

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D

GUSTAVO DE SOUZA GOUVÊA
JORGE LUIZ BARBOSA DA SILVA
WEBER MONTEIRO LUNA

VOLTA REDONDA

2018

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Alunos:

Gustavo de Souza Gouvêa

Jorge Luiz Barbosa da Silva

Weber Monteiro Luna

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Gustavo de Souza Gouvêa

Jorge Luiz Barbosa da Silva

Weber Monteiro Luna

ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal

DEDICATÓRIA

Dedicamos aos mestres que contribuíram de forma significativa para que nós alcançássemos essa vitória.

Em especial a todos os entes queridos que nos incentivaram e não nos deixaram desistir ao longo deste longo caminho.

Aos valorosos amigos que nos ajudaram e nos fizeram sorrir nos momentos difíceis.

E a Deus por nos ter dado força para superarmos o que muitas vezes achávamos impossível.

Weber Monteiro Luna

Gustavo Souza Gouvêa

Dedico este trabalho especialmente a minha mãe Alice Barbosa da Silva que me ajudou e partilhou de meus sentimentos e a meu falecido pai Jorge José da Silva que me incentivou e me ajudou mesmo diante de todas as enfermidades e problemas que o assolavam.

Jorge Luiz Barbosa da Silva

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nossas vidas, família e amigos.

Aos nossos pais e irmãos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À UniFOA, seu corpo docente, direção e administração;

Ao professor Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira pela orientação, apoio, confiança, correções e incentivos no pouco tempo que lhe coube.

A todos os professores que nos proporcionaram o conhecimento e preparo não só para o desenvolvimento deste trabalho, mas também por todo o auxílio nesse grande processo de formação profissional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

EPÍGRAFE

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado. A imaginação anda pelo mundo”

Albert Einstein

RESUMO

Desde sua criação a tecnologia de prototipagem rápida ou prototipagem por deposição plástica vêm se tornando cada vez mais comum em nosso cotidiano. Popularmente conhecida como “Impressora 3D” essa tecnologia é emergente dos intensos avanços tecnológicos que permitiram sua utilização desde uso industrial a uma simples construção caseira. A partir desta praticidade elas buscam oferecer em simples processos a confecção de demasiadas peças. Este trabalho tem como finalidade o estudo de tal tecnologia e tal desenvolvimento até os dias atuais, apresentando suas vantagens, funcionamento, componentes, construção, metodologias baseadas nas áreas de engenharia.

Palavras Chave: Impressoras 3D, Prototipagem Rápida, Tecnologia, Impressão

ABSTRACT

Since its inception, rapid prototyping or plastic prototyping technology has become increasingly common in our daily lives. Popularly known as "3D Printer" this technology is emerging from the intense technological advances that allowed its use from industrial use to a simple home construction. From this practicality they seek to offer in simple processes the making of too many pieces. This work has as purpose the study of such technology and such development until the present day, presenting its advantages, operation, components, construction, methodologies based on the engineering areas.

Keywords: 3D Printers, Rapid Prototyping, Technology, Printing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina de Datilografia Mercedes	15
Figura 2 - ChesterCarlson e a maquina fotocopadora	16
Figura 3 - Chuck Hull, o criador da impressora 3D	17
Figura 4 -Representação das principais etapas dos processos de manufatura por camada	20
Figura 5 - Vat Photopolymerisation representação	24
Figura 6 - Representação <i>Material Jetting</i>	25
Figura 7 - Binder Jetting.....	26
Figura 8 - <i>Material Extrusion</i>	28
Figura 9 - <i>Power Bed Fusion</i>	29
Figura 10 - Sheet Lamination	31
Figura11 - Directed Energy Deposition.....	32
Figura 12 - Honda CB500, de 1972. Feito por artista americano.....	34
Figura 13 - Possibilidade de figuras complexas	35
Figura 14 - Variedade de Cores e Espectro de Materiais	35
Figura 15 - Conceito de Exclusividade	36
Figura 16 - Simplicidade de Armazenamento	37
Figura 17- Comando Numérico Computadorizado	38
Figura 18 - Impressora Moustu Builder.....	39
Figura 19 - Exemplos de Materiais Diferentes.....	43
Figura 20 - Processo de biodegradação PLA.....	44
Figura 21 - Protótipo Clássico do Esquilo.....	46
Figura 22 - Barco feito em PETG.....	47
Figura 23 - Variedades de Cores entre os materiais	49
Figura 24 - Formato STL.....	51
Figura 25 - Tuna Convertida em STL	52
Figura 26 - Representação Fatiamento	53
Figura 27 - Conjunto de Engrenagens Impressos	60
Figura 28 - Exemplos de Estruturas	68
Figura 29 - PSU encontrada em Computadores Convencionais	70
Figura 30 - Típica fonte de Notebook	70
Figura 31 - Placa Arduino Uno.....	71
Figura 32 - Módulos Extensores (Shields)	72

Figura 33 - Exemplo de Configuração Shield/Arduino.....	73
Figura 34 - Tela inicial de experimento Arduino	74
Figura 35 - NEMA 17.....	76
Figura 36 - Heat Bed Platform	77
Figura 37 - Esquematização da Cama Aquecida	79
Figura 38 - Extrusora com Bico (HotEnd)	79
Figura 39 - Desenho Operacional de uma Extrusora.....	80
Figura 40 - Representação Fatiamento	81
Figura 41 - CL1 Black Edition Cliever	83
Figura 42 - CL2 Pro+	84
Figura 43 - Cliever SL1	86
Figura 44 - Moust Builder Mega	87
Figura 45 - Prusa Mk3	88
Figura 46 - Esquema simplificado.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tabela Análise Geral CNC vs. Impressora 3D.....	41
Quadro 2 - Tabela Comparativa dos Materiais.....	50
Quadro 3 – Campos GCode.....	54
Quadro 4 - Tabela Nomeação Motores NEMA	75
Quadro 5 - Alguns Modelos do Motor NEMA	76
Quadro 6 - Tabela Exemplos de <i>Softwares</i>	81
Quadro 7 - Tabela Sumário das Tecnologias RP.....	82
Quadro 8 - Comparativo Impressoras	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 HISTÓRICO	15
2.1 Prototipagem Rápida	18
2.2 Conceitos	20
2.2.1 Criação de um modelo CAD.....	21
2.2.2 Conversão para formato STL.....	21
2.2.3 Fatiamento do arquivo	21
2.2.4 Construção do modelo em camadas.....	22
2.2.5 Limpeza e acabamento.....	22
2.3 Tipos de Processos	23
2.4 Vantagens	34
a) Materiais.....	38
b) Velocidade.....	39
c) Ruído e Vibração.....	40
d) Desperdício	40
e) Aplicações e Preço	40
2.5 Materiais	42
2.5.1 PLA.....	43
2.5.2 ABS.....	45
2.5.3 PETG	46
2.5.4 OBSERVAÇÕES E MATERIAIS MISTOS	48
a) PLA+	48
b) TPUFLEX	48
2.6 Software.....	51
a) G28 – Executar Rotina de Homing	55
b) G90 e G91 – Definir modo de posicionamento.....	55
c) G1 – Movimento Linear	56
d) G92 – Definir Posição Atual	57
e) M104 & M109 – Aquecimento da Extrusora.....	57
f) M106 – Velocidade do Ventilador	58

2.7 Aquisição de <i>software</i> e material.....	59
2.7.2 Escolhendo e adaptando sua necessidade a uma impressora.....	60
2.8 Protótipo e Impressoras comerciais.....	67
2.8.1 RepRap.....	67
2.8.2 Construindo Uma Impressora 3D	67
2.8.2.1 Estrutura	68
2.8.2.2 Eletrônica e mecânica.....	69
a) Fonte	69
b)Placa mãe.....	71
c)Motor de passo.....	74
d)Mesa ou cama aquecida.....	77
e)Extrusora.....	79
2.8.3 <i>Slicers</i>	81
2.8.4 Impressão 3D no mercado	82
a)Exemplares:	83
3 METODOLOGIA.....	89
4 ESTUDO DE CASO	91
4.1 Análise e Veredito	91
4.2 Considerações sobre os outros exemplares.....	92
5 CONCLUSÃO.....	94
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

A Impressão 3D é uma diversidade de fabricação aditiva na qual a partir de um modelo tridimensional se cria uma réplica utilizando a deposição de material por camadas sucessivas. Comparadas com as demais tecnologias aditivas, são mais fáceis e poderosas e oferecem de forma mais simples a impressão de peças ou componentes de diferentes propriedades físicas e mecânica. Tecnologias mais avançadas de impressão permitem precisão quase que perfeita e funcionalidades próximas ao protótipo original.

Em 2004 na Inglaterra surgiu o Projeto RepRap que tem por finalidade criar impressoras 3D classificadas como Auto-replicadoras (produzem suas próprias partes), permitindo assim a criação de seus próprios componentes de plástico e usando um projeto de *Hardware livre (Open Source)*. Hoje uma comunidade internacional, seus membros visam a possibilidade de criar unidades baratas de impressoras 3D permitindo que pessoas criem modelos ou produtos próprios sem uma infraestrutura industrial. Por ser uma comunidade aberta, está em constante atualização por seus usuários, melhorando a tecnologia e a classificando como tecnologia disruptiva.

1.2 Objetivo

Fundamentar conhecimentos sobre a tecnologia de Prototipagem Rápida conhecida popularmente como “Impressora 3D” expondo suas vantagens, seus princípios básicos, seus insumos de construção e alguns exemplares comerciais, visando à construção de um “guia” para a escolha ou fabricação de uma impressora adequada as necessidade prevista a um projeto.

2 HISTÓRICO

É comum observar que os avanços tecnológicos dentro desta área, acarretaram em praticidade e agilidade aos processos pelos quais estavam designados.

Em 1714 Henri Mill criou a máquina de escrever (Figura 1) que era um equipamento mecânico, eletromecânico ou elétrico equipado com teclas que, quando acionadas movimentavam-se e imprimiam números e símbolos no papel. Essas máquinas começaram a ser produzidas a partir de 1880 como forma do mercado corporativo de validar documentos e agilizar a escrita e transações.



Figura 1 - Máquina de Datilografia Mercedes

Fonte: Mercado Livre

Um americano chamado Chester Carlson inventou o processo de reprodução por imagens e texto por meios de máquinas fotocopadoras (Figura 2) em 1938. Em 1953 a impressora de alta velocidade foi testada no primeiro computador comercial o Univac. A princípio utilizava impressão por meio de impacto parecido com as máquinas de datilografia. Conforme os avanços da computação as impressoras comuns seguiram o mesmo caminho adaptando-se os diversos tipos de tecnologia e fins específicos. Elas se estendem até os dias atuais como objeto de uso rotineiro.



Figura 2 - Chester Carlson e a máquina fotocopidora

Fonte: oexplorador

O método de impressão 3D só surgiria mesmo em 1984 pelas mãos do engenheiro físico norte americano Chuck Hull na Califórnia, utilizando a estereolitografia. A primeira máquina era usada para confeccionar partes de resina e plástico usando uma lâmpada para solidificá-las. Os processos tradicionais demoravam de cinco a oito semanas, e cada peça necessitava ser confeccionada novamente devido a problemas na manufatura. Com a produção em ambiente controlado e de forma veloz as impressoras 3D se demonstravam superiores quase que eliminando os problemas dos processos tradicionais. As impressoras 3D apresentam destreza e competência até os dias atuais e recentemente tem se tornado financeiramente acessíveis a ponto de estarem presentes em pequenas e médias empresas, residências e escolas, levando a prototipagem, advento da “indústria pesada” para o ambiente mais comum e familiar aos demais.



Figura 3 - Chuck Hull, o criador da impressora 3D

Fonte: *Industry Week*

Esta tecnologia está presente em diversos ramos de produção: joalheria, design de produto, automotivo, aeroespacial, medicina, química, etc...

2.1 Prototipagem Rápida

A prototipagem rápida originalmente (*Rapid Prototyping*, RP) foi desenvolvida para metas de comunicação e constatação. Através da criação e protótipos é possível a avaliação de projetos e verificação de melhorias ou se o projeto atual já possui o desempenho necessário. Para inúmeras pessoas a visualização de um objeto melhora sua compreensão do que desenhos bidimensionais. Esses dois princípios associados resultam em economia de tempo e custos.

Manufatura Rápida como é conhecida (*Rapid Manufacturing*, RM) a produção de objetos de forma automatizada por desenhos auxiliados por Computador (CAD) é cada vez mais comum.

Visualizando a indústria geral é provável que a RP ou RM nunca substituirá outras técnicas industriais. Isso ocorre porque a produção em grandes lotes que necessitam de ferramentaria (produção em massa) seja mais econômica. Para a criação de lotes menores o custo de RP é muito menor. Como já falado anteriormente a RP ou RM é capaz de produzir produtos com características específicas de diferentes usuários e a possibilidade de produção de produtos complexos (partes internas, camadas, etc...) que geralmente processos subtrativos ou compressivos não conseguiriam.

HOTZA define que prototipagem rápida é uma divisão de tecnologias que podem construir amostras físicas partindo de dados CAD automaticamente. Tais amostras ajudam visualmente na transparência de idéias para clientes ou colegas de trabalho e que podem ser utilizados para testes ou projetos de modo mais rápido com um custo menor.

Considera-se rápido o tempo de 4 a 72 horas para a produção de um protótipo dependendo do tamanho e complexidade. Processos industriais podem levar semanas para realizarem a mesma construção. Existem varias técnicas de RP disponíveis no mercado, cada uma com características distintas. Diz-se que esses processos são “aditivos” devia a utilização de papel, ceras, plásticos, cerâmicos, pós ou outros materiais para a criação de um objeto físico. Processos subtrativos (perfuração, desbaste, etc...) que necessariamente retiram material de um bloco sólido não permitem a confecção de certas peculiaridades possíveis com RM.

A RP não é perfeita, mas com o avançar dos anos as limitações (volume, material) estão sendo removidas possibilitando uma ampla variedade de aplicação.

2.2 Conceitos

Todas as técnicas de RP empregam o mesmo processo básico de cinco passos – HOTZA

- elaboração de um modelo de CAD do projeto (a)
- conversão do modelo de CAD para um formato STL (b)
- fatiamento do arquivo STL em camadas finas de seção transversal (c - e)
- construção de Modelo de camada sobre camada (f)
- limpeza e acabamento do modelo.

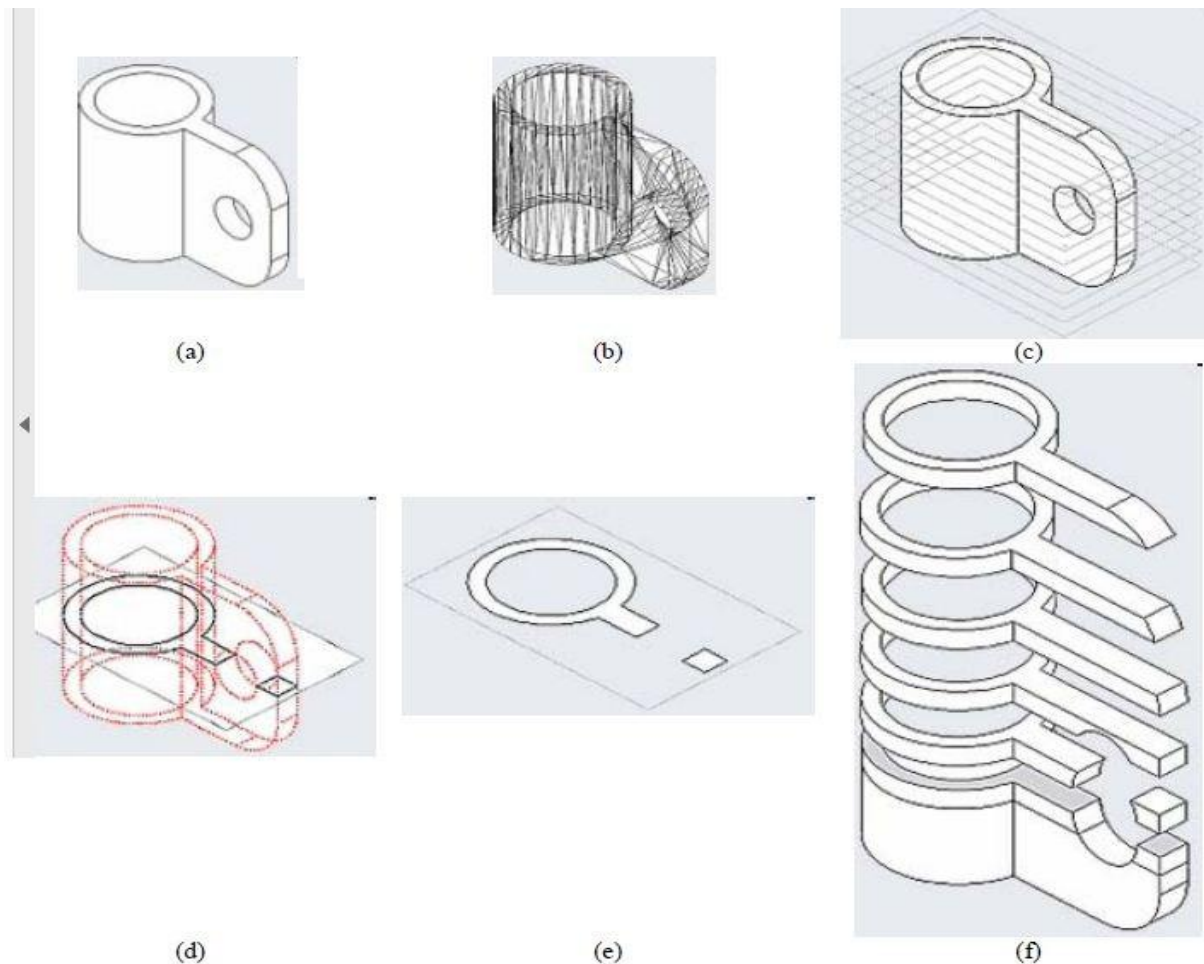


Figura 4 -Representação das principais etapas dos processos de manufatura por camada

Fonte: Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido HOTZA, D.

2.2.1 Criação de um modelo CAD

HOTZA afirma no primeiro instante que o objeto a ser elaborado é modelado utilizando um *software* que divide o modelo CAD em varias camadas finas, que são elaboradas então, uma sobre a outra. Modelos sólidos (Figura 4a) visam apresentar objetos 3D de maneira mais precisa que modelos de armação, garantindo assim melhores resultados. O desenhista pode utilizar um CAD já existente ou pode fazer um arquivo único para a prototipagem.

2.2.2 Conversão para formato STL

HOTZA define que inúmeros *softwares* de CAD usam algoritmos desiguais para apresentar objetos sólidos. Para determinar contextura, o formato STL foi elegido como o preceito da indústria de prototipagem rápida. Então, o passo seguinte é converter o arquivo CAD para STL. Este formato representa uma superfície tridimensional como uma montagem de triângulos planares (Figura 4b). Como o arquivo STL usa elementos planares, ele não pode demonstrar curvas exatas. Quanto maior o arquivo, mais tempo o mesmo levará para ser processado, assim o desenhista necessitará equilibrar precisão e facilidade para aproveitar o melhor do arquivo STL, considerando que o mesmo é universal.

2.2.3 Fatiamento do arquivo

HOTZA estabelece que no terceiro instante um *software* de pré-processamento prepara o arquivo STL para ser elaborado. Existem diversos programas, e a grande parte permite ao projetista redimensionar as partes, definir localização e orientação do modelo. Construir seguindo uma orientação adequada é importante, pois, as propriedades dos modelos mudam de acordo com o sentido da coordenada. Por exemplo, os modelos geralmente são mais frágeis e imprecisos na direção Z do que no plano XY (horizontal). A orientação também define o tempo necessário para a elaboração do modelo. Colocando a dimensão menor na posição z, reduzimos o número de camadas, encurtando também o tempo de elaboração. O programa de pré-processamento corta o modelo STL em diversas camadas, dependendo da técnica de construção (Figura 4c-e).

