa o fluxo de fluido de corte.

**M30 (Fim do programa):** Finaliza o programa de usinagem.

Parâmetros adicionais: Além dos códigos G e M básicos, diversas letras adicionais são utilizadas para ampliar as funcionalidades e oferecer mais controle sobre os movimentos e funções da máquina CNC (F, S, T, etc.). as

funções atribuídas a cada letra podem variar de acordo com o fabricante, porém as designações mais comuns são:

F: Define a velocidade de avanço da ferramenta;

S: Define a rotação do spindle (RPM);

T: Seleciona a ferramenta a ser utilizada;

D: Define a altura da ferramenta em relação à peça;

H: Define a compensação de raio da ferramenta;

M: Define o tipo de arco a ser realizado (G02 ou G03);

G: Define o plano de trabalho ativo;

P: Define o número de repetições de um loop;

Q: Define a condição de parada do programa;

### 3.2 Execução do processo e controle CNC

Vamos partir dos principais componentes da etapa de execução e controle do CNC que são divididos nesses 5 principais grupos:

**Controlador CNC:** É o “cérebro” da máquina CNC, ele que interpreta o programa do usuário e envia os comandos para os motores dos eixos, para assim realizar o trabalho de confecção determinado pelo programador.

**Servomotores:** são equipados com um avançado sistema eletrônico de precisão, enviam e recebem sinais do controlador CNC, e convertem a energia elétrica em movimento rotacional, que é então transmitido aos fusos de esferas através de acoplamentos. (máquinas CNC funcionam com vários tipos de motores, porém os mais comuns em grandes processos são os servomotores).

**Fusos de esferas:** Transformam o movimento rotacional dos motores em movimento linear preciso dos eixos X, Y e Z. (as máquinas CNC também podem atuar com diversos tipos de sistemas de transmissão de movimento, mas os mais precisos atualmente são os fusos de esferas).

**Sensores de posição:** Monitoram continuamente a posição dos eixos e fornecem feedback ao controlador CNC para garantir a precisão do movimento. Neles se enquadram os encoders/resolvers dos servomotores,

sistemas de réguas digitais e sistemas de sensores de acionamento mecânico para principalmente definir os limites físicos de segurança.

**Software de programação:** Utilizados para criar os programas que definem os movimentos da ferramenta e as funções da máquina, a interface dos softwares varia com o fabricante, mas as linguagens funcionam basicamente com a mesma lógica sem muita variação.

Saindo dos principais componentes e indo para o funcionamento em si, as etapas são parecidas com esse seguinte processo:

- 1) O programa de confecção da peça é criado no software de programação e transferido para o controlador CNC;
- 2) O controlador CNC lê o programa e o divide em comandos específicos para cada eixo;
- 3) Os comandos são enviados para os motores dos eixos, que controlam a velocidade e a direção do movimento;
- 4) Os fusos de esferas convertem o movimento rotacional dos motores em movimento linear dos eixos;
- 5) Sensores de posição monitoram a posição dos eixos e fornecem feedback ao controlador CNC
- 6) O controlador CNC compara a posição real dos eixos com a posição desejada e faz ajustes nos comandos enviados aos motores para garantir a precisão do movimento.

### 3.3 Principais Tipos De Controle do CNC

Aliado a todos esses componentes e ao processo em si, temos que o sistema de controle de uma máquina CNC pode ser feito através das malhas fechada e aberta, e cabe uma breve explicação desses conceitos que segue:

#### **Controle em Malha Aberta em Máquinas CNC:**

O controle em malha aberta é um método de controle de máquinas CNC que não utiliza sensores de feedback para monitorar a posição real da ferramenta. Em vez disso, o controlador CNC envia comandos aos motores dos eixos com base na posição desejada da ferramenta, assumindo que os comandos serão executados com precisão, funciona basicamente como foi indicado no tópico anterior, porém o programa do usuário define a posição desejada da ferramenta para cada ponto da trajetória, assim o controlador CNC converte as posições desejadas em comandos para os motores dos eixos e depois os motores dos eixos movem a ferramenta de acordo com os comandos recebidos.

**Vantagens:**

Simplicidade de implementação e custos reduzidos: os custos caem tendo em vista que não são necessários sensores específicos para o controle do processo da máquina;

Velocidade: O tempo de resposta é mais rápido pois o sistema de controle é menos complexo tendo em vista a falta de feedback dos sensores.

**Desvantagens:**

Precisão: O sistema de controle em malha aberta é menos preciso do que o controle em malha fechada, pois não leva em consideração erros de posicionamento da ferramenta;

Precisão inconsistente: A precisão do sistema pode ser inconsistente devido a fatores como atrito, folga e temperatura;

Sensibilidade a distúrbios: O sistema é mais sensível a distúrbios externos, como vibrações e mudanças de temperatura;

Porém existem algumas técnicas que podem ser utilizadas para melhorar a precisão do controle em malha aberta, como calibrar a máquina com cuidado para garantir que os comandos enviados aos motores correspondam à posição real da ferramenta, compensar os erros conhecidos do sistema, como atrito e folga, e buscar algoritmos de controle mais sofisticados podem ser utilizados para melhorar a resposta do sistema e reduzir o efeito de distúrbios.

