

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Fábio Mariotto de Azevedo

**Estudo e projeto de melhoria em máquina de
impressão 3D**

São Carlos
2013

Fábio Mariotto de Azevedo

**Estudo e projeto de melhoria em máquina de
impressão 3D.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A994e Azevedo, Fábio Mariotto de
 Estudo e projeto de melhoria em máquina de
impressão 3D / Fábio Mariotto de Azevedo; orientador
Arthur José Vieira Porto. São Carlos, 2013.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Impressora 3D. 2. Prototipagem. 3. Manufatura
Digital. 4. RepRap. 5. Eletrônica. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Fabio Mariotto de Azevedo

Título: "Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 28 / 11 / 13,

com NOTA 9,0 (NOVE,), pela Comissão Julgadora:

Prof. Titular Arthur José Vieira Porto - (Orientador - SEM/EESC/USP)

Prof. Dr. Valdir Grassi Júnior - (SEL/EESC/USP)

Prof. Associado Carlos Alberto Fortulan - (SEM/EESC/USP)

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1 Introdução	1
2 Impressora 3D.....	3
2.1. Modo de operação de uma impressora 3D.....	3
2.1.1 Padrão STL	4
2.1.2 Fatiamento do sólido	5
2.1.3 Comandos em G-Code	8
2.1.4 Interface e impressão	10
2.2. Mercado para impressoras 3D	12
2.2.1 Impressora 3D como forma de produção em série	14
2.2.2 Impressora 3D como eletrodoméstico para o lazer.....	15
2.2.3 Impressora 3D como máquina de prototipagem rápida	16
3 Desenvolvimento	18
3.1 Impressora 3D Prusa Mendel (RepRap)	18
3.2 Montagem e estudo do desempenho	21
3.3 Desenvolvimento de melhorias para redução de falhas	24
3.3.1 Relaxamento da correia	24
3.3.2 Ventilação do tubo guia no bico extrusor	25
3.3.3 Sensor de extrusão	27
3.4 Estudo de temperatura ótima de operação	30
3.4.1 Quanto a resistência da peça.....	30
3.4.2 Quanto a aderência a mesa	32
4 Tratamento de superfície	33
4.1 Spray de Silicone	33
4.2 Acetona.....	33
CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36
Apêndice A - Guia rápido de instalação da impressora.....	37
Configuração do Cabo USB-RS232.....	37
Instalação do Firmware.....	37
Configuração do Pronterface	37
Configuração Cura.....	38
Primeira impressão	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais partes de uma impressora 3D	3
Figura 2 - Exemplo de código STL e sua geometria	4
Figura 3 - Exemplo de fatiamento e caminho de extrusão	5
Figura 4 - Peças com 100, 25 e 0% de densidade de preenchimento.....	6
Figura 5: A esquerda fatiamento mostrando suporte em azul. A direita peça final em vermelho.....	7
Figura 6 - Software de fatiamento Cura	8
Figura 7 - Software de interface e controle Pronterface	10
Figura 8 - Conjunto do bico extrusor	11
Figura 9 - Comparativo de desempenho de diferentes meios de produção.....	13
Figura 10 - Custos de produção para diferentes quantidades de peças.....	14
Figura 11 - Tempo de produção em minutos	15
Figura 12 - Modelos de impressoras RepRap (Sentido horário: Prusa, Huxley, Printbot e Darwin)	18
Figura 13 - Placa de circuito Gen7.....	20
Figura 14 - Duração de cada etapa.....	23
Figura 15 - Modelo 3D do tensionador de correia	24
Figura 16 - Foto do "tensionador" em uso na impressora Prusa Mendel.....	25
Figura 17 - Modelo e impressão do suporte para ventoinha.....	26
Figura 18 - Torção do tubo guia do bico extrusor	26
Figura 19 - Bico extrusor com aletas metálicas.....	27
Figura 20 - Esquemático do sensor de extrusão	28
Figura 21 - Programa para controle do sensor	29
Figura 22 - Peça de teste de resistência.....	30
Figura 23 - resistência à tensão.....	31
Figura 24 - A direita peça impressa em alta temperatura apresentando cor amarela e deformações.....	31
Figura 25 - Recipiente de vidro sobre mesa quente para tratamento superficial	34
Figura 26 - Peça tratada com acetona pura, removedor de esmalte e sem tratamento.....	34
Figura 27 - Inserção de botões para controle da fonte	38

RESUMO

Nos últimos anos máquinas de prototipagem por deposição plástica, também conhecidas como Impressoras 3D vem sendo desenvolvidas em pequenos tamanhos e baixo custo. Tais máquinas são de grande utilidade em prototipagem rápida, design e até mesmo em lazer. Tecnologia em impressão 3D desenvolvida em conjunto por uma comunidade virtual (RepRap) "open source" está acessível a qualquer pessoa com acesso a internet e as ferramentas adequadas. Esse trabalho teve como objetivo estudar os conceitos que envolvem o universo da impressão 3D e posteriormente desenvolver um projeto que vise a melhoria de uma impressora 3D através da criação de uma nova ferramenta, metodologia, tecnologia ou programa nas áreas de engenharia. Foi assim desenvolvido um sensor de falhas e feita uma pesquisa de ponto de temperatura ótimo para funcionamento da máquina que permitiram economia de 30% no tempo de impressão e aumento na qualidade e resistência das peças impressas.