2.2.4 Construção do modelo em camadas

HOTZA menciona que a construção da peça real só ocorrerá no quarto instante (Figura 4F). Dependendo da Tecnologia Utilizada as máquinas irão construir camada a camada partindo de um polímero, pó metálico, resina, ou outro material adequado.

2.2.5 Limpeza e acabamento

No último instante HOTZA define o pós-processamento. Esta etapa ocorre à remoção dos modelos/protótipo da máquina de RP. Alguns protótipos necessitam de limpeza secundária ou tratamentos como lixamento, pintura, etc..., podendo estender à vida útil do mesmo.

2.3 TIPOS DE PROCESSOS

Em 2010 a *American Society for Testing and Materials (ASTM) group* criou um conjunto de normas que determinam os processos de manufatura aditiva, sendo estes divididos em sete tipos de acordo com terminologia padrão:

2.3.1 *Vat Photopolymerisation*

Conhecido como polimerização de IVA, utiliza plásticos e polímeros. Para este tipo de processo utiliza-se a estereolitografia (SLA) onde uma cuba de resina é curada por raios ultravioleta (UV). O laser UV constrói cada camada do objeto, uma por vez realizando a cura do foto polímero líquido. O laser traça uma secção transversal a partir da superfície da resina líquida. O padrão traçado exposto aos raios UV se solidifica se unindo à camada inferior

Com a camada construída o elevador SLA desce á uma distância equivalente a uma camada (0,05mm – 0,15mm). Em seguida é realizada uma nova varredura deixando a secção da peça novamente cheia de resina líquida pronta para um novo padrão. Nessa nova superfície uma nova camada é construída e assim unindo-se a camada anterior. De camada em camada o objeto é montado.

Geralmente em padrões SLA (Figura 5) utilizam-se suportes (estruturas de fixação), pois a peça pode flutuar uma vez que está na bacia cheia de resina líquida. Os suportes são removidos manualmente após o processo.

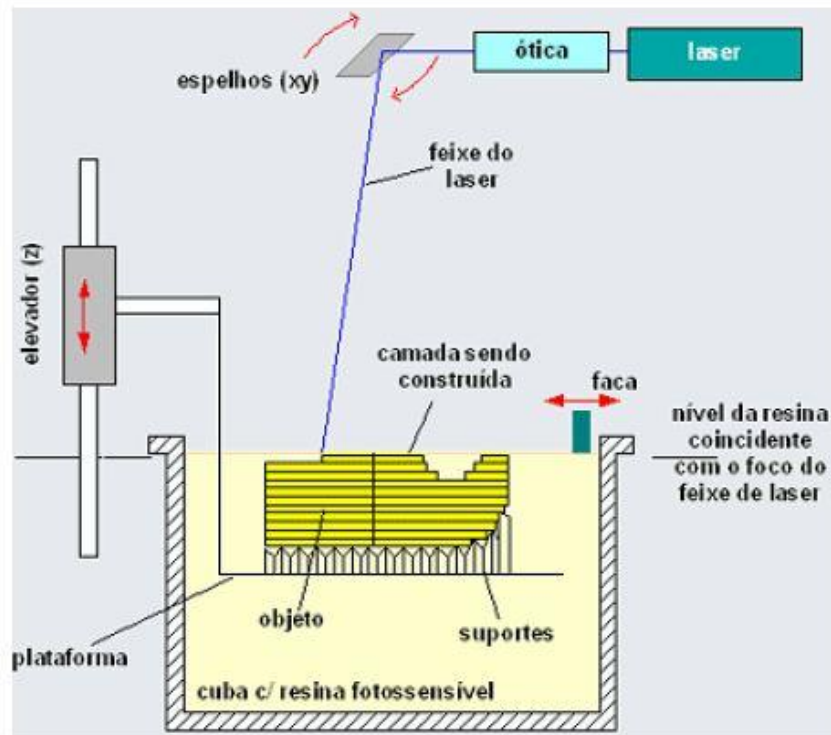


Figura 5 - Vat Photopolymerisation representação

Fonte: *KeepCad* Tecnologia

Vantagens:

- alto nível de precisão e bom acabamento;
- processo relativamente rápido;
- áreas de construção tipicamente grandes: Objetos: 1000 x 800 x 500 e peso máximo do modelo de 200 kg.

Desvantagens:

- relativamente caro;
- longo tempo de processamento e remoção de resina;
- uso limitado de material de fotos-resinas;

- freqüentemente requer estruturas de suporte pós cura para que as peças sejam fortes o suficiente para uso estrutural.

2.3.2 Material Jetting

Como o nome já diz “jateamento de material” (Figura 6) o material é aplicado de forma pressurizada transformando-o em gotas. São utilizados micro bicos parecidos ao modo como uma impressora jato de tinta trabalha. As camadas são aplicadas uma por uma e em seguida endurecidas por luz UV formando assim o objeto.

Este processo utiliza polímeros e plásticos.

Polímeros: polipropileno, HDPE, PMMA, PC, ABS, QUADRIS, EDP.

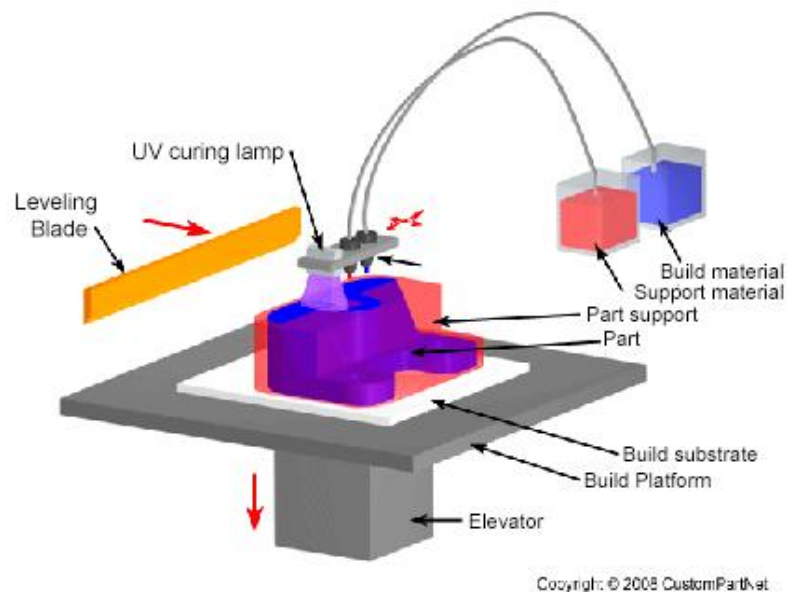


Figura 6 - Representação Material Jetting

Fonte: Loughborough University

Vantagens:

- o processo se beneficia de uma alta precisão de deposição de gotículas e, portanto, baixo desperdício;

- o processo permite várias peças de material e cores em um processo.

Desvantagens:

- material de suporte é frequentemente necessário;
- uma alta precisão pode ser alcançada, mas os materiais são limitados e somente polímeros e ceras podem ser usados.

2.3.3 Binder Jetting

Mais utilizado para impressão de metais foi desenvolvido em Massachusetts em 1993 onde dois materiais: um a base de pó e um aglutinante líquido são necessários para confecção do objeto. Na câmara (Figura 7), o pó é distribuído de forma igual onde em seguida o aglutinante é adicionado por meio de jatos, ligando (colando) as partículas de pó formando o objeto. Grosseiramente o objeto é um “aglutinado de partículas” e permanece no recipiente com o material em pó base.

Com a impressão concluída retira-se o excedente de material.

Este processo utiliza como materiais: metais (aço inoxidável), polímeros (ABS, PA, PC) e cerâmicos (vidro)

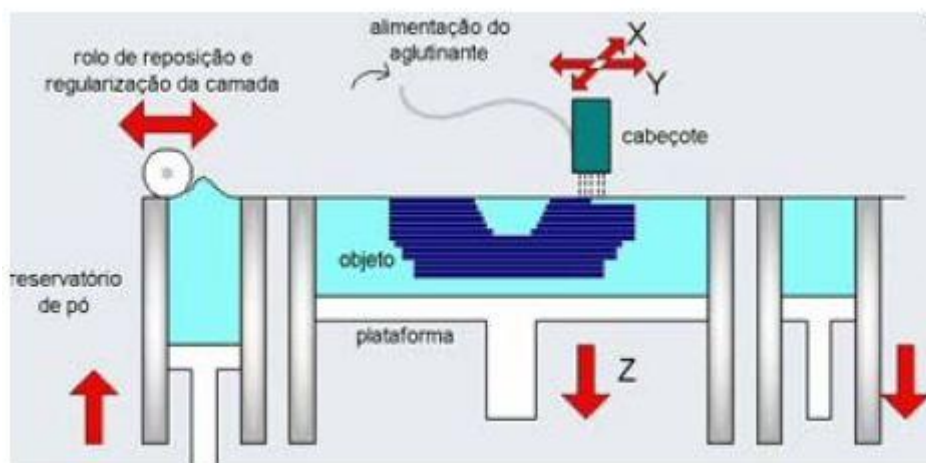


Figura 7 - Binder Jetting

Fonte: Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido HOTZA, D.

Vantagens:

- peças podem ser feitas com uma gama de cores diferentes;
- usa uma variedade de Materiais;
- o processo é geralmente mais rápido que outros;
- o método dos dois materiais permite um grande número de diferentes combinações de aglutinantes em pó e várias propriedades mecânicas.

Desvantagens:

- nem sempre adequado para peças estruturais, devido ao uso de material aglutinante;
- o pós-processamento adicional pode adicionar tempo significativo ao processo geral

2.3.4 Material Extrusion

É a tecnologia mais usada atualmente e está presente na maioria dos processos e escolas de impressão 3D. Conhecido também como método de Modelagem por Fusão e Deposição, o FDM utiliza pó ou filamentos com matéria prima para construção de seus objetos.

A impressão é feita por sobreposição (Figura 8) onde a partir de um modelo CAD, se formula várias camadas a serem construídas. Na utilização do pó as camadas são construídas sobre um leito. Após cada camada digitalizada ser construída e terminada, uma nova camada é aplicada sobre a mesma repetindo o processo até a finalização do mesmo.

Com os filamentos, o material é aquecido até o ponto de fusão onde sofrerá extrusão e é depositado no leito (Bandeja). As camadas serão construídas da mesma forma como na utilização de pó e o processo só termina quando o objeto é completamente construído.

Uma vantagem em relação aos demais tipos de impressora é a praticidade do armazenamento de material, podendo utilizar o material excedente para as próximas impressões.

Este processo utiliza como materiais: polímeros (ABS, Nylon, PC)

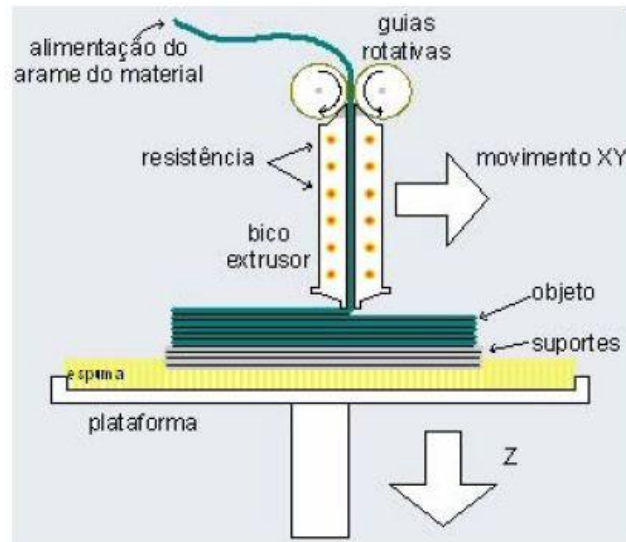


Figura 8 - Material Extrusion

Fonte: Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido HOTZA, D.

Vantagens:

- processo generalizado e barato;
- plástico ABS pode ser utilizado, que tem boas propriedades estruturais e é facilmente acessível.

Desvantagens:

- o raio do bico limita e reduz a qualidade final;
- plástico ABS pode ser utilizado, porque tem boas propriedades estruturais e é facilmente acessível;
- a pressão constante do material é necessária para aumentar a qualidade do acabamento.

2.3.5 Power Bed Fusion

A técnica mais comum é a Sinterização Seletiva a Laser (SLS). Nesta tecnologia (Figura 9) é utilizado um laser de alta potência para fundir partículas de plástico, metal, pós que ocasionalmente terá a forma tridimensional desejada. As camadas são soldadas de forma seletiva e em seguida usinadas em CNC para acabamento.

As variações incluem os processos DMLS, EBM, SHS e SLM.

Este tipo de processo pode utilizar qualquer material a base de pó sendo comum:

SHS – Nylon

DMLS, SLS, SLM – Aço, Aço Inoxidável, Ti, Al, Co, Cr

EBM – Ti, Cr, Al, Cu

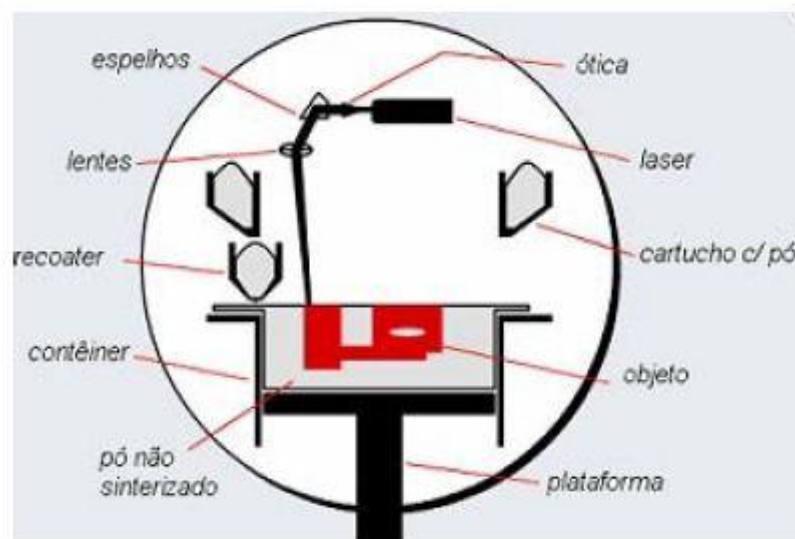


Figura 9 - Power Bed Fusion

Fonte: Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido HOTZA, D.

Vantagens:

- relativamente barato;
- adequado para modelos visuais e protótipos;
- (SHS) capacidade de integrar tecnologia em pequena escala, máquina de tamanho de escritório;
- pó atua como uma estrutura de suporte integrada;
- grande variedade de materiais.

Desvantagens:

- velocidade relativamente lenta (SHS);
- falta de propriedades estruturais em materiais;
- limitações de tamanho;
- uso de alta potência;
- o acabamento depende do tamanho do grão de pó.

2.3.6 Sheet Lamination

Incluem manufatura aditiva ultrassônica (UAM) e fabricação de objetos laminados (LOM), onde um conjunto de lâminas são unidas camada por camada até a formação do objeto. O processo (Figura 10) é de baixa temperatura permitindo a criação de geometrias internas e requer relativamente pouca energia. Geralmente utilizam-se papeis e adesivos e para metais uma soldagem ultrassônica seguida de um CNC para correção.

Este processo utiliza qualquer material em folha capaz de ser rolando: papel, plástico e algumas chapas metálicas. O material mais utilizado geralmente é o Papel A4.

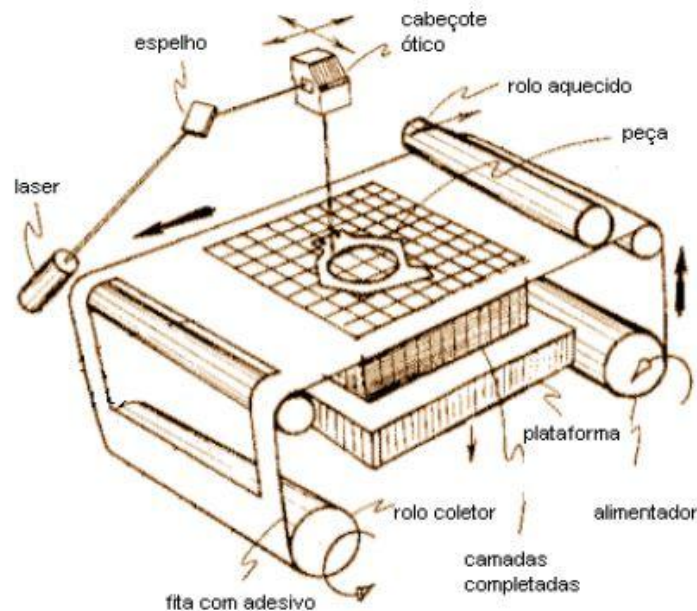


Figura 10 - Sheet Lamination

Fonte: Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido HOTZA, D.

Vantagens:

- os benefícios incluem velocidade, baixo custo, facilidade de manuseio de material, mas a força do material e a integridade dos modelos dependem do adesivo usado;

- o corte pode ser muito rápido devido à rota de corte, sendo apenas o contorno da forma, não todas as áreas da seção oblíqua.

Desvantagens:

- os acabamentos podem variar dependendo do papel ou material plástico, mas podem exigir pós-processamento para alcançar o efeito desejado;
- uso limitado de material;
- processo de fusão exigem mais pesquisas para avançar ainda mais o processo.

2.3.7 Directed Energy Deposition.

Comumente utilizado na indústria de metais e alta tecnologia é de fabricação rápida, possui ligado à máquina de impressão, um braço robótico multi-eixo. Para que este processo funcione é necessário um bocal que depositará o material (pó ou filamento metálico) e uma fonte de energia (laser, plasma, feixe de elétrons) que o derretera para confecção do objeto (Figura 11).

Este processo utiliza exclusivamente metais: Co, Cr, Ti, aços

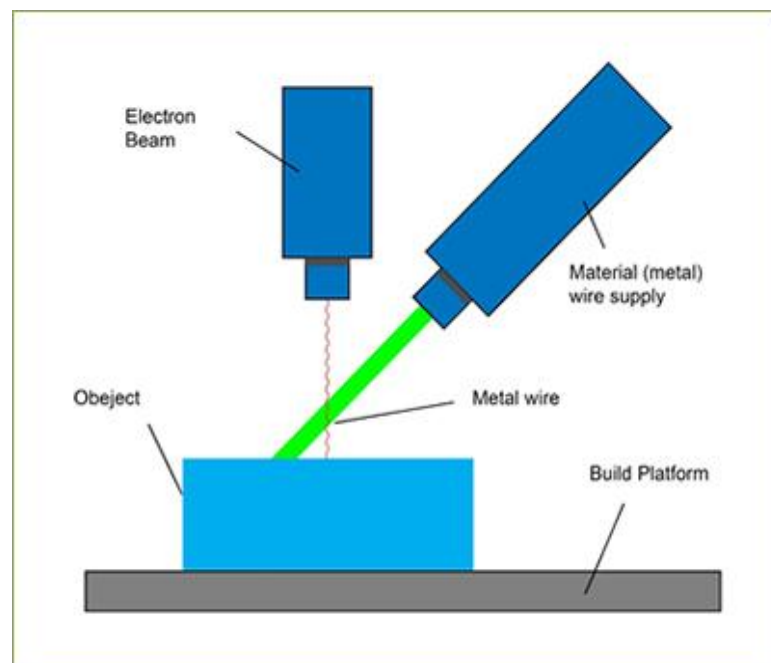


Figura11 - Directed Energy Deposition

Fonte: *Loughborough University*

Vantagens:

- capacidade de controlar a estrutura de grãos em alto grau, o que empresta o processo para reparar o trabalho de peças funcionais de alta qualidade;

- um equilíbrio é necessário entre a qualidade da superfície e a velocidade, embora com aplicações de reparo, a velocidade possa ser frequentemente sacrificada por uma alta precisão de uma microestrutura predeterminada.