Sendo assim o controle em malha aberta oferece um bom custo-benefício e boa performance em processos como desbastes pois a precisão não

é crítica e a velocidade de remoção de material é mais importante, máquinas CNC simples de baixo custo que não exigem alta precisão, prototipagens onde a rapidez de produção é mais importante do que a precisão final da peça etc.

### **Controle em Malha Fechada em Máquinas CNC:**

O controle em malha fechada é um método de controle de máquinas CNC que utiliza sensores de feedback para monitorar a posição real da ferramenta e garantir que ela esteja se movendo com a precisão desejada. Esse tipo de controle é mais preciso e confiável do que o controle em malha aberta, mas também é mais complexo e caro.

O processo começa com o programa do usuário que define a posição desejada da ferramenta para cada ponto da trajetória, em seguida o controlador CNC converte as posições desejadas em comandos para os motores dos eixos, os motores dos eixos movem a ferramenta de acordo com os comandos recebidos, e então os sensores de feedback monitoram a posição real da ferramenta e enviam essa informação para o controlador CNC, o controlador compara a posição real da ferramenta com a posição desejada e calcula a diferença e se necessário ajusta os comandos enviados aos motores dos eixos para reduzir a diferença entre a posição real e a posição desejada. Todo esse processo é realizado através de algoritmos de controle o mais comum é o método PID que atua em 3 níveis de controle, sendo eles resumidamente:

Controle proporcional (P): Ajusta a velocidade dos eixos em proporção ao erro de posicionamento.

Controle integral (I): Elimina o erro de posicionamento constante ao longo do tempo.

Controle derivativo (D): Reduz o tempo de resposta do sistema.

### **Vantagens:**

Precisão: O sistema de controle em malha fechada é mais preciso do que o controle em malha aberta, pois leva em consideração erros de posicionamento da ferramenta.

Precisão consistente: A precisão do sistema é mais consistente, pois os erros de posicionamento são corrigidos pelo controlador CNC.

Menos sensibilidade a distúrbios: O sistema é menos sensível a distúrbios externos, como vibrações e mudanças de temperatura.

**Desvantagens:**

Complexidade: O sistema de controle é mais complexo e caro de implementar do que o controle em malha aberta.

Custo: O custo de máquinas CNC com controle em malha fechada é geralmente maior.

Velocidade: O sistema de controle em malha fechada pode ser mais lento do que o controle em malha aberta, pois há tempo de espera para o feedback dos sensores.

O controle em malha fechada é frequentemente utilizado em máquinas CNC para operações de acabamento onde a precisão é crítica e a qualidade da superfície é importante, máquinas CNC complexas de alto custo que exigem alta precisão, produções em série onde a consistência da qualidade das peças é importante.

## 4 ÓPTICA

### 4.1 A Luz

Para entender melhor o laser, primeiro temos que entender o que é a luz e como ela interage com o meio, o primeiro passo é compreender como a luz se comporta. As civilizações antigas, como os egípcios, babilônios e gregos, já observavam e tentavam explicar os fenômenos da luz e da visão. Observavam a formação de sombras, a reflexão da luz em espelhos d'água e a refração da luz ao passar por objetos submersos. Os egípcios, por exemplo, utilizavam espelhos de bronze para rituais religiosos e para observar o Sol e as estrelas.

Alhazen (965-1039), um estudioso árabe, é considerado o pai da óptica moderna. Seus estudos sobre a refração da luz e a formação de imagens com lentes foram fundamentais para o desenvolvimento da óptica. Alhazen realizou experimentos com lentes e espelhos, e escreveu o “Livro da Óptica”, que descreve os princípios da reflexão, refração e formação de imagens.

No século XIII, Roger Bacon (1214-1292) contribuiu para a óptica com seus estudos sobre lentes e a invenção dos óculos. Bacon descreveu como lentes podem ser usadas para corrigir a visão, e seus estudos abriram caminho para o desenvolvimento de óculos e outros instrumentos ópticos.

Johannes Kepler (1571-1630) formulou as leis do movimento planetário, que também se aplicam à trajetória da luz. As leis de Kepler descrevem como os planetas se movem em torno do Sol, e Kepler também as aplicou à trajetória da luz, mostrando que a luz se propaga em linha reta e que sua velocidade é constante no vácuo.

### 4.2 Newton e a luz:

Isaac Newton fez uma série de experiências fundamentais sobre a luz e as cores, em 1664, e com base nelas formulou a teoria corpuscular da luz que basicamente se baseia em cinco princípios fundamentais:

Natureza corpuscular: A luz é composta por minúsculas partículas, chamadas de corpúsculos, que se movem em linha reta a partir da fonte luminosa. Imagine lançar pequenas bolas de tênis de uma caixa. As bolas se movem em linha reta a partir da caixa, similarmente aos corpúsculos de luz na teoria de Newton.

Emissão: A luz é emitida por fontes luminosas como o Sol, velas e lâmpadas, na forma de corpúsculos que se propagam em todas as direções. As bolas de tênis lançadas da caixa se propagam em todas as direções a partir da caixa, similarmente aos corpúsculos de luz emitidos por uma fonte luminosa.

Propagação Retilínea: A luz se propaga em linha reta, como as bolas de tênis lançadas da caixa. Isso explica por que podemos ver objetos distantes com nitidez, pois os corpúsculos de luz se propagam em linha reta desde o objeto até nossos olhos.