Desvantagens:

- uso limitado de material;

- processos de fusão exigem mais pesquisas para avançar ainda mais o processo.

Obs.: Os sistemas de impressão conseguem garantir a quantidade suficiente de material a ser utilizada, porém, para todos os processos de forma geral é necessário realizar a limpeza do material excedente, aglutinante, rebarbas, etc... para evitar possíveis danos à máquina ou ao produto impresso.

2.4 Vantagens

2.4.1 Princípios Elementares

A Impressão 3D é uma forma de fabricação extraordinária, onde a partir de um modelo tridimensional se cria uma réplica utilizando a deposição de material por camadas sucessivas. Comparadas com as demais tecnologias aditivas, são mais fáceis e poderosas e oferecem de forma mais simples a impressão de peças ou componentes de diferentes propriedades físicas e mecânicas. Tecnologias mais avançadas de impressão permitem precisão quase que perfeita e funcionalidade próximas ao protótipo original (Figura 12).



Figura 12 - Honda CB500, de 1972. Feito por artista americano

Fonte: LWT Sistemas

Diminuindo o tempo e custo de produção em larga escala e mudando a lógica de processos industriais de forma definitiva, acredita-se que essa tecnologia será a precursora da Nova Revolução Industrial ou Indústria 4.0. Dentro de suas vantagens está a prototipagem com alto nível de detalhamento o que faz com que os protótipos sejam tão reais ou interativos quanto como produto final. Esse nível de detalhamento permite a previsão de erros permitindo a remoção dos mesmos garantindo a entrega mais consistente ao mercado.

A possibilidade de imprimir diversos tipos de peças complexas (Figura 13) de forma rápida e com a quantidade necessária de matéria prima (evitando desperdícios) beneficia diversos tipos de indústrias que buscam versatilidade e agilidade associada a custo benéfico.



Figura 13 - Possibilidade de figuras complexas

Fonte: LWT Sistemas

Em um processo de manufatura tradicional é comum um extenso maquinário para a utilização e confecção baseada em diversos materiais. Devido a sua característica *Fused Deposition Modeling* (FDM), é possível a utilização de diversos tipos de material (Figura 14) em um único processo, associados a possibilidade de coloração de materiais ainda na bandeja de impressão carecendo cada vez menos de mecanismos manuais. A tendência é o intensivo investimento para o aumento do espectro de matérias imprimíveis.



Figura 14 - Variedade de Cores e Espectro de Materiais

Fonte: LWT Sistemas

O conceito exclusividade pode ser bem aplicado ao estilo de produção que é proposto pela impressão 3D. A produção de peças personalizadas (Figura 15) e construídas “somente” para um cliente específico atrai o mercado.



Figura 15 - Conceito de Exclusividade

Fonte: LWT Sistemas

Devido à utilização de pós ou filamentos (Figura 16) é extremamente fácil a armazenagem e transporte, tanto dos materiais e impressoras. Pelo tamanho de equipamento e a versatilidade de opções de impressão, toda impressora pode ser instalada em “qualquer” lugar. Isso permite uma aproximação de indústrias a centros urbanos e ao abandono de polos industriais tornando o contato consumidor, produtor e produto mais estratégico.



Figura 16 - Simplicidade de Armazenamento

Fonte: LWT Sistemas

Por ser uma comunidade aberta, está em constante atualização por seus usuários, melhorando a tecnologia e a classificando como tecnologia disruptiva.

2.4.2 CNC vs Impressoras 3D

Comando Numérico Computadorizado, conhecido como CNC (Figura 17) é um sistema que autoriza o comando de máquinas utilizada em tornos. A inserção do CNC na indústria mudou drasticamente os processos industriais. Hoje as Impressoras 3D vêm com a mesma premissa promovendo o mesmo sentimento. Partindo de ideais próximos e de praticamente mesma metodologia (computador alimenta a máquina com códigos específicos que controlam as ferramentas de corte / extrusão), a criação de modelos usando softwares 3D e as aplicações chamadas de CAM – Computer-Aided Manufacturing.

De forma geral as CNCs realizam a retirada de material enquanto que as Impressoras 3D constroem o objeto camada por camada.



Figura 17- Comando Numérico Computadorizado

Fonte: Mecânica Industrial

a) Materiais

O CNC consegue trabalhar com imensa variedade de matérias: ligas metálicas (ligas de aço, latão, alumínio, cobre, etc...), madeira e resinas, matérias acrílicos, termoplásticos, espumas de modelagem. Para cada material será necessário diferentes ferramentas de corte,

mas devido a padronização da interface das máquinas, as ferramentas podem ser trocadas de forma simples.

Muitas vezes o CNC é capaz de produzir o protótipo no mesmo material que será produzido o produto final, garantindo assim, agilidade para a realização de testes.

As impressoras 3D geralmente estão restritas aos materiais que cada uma comporta ou estão restritas a determinados processos. São mais comuns termoplásticos (PLA, PETG, ABS, *Nylon*) ou resinas. Os termoplásticos podem ser misturados com outros materiais para lhe conferirem melhores propriedades, mas peças impressas não terão tanta robustez quanto uma peça cortada de um bloco “maciço” de metal ou madeira.

As Impressoras são configuradas e produzidas para fins específicos não podendo lidar com determinadas variações.

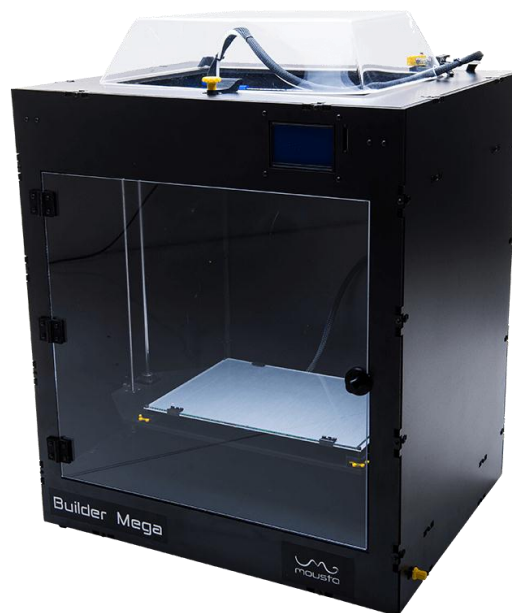


Figura 18 - Impressora Mousta Builder

Fonte: Mousta

b) Velocidade

Tanto nos CNCs quanto nas impressoras a velocidade de produção depende das peças e do material utilizado. As máquinas CNCs por eliminarem material de um bloco sólido, não

demoram mais de uma hora para dar conclusão a produção de uma peça. As Impressoras 3D possuem velocidades de impressão e velocidade de passo para a construção camada por camada e muitas vezes é necessária a redução de velocidade para obter precisão e evitar problemas de impressão, levando horas para a confecção de determinadas peças.

c) Ruído e Vibração

Cortar metal ou madeira utilizando ferramentas com diâmetro significativo (para a remoção rápida de grandes parcelas de material ou para peças grandes) dentro da fresagem CNC pode ser ensurdecedor. O ruído de uma impressora 3D é suave quando colocado ao lado de um CNC. Dependendo do material o CNC vibrará “muito”, já impressoras 3D não oferecem problemas de vibração.

d) Desperdício

Há significativamente menos desperdício nas tecnologias de impressão. Para a fabricação de um objeto é necessário apenas o material para construção. Mesmo em outros processos em que reste material ele ainda pode ser reaproveitado para outros fins. Essa regulagem é característica da própria tecnologia de impressão. Nas máquinas CNCs será preciso no mínimo um bloco que contenha o tamanho da peça a ser produzida e o material removido muitas vezes não possui reciclagem.

e) Aplicações e Preço

Para peças robustas, extremamente precisas ou com resistência ao calor o CNC é o indicado, como um faz tudo! As Impressoras 3D são voltadas a aplicações mais exóticas como: bioprintagem, joalheria, indústria alimentícia e pode ser utilizada no espaço. Impressoras 3D decentes podem ser adquiridas por volta de US\$500 enquanto que usinas CNC por US\$2000.

Tabela 1– Análise geral CNC vs Impressora 3D

	Impressora 3D	CNCs
Geral	Controlado por computador - CAM /CAD Construção Camada por Camada	Controlado por Computador - CAM/CAD Retirada de Material
Materiais	Variavel - Processo / Impressora ABS, PLA, PETG, Nylon, Ligas Metalicas, Resina, etc...	Ligas Metalicas, Resinas, Madeira, Termoplasticos, Acrílicos, Espumas de Modelagem, etc...
Velocidade	Limitada pela Impressora / Peça /Material Regulada para melhor precisão / acabamento	Limitada pela Peça / Material Excelente precisão
Ruidos / Vibração	Ruído Suave Vibração "Despresivel"	Varia conforme Peça / Ferramenta
Desperdicio / Ambiente	Reciclagem de Materias - Perda ínfima Materiais Biodegradaveis	Desperdício devido a utilização de blocos Falta de aplicabilidade
Aplicações	Areas Exóticas: Bioprintagem, Joalheria, Design, Arquitetura, Engenharias,etc... Hobbie	Conformação industrial geral: engloba vários processos.
Preço Médio	R\$ 1.825,00	R\$ 7.300,00

Fonte: Autor

2.5 Materiais

A partir dos diversos processos de prototipagem e a infinidade de impressoras, é possível determinar uma série de materiais (Figura 19) que podem ser utilizados para a confecção de um produto. Sua diversidade vai desde polímeros/plásticos a metais, resinas, madeiras. A utilização de cada um destes depende do tipo de processo empregado na produção, ou das qualidades necessárias para o produto ou até mesmo das condições de trabalho do local. Para fins de estudos deste trabalho será salientada a utilização e vantagens de materiais com base plástica ou polimérica.

Polímeros ou plásticos (polímeros sintéticos) cuja palavra vem do grego poli, que traz o significado de “muitos”, e meros, que traz o significado de “partes” são compostas cujas macromoléculas se originam da ligação de várias moléculas pequenas (monômeros).

De forma geral os polímeros podem ser organizados em 2 classes básicas:

Naturais – látex, polissacarídeos, amido, fibroína, etc...

Sintéticos – polietileno, PVC, teflon, poliacetato de vinila, etc...

Quando vamos falar de Impressoras 3D ou de métodos de prototipagem geral, o ABS e PLA assumem a liderança. Mesmo este sendo um mercado dinâmico esses dois materiais oferecem ainda boas condições de trabalho e acabamento associados a baixo custo. Ainda a utilização desses materiais com a combinação de outros compostos é extremamente eficiente para promover a melhora ou ganho de certas propriedades físico/mecânicas.



Figura 19 - Exemplos de Materiais Diferentes

Fonte: Impressão 3D Fácil

2.5.1 PLA

Originado de fontes renováveis, como amido de milho e raízes de mandioca ou cana de açúcar o ácido polilático é um termoplástico biodegradável (Figura 20) que demora cerca de 24 meses a 48 meses para degradar-se na natureza. (uma solução amigável em comparação com os demais plásticos). É um material brilhante que pode ser encontrado em cores opacas e translúcidas.

Quanto às suas propriedades, é um termoplástico bastante enrijecido e resistente, com difícil deformação e flexão. Devido a intensa rigidez este material não possui boa resistência ao impacto.

Com sua elevada fluidez de extrusão e baixa contração é capaz de produzir peças com alta precisão dimensional e com mais fidelidade de detalhes (cantos mais acentuados e melhor acabamento superficial).

Possui pouca resistência ao atrito e temperaturas elevadas, tanto que caso colocado dentro de um automóvel fechado sobre o sol ocorrerá deformação. Esse material pode ser

lixado ou usinado, mas o usuário encontrará dificuldades devido à alta rigidez e o calor dos processos, fazendo com que o material assuma um estado mais pastoso.

É recomendado para a elaboração de protótipos, que não sejam sujeitos às condições mecânicas de atrito ou elevadas temperaturas, produtos que exigem mais rigidez e melhor acabamento sem conveniência de pós-processamento (acabamento). Não é indicado para protótipos sujeitos a esforços mecânicos, que necessitem de flexibilidade ou estão próximos a componentes de alta temperatura ou sofreram a ação de temperaturas elevadas.

Por apresentar uma proposta sustentável, possuir um valor acessível, incomplexidade e velocidade de impressão aceitável é altamente recomendado.

Densidade: 1,24 g/cm³

Temperatura de Transição Vítrea: 60°

Custo: cm³, grama, hora peça. (150 R\$/kg)

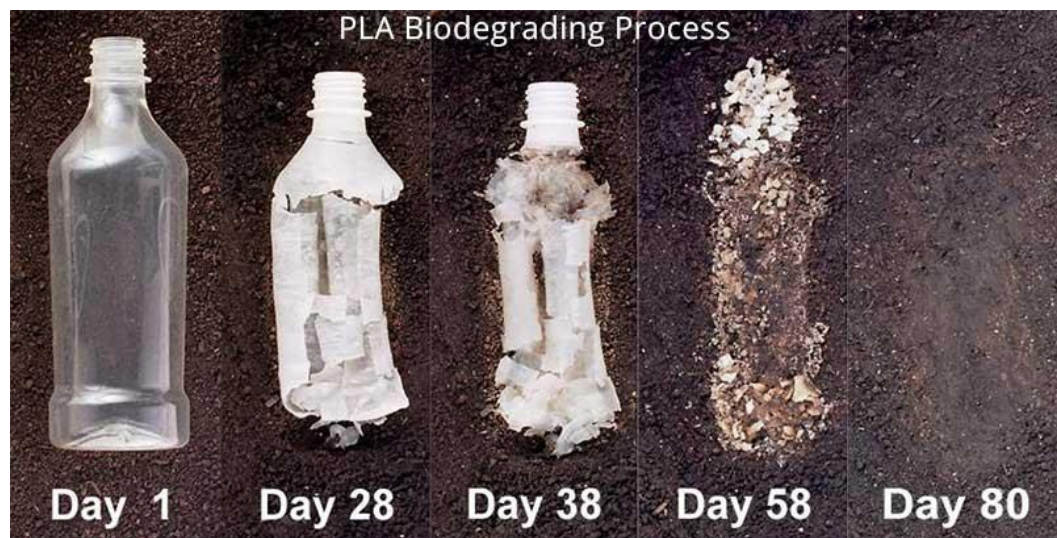


Figura 20 - Processo de biodegradação PLA

Fonte: iGEM Every 2016

2.5.2 ABS

O Acrilonitrila Butadieno Estireno é um termoplástico originário do petróleo. É um dos materiais mais antigos e amplamente usados nas impressoras. Seu aspecto fosco pode ser encontrado em diversas cores foscas. É um termoplástico firme, com ótima resistência a impacto e com uma leve flexibilidade (+ PLA), o que permite ligeiras deformações ou flexões (dependendo da geometria), ótimas para peças que necessitam de encaixes em montagem.

O ABS é resistente às temperaturas mais elevadas e capaz de produzir peças fortes, mas não possui uma boa precisão dimensional (não oferece cantos acentuados nem tantos detalhes como o PLA). Apresenta um bom acabamento superficial e como possui a aparência fosca pode aparentar um acabamento melhor do que outros materiais.

É indicado em protótipos funcionais, peças que necessitam de ser mais resistentes seja ao impacto ou temperatura, peças que necessitam de uma leve flexibilidade ou pretende-se realizar um pós-processamento. Seu acabamento pode ser realizado com facilidade podendo ser lixado ou usinado facilmente, e por ser solúvel em acetona, um leve mergulho é capaz de alisar a superfície de maneira satisfatória (Figura 21).

Apesar de custar um pouco mais que o PLA seu principal problema é o seu apelo ambiental, pois possui alto tempo de degradação no meio ambiente e sua fonte é não renovável.

As peças podem ser unidas com adesivos (cianoacrilato e cola epóxi) ou soldadas por acetona.

- Densidade: 1,03 g/cm³

- Temperatura de Impressão: 220 – 260°C

- Temperatura de placa: 100 – 110° C

- Taxa de impressão: 30-90 mm/s

- Temperatura de Transição Vitrea: 105°

- Custo Ligeiramente mais elevado que o PLA – cm3, grama, hora peça. (120 R\$/kg)



Figura 21 - Protótipo Clássico do Esquilo

Fonte: Loja *Opening ABS Premium*

2.5.3 PETG

O Politereftalato de Etileno Glicol é um termoplástico derivado do petróleo, porém reciclável. Usado na indústria para diversas finalidades há anos e por possuir métodos de reciclagem parecidos com o PET, recentemente, vem sendo usado na Impressão 3D.

Possui um aspecto transparente e brilhoso (Figura 22) podendo ser encontrado em cores transparentes e translúcidas. Possui resistência a impactos e flexibilidades superiores ao ABS. Sua resistência a temperatura é bem melhor que o PLA, mas não o suficiente para superar a do ABS. Devido a sua baixa contração (mais elevada que o PLA) permite peças com excelente precisão dimensional, com ótima junção entre camadas, cantos salientes e a reprodução de pequenos detalhes com menor atrito e melhor acabamento.

Mais durável e resistente que o ABS, tão resistente ao atrito e as grandes temperaturas, com maior flexibilidade e permitindo peças mais precisas e com mais translucidez que o PLA,

é um material recomendado para uma extensa gama de peças funcionais e decorativas. Pode ser usinado e lixado, mas por possuir elevada resistência o atrito torna este último mais trabalhoso.

Seu grande diferencial esta na resistência química a múltiplos tipos de solventes presentes e não possui contra indicações podendo ser utilizados em diversos processos e aplicações. Ecologicamente é pior que o PLA por não ser biodegradável, mas ainda sim é reciclável tornando o melhor que o ABS.

As peças podem ser unificadas com aderentes (cianoacrilato e cola epóxi).

Sua maior limitação é o custo de material além de ter um tempo de impressão maior.

- Densidade: 1,25 g/cm³
- Temperatura de Transição Vitrea: 88°
- Temperatura de Impressão: 230 – 250° C
- Temperatura de Placa: 80 – 90° C ou sem Aquecimento
- Custo: Mais elevado que os demais – cm³, grama, hora peça.



Figura 22 - Barco feito em PETG

Fonte: 3D Printing Center

2.5.4 OBSERVAÇÕES E MATERIAIS MISTOS

a) PLA+

O Ácido Polilático melhorado é basicamente o mesmo material com algumas modificações que alteram suas propriedades. O material ainda é biodegradável e de aspecto brilhoso, porém tornou-se levemente flexível e com melhor tenacidade, permitindo assim, melhor aderência entre as camadas da peça. Tudo isso o torna mais forte, resistente a impactos, maior resistência mecânica se comparado ao ABS. A nova formulação também oferece acabamento mais liso e suave mantendo sua alta precisão. Sua resistência a temperatura foi levemente melhorada, ainda sim não recomendando-o para ambiente de elevada temperatura.

- Temperatura de Impressão: 190 – 210° C
- Temperatura da placa: 0 – 65° C
- Velocidade de Impressão: 30 – 90 mm/s
- Velocidade de Movimentação: 90 – 150mm/s

b) TPUFLEX

O Poliuretano Flexível é um termoplástico extremamente versátil que dependendo de sua composição pode assumir uma forma elastomérica dura como um plástico ou macia e flexível como uma borracha. Com alta resistência a flexão, boa resistência ao desgaste, ao envelhecimento, resistência química a solventes e óleos, ao frio e a raios ultravioletas é apto para produzir com excelência peças protótipo e de uso final.



Figura 23 - Variedades de Cores entre os materiais

Fonte: Cliever

2.5.5 Observações

Embora, alguns materiais demonstrem características físicas de resistência divergentes entre si, o que influencia, de fato, na resistência da peça são os aspectos com que a mesma é produzida. Como altura de camada, temperatura de extrusão, espessura de perímetros, tipo de preenchimento, percentual de preenchimento, orientação de impressão e geometria da peça.

Quadro 2 - Tabela Comparativa dos Materiais

	PROPRIEDADE/ DESEMPENHO	MENOR	MÉDIO	MAIOR
	ECOLÓGICO	ABS	PETG	PLA
	BRILHO	ABS	PLA	PETG
	TRANSPARÊNCIA	ABS	PLA	PETG
	RIGIDEZ/DUREZA	PETG	ABS	PLA
	RESISTÊNCIA IMPACTOS	PLA	ABS	PETG
	FLEXIBILIDADE	PLA	ABS	PETG
	CONTRAÇÃO/WARP	PLA	PETG	ABS
	PRECISÃO EM DETALHES E CANTOS	ABS	PETG	PLA
	QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DA PEÇA	ABS	PETG	PLA
	RESISTÊNCIA A ATRITOS	PLA	ABS	PETG
	RESISTÊNCIA QUÍMICA	ABS	PLA	PETG
	RESISTÊNCIA ALTAS TEMPERATURAS	PLA	PETG	ABS
	FACILIDADE DE PÓS PROCESSAMENTO	PLA	PETG	ABS
	USINABILIDADE	PLA	PETG	ABS
	DENSIDADE	ABS	PLA	PETG
	PREÇO POR CM3/GRAMA/HORA	PLA	ABS	PETG

Fonte: Impressão 3D Fácil

2.6 Software

2.6.1 Generalidades

A base de *softwares* começa com arquivos STL. Acredita-se que o significado de STL é uma abreviação do termo STereoLithography, embora seja mencionada como “*Standard Triangle Language*” ou “*Standard Tessellation Language*”.

Quando trabalhamos com impressoras 3D é muito provável que o arquivo STL seja o “*software*” mais importante, uma vez que, todas as informações sobre a geometria e construção de um objeto físico estão nele. Usado como formato padrão possui destaque por quase 30 anos.

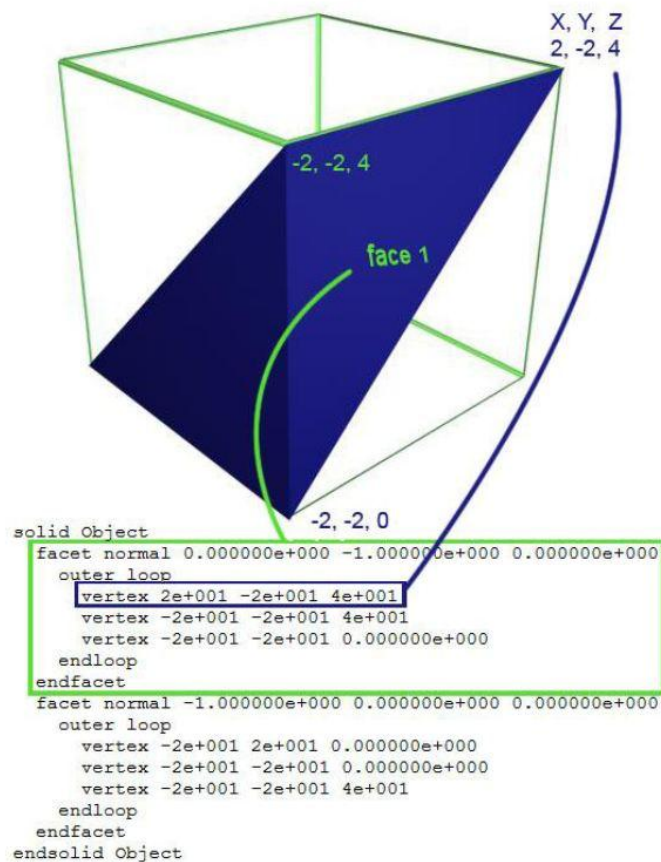


Figura 24 - Formato STL

Fonte: AZEVEDO Estudo e Projeto de Melhoria em Máquina de Impressão 3D

De maneira geral, arquivos STL usam uma série de triângulos (Figura 24) para construir a geometria de superfície de um modelo. Quanto mais triângulos existirem na composição geométrica, maior será o arquivo e mais complexo será o objeto (Figura 25). Cada face do triângulo é descrita por uma direção perpendicular e três pontos que representam seus cantos. Um arquivo STL reúne todos esses dados e pontos sobre cada triângulo.

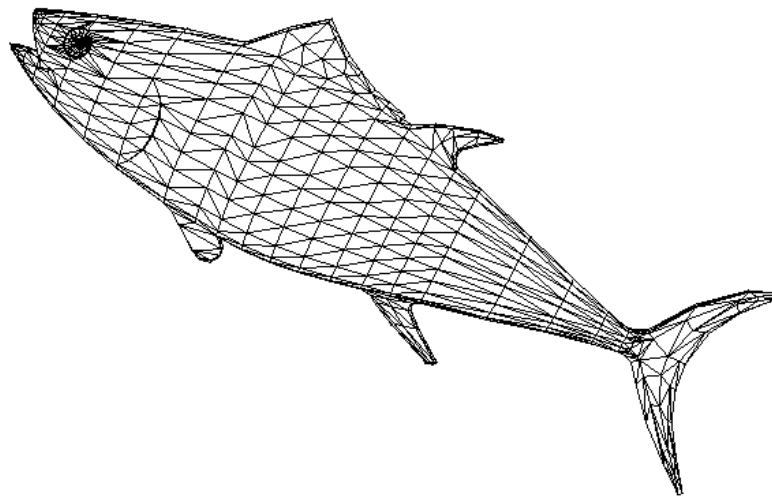


Figura 25 - Tuna Convertida em STL

Fonte: *Computational Fluid Dynamics Fraïd Moussaoui*

Para poder utilizar esses arquivos e realizar impressões tridimensionais é necessário um *software* específico denominado popularmente como *Slicer* (cortador). *Slicers* são *softwares* de impressão tridimensional que convertem os modelos digitais em comandos para a impressora. Os *Slicers* podem fatiar os arquivos de centenas a milhares de camadas horizontais, dependendo das configurações adotadas. É a partir deste fatiamento (Figura 26) que a impressora saberá o quanto de material deverá utilizar e quanto tempo levará para produzir o objeto. Os parâmetros definidos dentro do *Slicer* impactam diretamente na

qualidade de impressão. Todas essas informações são agrupadas em arquivos GCode que é a linguagem da impressora.

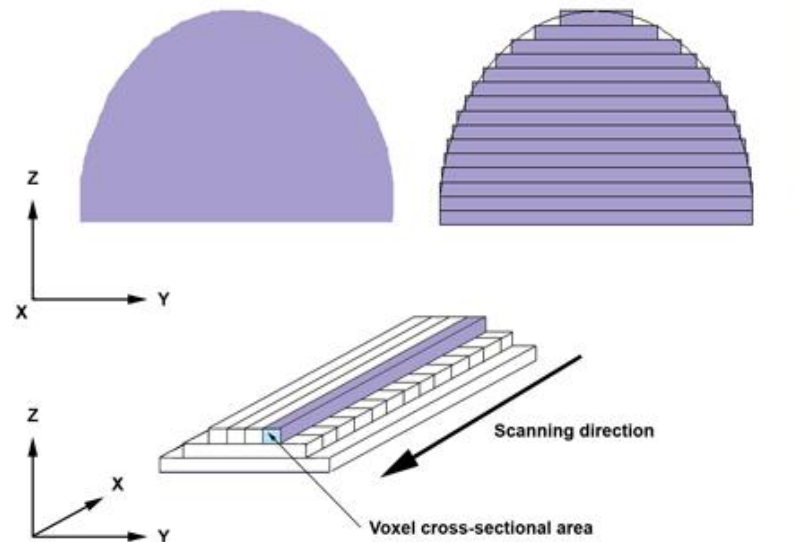


Figura 26 - Representação Fatiamento

Fonte: Wikipédia

2.6.2 GCode

O código G como é chamado é uma linguagem de programação que surgiu devido a necessidade de padronizar uma “língua” para os processos de usinagem que faziam uso de sistemas CNC (Computador Numérico Computadorizado). Desde sua criação cada fabricante era incumbido por criar sua respectiva linguagem, então com a padronização, ocorreu o desenvolvimento por esta parte da indústria que optou a ter esta como uma linguagem universal.

Sendo um complemento do código numérico, trata-se de uma linguagem simples e rudimentar que tem como principal finalidade instruir a máquina para que a mesma se mova nas três dimensões geométricas: X, Y, Z. Essas instruções são dadas por linhas sequenciais, cada uma responsável por uma tarefa específica. O programa as executa linha por linha até o

término do código. Os comandos operacionais são executados automaticamente com uma velocidade fenomenal, acurácia, competência e repetibilidade.

Com os adventos das Impressoras 3D, a utilização desse tipo de código tornou-se comum. Com as aspectos populares, o GCode combina com o termo de “Tecnologia Disruptiva” proposto pelas Impressoras 3D fazendo com que qualquer usuário, possa escrevê-lo para atender sua necessidade operacional.

Através de combinações de números e letras criarão as linhas do GCode. Os comandos podem ser chamados de “Campos”. Um campo pode ser interpretado com um comando, parâmetro ou qualquer outra finalidade especial. Os campos (Quadro 3) variam de letras a números (inteiros ou fracionados) combinados ou simplesmente letras sozinhas.

Quadro 3 – Campos GCode

Carta	Significado
Gnnn	Comando GCode padrão, como mover para um ponto
Mnnn	Comando como ativar um ventilador
Tnnn	Selecione a ferramenta nnn., uma ferramenta é tipicamente associada a um bocal, que pode ser alimentado por uma ou mais extrusoras.
Snnn	Parâmetro de comando, como tempo em segundos; temperaturas; tensão para enviar para um motor
Pnnn	Parâmetro de comando, como tempo em milissegundos; proporcional (K_p) no ajuste do PID
Xnnn	AX coordenada, geralmente para mover para. Isso pode ser um número inteiro ou fracionário.
Ynnn	Coordenada AY, geralmente para se mover. Isso pode ser um número inteiro ou fracionário.
Znnn	Coordenada AZ, geralmente para mover para. Isso pode ser um número inteiro ou fracionário.
U, V, W	Coordenadas de eixo adicionais
Innn	Parâmetro - Deslocamento X no movimento do arco; integral (K_i) no ajuste do PID
Jnnn	Parâmetro - deslocamento Y no movimento do arco
Dnnn	Parâmetro - usado para diâmetro; derivada (K_d) no ajuste do PID
Hnnn	Parâmetro - usado para o número do aquecedor no ajuste do PID
Fnnn	Avanço em mm por minuto. (Velocidade do movimento da cabeça de impressão)
Rnnn	Parâmetro - usado para temperaturas
Qnnn	Parâmetro - não usado atualmente
Ennn	Comprimento do extrudado. Isto é exatamente como X, Y e Z, mas pelo comprimento do filamento a consumir.
Nnnn	Número da linha. Usado para solicitar transmissão repetida no caso de erros de comunicação.
* nnn	Checksum. Usado para verificar erros de comunicação.

Fonte: RepRap

2.6.3 GCode –Comandos Básicos.

a) G28 – Executar Rotina de Homing

Este comando diz à impressora para executar sua sequência de retorno, que moverá a cabeça de ferramenta para as bordas distantes da máquina até que entre em contato com os pontos de extremidade nesses locais. A maioria dos arquivos de impressão começará com esse comando para que a impressora inicie a partir de um local conhecido. Essa também é uma maneira útil de mover rapidamente um eixo para fora do caminho, o que pode ser útil no final de uma impressão para que você possa remover sua peça.

Se nenhum argumento for utilizado, a máquina irá alinhar todos os três eixos. Existe a possibilidade de especificar quais eixos exatos adicionar um comando.

Exemplo:

```
G28 ; home all axes (X, Y, and Z)
```

```
G28 X Y ; home X and Y axes
```

```
G28 Z ; home Z axis only
```

b) G90 e G91 – Definir modo de posicionamento

Sua impressora pode usar posicionamento absoluto ou relativo. Posicionamento absoluto significa que você estará dizendo à sua impressora 3D para mover uma coordenada XYZ exata. O posicionamento relativo é usado quando você deseja informar à impressora até onde ela deve se mover a partir do local atual. Envie um comando G90 para informar sua impressora para usar posicionamento absoluto ou um G91 para posicionamento relativo. A

maioria do seu arquivo GCode provavelmente usará posicionamento absoluto, uma vez que o *Slicer* já determinou as coordenadas XYZ exatas para mover para. No entanto, se você não souber a posição anterior da ferramenta ou se simplesmente souber que deseja mover a cabeça a uma certa distância ao longo de um eixo, poderá usar o posicionamento relativo. Enquanto G90 e G91 controlam o modo de posicionamento para os eixos X, Y e Z:

```
G90 ; use absolute positioning for the XYZ axes  
G1 X10 F3600 ; move to the X=10mm position on the bed  
G1 X20 F3600 ; move to X=20mm
```

```
G91 ; use relative positioning for the XYZ axes  
G1 X10 F3600 ; move 10mm to the right of the current location  
G1 X10 F3600 ; move another 10mm to the right
```

c) G1 – Movimento Linear

Este comando provavelmente representa 95% dos seus arquivos GCode, então é um bom aprendizado! O comando G1 diz à sua impressora para se mover em linha reta até o local que você especificar. Você pode usar isso para mover apenas um único eixo ou vários eixos de uma só vez. Tenha em mente que sua extrusora é controlada como qualquer outro eixo, então você também pode usar este comando para extrudar ou retraindo o filamento do bocal.

Como argumento use os valores X, Y ou Z para informar a impressora para qual posição mover-se. Tenha em mente que esses valores obedecerão ao modo de posicionamento atual, para que você possa especificá-los usando coordenadas absolutas ou relativas. Inclua um valor E se você quiser mover a extrusora também. O valor E corresponde à posição do seu carretel de filamento, portanto, se você mover o eixo E em 10 mm, isso fará com que 10 mm do seu filamento sejam empurrados para dentro do bico. Como o diâmetro do bico é geralmente muito menor que o diâmetro do seu filamento, 10mm de filamento empurrado para dentro do bico pode criar uma extrusão de centenas de milímetros de comprimento! Por esse motivo, os valores E que você verá no seu arquivo são normalmente muito pequenos em comparação com os valores X, Y e Z. Finalmente, você pode usar um valor F para dizer à

impressora que velocidade usar para o movimento. Esta velocidade deve ser sempre especificada em unidades de mm /min:

```
G1 X0 Y0 F2400 ; move to the X=0 Y=0 position on the bed at a speed of 2400 mm/min
G1 Z10 F1200 ; move the Z-axis to Z=10mm at a slower speed of 1200 mm/min
G1 X30 E10 F1800 ; push 10mm of filament into the nozzle while moving to the X=30 position at the same time
```

d) G92 – Definir Posição Atual

Use este comando para definir a posição atual de seus eixos. Isso pode ser útil se você quiser alterar ou compensar a localização de um dos seus eixos. Um dos usos mais comuns para este comando é, na verdade, com o eixo E (a posição do filamento). Você pode rapidamente substituir a posição de filamento atual para que todos os comandos futuros sejam agora relativos a esse novo valor. É comum fazer isso no início de cada camada ou logo antes de um comando primo ou de retração:

```
G92 E0 ; set the current filament position to E=0
G1 E10 F800 ; extrude 10mm of filament
```

e) M104 & M109 – Aquecimento da Extrusora

Use esses comandos para definir a temperatura da sua extrusora. O comando M104 começa a aquecer a extrusora, mas depois permite que você execute outros comandos imediatamente. O comando M109 irá, na verdade, aguardar até que a temperatura desejada seja alcançada antes de permitir a execução de qualquer outro comando. Por esse motivo, você verá com frequência uma M109 na parte superior dos arquivos Gcode do Simplify3D, pois isso permite que a extrusora atinja a temperatura necessária antes do início da impressão.

Como argumento, o valor S especifica a temperatura da extrusora em graus Celsius. O valor T pode ser usado se você tiver mais de uma extrusora, pois permite especificar

qualtemperatura exata da extrusora você deseja definir. Se você tem uma máquina de extrusão dupla, normalmente T0 é a extrusora direita e T1 é a extrusora esquerda. Se você tiver apenas uma única máquina extrusora, pode omitir o parâmetro T por completo.

Existem também, os **M140 e M190 - Comandos de Aquecimento da Cama**, estes comandos são usados para definir a temperatura da sua plataforma de construção aquecida:

```
M104 S190 T0 ; start heating T0 to 190 degrees Celsius
G28 X0 ; home the X axis while the extruder is still heating
M109 S190 T0 ; wait for T0 to reach 190 degrees before continuing with any other commands
```

```
M140 S50 ; start heating the bed to 50 degrees Celsius
G28 ; home all 3 axes while the bed is still heating
M190 S50 ; wait until the bed reaches 50 degrees before continuing
```

f) M106 – Velocidade do Ventilador

Esse comando permite definir a velocidade do ventilador de resfriamento de peças da sua impressora. Este é um ventilador de refrigeração externo apontado para a peça que você está imprimindo. Lembre-se de que sua impressora também pode ter um ventilador de extrusora que ajuda a resfriar o mecanismo de acionamento da extrusora. Embora a maioria das impressoras tenha um ventilador de refrigeração externo, existem algumas exceções.

Como argumento, o valor S define a velocidade do ventilador:

```
M106 S255 ; set the fan to full speed
```

```
M106 S127 ; set the fan to roughly 50% power
```

```
M106 S0 ; turn off the fan completely
```

2.7 Aquisição de *software* ematerial

2.7.1 Viabilidade de Impressoras 3D

Com o surgimento das Impressoras 3D e com a constante necessidade de adaptação das empresas com a demanda do mercado de trabalho, a substituição de processos, como o de usinagem, para a produção de variadas peças vem se tornado comum.

Pequenas empresas estão encontrando investimentos rentáveis dentro da área de manufatura aditiva. Uma das áreas que mais se obtêm vantagem é a Construção de Protótipos – Modelos que servem como base para construção do produto final. Considerando que o espectro de materiais vem aumentando com o passar dos anos e com o desenvolvimento da tecnologia, será comum alcançarmos um número de aplicações cada vez mais desejáveis.

Um dos principais problemas hoje é justamente a limitação dos materiais. Apesar dos avançados termoplásticos, os mesmos não são capazes de oferecer as propriedades de um metal por exemplos. A viabilidade de uma impressora está relacionada ao seu tipo de serviço / trabalho.

É importante o investimento nesta área, mas poder aproveitar outras oportunidades de negócio proporcionadas pela mesma também é viável. Uma empresa que fabrica peças e acessórios para sistemas de controle para veículos elétricos, a HGX encontrou na manufatura aditiva uma solução econômica. Inicialmente a empresa tinha um gasto estimado de R\$ 300 – 400 para a confecção de pequenas peças de alumínio. Com a aquisição de uma Impressora 3D e trocando para plástico o custo caiu para R\$ 14: uma redução significativa de gastos em 96,5%.

Com outro projeto, a HGX adquiriu uma nova impressora (um modelo mais atualizado) reduzindo o custo de usinagem do alumínio para R\$ 35, afirmam o mecânico e gerente da HGX.

Apesar das vantagens a HGX afirma que mesmo com a impressão um pouco demorada, ela não necessita vistoriar o processo e a demanda não é exclusiva da peça que a impressora imprimir, tornando assim viável a mudança.