Reflexão: Ao incidir em uma superfície, os corpúsculos de luz se refletem como bolas de tênis ricocheteando em uma parede. A reflexão da luz em espelhos é explicada pela teoria corpuscular da luz da mesma forma que a reflexão das bolas de tênis em uma parede.

Refração: Ao passar de um meio para outro, os corpúsculos de luz se refratam, ou seja, mudam de direção, como as bolas de tênis ao passar da água para o ar. A refração da luz ao passar por lentes é explicada pela teoria corpuscular da luz da mesma forma que a mudança de direção das bolas de tênis ao passar da água para o ar.

### **4.3 Huygens e a luz:**

Em 1678, a física da luz ainda era um campo em desenvolvimento. A teoria corpuscular da luz, defendida por Isaac Newton, dominava a comunidade científica. Essa teoria considerava a luz como um conjunto de partículas que se propagavam em linha reta. No entanto, essa teoria não conseguia explicar alguns fenômenos ópticos, como a difração e a interferência da luz. Observando tais fenômenos Christiaan Huygens propôs a teoria ondulatória da luz, que contempla esses efeitos ópticos (interferência e a difração). A teoria ondulatória de Huygens explica como a luz se propaga

como ondas, inspirado por suas observações sobre ondas na água ele foi capaz de concluir que alguns dos efeitos que Newton descobriu funcionavam um pouco diferente do que ele imaginava.

O princípio fundamental da teoria de Huygens é que cada ponto de uma frente de onda luminosa atua como uma fonte secundária de ondas, emitindo ondas em todas as direções. A soma das ondas emitidas por todos os pontos da frente de onda determina a forma da nova frente de onda.

Huygens utilizou a analogia com ondas na água para ilustrar seu princípio. Ao lançar uma pedra em um lago calmo, ondas circulares se propagam a partir do ponto de impacto. Cada ponto da frente de onda se comporta como uma nova fonte de ondas, gerando ondas que se propagam em todas as direções. A teoria de Huygens propõe que a luz se propaga de maneira similar, com cada ponto da frente de onda luminosa atuando como uma fonte secundária de ondas, sendo assim ressignificou algumas conclusões de Newton.

**Reflexão:** A teoria explica como a luz se reflete em superfícies, utilizando o princípio de que a frente de onda é revertida ao incidir em uma superfície com índice de refração diferente. Imagine lançar uma pedra em um lago calmo próximo a uma parede. As ondas que se propagam da pedra se refletem na parede e retornam ao observador. A teoria de Huygens explica a reflexão da luz da mesma maneira, com a frente de onda luminosa sendo refletida na superfície e retornando ao observador.

**Refração:** A teoria explica como a luz se refrata ao passar de um meio para outro, utilizando o princípio de que a velocidade da luz muda de acordo com o índice de refração do meio. Observe como a luz se dobra ao passar da água para o ar. A teoria de Huygens explica essa mudança de direção da luz pela mudança na velocidade da luz ao passar de um meio para outro.

**Difração:** A teoria explica como a luz se difrata ao passar por uma abertura ou um obstáculo, utilizando o princípio de que as ondas se propagam em todas as direções a partir de cada ponto da frente de onda. Observe como a luz se espalha ao passar por uma pequena abertura. A teoria de Huygens explica essa difusão da luz pela propagação das ondas em todas as direções a partir da abertura.

#### 4.4 Dualidade Onda-Partícula

No início do século XX, a física da luz se deparou com um paradoxo intrigante. A teoria ondulatória da luz explicava com sucesso diversos fenômenos, como a difração e a interferência. No entanto, era incapaz de explicar outros fenômenos, como o efeito fotoelétrico e a emissão de corpo negro.

Por outro lado, a teoria corpuscular da luz, proposta por Isaac Newton, era capaz de explicar esses últimos fenômenos, mas falhava em explicar os primeiros. Essa dicotomia gerou um enigma científico que desafiava a compreensão da época.

Em 1924, Louis de Broglie propôs uma solução inovadora para o paradoxo da luz: a Dualidade Onda-Partícula. Essa teoria revolucionária sugere que a luz, e toda a matéria, possuem características tanto de ondas quanto de partículas.

##### **Comportamento Ondulatório:**

A luz se propaga como ondas, com características como comprimento de onda, frequência e amplitude. Imagine a luz como ondas se propagando em um lago, com diferentes comprimentos de onda gerando diferentes cores. As ondas da luz podem se difratar e interferir, como as ondas da água, criando padrões de interferência e difração que são utilizados em diversos instrumentos ópticos, como telescópios e microscópios.

##### **Aplicações do Comportamento Ondulatório:**

A primeira delas é a difração, explicando que luz se difrata ao passar por uma abertura, criando um padrão de difração que é utilizado em diversos instrumentos ópticos, como telescópios e microscópios. Como onda a luz pode interferir com si mesma, criando padrões de interferência que são utilizados em lasers e hologramas esses padrões são chamados interferência de onda.

O terceiro comportamento é a da polarização, nos mostrando que a luz pode ser polarizada, ou seja, sua vibração pode ser restrita a um plano

específico, o que é utilizado em diversos instrumentos ópticos, como filtros polarizadores e óculos de sol.

### **Comportamento Corpuscular:**

A luz também se comporta como um conjunto de partículas, chamadas de fótons. Imagine a luz como pequenos pacotes de energia que se propagam no espaço, com diferentes energias e momentos. Os fótons podem ter energia e momento, como as partículas de luz, e podem interagir com a matéria de forma corpuscular, como no efeito fotoelétrico e na emissão de corpo negro.