Para a HGX, a substituição dos métodos de produção convencional para a Impressora 3D foi excelente. A empresa conseguiu suprir sua necessidade de produção aliada à qualidade do produto oferecido tendo uma grande redução econômica.



Figura 27 - Conjunto de Engrenagens Impressos

Fonte: Impressão 3D Fácil

2.7.2 Escolhendo e adaptando sua necessidade a uma impressora

Para alavancar a produção em impressões 3D de maneira satisfatória e eficaz é necessário respostas e questões técnicas e muitas vezes comerciais. Dependendo da abordagem, existem prós e contra que devem ser considerados para a escolha. Inicialmente realizamos três perguntas chaves:

→**Quais os benefícios esperados para o seu negócio ou para si mesmo?**

Quando falamos de Impressoras 3D, estamos abrindo um leque de benefícios. Queremos reduzir custos associados a produção e desenvolvimento? Estamos gerando renda inserindo novos produtos no mercado ou criando linhas produtivas baseadas em manufatura aditiva? Pretendemos obter flexibilidade através dessa nova tecnologia de impressão e é necessário o estudo mais aprofundado da mesma? Ou quero começar um simples *hobby*? Compreender bem sua prioridade é fundamental para determinar a escolha da Impressora 3D

→ **Qual é o custo total de operação?**

É importante analisar o *Total Cost of Operation* (TCO) levando em consideração todas as abordagens ligadas aos seus benefícios incluindo concorrentes, fornecedores, a tecnologia de impressão 3D contra a tecnologia já existente ou terceirizada, etc... Apesar das variáveis mencionadas acima deve-se manter em mente:

- custo da aquisição da impressora;
- materiais consumíveis (suprimentos e cabeças de impressão);
- garantias;
- tempo de trabalho, especialmente no pós-processamento das partes;
- instalações (algumas impressoras necessitam de ventilação, encanamentos, etc...) e espaço físico.

Caso seja um simples *hobby*, não é essencial a escolha de uma impressora de escala industrial por exemplo.

→ **Como essa escolha/solução se encaixa ao seu ambiente geral?**

Mesmo estando no começo de inovação da curva tecnológica as impressoras 3D tem representado melhorias para seus fabricantes e usuários e está mudando a forma como são construídas as coisas. Em longo prazo como esta afetará sua estratégia de manufatura.

Partindo dessas três perguntas lembre-se que nenhuma tecnologia de impressão 3D pode fazer tudo. Hoje classificamos os processos de impressão em sete, cada um com seus pontos fortes e fracos o que os tornam ótimos em algumas aplicações e inadequados a outros. O espectro de materiais para cada tipo de processo é diferente, podendo variar de elastômeros plásticos para metais. São diferentes métodos para a confecção de peças, produzirem peças que resistem a exigência de anos de serviço ou peças de descarte rápido.

Algumas impressoras produzem grandes lotes de peças enquanto que outras são destinadas a produção de apenas uma, ou parte específicas por vez.

Geralmente, se é preciso flexibilidade, utiliza-se uma abordagem *Inhouse*, mais caseira e simples, porém, se é necessário desempenho e variedade de materiais, optamos pela Fabricação em Demanda voltada para a área industrial.

Uma vez entendido sua necessidade é possível escolher a melhor impressora dentro do previsto baseado nas colocações abaixo:

- **O tamanho da maior parte/peça individual**

Impressoras 3D podem imprimir em muitos “volumes” de impressão diferente, mas isso normalmente está associado ao tamanho. Não necessariamente o maior é igual ao melhor, é preciso equilibrar o volume máximo de impressão com seu acabamento e precisão considerando o custo de produção. Ocasionalmente é comum no início desejarmos peças grandes e com altos índices de acabamento causando um grande investimento inicial. O recomendado é selecionar a peça de maior tamanho e verificar sua ocorrência de impressão. Caso exista a necessidade de imprimir peças com um volume/tamanho acima do geral, é recomendado terceirizar a produção da mesma podendo obter melhor custo benefício.

Grosseiramente podemos comparar:

Cabe na sua mão – Aproximadamente 10cm x 10cm x 10cm (4in x 4in x 4in)

Cabe em uma caixa de sapatos – Aproximadamente 30cm x 20cm x 13cm (12in x 8in x 5in)

Cabe em sua Mesa – Aproximadamente 50cm x 38cm x 25cm (20in x 15in x 10in)

Grandes – Aproximadamente 150cm x 75cm x 50cm (60in x 30inx 20in)

- **Qual a resistência requerida pelas suas peças?**

Fundamentalmente, encontrar a impressora 3D correta resume-se em uma única variável: sua impressora é capaz de imprimir peças que realizem o que você deseja? Ex.: Se imprimirmos um garfo será possível comer com ele? Cada material possui suas próprias propriedades mecânicas e apesar de existirem inúmeras variáveis para garantir as propriedades desejadas, é útil definir termos gerais de desempenho para a produção das peças.

Força de produção e durabilidade - Para uso prolongado de protótipos funcionais que estarão sujeitos a altos níveis de estresse mecânico. Indiferente de plásticos moldados ou metais fundidos.

Protótipo funcional limitado – São protótipos de uso limitado de uso para curto prazo, ou de utilização única, sujeitos a baixo nível de estresse mecânico. Plásticos moldados, moldes de fibra de carbono, moldes de injeção, acessórios, etc...

Aparência – Quando as propriedades mecânicas não são “importantes”, mas as peças em questão devem ser robustas o suficiente para serem manuseadas e enviadas sem a aplicação de carga mecânica. Dentro desta classe certo grau de fidelidade ou detalhamento é necessário devido à aplicação. Protótipos Visuais, Objetos Artísticos, Modelos de vendas, etc...

Sacrificiais–Servirão como elementos de sacrifício, por exemplo, padrões de cera ou resina na fundição de metais.

● **Quantidades de peças mensalmente**

Saber quantas peças serão produzidas durante o mês ajudará a evitar o gasto excessivo e nem deixar que sua produção pare devido uma impressora que não acompanha seu ritmo de peças previstas. Vale ressaltar que *Velocidade de Impressão Bruta* que é o tempo em que se obtém uma peça da impressora 3D não é equivalente a *Produtividade*. Uma peça pode demorar uma hora para ser confeccionada, mas 10 da mesma peça podem levar uma hora e meia na mesma impressora.

- Até 50 peças mensais.
- Acima de 50 peças, mas menos 500 mensais.
- Acima de 500 peças mensais.

São varias opções distintas.

- **Tempo por parte ou taxa em lotes**

Algumas impressoras são otimizadas para a produção individual de peças e outras para a produção em lotes. Como mencionado acima a diferença entre *Velocidade de Impressão Bruta* e *Produtividade* são conceitos diferentes e complexos. Geralmente fornecedores apenas publicam a velocidade de impressão bruta podendo levar a uma escolha errônea. Da mesma forma que uma impressora produz apenas uma peça em grandes velocidades, com a otimização correta outra impressora pode imprimir lotes de 10, 50, 100 com um pouco mais de tempo. Peças impressas muitas vezes precisam ser pós-processadas uma a uma enquanto que outras podem ser pós-processadas em lotes.

- Produção unitária de peças em menos tempo.

- Produzir grandes lotes.

- **Acurácia, precisão e repetibilidade das peças.**

Existem outras influências, mas fatores como tamanho, material, geometria e pós-processamento são considerado reis nesta parte. Realizar uma definição geral de tolerância ajuda muito para a escolha de uma impressora. Os níveis de tolerâncias são diversos e com a ajuda de softwares e pós-processamentos é possível alcançar tolerâncias cada vez menores.

Alguns exemplos de tolerâncias:

Tolerâncias de 0,100mm/0,004in – disposto a sacrificar a velocidade de impressão, custo das peças e da própria impressora para garantir precisão excelente para o modelo CAD;

Tolerâncias de 0,500mm/0,020in – precisão moderada com a necessidade de esforços. Características individuais da peça possuem precisão melhorada, enquanto que características globais são moderadas;

Tolerância acima de 0,500mm/0,020in onde a produção de lotes é mais importante e a durabilidade é altamente requerida.

● Estética

Para certas aplicações existe a necessidade que peças impressas sejam atraentes ou tenham requisitos específicos de aparência e comportamentos visuais. Muitas aplicações são puramente funcionais e o resultado de desempenho é o que realmente importa, desconsiderando a aparência.

Embora para se obter a aparência exata necessitada para uma determinada peça, existem muitas maneiras mesmo incluindo técnicas de pós-processamento como pintura e lixamento.

O que desejamos?

- Acabamento superficial suave;
- detalhe de recurso fino e bordas afiadas;
- peças de cor integral;
- peças Claras/Transparentes;
- acabamento Grossoiro + Funcional.

● Flexibilidade de opção de impressão

Cada processo de impressão 3D possui seu conjunto de opções de materiais exclusivos. É importante ressaltar a frequência e com que necessidade será preciso mudar o material a ser usado. Algumas impressoras são configuradas para executar um material específico, outras podem trabalhar com vários e algumas com todos. Uma impressora relacionada a um processo específico pode utilizar apenas matérias de certa classe como polímeros ou metais. Suas configurações facilitam trocas pouco frequentes ou trocas com pouco tempo de inatividade ou desperdício. Impressoras atuais podem imprimir em vários materiais simultaneamente.

Capacidade dos materiais:

Apenas um material / maior parte das impressões – todas as peças podem ser impressas utilizando o mesmo material sendo necessária a troca de material poucas vezes ao ano.

Comutação ocasional – É necessária a troca de materiais algumas vezes por mês para suprir a necessidade de peças com propriedades diferentes como cor, rigidez, flexibilidade, resistência a temperatura, etc...

Comutação frequente – Troca de materiais semanalmente ou diariamente, portanto mudanças rápidas e com baixo período de inatividade é extremamente importante.

Multi-material – Vários materiais são usados em uma única peça ou em uma construção, imprimir vários materiais simultaneamente.

- **Investimento inicial e custo total de operação?**

Este passo depende da sua aplicação da familiarização do seu negócio com manufatura aditiva. Pode-se priorizar o baixo custo de entrada e experimentar com a impressora 3D e beneficiará. Caso já esteja familiarizado de como esta tecnologia se encaixa na sua empresa ou negócio e pretende imprimir em grandes volumes, um investimento inicial em uma impressora 3D pode resultar um custo menor de operação. Investimentos de baixo custo são para aqueles que não utilizaram tal tecnologia com muita frequência.

- **Propriedades específicas / aplicações específicas**

Alguns processos estão voltados para certas áreas específicas como dentística ou alimentação, então é necessária qualidade voltada para as mesmas.

São exemplos: metalurgia, Biocompatível, dentística, alimentícia, resistência específica a temperatura e outras propriedades mecânicas, etc...

2.8 Protótipo e Impressoras comerciais

2.8.1 RepRap

Inventado inicialmente por Adrian Bowyer em 2004, é um projeto que se dedica a desenvolver Impressoras 3D *auto* replicadoras de baixo custo. A tecnologia de impressão 3D já existia antes do RepRap, mas a máquina comercial mais barata da época era de 30000 euros. Devido a sua replicação de peças seu custo com material é pequeno permitindo acessibilidade em amplas comunidades do mundo. O título RepRap vem da abreviação *ReplicatingRapid-Prototype*. As impressoras são distribuídas gratuitamente sem nenhum custo sobre uma licença de código aberto GNU. Uma impressora RepRap pode produzir 70% de suas peças enquanto que as demais podem ser compradas em qualquer lugar.

2.8.2 Construindo Uma Impressora 3D

Uma Impressora 3D pode ser dividida em cinco conjuntos essenciais: Estrutura, Peças Impressas, Aquecedores, Eletrônica e *Software*. Optamos por demonstrar os conjuntos e suas partes uma vez que existem inúmeras configurações para a construção de uma impressora.

Existe uma variedade de motores, camas, fontes e estruturas. No *site* do RepRap o usuário poderá encontrar praticamente tudo, desde o detalhamento componente por componente a protótipos inteiros pra construção. Cada componente pode ser facilmente encontrado ou adquirido em ficheiros na internet, com seu preço variando de R\$50 a R\$450. A combinação para construir uma Impressora 3D depende do projeto e das características desejadas. Ela poderá ter de 1 a 3 extrusoras, a estrutura será em caixa, os motores serão o NEMA 23, etc...

É possível encontrar kits para impressão 3D contendo todos os componentes mais a estrutura necessitando apenas de montagem. Muitos sites oferecem softwares e arquivos para compor a estrutura digital da impressora.

2.8.2.1 Estrutura

A estrutura deve ser pensada para garantir proteção a cada um dos componentes que compõem a impressora. Ela é como o “esqueleto” da impressora e seus componentes (placas eletrônicas, mesa, extrusora), os órgãos. Deve se levar em consideração fatores como estabilidade e resfriamento. A estabilidade garantirá que a impressão seja realizada da melhor maneira possível, enquanto que uma estrutura com ventilação adequada para os componentes elétricos poderá garantir melhor vida útil e menos problemas a impressora. O material para fabricação da estrutura é bem diversificado, geralmente sendo usada madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), estruturas em ligas metálicas, etc...

A escolha do material e a forma da estrutura são fundamentais. Elas poderão influenciar na capacidade e suporte de peças, facilitarão a realização da manutenção da própria impressora e darão a impressão estética.

As formas mais usuais são: caixa, estruturas em barras e estação (Figura 28)

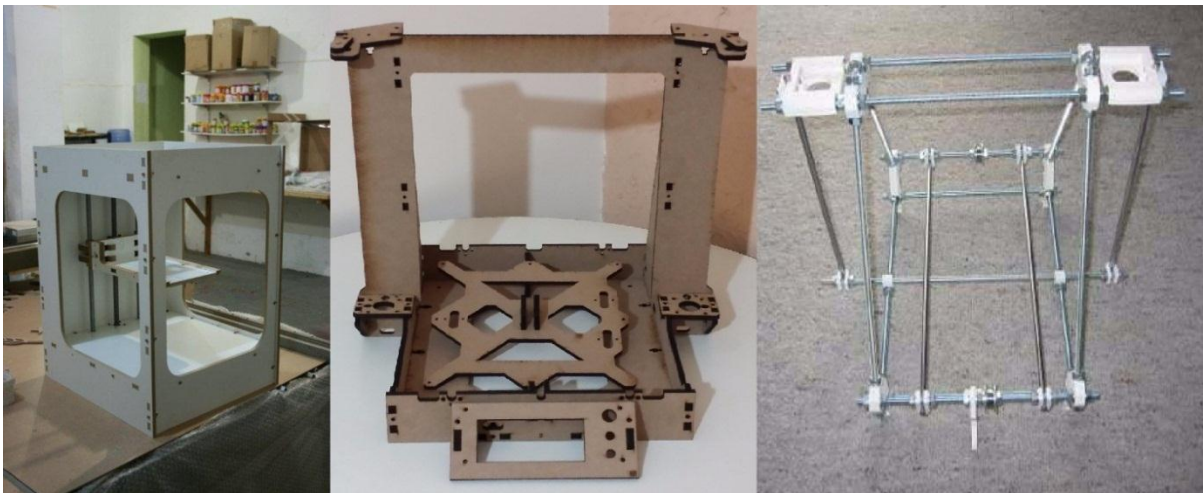


Figura 28 - Exemplos de Estruturas

Fonte: Autor

2.8.2.2 Eletrônica e mecânica

Dentro desse conjunto encontramos: a fonte, a placa mãe, motores de passo, mesa aquecida e extrusora.

a) Fonte

São equipamentos usados para alimentar cargas elétricas. Todos dispositivos eletroeletrônicos precisam de uma fonte para fornecer energia aos seus componentes. A quantidade de energia usada varia de acordo com o equipamento. Elas podem ser de corrente contínua como conversores AC/DC ou reguladoras de tensão. Geralmente nos projetos RepRap utiliza-se motores NEMA e placas Arduino para a construção da impressora.

A maioria dos eletrônicos dispostos em uma RepRap usam 12V DC e variam de 5A a 30A, os motores levam de 5A ou mais, uma cama aquecida pode levar de 5A-15A. Então para uma configuração com cama aquecida deve se esperar cerca de 18A-30A o que sugere uma potência aproximada de 220W a 360W em 12V. Existem várias configurações, inclusive, que precisam de menos energia.

PSUs são comumente usadas para alimentar RepRaps. Para esses tipos de fontes alguns conectores dos componentes eletrônicos podem ser diretamente conectados aos conectores da PSU. Caso essa conexão não exista deverão ser cortados e a conexão será feita de forma adaptável. Essas PSUs podem ser encontradas em computadores e variam muito em sua qualidade e geralmente precisam ser superdimensionadas, pois muitas não fornecem potencial de uso nominal para uso das RepRap. É típico utilizar PSUs com alimentação de 400W ou acima para garantir estabilidade no suprimento de energia.

Boas PSUs (Figura 29) possuem proteção contra sobrecarga térmica auto desligando-se em caso de aquecimento.



Figura 29 - PSU encontrada em Computadores Convencionais

Fonte: RepRap

Fontes Externas ou *brickpower*(Figura 30) é uma variedade de fontes que podem ser encontradas em até 240W. São encontradas principalmente em *notebooks* e alguns *videogames*, e seus conectores padrões na maioria das vezes terão que ser substituídos ou adaptados. Nos fóruns do RepRap existem guias para adaptar fontes de *notebooks* e de *Xbox360* para serem usadas como fontes para RepRaps.



Figura 30 - Típica fonte de Notebook

Fonte: RepRap

Normalmente utilizam-se dois tipos de fontes: lineares ou chaveadas. Fontes chaveadas são menores e não possuem perda de energia em forma de calor tornando-as mais vantajosas.

b) Placa mãe

O Arduino (Figura 31) é uma plataforma de prototipagem eletrônica que possui placa única e *hardware* livre. Projetada com entrada/saída embutidas e a partir de uma linguagem de programação padrão essencialmente C/C++ de origem em Wiring. Seu objetivo é a criação de ferramentas acessíveis, intercambiáveis e de baixo custo, combinando com os ideais do RepRap.

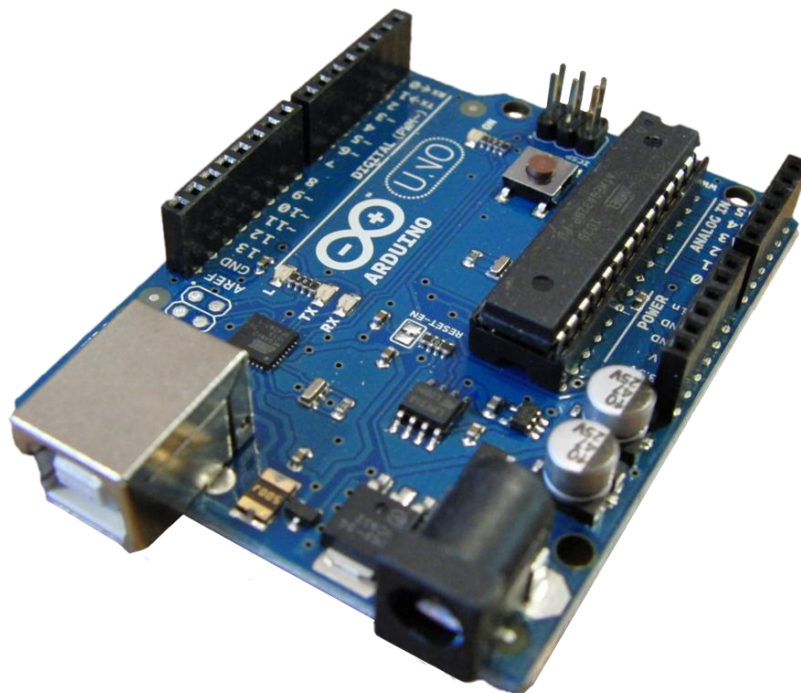


Figura 31 - Placa Arduino Uno

Fonte: Wikipédia

Seu *Hardware* é basicamente uma placa Atmel AVR de 8bits, com peças complementares para agilizar a programação e incorporação de circuitos. Um aspecto

definitivo é a forma como os conectores se distribuem, permitindo que a CPU seja conectado a outros módulos expansivos.