### **Aplicações do Comportamento Corpuscular:**

**Efeito fotoelétrico:** A luz incidente em um metal ejeta elétrons do metal, demonstrando seu comportamento corpuscular. O efeito fotoelétrico é utilizado em diversas tecnologias, como células fotovoltaicas e fotodetectores.

**Emissão de corpo negro:** A matéria em alta temperatura emite radiação eletromagnética em um espectro específico, que é explicado pela teoria corpuscular da luz.

**Efeito Compton:** A luz se comporta como um conjunto de fótons ao interagir com elétrons, demonstrando seu comportamento corpuscular.

**Difração da luz em diferentes contextos:** O que define quando a luz é uma onda ou uma partícula é o contexto, ainda não há uma explicação completa de como a luz pode se comportar como onda e como partícula ao mesmo tempo, diversas interpretações da mecânica quântica tentam explicar essa dualidade, mas ainda não há um consenso sobre qual é a interpretação correta.

## 5 DO LASER

É uma sigla em inglês de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação), ou seja, basicamente é um tipo de componente eletroeletrônico que amplifica a luz por meio de radiação. Esse efeito tem início na eletrosfera do átomo, onde se submete os elétrons a uma força eletromagnética com o intuito de obter a liberação de fótons e gerar o efeito fotoelétrico como explicado no trecho a seguir:

*“Em 1913 o dinamarquês Niels Bohr apresentou seu modelo de átomo, no qual os elétrons orbitam o núcleo em níveis de energia bem determinados e somente podem “ saltar “ de um nível para outro se receberem ou emitirem fótons com a quantidade de energia (que pode ser calculada a partir de seu comprimento de onda) exata, exigida para o salto completo.”*

Vale ressaltar que quando um fóton é liberado por meio desse efeito, ele conserva praticamente toda a energia da fonte o estimulou e a transmite para outros átomos ao redor iniciando assim um efeito cascata.

Imagine uma caixa escura retangular chamada cavidade óptica. Dentro dela, encontramos dois espelhos paralelos e um material ativo posicionado no centro. Esse material ativo, que pode ser um cristal, gás ou semicondutor, é o coração do laser, pois contém átomos com a capacidade de amplificar a luz, como é demonstrado nas imagens a seguir:

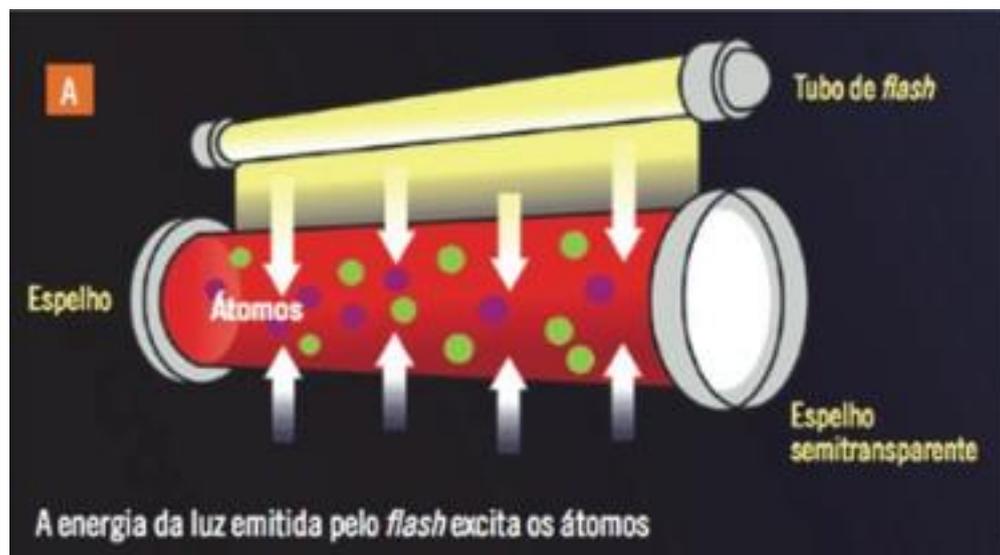


Figura 1 – Estímulo dos átomos através de uma fonte de luz intensa

O processo começa com o bombeamento de energia para o material ativo. Fontes externas, como luz intensa, corrente elétrica ou descargas químicas, fornecem essa energia. Imagine uma injeção de adrenalina para os átomos, elevando seus elétrons para níveis energéticos mais altos, deixando-os “animados”.

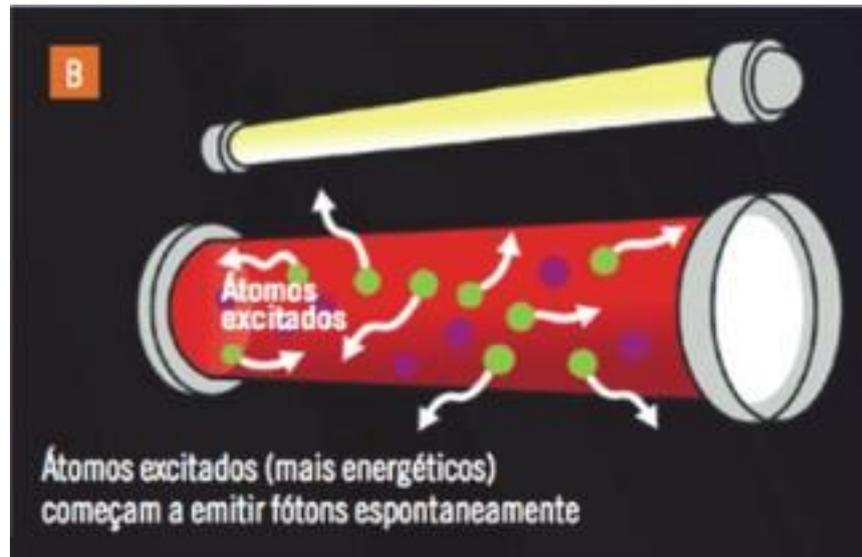


Figura 2 – Reação em cadeia dos fótons

Em seu estado excitado, esses elétrons instáveis tendem a retornar ao seu estado fundamental, liberando a energia excedente na forma de fótons (partículas de luz). No entanto, essa emissão inicial é espontânea, ou seja, ocorre em diferentes direções, frequências e momentos aleatórios. É como se os elétrons animados liberassem sua energia de forma desorganizada, como fogos de artifício disparando em todas as direções.



Figura 3 – Início da emissão do feixe de laser

Quando um fóton com energia específica (correspondente à diferença de energia entre os níveis dos átomos) passa próximo a um átomo excitado, ocorre um fenômeno chamado emissão estimulada. Esse fóton incidente age como um gatilho, estimulando o átomo excitado a liberar sua energia acumulada em um processo sincronizado. O fóton emitido pelo átomo possui a mesma direção, frequência e polarização do fóton incidente, amplificando a luz. Imagine o fóton incidente como um maestro, coordenando a liberação de energia pelos elétrons excitados de forma orquestrada. Um dos espelhos da cavidade é parcialmente reflexivo, permitindo que parte da luz amplificada escape como o feixe laser final. A outra parte da luz reflete de volta para o material ativo, “cutucando” mais átomos excitados e estimulando a emissão de mais fótons com as mesmas características. É como se a luz amplificada ricocheteasse entre os espelhos, interagindo continuamente com o material ativo e se tornando cada vez mais intensa e coerente com cada passagem.

## 6 DADOS DO PROJETO

### 6.1 Peças

#### 6.1.1 Motor de passo



Figura 4 – Motor de passo

O motor de passo é um tipo de motor elétrico que converte pulsos elétricos em movimentos discretos. Ele gira em incrementos fixos chamados “passos”, daí o nome. Esses motores são frequentemente usados em aplicações que requerem precisão de posicionamento, como impressoras 3D, máquinas CNC, scanners e dispositivos de automação industrial. Eles são populares devido à sua capacidade de controle preciso da posição e à sua capacidade de manter a posição sem a necessidade de feedback de posição externo, como um encoder. As vantagens de usá-los no projeto é de que são relativamente baratos, rápidos e precisos.

### 6.1.2 Correia dentada



**Figura 5 – Correia dentada**

é um componente mecânico usado para transmitir movimento entre duas ou mais polias, com a finalidade de sincronizar o funcionamento de diferentes partes de uma máquina ou dispositivo.

A característica distintiva de uma correia dentada é a presença de dentes na parte interna da correia, que se encaixam nos sulcos das polias, proporcionando uma conexão mais firme e evitando o deslizamento. Essa configuração é especialmente útil em aplicações que exigem sincronização precisa, como motores de combustão interna, onde a sincronização correta entre o virabrequim e o eixo de comando de válvulas é crucial para o funcionamento adequado do motor.

As correias dentadas são amplamente utilizadas em uma variedade de setores, incluindo automotivo, industrial, aeroespacial e muitos outros, devido à sua eficiência, confiabilidade e capacidade de operação em uma ampla faixa de velocidades e condições de carga.

### 6.1.3 Acoplamento do eixo do motor



**Figura 6 – Polia GT2 20**

O tipo de acoplamento do motor que vamos usar é uma polia GT2 20, especialmente projetada para ser usada com correias dentadas do tipo GT2 com um passo de 2mm. O “20” refere-se ao número de dentes da polia, ou seja, ela tem 20 dentes. Essas polias são comumente usadas em impressoras 3D, máquinas CNC, robôs e outras aplicações que requerem movimento preciso e sincronizado.

A escolha da polia GT2 20 depende do projeto específico e dos requisitos de sincronização e resolução de movimento. As polias GT2 20 são geralmente fabricadas em alumínio ou aço e podem ter diferentes diâmetros externos e larguras, dependendo das necessidades do sistema em que serão utilizadas.

#### 6.1.4 Perfilados

Os perfis em V, ou perfis em forma de V, são frequentemente usados em aplicações de estruturas de suporte, como em máquinas industriais, mesas de trabalho, estruturas de automação, entre outros. Os perfis em V

geralmente vêm em diferentes tamanhos e configurações para atender a uma variedade de necessidades de projeto.