A maioria das placas possuem um oscilador de cristal para controle de frequência e um regulador linear de 5V, sua ligação ao computador geralmente ocorre por entradas USB. A grande maioria além de serem microcomputadores apresentam componentes pré-programados o que torna mais fácil o carregamento de memórias *flash*.

Os módulos expansivos conhecidos como *Shield/Ramps* (Figura 32) são placas de circuito impresso, fixadas no topo da própria placa principal através dos conectores. Essas expansões disponibilizam várias funções específicas como a manipulação de motores até agrupamentos de redes sem fio

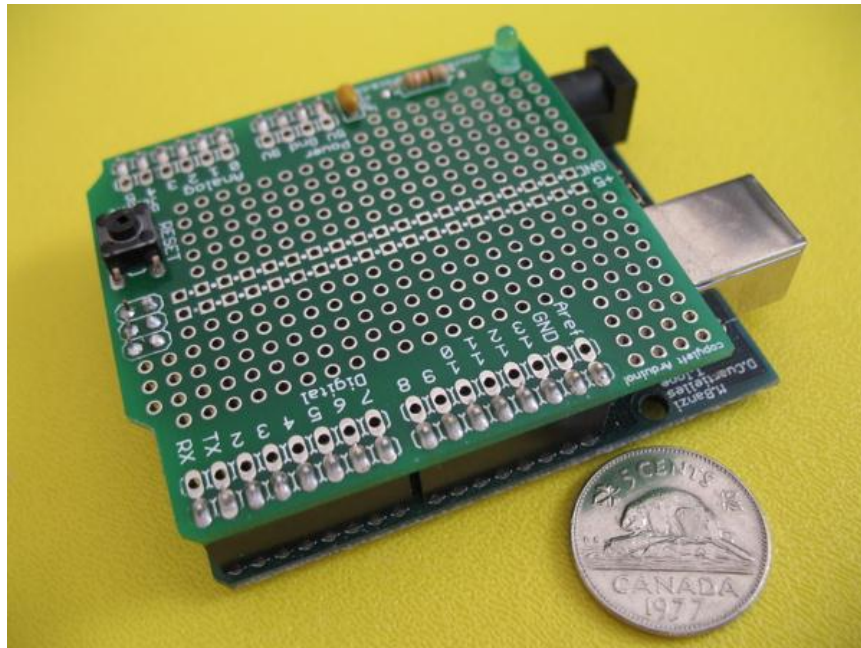


Figura 32 - Módulos Extensores (Shields)

Fonte: RepRap

RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield)
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

GPL v3

Reversing input power, and inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics.

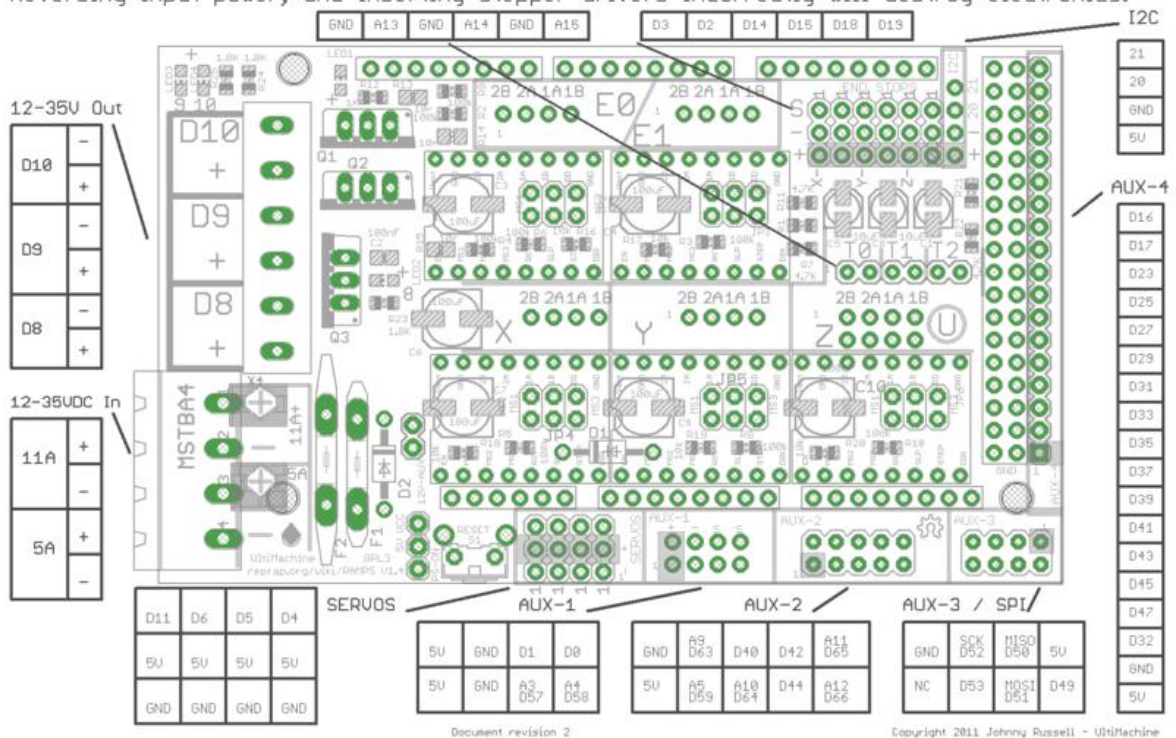


Figura 33 - Exemplo de Configuração Shield/Arduino

Fonte: RepRap

O *software* Arduino IDE (Figura 34) foi desenvolvido para introduzir programação a pessoas não familiarizadas. É um *software* multiplataforma escrito em Java de código aberto e baixado gratuitamente pela internet. O próprio *software* inclui um editor de código e de identificação automática, capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique.

Sua principal aplicação é facilitar a emulação do controle de sistemas e facilitar a prototipagem. Suas aplicações são vastas sendo encontrada na música, robótica, engenharia de transportes, impressão 3D, etc...

```

Arduino - 0011 Alpha
File Edit Sketch Tools Help

Blink

/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13;           // LED connected to digital pin 13

void setup()              // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
}

void loop()              // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // sets the LED on
  delay(1000);              // waits for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // sets the LED off
  delay(1000);              // waits for a second
}

Done compiling.

Binary sketch size: 1098 bytes (of a 14336 byte maximum)

22

```

Figura 34 - Tela inicial de experimento Arduino

Fonte: Wikipédia

c) Motor de passo

É a classe de motor elétrico utilizado quando deseja-se rotacionar algo em um ângulo exato ou posicionar com extrema precisão. O balancete deste motor é controlado pela ativação e desativação de uma série de campos eletromagnéticos.

Não existem escovas ou comutadores, mas sim um número de pólos magnéticos que irão determinar os passos por revolução. Os motores mais comuns para dar uma volta completa levam de 3 a 72 passos. O torque define sua classificação, suas bobinas necessitam

de receber corrente total marcada por cada passo para assim obter torque total. Os motores mais comuns utilizados nos projetos RepRap são os NEMA 14 ou NEMA 17

A numeração depois do “NEMA” indica o tamanho, por exemplo, um motor NEMA 17 (Figura 35) possui uma placa frontal de 1,7 x 1,7 polegadas (43,2 x 43,2 mm). Ele é geralmente maior e mais pesado que o NEMA 14, podendo colocar mais torque se necessário. Porém isso não indica quantidade de poder, um motor de passo NEMA 14 pode oferecer mesma quantidade de torque que um 17.

Os modelos mais usados são os: Kysan 1124090 / 42BYGH4803, o Rattm 17HS8401 e o Wantai 42BYGHW609.

O nome NEMA completo de um motor de passo é escrito como:

“NEMA” DDMMLLL – CCCIVVVSSSW

Onde cada letra tem o seguinte significado conforme tabela 6:

Tabela 4– Nomeação Motores NEMA

Cartas	Valor	Unidade
DD	Diâmetro / tamanho da placa frontal	Polegadas
MM	Tipo de montagem	C : Flange com ranhuras; D : Rosto com furos roscados; CD : flange de face com furos
LLL	Comprimento	polegadas · 10
CCC	Corrente de fase	amplificadores · 10
I	Classe de isolamento	Temperatura máxima de operação: A : 221 ° F (105 ° C); B : 266 (130); F : 311 ° F (155 ° C); H : 356 ° F (180 ° C) A classe B é o tipo mais comum para motores de 60 ciclos nos EUA. Internacionalmente. A classe F é o tipo mais comum para motores de 50 ciclos. De um modo geral, indo 10 ° F acima da temperatura máxima irá reduzir a vida do motor pela metade.
VVV	Classificação de tensão de fase	Voltagem · 10
SSS	Passos	Passos por revolução
W	Código de enrolamento	Quantos fios internos os fios externos estão conectados: A : 2 fios; B : 3 fios; C : 4 fios; D : 5 fios; E : 6 fios; F : 8 fios

Fonte: RepRap

NEMA-17

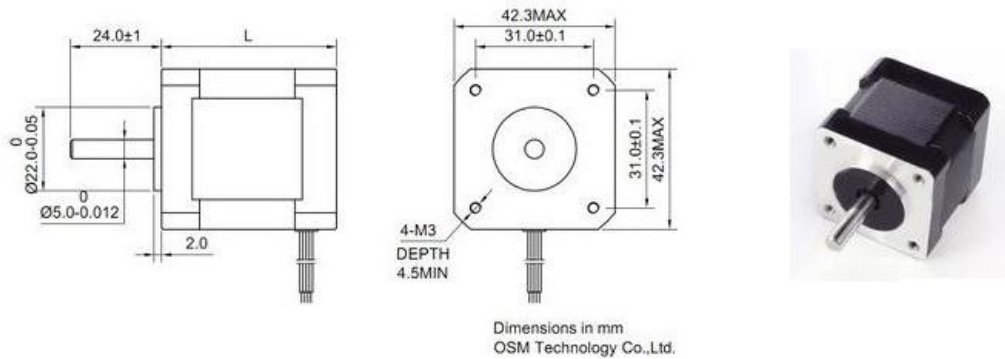


Figura 35 - NEMA 17

Fonte: Reprap

Tabela 5– Alguns modelos do Motor NEMA.

Modelo	Torque De Retenção	Tensão nominal	Eixo	Ângulo de passo	Comprimento do motor	Corrente nominal	Indutância
42HT47	44 N · cm	2,8 V	Ø 5 mm duplo	1,8 °	47 mm		
42SHD0404-22	52 N · cm	3,84 V	Ø 5 mm simples	1,8 °	48 mm		
42BYGH4803 (SKU 1124030)	54,0 N · cm	4,2 V	Ø 5 mm simples	1,8 °	48 mm		
42BYGH4803-DC (SKU 1124090)	54,0 N · cm	4,2 V	Ø 5 mm simples	1,8 °	48 mm		
LDO-42STH47-1684A	50 N · cm	2,8 V	Ø 5 mm simples ou duplo	1,8 °	47 mm	1,68A	2,8 mH
LDO-42STH47-1684AC	50 N · cm	2,8 V	Ø 5 mm simples ou duplo	1,8 °	47 mm	1,68A	2,8 mH

Fonte: RepRap

d) Mesa ou cama aquecida

Uma plataforma de construção aquecida (HBP) melhora a qualidade de impressão, ajudando a evitar deformações. Como o plástico extrudado esfria, ele encolhe ligeiramente. Quando esse processo não ocorre de maneira uniforme numa peça ela empena. A cama (Figura 36) aquecida permite que a peça impressa permaneça aquecida durante o processo de impressão e ainda reduz o volume total da peça além de garantir um melhor acabamento com materiais com ABS e PLA.

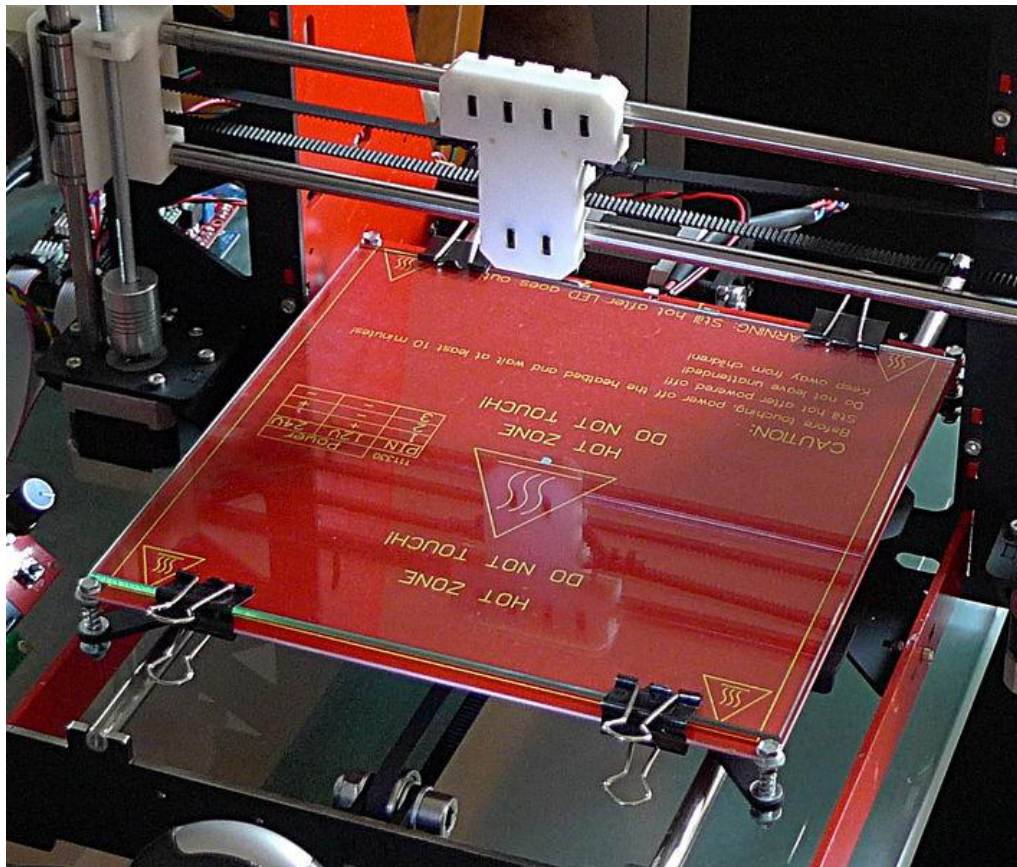


Figura 36 - Heat Bed Platform

Fonte: RepRap

Independente do material de construção da cama, ela deve ser isolada termicamente para que não derreta ou amoleça qualquer parte plástica ou de ignição na estrutura. Os materiais comumente usados são papelão, lã e tecido de algodão sobre MDF.

A HBP necessita de 6A e é necessário dimensionar um cabo ideal para tal finalidade. Alguns fios de automóveis e alto-falantes podem suportar a amperagem necessária, mas ainda assim é recomendado usar um medidor para obter o melhor resultado.

A cama aquecida pode ser constituída dos seguintes materiais: vidros, metais e cerâmica.

Um vidro de boa qualidade pode ser encontrado em lojas de ferragens, artigos para casa e materiais de construção. Um vidro com 3mm de espessura e 200 x 225mm pode ser facilmente adquirido devido ao baixo custo. Devido a baixa condutividade térmica não acontecem picos repentinos de temperatura tornando-a mais “estável” termicamente. Em contrapartida o vidro pode fraturar se não aquecido de forma uniforme, ferramentas especiais são necessárias para perfurar e cortar o vidro e o vidro é um material pesado podendo causar tremulações no eixo que move a plataforma.

Uma folha de metal pode ser usada como superfície de construção, devido a alta condutividade térmica proporcionada pelo metal. O problema de camas feitas de metal é o calor específico que varia de metal para metal. O calor específico pode ser interpretado como o quão rápido um material aquece e esfria, ou seja, um determinado metal com calor específico baixo poderá causar instabilidade térmica podendo danificar as peças impressas. Caso a folha de metal não tenha espaço suficiente para expandir na cama aquecida, ela poderá dobrar e danificar as impressões.

Camas feitas de cerâmica fornecem todas as vantagens do vidro sem problemas de quebra devido ao aquecimento irregular e podem ser cortadas e furadas mais facilmente.

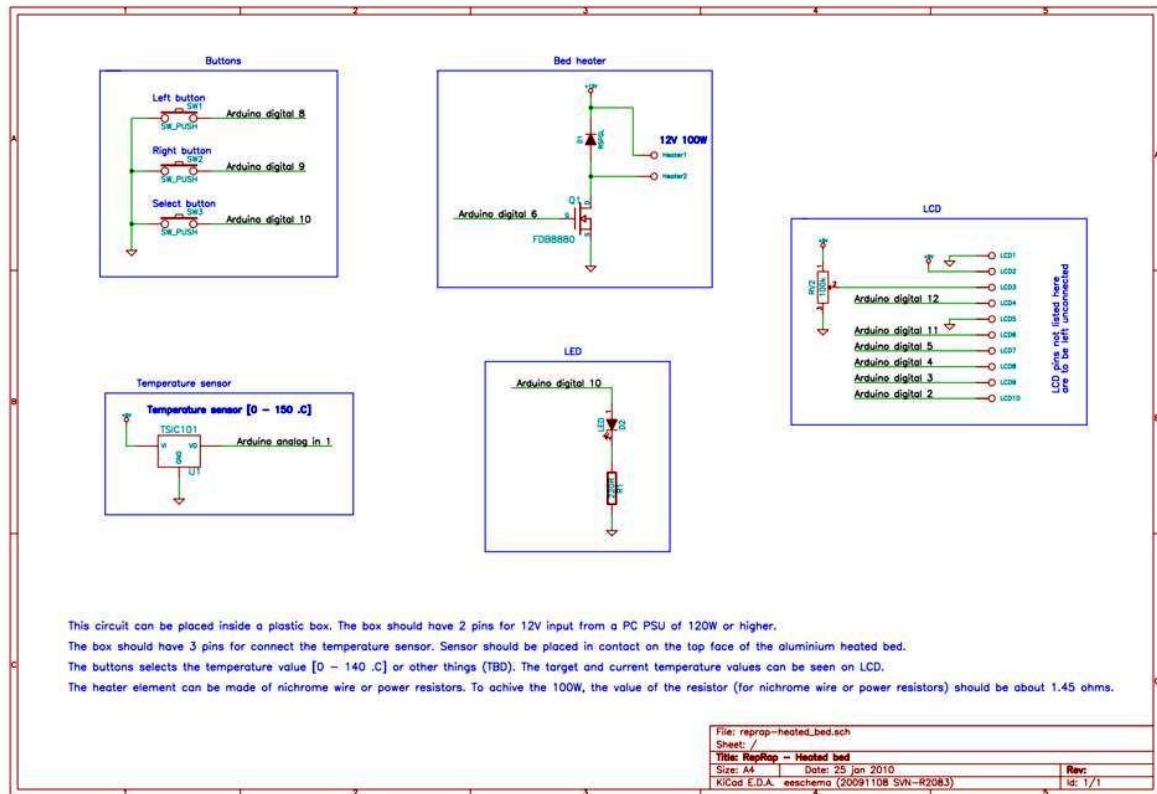


Figura 37 - Esquematização da Cama Aquecida

Fonte:RapRep

e) Extrusora

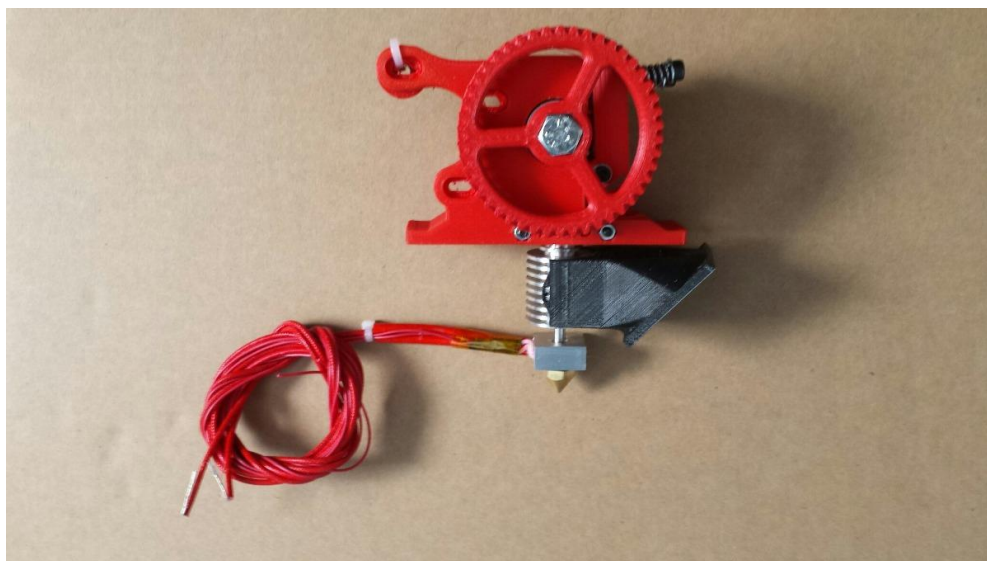


Figura 38 - Extrusora com Bico (HotEnd)

Fonte: RepRap

São mecanismos que encaminham o material a ser aquecido para que ocorra a impressão. Devido à abertura da tecnologia muitos usuários criaram ou aperfeiçoaram novas extrusoras (Figura 38) com o fins de melhorar e assegurar melhor desempenho. Para extrudar o filamento de plástico (Figura 39), o *Cold End* força a matéria prima (geralmente um filamento de 1,75mm ou 3mm de diâmetro) para a extremidade quente. O filamento de alimentação deve passar então pelo *Hot End* com o aquecedor e sair do bocal com velocidade razoável. O material extrudado cai na plataforma, camada por camada a medida que a peça é construída.