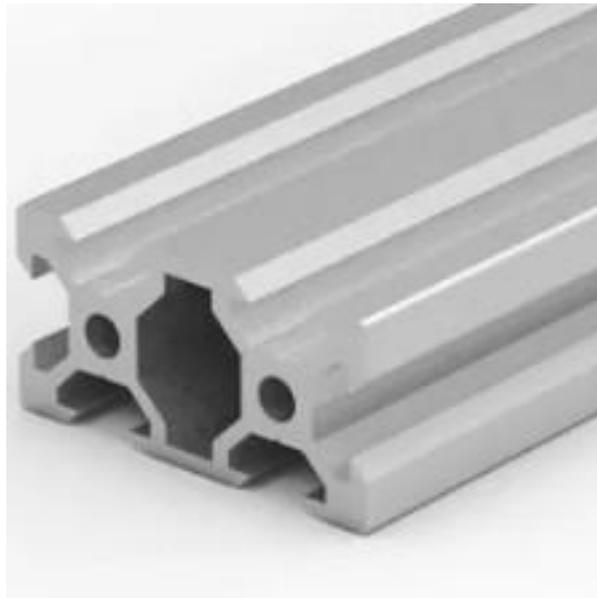
Usaremos dois tipos “20x20” e o “20x40”

Perfil em V 20x20: Isso significa que o perfil tem uma seção transversal de 20mm por 20mm. Esses perfis são frequentemente usados em estruturas leves e sistemas de montagem que exigem menos rigidez, mas ainda oferecem uma boa resistência.



**Figura 7 – Perfil 20x20**

Perfil em V 20x40: Similarmente, isso significa que o perfil tem uma seção transversal de 20mm por 40mm. Esses perfis são um pouco maiores e mais robustos do que os de 20x20 e são comumente usados em aplicações onde é necessária uma maior capacidade de carga ou rigidez, como bases de máquinas, estruturas de suporte de equipamentos pesados, ou sistemas de quadros para montagem de componentes.



**Figura 8 – Perfil 20x40**

Esses perfis são frequentemente fabricados em alumínio extrudado, o que os torna leves, duráveis e relativamente fáceis de trabalhar. Eles também são modulares, o que significa que podem ser facilmente conectados e montados em diferentes configurações para atender a diferentes requisitos de projeto.

O modelo da estrutura que acabei optando foi o design em “T”, ou seja, apenas um perfilado de cada tipo. Isso reduziu os gastos com a estrutura e ainda assim garantiu um bom desempenho na estabilidade.

#### 6.1.5 Suporte do motor de passo



**Figura 9 – Suporte do motor reto**

Um suporte de motor de passo é um componente mecânico usado para montar e fixar um motor de passo em uma estrutura ou em um sistema específico. Esses suportes são projetados para proporcionar uma fixação segura do motor enquanto permite ajustes precisos de posicionamento.

Os suportes de motor de passo geralmente vêm em diferentes formas e tamanhos para atender às necessidades específicas de montagem.

#### 6.1.6 Guias e roldanas

Guias com roldanas de 4 e 3 apoios são sistemas de movimento linear que utilizam roldanas para guiar e suportar o movimento de um componente ao longo de um trilho ou pista.

Guias com roldanas de 4 apoios:

Nesse tipo de sistema, o componente a ser movido é suportado por quatro roldanas que estão em contato com a superfície do trilho ou da

pista. esse design oferece uma distribuição uniforme da carga ao longo do trilho, resultando em uma maior estabilidade e capacidade de carga. As roldanas de 4 apoios são geralmente utilizadas em aplicações que exigem movimentos lineares suaves e precisos, com cargas relativamente pesadas.



**Figura 10 – Guia com roldanas de 4 apoios**

Guias com roldanas de 3 apoios:

Nesse tipo de sistema, o componente é suportado por três roldanas que estão em contato com o trilho, essas guias são conhecidas por sua simplicidade e eficiência, oferecendo um bom equilíbrio entre capacidade de carga e custo. Elas são frequentemente utilizadas em aplicações onde a precisão é importante, mas as cargas são menores em comparação com as guias de 4 apoios.

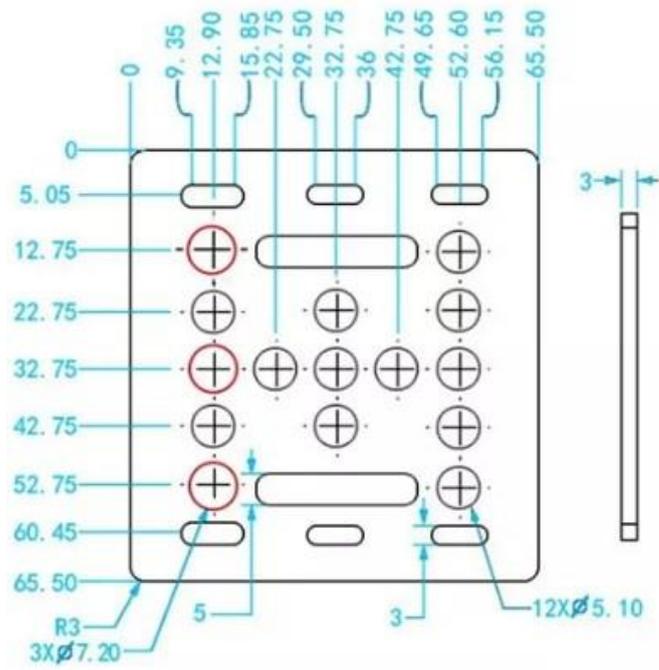


Figura 11 – Suporte ajustável para guia com 3 apoios

### 6.1.7 Módulo laser



Figura 12 – Módulo laser a diodo

Esses módulos consistem em um diodo laser montado em um suporte que permite seu movimento preciso conforme as instruções do programa CNC.

Aqui estão algumas características e considerações comuns sobre os módulos de laser a diodo:

**Potência do Laser:** Os módulos estão disponíveis em uma variedade de potências, desde lasers de baixa potência para gravação e marcação até lasers de alta potência para corte de materiais mais espessos.

**Comprimento de Onda:** O comprimento de onda do laser é importante, pois diferentes materiais respondem melhor a diferentes comprimentos de onda. Por exemplo, lasers de CO<sub>2</sub> são comumente usados para cortar materiais não metálicos, enquanto lasers de fibra são mais adequados para metais.

**Resfriamento:** Módulos de laser de alta potência geralmente requerem sistemas de resfriamento para evitar superaquecimento e garantir um desempenho consistente e seguro.

**Foco Ajustável:** Alguns módulos vêm com sistemas de foco ajustável, permitindo que o operador ajuste o ponto focal do laser para diferentes aplicações.

**Compatibilidade com CNC:** É importante garantir que o módulo de laser seja compatível com o sistema de controle da máquina CNC. Isso pode envolver a integração de software e hardware para garantir uma operação suave e precisa.

**Segurança:** Devido à natureza potencialmente perigosa dos lasers, é crucial implementar medidas de segurança adequadas, como intertravamentos, óculos de proteção e procedimentos operacionais seguros.

**Software de Controle:** O software de controle CNC geralmente inclui recursos específicos para operar o laser, como definir potência, velocidade de movimento e padrões de corte ou gravação.

#### 6.1.8 Suporte do módulo laser



**Figura 13 – Suporte ajustável**

O suporte do módulo laser desempenha um papel crucial na montagem e estabilidade do módulo dentro da máquina CNC. Aqui estão alguns aspectos importantes sobre o suporte do módulo laser:

**Estabilidade e Precisão:** O suporte deve ser projetado para garantir uma montagem estável do módulo laser, minimizando qualquer vibração ou deslocamento durante a operação da máquina CNC. Isso é crucial para garantir resultados precisos e consistentes ao cortar, gravar ou marcar materiais.

**Ajustabilidade:** Em muitos casos, o suporte do módulo laser é ajustável em várias direções. Isso permite que os operadores alinhem o feixe laser com precisão para a superfície de trabalho da máquina CNC e façam ajustes finos conforme necessário para obter os melhores resultados.

**Resistência ao Calor:** Devido à natureza do laser e ao potencial de geração de calor durante o uso prolongado, é importante que o suporte do módulo laser seja construído com materiais resistentes ao calor. Isso ajuda a evitar deformações ou danos causados pelo calor gerado pelo próprio laser.

**Compatibilidade:** O suporte do módulo laser deve ser projetado para ser compatível com a estrutura da máquina CNC em que será instalado. Isso pode incluir montagens padrão, como suportes de trilho ou perfis de alumínio, para facilitar a integração com diferentes tipos de máquinas CNC.

**Facilidade de Instalação e Manutenção:** Um bom suporte deve ser projetado para facilitar a instalação inicial do módulo laser na máquina CNC, bem como a manutenção subsequente, como a substituição do módulo ou ajustes de alinhamento. Isso pode incluir recursos como acesso fácil aos parafusos de montagem e pontos de ajuste.

**Compatibilidade com Acessórios:** Em alguns casos, o suporte do módulo laser pode ser projetado para ser compatível com acessórios adicionais, como sistemas de resfriamento ou sistemas de foco automatizados. Isso permite uma maior flexibilidade e funcionalidade para atender às necessidades específicas do usuário.

#### 6.1.9 Software e licença

Existem várias opções de software CNC disponíveis no mercado, cada uma com diferentes recursos e compatibilidades, a escolhida para esse projeto foi o software VD, pois tem uma interface simples e compatível com a nossa placa de controle CNC do laser, mas alguns dos programas CNC mais populares são:

**Mach3:** Um dos programas CNC mais amplamente utilizados, o Mach3 oferece uma interface amigável e suporte para uma variedade de máquinas CNC. Ele suporta fresamento, gravação, corte a laser e outras operações.

**LinuxCNC:** Este é um software CNC de código aberto baseado no sistema operacional Linux. Ele oferece uma ampla gama de recursos e é altamente personalizável. O LinuxCNC é conhecido por sua estabilidade e é

adequado para uma variedade de máquinas CNC, desde routers CNC simples até máquinas de usinagem complexas.

**GRBL:** GRBL é um firmware de código aberto usado principalmente em máquinas CNC de pequeno porte, como roteadores CNC de bancada e impressoras 3D. Ele suporta controle de até 3 eixos e é amplamente usado em projetos DIY (faça você mesmo) devido à sua simplicidade e facilidade de uso.

**PlanetCNC:** Este é um software CNC comercial que oferece uma interface intuitiva e recursos avançados, como simulação de trajetória, compensação de ferramenta e suporte para várias máquinas CNC, incluindo fresadoras, roteadores e máquinas de corte a plasma.

**Vetric VCarve e Aspire:** Esses são softwares de design e CAM (Computer-Aided Manufacturing) que também oferecem funcionalidades de controle CNC. Eles são conhecidos por sua interface amigável e poderosas ferramentas de design, além de recursos avançados de usinagem CNC.

Quanto às licenças, elas variam de acordo com o software:

**Open Source / Freeware:** Alguns softwares, como LinuxCNC e GRBL, são de código aberto e geralmente estão disponíveis gratuitamente para uso.