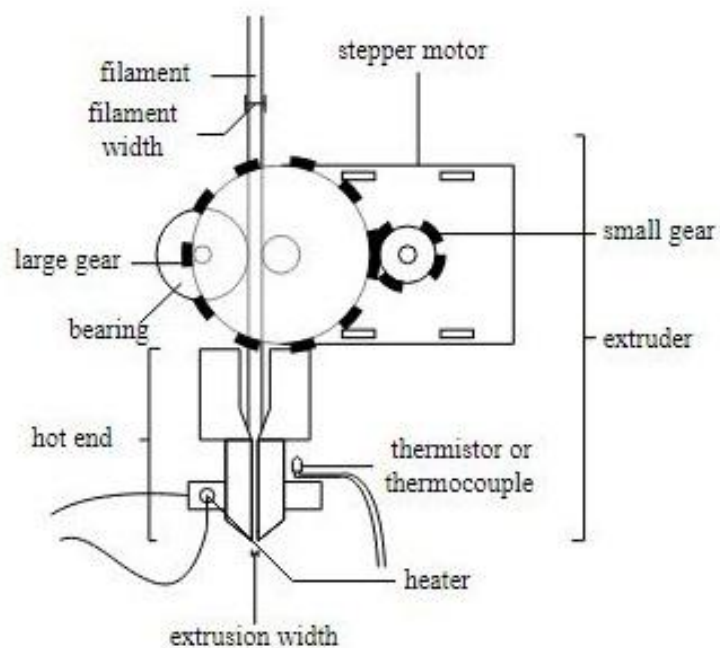


Figura 39 - Desenho Operacional de uma Extrusora

Fonte: RepRap

2.8.3 Slicers

É possível adquirir *softwares Slicers* de forma simples. Muitos deles são gratuitos e “open source” o que significa que um usuário próprio pode modificar o seu GCode para adaptar a sua necessidade. Eles estão disponíveis para as principais plataformas como: Windows, MAC e provedores de internet. Somado a essa facilidade existem muitos *sites* que disponibilizam uma série de arquivos STL, prontos pra impressão.

Tabela 6– Exemplos de Softwares

Software	Dificuldade	Preço Estimado	Plataforma Operacional
Repsnaper	Intermediário / Avançado	Gratuito	Windows
Skeinforge	Avançado	Gratuito	Mac / Linux / Windows
3DPrinterOS	Iniciante / Avançado	Gratuito (Lite) / Pago (Pro)	Mac / Linux / Windows
Astroprint	Iniciante / Avançado	Gratuito	Browser / Raspberry / Duino
Craftware	Iniciante / Avançado	Gratuito	Mac / Windows
Cura	Avançado	Gratuito	Mac / Linux / Windows
IceSL	Iniciante / Avançado	Gratuito	Linux / Windows
KISSlicer	Avançado	Gratuito (Lite) / Pago (Pro)	Raspberry Pie
MarkerBot Print	Iniciante / Avançado	Gratuito	Mac / Windows
MatterControl	Iniciante / Avançado / Intermediário	Gratuito	Mac / Linux / Windows
Netfabb Standard	Intermediário / Avançado	\$1000 a \$4300 - Anual	Raspberry / Mac / Windows
OctoPrint	Intermediário / Avançado	Gratuito	Mac / Linux / Windows
Repetier	Iniciante / Avançado / Intermediário	Gratuito	Mac / Windows
Simplify3D	Avançado	\$150	Mac / Linux / Windows
Slic3r	Profissional	N/A	Windows
SliceCrafter	Avançado	Gratuito	Browser / Raspberry / Duino
Tinkerine Suite	Iniciante	Gratuito	Mac / Windows
Z-Suite	Iniciante	Gratuito	Mac / Windows

Fonte: Autor

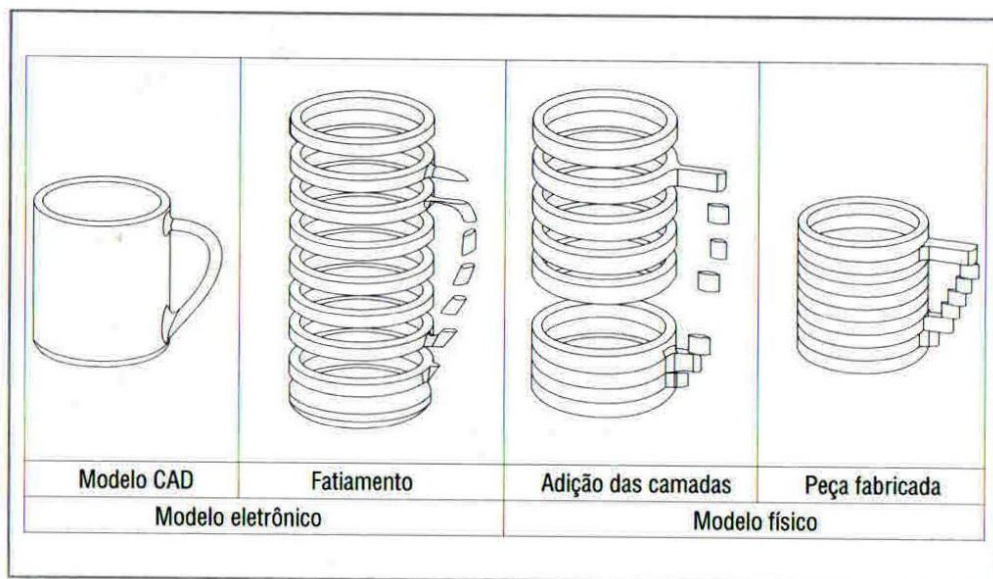


Figura 40 - Representação Fatiamento

Fonte: NERI VOLPTO Prototipagem Rápida

2.8.4 Impressão 3D no mercado

São diversos os modelos de Impressoras 3D encontrados no mercado para aquisição. Elas variam de R\$ 2500 (para as mais simples e amigáveis) à R\$200000 (de gama industrial) podendo oferecer diversos benefícios pra quem as adquire. Dentre as representantes nacionais encontramos a Cliver e a Metamáquina que oferecem modelos iniciais variando em torno de R\$ 4500 a R\$ 5000. Além de fornecerem impressoras ambas auxiliam na compra e instrução de material de impressão e acabamento e fornecem em seu site, dicas e suporte aos consumidores.

A Robtec representa a empresa americana 3D Systems vendendo alguns de seus exemplares.

Neri Volpato em seu livro: Prototipagem Rápida – Tecnologia e Aplicações 2007, demonstra por meio de uma tabela, as tecnologias de prototipagem rápida, oferecendo de forma geral o custo e as empresas que dispõem o serviço. A tabela 5 mesmo contendo informações de 11 anos atrás é capaz de fornecer dados relevantes para uma análise inicial para compra e pesquisa de um modelo de Impressora 3D.

Tabela 7 – Sumário das Tecnologias RP – Neri Volpato

Processo	Baseados em Líquido			Baseados em Sólido			Baseados em Pó						
	SL	JP Polyjet	JP Inkjet	FDH	LOM	PLT	JP Inkjet	JP Benchtop	SLS	EOSINT	LENS	3DP	3DP ProMetal
Empresa	3D Systems	Objet	3D Systems	Sirasys	Cubic	Kra	3D Systems	Solidcape	3D Systems	EOS	Optomec	Z Corporation	Ex One
Custo inicial de aquisição	Alto	Médio	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Baixo	Médio
Custo do material	Alto	Alto	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Médio	Médio	N/D	Médio	N/D
Custo do protótipo	Alto	Médio	Baixo	Médio-Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio-Alto	Alto	Alto	N/D	Baixo	N/D
Precisão	Alta	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Média	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Variedade de materiais	Pequena	Pequena	Pequena	Média	Pequena	Pequena	Pequena	Pequena	Grande	Grande	Grande (metal)	Média	Pequena (metal)
Velocidade de construção	Média	Média	Alta	Baixa	Média-Alta	Média-Alta	Médio-Alto	Baixa	Média	Média	Baixa	Alta	Alta
Resistência mecânica	Média	Média	Baixa	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Alta	Baixa	Média
Cuidados especiais com ambiente de instalação	Resina tem certo nível de toxicidade; Manuseio da resina deixa sujeira; Ocupa muito espaço nos modelos maiores	Necessita de local para lavagem das peças e remoção do suporte	Necessita de forno para remoção do material do suporte	Gera um pouco de calor; Modelos dos equipamentos maiores necessitam de mais espaços	Ocupa muito espaço nos modelos maiores	N/D	Não requer	Gera ruído devido à operação de fresamento	Gera muito calor; Gera pó em suspensão no manuseio; Ocupa muito espaço; Necessita fonte de Nitrogênio; Gera ruído	Gera muito calor; Gera pó em suspensão no manuseio; Ocupa muito espaço; Gera ruído	Gera muito calor; Ocupa muito espaço; Gera ruído	Gera pó no ambiente no manuseio; Sujeria e odores na infiltração de resina; Necessita jateador e aspirador de ruído alto	Gera pó no ambiente no manuseio; Requer forno de alta temperatura para infiltração metálica; Acabamento superficial
Necessidade de suporte	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Acabamento superficial	Excelente	Bom	Regular-Bom	Regular	Regular-Ruim	Regular-Ruim	Regular	Excelente	Bom	Bom	Regular-Ruim	Regular	Regular
Protótipos em cores	Sim. Duas cores translúcidas com resina especial	Não	Sim. Monocromáticas	Sim. Monocromáticas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim. Tom pastel	Não
Perda de material (reutilização do material não processado)	Material do suporte é o mesmo da peça e não é reaproveitável. Reutilização parcial	Somente há perda do material do suporte	Somente há perda do material do suporte	Somente há perda do material do suporte	Grande (não permite reutilizar)	Grande (não permite reutilizar)	Material do suporte é o mesmo da peça e não é reaproveitável	Somente há perda do material do suporte	Reutilização parcial	Reutilização parcial	Não há perda	Não há perda. Reutilização total	Não há perda. Reutilização total
Necessidade de pós-processamento	Sim. Pós-cura em forno e retirada de suportes	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte, lixamento e selamento superficial	Sim. Retirada de suporte, lixamento e selamento superficial	Sim. Retirada de suporte	Sim. Retirada de suporte	Sim. Jateamento com ar e com microesferas de vidro	Sim. Jateamento com ar	Sim. Retirada de suporte e acabamento superficial (lixagem, lixamento, polimento)	Sim. Jateamento de ar e infiltração com resina	Sim. Infiltração metálica. Acabamento superficial (lixagem, lixamento, polimento)
Tamanho mínimo de peças	508 x 508 x 584mm	336 x 326 x 200mm	298 x 185 x 203mm	600 x 500 x 600mm	813 x 559 x 508mm	400 x 280 x 300mm	250 x 204 x 204mm	304 x 152 x 152 mm	381 x 330 x 457mm	700 x 380 x 580mm	1500 x 900 x 900mm	508 x 609 x 406mm	1500 x 750 x 700mm

N/D – Não Disponível

a) Exemplos:

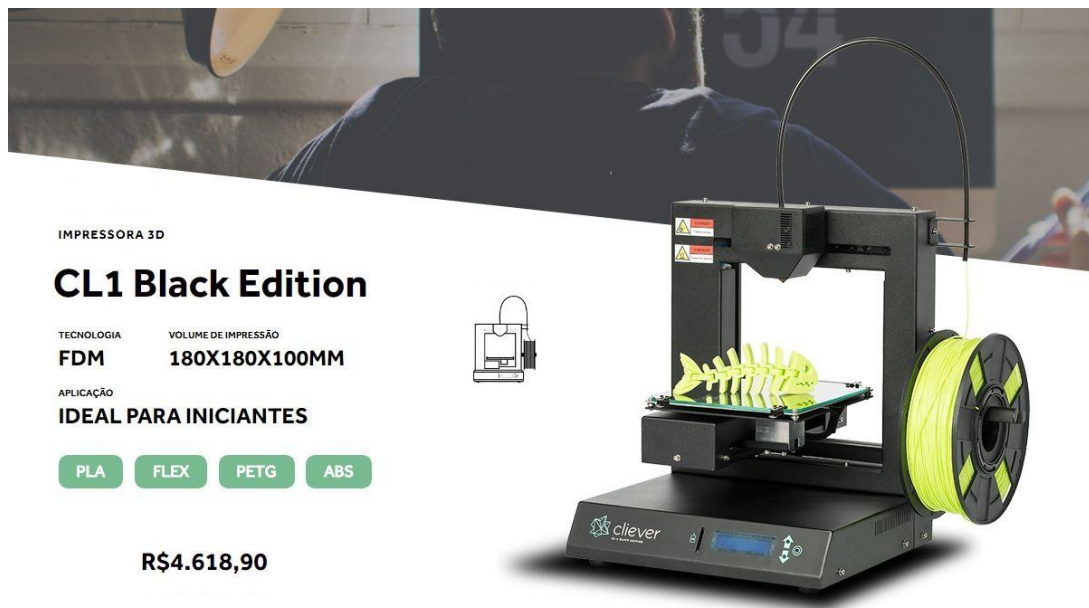


Figura 41 - CL1 Black Edition Cliever

Fonte: Cliever

Disponibilizada pela Cliever a CL1 Black Edition (Figura 40) possui sua estrutura feita em aço para suportar as condições mais severas de trabalho. A mesa de impressão possui um sistema de aquecimento (podendo chegar a 100 °C) o que a torna ideal contra problemas de descolamento e empenamento. Possui uma aparência simples e pode ser facilmente associado a protótipos de impressoras. Voltada para iniciantes e de custo relativamente baixo é ideal para pequenas empresas ou usuários domésticos.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo: CL1 Black Edition
Tecnologia: FFF/FDM (Fabricação por Filamento Fundido): Extrusão de termoplástico
Dimensões da máquina: 320mm (L) x 320mm (P) x 390mm (A)
Cabeças de impressão (extrusores): 1 Extrusor
Área de impressão: 180mm (L) x 180mm (P) x 100mm (A)
Peso impressora (caixa): 13kg
Peso impressora (líquido): 9kg
Alimentação: Bivolt (127V/220V)
Potência: 200W
Materiais de impressão: Filamento PLA 1.75mm
Diâmetro do bico: 0,4mm
Resolução / Altura de camada: 300 a 100 microns (0,3mm - 0,1mm)
Mesa de impressão: Plataforma de vidro aquecida
Cor disponível: Preta
Estrutura metálica: Aço carbono com pintura epóxi
Temperatura de operação: 15°C a 30°C
Garantia: 1 ano
Software/ Sistema Operacional: Clever Studio/ Windows 7+
Formato de arquivo para impressão: STL
Conectividade: USB e cartão SD (funcionamento independente de computador)

Fonte: Clever



IMPRESSORA 3D

CL2 Pro +

TECNOLOGIA VOLUME DE IMPRESSÃO
FDM 230X230X450MM

APLICAÇÃO
PEÇAS DE GRANDE PORTE

PLA

FLEX

PETG



R\$10.998,90

Figura 42 - CL2 Pro+

Fonte: Clever

Disponibilizada pela Cliever a CL2 Pro + (Figura 42) possui estrutura em caixa tendo como objetivo “isolar” o ambiente externo do ambiente de impressão assegurando a integridade contra impurezas e danos ao objeto. Sua estrutura cria uma barreira térmica que melhora de forma significativa a qualidade de impressão e a precisão geométrica dos protótipos. Sua mesa é fixada por imãs e possui sistema de aquecimento (podendo chegar a 60 °C) evitando assim empenamentos e descolamentos. Por possuir um custo mais elevado, é recomendada para consumidores interessados ao mercado ou para pequenas a grandes empresas.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo: CL2 Pro Plus
Tecnologia: FFF/FDM (Fabricação por Filamento Fundido): Extrusão de termoplástico
Dimensões da máquina: 510mm (L) x 440mm (P) x 790mm (A)
Cabeças de impressão (extrusores): 1 extrusor
Área de impressão: 300mm (L) x 230mm (P) x 450mm (A)
Peso impressora (caixa): 39kg
Peso impressora (líquido): 34kg
Alimentação: Bivolt (127V/220V) automático
Potência: 360W
Materiais de impressão: Filamento PLA 1.75mm
Diâmetro do bico: 0,4mm
Resolução / Altura de camada: 300 a 100 microns (0,3mm - 0,1mm)
Tolerância dimensional: 0,2mm
Mesa de impressão: Plataforma de vidro aquecida
Cor disponível: Preta/Verde
Estrutura metálica: Aço carbono com pintura epóxi
Temperatura de operação: 15°C a 30°C
Garantia: 1 ano
Software/ Sistema Operacional: Cliever Studio/ Windows 7+
Formato de arquivo para impressão: STL
Conectividade: USB e cartão SD (funcionamento independente de computador)