**Licenças Comerciais:** Softwares como Mach3, PlanetCNC e Vetric geralmente requerem a compra de uma licença para uso comercial. O preço e os termos da licença variam dependendo do software e das opções de suporte oferecidas pela empresa desenvolvedora.

**Licenças de Avaliação:** Muitos softwares comerciais oferecem versões de avaliação gratuitas que permitem aos usuários testarem o software antes de comprar uma licença completa.

Ao escolher um software CNC e uma licença, é importante considerar os recursos necessários para suas aplicações específicas, bem como o suporte oferecido pelo desenvolvedor do software. Além disso, é fundamental garantir que o software escolhido seja compatível com sua máquina CNC e seu sistema operacional.

## 7 ORÇAMENTO

PEÇA	QUANTIDADE	PREÇO	TOTAL
PARAFUSO PHILIPS M5	4	R\$ 0,50	R\$ 2,00
MOTOR DE PASSO NEMA 17	2	R\$ 75,00	R\$ 150,00
CORREIA DENTADA	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
PERFILADO EM V 20X20	320 mm	R\$ 45,00	R\$ 45,00
PLACA DE CONTROLE	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
CABOS		R\$ 10,00	R\$ 10,00
PORCA M5	4	R\$ 0,50	R\$ 2,00
SUORTE DO MÓDULO	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
MÓDULO DO LASER	1	R\$ 750,00	R\$ 750,00
ESTICADOR DE CORREIA	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
PERFILADO EM V 20X40	320 mm	R\$ 50,00	R\$ 50,00
SUORTE DE MOTOR DE PASSO	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
ACOPLAMENTO PARA MOTOR DE PASSO	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
PARAFUSO PHILIPS M2	6	R\$ 0,50	R\$ 3,00
LICENÇA DO SOFTWARE	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
PORCA PARA PERFILADO	4	R\$ 0,50	R\$ 2,00
PORCA M2	6	R\$ 0,50	R\$ 3,00
GUIA C/COM ROLDANAS 4 APOIOS	1	R\$ 75,00	R\$ 75,00
GUIA C/COM ROLDANAS 3 APOIOS	1	R\$ 75,00	R\$ 75,00
			R\$ 1.752,00

## REFERÊNCIAS

- <https://ccvindustrial.com.br/o-que-e-cnc/>
- <https://comacbr.com/o-que-e-cnc/>
- <https://blog.kalatec.com.br/cnc/>
- <https://www.autodesk.com/br/solutions/cnc-machining-software>
- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Controle\\_Num%C3%A9rico\\_Computadorizado](https://pt.wikipedia.org/wiki/Controle_Num%C3%A9rico_Computadorizado)
- [http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~andrea/lib/exe/fetch.php?media=cnc\\_principaiscomponentes.pdf](http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~andrea/lib/exe/fetch.php?media=cnc_principaiscomponentes.pdf)
- <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3181874>
- <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/cnc.pdf>
- <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-a-luz.htm>
- <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/luz.htm>
- <https://pt.wikipedia.org/wiki/Luz>
- <https://www.youtube.com/watch?v=7K04QZQ1jsU>
- <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/luz.htm>
- <https://www.todamateria.com.br/luz-refracao-reflexao-e-meios-de-propagacao/>
- <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-exatamente-e-a-luz>
- <https://www.troteclaser.com/pt/saiba-mais-e-suporte/faqs/como-funciona-um-laser#:~:text=LASER%20%C3%A9%20um%20acr%C3%B4nimo%20para,o%20raio%20laser%20%C3%A9%20formado.>
- <https://pt.wikipedia.org/wiki/Laser>
- <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/laser.htm>
- <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-raio-laser.htm>
- <https://www.ufrgs.br/biofisica/Laser.pdf>
- <https://portal.ifi.unicamp.br/a-instituicao/departamentos/deq-departamento-de-eletronica-quantica/grupo-de-lasers-e-aplicacoes-gla>
- [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/lasers/about](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/lasers/about)
- <https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/corte/laser.pdf>
- [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13610/1/2015\\_MatheusBorgesDias.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13610/1/2015_MatheusBorgesDias.pdf)
- [https://www.ifsc.usp.br/~efc/2012/images/stories/Laser\\_EFC\\_2012.pdf](https://www.ifsc.usp.br/~efc/2012/images/stories/Laser_EFC_2012.pdf)
- <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11467/2/Texto%20integral.pdf>

[https://www.researchgate.net/profile/Ed-Gerck/publication/287108885\\_O\\_corte\\_a\\_laser\\_da\\_teor%C3%ADa\\_a\\_maquina\\_tutorial/links/5e9804874585150839e031f3/O-corte-a-laser-da-teoria-a-maquina-tutorial.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ed-Gerck/publication/287108885_O_corte_a_laser_da_teor%C3%ADa_a_maquina_tutorial/links/5e9804874585150839e031f3/O-corte-a-laser-da-teoria-a-maquina-tutorial.pdf)

OLIVEIRA, O. A. de; FERNANDES, J. D. G. Quantização de energia e o modelo de Bohr. In: OLIVEIRA, O. A. de; FERNANDES, J. D. G. (Ed.). **Quantização de energia e o modelo de Bohr**. [S.l.]: UFRN, 2006. cap. aula 2, p. 1 — 19.