Fonte: Cliever

IMPRESSORA 3D

Cliever SL1

TECNOLOGIA **SLA** **VOLUME DE IMPRESSÃO** **125X125X100MM**

RESOLUÇÃO
ATÉ 25 MICRONS

RESINA FOTOSSENSÍVEL

R\$19.798,90

Figura 43 - Cliever SL1

Fonte: Cliever

Disponibilizada pela Cliever, a SL1 (Figura 43) utiliza a tecnologia de estereolitografia (SL) o que permite alcançar altíssima precisão nas peças confeccionadas (25 microns de precisão geométrica). Possui base removível o que facilita a remoção e manutenção da impressora.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo: SL1
Tecnologia: SL (Estereolitografia)
Dimensões da máquina: 410mm (L) x 353mm (P) x 100mm (A)
Volume de Impressão: 125mm (L) x 125mm (P) x 100mm (A)
Peso impressora (caixa): 39kg
Peso impressora (líquido): 34kg
Alimentação: Bivolt (127V/220V) automático
Potência: 360W
Materiais de impressão: Resina Fotoreativa
Resolução / Altura de camada: 30 microns
Cor disponível: Preta
Estrutura metálica: Aço carbono com pintura epóxi
Garantia: 1 ano
Software/ Sistema Operacional: Cliever Studio/ Windows 7+
Conectividade: USB e cartão SD (funcionamento independente de computador)

Fonte: Cliever



Impressora 3D Mousta
Builder Mega

R\$5.390,00
R\$4.930,23

Volume de impressão: 300x200x320mm (LxPxA)

Figura 44 - Mousta Builder Mega

Fonte: Mousta

Disponibilizada pela Mousta, utiliza tecnologia FDM (Figura 44) contando com o sistema *Bowden* (cabeça de impressão mais leve) aumentando a qualidade das peças produzidas. Possui mesa aquecida e ambiente fechado evitando problemas de empenamento e contração. Com estrutura em MDF e compatível com os materiais ABS e PLA e custo relativamente baixo.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo: Builder Mega
Tecnologia: Fusão e Deposição de Material (FDM)
Dimensões da máquina: 510x410x590mm (LxPxA)
Volume de Impressão: 125mm (L) x 125mm (P) x 100mm (A)
Peso impressora (caixa): -
Peso impressora (líquido): 13kg
Alimentação: Bivolt (127V/220V) automático
Potência: 240W
Materiais de impressão: ABS e PLA
Resolução / Altura de camada: 100 – 300 microns (0,1 - 0,3mm)
Cor disponível: Preta
Estrutura metálica: MDF Revestido
Garantia: 1 ano
Software/ Sistema Operacional: Repetier Host / Windows, Mac
Conectividade: USB e cartão SD (funcionamento independente de computador)



Figura 45 - Prusa Mk3

Fonte: Prusa Research

Conhecida mundialmente e projetada por Josef Prusa (Figura 45) a Prusa MK3 (um dos principais desenvolvedores do projeto RepRap) oferece impressão com até 4 materiais simultâneos, pode trabalhar com todos os termoplásticos comerciais e oportunidade de atualização devido sua característica auto replicável, justifica sua eleição como a melhor Impressora 3D de mesa pelo *3D PrinterShootout* 2017 e 2018

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo: Original Prusa MK3
Tecnologia: Fusão e Deposição de Material (FDM)
Dimensões da máquina: 420x420x380mm (LxPxA)
Volume de Impressão: 250x210x210mm (LxPxA)
Peso impressora (caixa): -
Peso impressora (líquido): 6.5kg
Alimentação: -
Potência: 70 - 100W
Materiais de impressão: Qualquer Termoplastico
Resolução / Altura de camada: 50 - 350 microns (0,05 - 0,35mm)
Cor disponível: Preta e Laranja
Estrutura : -
Garantia: -
Software/ Sistema Operacional: -
Conectividade: USB e cartão SD (funcionamento independente de computador)

3 METODOLOGIA

Inicialmente optamos por pesquisar termos genéricos que pudessem direcionar-nos para temas mais específicos como, por exemplo: Impressoras 3D ou Prototipagem Rápida. Muitas informações foram encontradas em blogs e comunidades dedicadas a tecnologia de impressão e posteriormente validadas através de informações obtidas em artigos acadêmicos, acervos de universidade ou fabricantes e desenvolvedores como a Cliever, *3D Systems*, Mousta, Prusa, etc...

Procuramos salientar os principais conceitos e idéias relacionadas a tecnologia de prototipagem 3D, abordando seu histórico, como funciona sua interface tecnológica (*software*, codificação, arquivo), suas vantagens, seus principais materiais e sua importância para estudo e desenvolvimento associada a desvinculação de “febre” que a mesma poderá substituir qualquer tecnologia no futuro, iniciando a construção do “guia” que beneficiara futuros projetos ou estudos.



Figura 46 - Esquema simplificado

Fonte: Autor

Decidimos por não realizar a construção do protótipo, mas decidimos descrever as peças fundamentais que compõem a Impressora e a partir de uma metodologia de escolha

adaptada da *3D Systems* elucidar a melhor maneira tanto para construção como compra. Não estabelecemos peça a peça, pois existe uma infinidade de combinações e o custo pode variar de acordo com cada escolha. Resolvemos aplicar as instruções através de exemplos comerciais escolhidos por critérios próximos aos adotados para o veredito final, determinando assim um exemplar, obtido através dos estudos fundamentados dentro deste trabalho.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Análise e Veredito

A obtenção de uma impressora 3D pode ter inúmeras finalidades e como abordado durante o estudo são necessário a realização de perguntas fundamentais: Quais os benefícios esperados? Qual o TOC? e por ultimo Como nossa escolha se encaixaria de forma geral?.

Como estamos estudando e buscando a realização de experimentos, a aquisição de uma impressora estaria voltada para o conhecimento da tecnologia e *hobby*. A obtenção de um exemplar demonstraria o funcionamento, o processo, a calibragem, problemas de confecção, etc...

Nosso custo total de operação estaria na aquisição da impressora e no material utilizado para realizar os experimentos. O custo estaria ligado ao valor direto da impressora e gastos como transporte ou importação.

E por ultimo a impressora não teria aplicação especifica e poderia ser o mais simples possível, podendo se enquadrar as nossas necessidades acadêmicas ou *free time*.

Uma vez definido os princípios básicos serão necessárias ressaltar as características individuais. A tecnologia de impressão deveria ser de SLA ou FDM (preferencialmente FDM), pois são as tecnologias mais comuns encontradas em protótipos e melhores difundidas no mercado. Elas teriam que ser de baixo investimento inicial e sem aplicações específicas, portanto barateando sua aquisição.

A impressora escolhida imprimiria modelos pequenos e individuais, utilizando de um a dois materiais por vez ou de forma simultânea sendo que acurácia e resistência do modelo seriam promovidas pelo próprio material ou relevante à própria impressora. A velocidade e tempo de impressão poderiam ser variados para alcançar diferentes níveis de detalhamento, mas ainda sim não interfeririam na escolha da impressora.

Foram pesquisadas inúmeras impressoras, mas somente citadas cinco durante a realização do estudo. As impressoras citadas foram escolhidas baseadas nos critérios adotados acima e porque a obtenção de informações principalmente técnicas foi possível. Cada uma possui um diferencial proposto por cada fabricante e de forma geral possuem características próximas. Os modelos encontrados da *3D Systems* ultrapassam valores de R\$45000 tornando-os próprios para escala industrial e não obtivemos informações relevantes para análise.

Partindo dos critérios e informações:

Tabela 8- Comparativo impressoras

Características / Modelo	CL1 <i>Black Edition</i>	CL2 Pro +	Cliever SL1	<i>Builder Mega</i>	Prusa MK3
Tecnologia	FDM	FDM	SLA	FDM	FDM
Dimensão	320x320x390mm	510x440x790	410x353x100mm	510x410x590mm	420x420x380mm
Volume de Impressão	180x180x100mm	230x230x450mm	125x125x100mm	125x125x100mm	250x210x210mm
Potencia	200W	360W	360W	240W	100W
Materiais	PLA / FLEX / PETG /ABS	PLA / FLEX / PETG	Resina Fotossensível	ABS / PLA	Qualquer termoplástico
Resolução	0,1 a 0,3mm	0,1 a 0,3mm	0.025mm	0,1 a 0,3	0,05 a 0,35mm
Custo	R\$ 4.618,90	R\$ 10.998,90	R\$ 19.798,90	R\$ 5.390,00	R\$ 3709,50 *
Software	Cliever Studio	Cliever Studio	Cliever Studio	Repetier Host	N/A
Aplicação	Ideal iniciante	Peças de grande porte	Alta precisão	Iniciantes	Iniciantes
Suporte	Nacional	Nacional	Nacional	Nacional	Estrangeiro
Clareza	Objetiva - Ótimo	Situacional - Bom	Específica - Média	Situacional - Bom	Objetiva - Ótimo

 Requerido	 Melhor / Ideal	 Indiferente
---	--	---

Fonte: Autor

O modelo de impressora escolhido por nós foi a *CL1 Black Edition*. Utilizando tecnologia FDM, com suporte em linguagem nativa e com a premissa “Ideal para iniciantes” e de custo relativamente baixo é perfeitamente capaz de suprir as necessidades destacadas acima. De tamanho compacto e para a fabricação de pequenas peças, pode utilizar dos principais materiais de mercado (ABS, PLA, PETG e FLEX) e está próxima dos protótipos encontrados na internet. A impressora ainda conta com um *software* próprio de interface o Cliever Studio e seu manual de instalação é bem intuitivo destacando desde sua montagem a conexão com o computador. Ao nosso parecer a CL1 Black Edition é suficiente para atender necessidades básicas para qualquer um que queira adentrar nesta tecnologia. Sua aparência rudimentar não “assusta” e passa confiabilidade para execução das tarefas.

4.2 Considerações sobre os outros exemplares

A Cliever SL1 oferece a maioria das vantagens da CL1 Black Edition, mas ela usa SLA como tecnologia de impressão. Em alguns casos a obtenção de material principalmente para estudos acabaria sendo restrita além do custo inicial da impressora ser quase que 4 vezes superior quando comparado a de modelo base (CL1 Black Edition). Apesar de garantir a

melhor precisão dentre as citadas muitas vezes é necessário cuidado com a instalação e utilização desse tipo de impressora (SLA). Devido à esses fatores ela não foi qualificada.

A PrusaI3 praticamente idêntica aos protótipos RepRap é bem versátil, facilmente poderia ser escolhida como a mais apropriada para os critérios estipulados porém ela não é vendida no país (não foi achado o modelo para comercialização no Brasil) o que levaria a custos de importação e variações com moeda estrangeira. Para uma pessoa que está começando, apostar em uma solução nacional e de suporte mais acessível seria melhor. A Moustá por exemplo já diz da utilização de impressoras 3D em escolas podendo oferecer suporte as instituições, facilitando assim obtenção e aprendizado.

Por esses motivos a CL1 Black Edition foi à escolhida.

5 CONCLUSÃO

A tecnologia de prototipagem rápida com Impressoras 3D é algo fantástico. Com os avanços tecnológicos e com a dedicação dos usuários é possível encontrar diversos modelos e protótipos de baixo custo. Apesar de ser uma tecnologia recente, vem atraído grande interesse e tem apresentado desempenho satisfatório quando comparada com outros processos de manufatura e prototipagem.

Ao longo deste trabalho foram pesquisadas diversas informações e estudos que comprovam que esta tecnologia está em intenso desenvolvimento, demonstrando praticidade e velocidade.

Acreditamos que por meio deste trabalho é possível iniciar estudos mais específicos ou a realização de projetos dando assim auxílio para futuros estudos na área ou a aqueles que querem começar a se envolver na mesma.

Conclui-se então que o trabalho foi satisfatório uma vez que tomamos ciência dos princípios básicos de impressão 3D e somos capazes de direcionar e buscar o necessário para a construção e realização da mesma.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação (ABRADISTI) - News Context: O mercado de Impressoras 3D em 2017 e perspectivas para 2018. Disponível em: <http://www.abradisti.org.br/blog/mercado-impressoras-3d-perspectivas-2018/> Acesso em 26 mar. 2018

AZEVEDO.F. M. **Estudo e projeto de melhoria em maquina de impressão 3D**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos: Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos 2013

BALZANI.R. N.. **A produção de impressoras Tridimensionais de baixo custo para estudantes de Arquitetura**. Dissertação (Mestrado). Brasília: Universidade Federal de Brasília 2017

Boa Impressão 3D – **Como funciona uma impressora 3D FDM**. Disponível em: <https://boaimpressao3d.com.br/2017/02/03/como-funciona-impressora-3d-fdm/> 12 abr. 2018

Blog Escola da Impressão – **Quais são os tipos de Impressão 3D**. Disponível em: <http://blog.escoladeimpressao3d.com.br/quais-sao-os-tipos-de-impressao-3d+227476> Acesso em 12 abr. 2018

Blog Fazedores – **Estereolitografia: Outra forma de imprimir em 3D**. Disponível em: <http://blog.fazedores.com/estereolitografia-outra-forma-de-imprimir-em-3d/> Acesso em 04 abr. 2018

Blog Render – **Impressoras 3D**. Disponível em: <http://blog.render.com.br/diversos/impressoras-3d/> Acesso em 04 abr. 2018

Cliver – Desenvolvedor. Disponível em: <https://www.cliever.com/> Acesso em 17 mai. 2018

DELEVATTI.G B. **Desenvolvimento de uma Impressora 3D Tipo Rep Rap.** Trabalho Conclusão de Curso. Horizontina: Faculdade Horizontina FAHOR 2013

Escola de Engenharia de São Carlos Universidade (EESC.USP) – **Manufatura Aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovações.** Disponível em: http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=1934:manufatura-aditiva-o-futuro-do-mercado-industrial-de-fabricacao-e-inovacao&catid=115&Itemid=164 Acesso em 04 abr. 2018

e.Tech Brasil **Filamentos PLA e ABS.** Disponível em: <http://www.etchbrasil.com.br/produtos> Acesso em 04 abr. 2018

MOUSSAOUI.Fraid – **Tuna Fish STL.** Disponível em: <http://www.mfquant.net/computational-fluid-dynamics/> 10 abr. 2018

História de Tudo – **História da Impressora.** Disponível em: <http://www.historiadetudo.com/impressora> Acesso em 04 abr. 2018

HOTZA. D. **Prototipagem rápida de pilhas e combustível de Óxido Sólido.** Revista Matéria. V. 14, n. 4. PP. 1101 – 1113, 2009. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Impressão 3D Fácil – **Conheça os Diferentes tipos de materiais para impressão 3D FDM.** Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/> Acesso em 12 abr. 2018

Impressão 3DFácil – **Impressão 3D em Protótipos e Modelos Funcionais.** Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/utilizando-a-impressao-3d-em-prototipos-e-modelos-funcionais/> Acesso em 17 mai. 2018

Impressão 3D Fácil. Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/> Acesso em 03 abr.2018

Loughborough University - **Additive Manufacturing Research Group**. Disponível em: <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphoto/polymerisation/> 03 abr. 2018

LWT SISTEMAS - AS 5 GRANDES VANTAGENS DA IMPRESSÃO 3D PARA REVOLUCIONAR A INDÚSTRIA. Disponível em: [http://www.lwtsistemas.com.br/vantagens-da-impressao-3d-revolucionar/Acesso em 04 abr.2018](http://www.lwtsistemas.com.br/vantagens-da-impressao-3d-revolucionar/Acesso_em_04_abr.2018)

Metamaquina – Desenvolvedor. Disponível em: <http://metamaquina.com.br/> Acesso em 17 mai. 2018

MONTEIRO.M. T. F. **A impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de jóias**. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG 0215

NERI VOLPATO – PROTOTIPAGEM RÁPIDA Tecnologia e Aplicações. Editora Blucher, São Paulo 2011

Oficina da net – **Como funciona e como surgiu a impressora 3D**. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/11352-como-funciona-e-como-surgiu-a-impressora-3d> Acesso em 04 abr. 2018

PORTO.T. M. S. **Estudo dos avanços da Tecnologia de Impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ 2016

Printalot 3D Brochure – **Tipos de Filamentos**. Disponível em: http://www.3dprinting.com.br/wp-content/uploads/2016/06/PrintaLot_brochure-ENE16_br.pdf Acesso em 12 abr. 2018

PrusaResearch – **I3 Mk2 Kit** – Disponível em: <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/59-original-prusa-i3-mk2-kit.html> Acesso em 07 mai. 2018

PrusaResearch – **Manual**. Disponível em: <http://manual.prusa3d.com/> Acesso em 07 mai. 2018

RapidToday – **STL 2.0 May Replace Old, Limited File Format**. Disponível em: <http://www.rapidtoday.com/stl-file-format.html> Acesso em 10 abr. 2018

RepRap – **Arduino**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino> Acesso em 17 mai. 2018

RepRap. Disponível em: <http://reprap.org/> Acesso em 04 abr. 2018

RepRap – **Extruders**. Disponível em: <https://reprap.org/wiki/Extruders> Acesso em 17 mai. 2018

RepRap – **Heated Bed**. Disponível em: https://reprap.org/wiki/Heated_Bed Acesso em 17 mai. 2018

RepRap – **Power Supply**. Disponível em: https://reprap.org/wiki/Power_Supply Acesso em 17 mai. 2018

RepRap – **Prusa I3**. Disponível em: http://reprap.org/wiki/Prusa_i3 Acesso em 07 mai. 2018

RepRap – **Shields/Ramps** – Disponível em: https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4 Acesso em 17 mai. 2018

RepRap – **StepperMotor**.Disponível em: http://reprap.org/wiki/Stepper_MotorAcesso em 07 mai. 2018

Sempre Update – **Conheça 5 sites para obter Arquivos STL para Impressoras 3D**. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/conheca-5-sites-para-obter-arquivos-stl-para-impressoras-3d-de-forma-gratuita/> Acesso em 11 abr. 2018

SempreUpdate – **Impressora 3D vs. CNC, Quais as Diferenças?**. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/impressora-3d-vs-cnc-quais-as-diferencas/> Acesso em 17 mai. 2018

Sempre Update – **Explicando o Formato de Arquivo STL para Impressões 3D**. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/explicando-o-formato-de-arquivo-stl-para-impressoes-em-3d/> Acesso em 10 abr. 2018

Simplify 3D – **G-CODE TUTORIAL**, The 10 most common. Disponível em: <https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/> Acesso em 10 abr. 2018

Super Interessante – **A revolução das impressoras 3D**. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/a-revolucao-das-impressoras-3d/> Acesso em 04 abr. 2018

Tecmundo – **Como funciona a Impressora 3D?**Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/impressora/2501-como-funciona-a-impressora-3d-htm> Acesso em 04 abr. 2018

To Buy a 3D Printer – **PLA Eco-Friendly 3D Printing Filament**. Disponível em: <https://tobuya3dprinter.com/pla-eco-friendly-3d-printing-filament/#prettyPhoto> Acesso em 04 abr. 2018

3D Printing Center – **PETG Filament Test**. Disponível em: <http://3dprintingcenter.net/2015/12/10/petg-by-dr3d-filament-filament-test/> Acesso em 04 abr. 2018

3D Printing from Scratch - **Types of 3D printers or 3D Technologies**. Disponível em: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/> Acesso em 03 abr. 2018

UOL – **Impressora 3D ajuda a cortar custos em Empresa**. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/empreendedorismo/noticias/redacao/2015/01/14/impressora-3d-ajuda-empresa-a-cortar-custos-de-producao-de-peca-em-ate-96.html> Acesso em 17 mai. 2018

Wikipédia – **CAD**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Manufatura_auxiliada_por_computador Acesso em 12 abr. 2018

Wikipédia – **CAM**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Desenho_assistido_por_computador Acesso em 12 abr. 2018

Wikipédia – **Código G**. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_G Acesso em 10 abr. 2018

Wikipédia – **Impressão 3D**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Impress%C3%A3o_3D Acesso em 03 abr. 2018

Wikipédia – **Máquina de Escrever**. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_escrever Acesso em 04 abr. 2018

Wikipédia – **Projeto RepRap**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Projeto_RepRap
Acesso em 04 abr. 2018