Palavras-chaves: Impressora 3D, Prototipagem, Manufatura Digital, RepRap, Eletrônica.

ABSTRACT

In the last few years, prototyping machines by plastic deposition, also known as 3D printers are being developed in small sizes and low costs. Those machines come greatly in hand for fast prototyping, design and even entertainment. Technology on 3D printing developed by the virtual community "RepRap" is open source and available for any person with access to the internet and the right tools. This project had as objective the study of concepts that involve the 3D printing universe and afterwards the development of a project that aims a improvement of a 3D printing machine trough the creation of a new tool, methodology, technology or program on the engineering field. It was developed an error sensor and a research was made about the optimal temperature point for the machine operation resulting on a 30% reduction on printing time and a increase in the quality and resistance of the printed parts.

Keywords: 3D printer, prototyping, Digital Manufacturing, RepRap, electronics.

1 Introdução

Impressão 3D é o apelido que foi dado ao processo de criação de um objeto em três dimensões a partir de um modelo digital. Especificamente, essa impressão é realizada por um processo aditivo, no qual camadas de material são adicionadas sucessivamente de modo a compor objetos em formatos variados. Essa técnica é considerada distinta de outras formas tradicionais de criação, como por exemplo a usinagem, pois essas outras funcionam removendo material de modo a "esculpir" o objeto enquanto na impressão 3D é adicionado material, havendo pouca ou nenhuma sobra.

Outra grande distinção está no fato de que essa tecnologia também pode ser usada para prototipagem rápida, com grandes vantagens de custo, já que não há desperdício de material e já que o próprio material utilizado, usualmente plástico ABS¹, não possui um custo muito elevado. Outra vantagem é o fato de que não é necessário preparar ferramental e que os softwares que fazem a impressão não precisam de qualquer programação prévia à impressão.

A primeira impressora 3D foi criada em 1984 por Chuck Hull (DEURSEN, 2013). Porém foi apenas em torno de 2008 com a queda dramática de preço das impressoras, que antes podiam custar até \$200,000 agora sendo compradas por até \$2,000, que houve uma difusão e aumento de mercado para as impressoras 3D. Também surgiram diversas iniciativas para compartilhamento de tecnologia de replicação, ou seja, de máquinas capazes de construir a si mesma, onde as impressoras 3D estrelaram como principais formas de replicadores.

Um dos mais antigos projetos de impressoras 3D para computadores pessoais é o RepRap (RepRap, 2012). Esse projeto tem como objetivo produzir um software grátis e de código aberto (*free and open source software* - FOSS) para impressoras 3D, cujas especificações são liberadas sobre uma *General Public License* (GNU). A impressora é replicável sendo capaz de imprimir muitas de suas próprias partes plásticas. Atualmente o grupo procura uma forma de imprimir placas de circuito impresso e até mesmo partes de metal.

Como resultado desse trabalho aberto, as impressoras 3D tem sofrido um rápido desenvolvimento, ganhando interesse em diversas esferas já que apresentam grandes possibilidades de customização. Outra consequência foi a grande diminuição do preço e

¹ Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) é o termoplástico amorfo utilizado em máquinas de impressão 3D. Sua baixa temperatura de transição vítrea (aproximadamente 105°C) facilita sua manipulação (Acrylonitrile butadiene styrene wiki, 2013)

maior facilidade para se encontrar um modelo no mercado, tornando essas impressoras mais atrativas tanto para uso comercial quanto pessoal.

Porém, por terem desenvolvimento aberto e coletivo, essas impressoras ainda falham em alguns aspectos como robustez, praticidade, design e acesso, sendo assim difíceis de se operar por uma pessoa fora do grupo de desenvolvimento. Por exemplo, essas impressoras não possuem nenhum tipo de acabamento ou proteção elétrica, ficando seus circuitos expostos ao contato e sem aterramento.

Foi pensando nisso que surgiu a iniciativa de fazer uma pesquisa sobre a tecnologia envolvida e a forma de operação dessas impressoras para desenvolver uma melhoria de forma a adequar essas impressoras de forma mais eficiente ao usuário comum.

2 Impressora 3D

As impressoras 3D possuem modo de operação, custo, material e apelo bem diferente das demais formas de prototipagem, o que as enquadra em um mercado bem diferenciado. Nas seções seguintes será descrito melhor as características que definem uma impressora 3D.

2.1. Modo de operação de uma impressora 3D

As impressoras 3D desenvolvidas pelo projeto RepRap tem como fundamento básico a extrusão plástica e deposição em camadas. A impressora funciona de forma semelhante a uma máquina com *computer numerical control* (CNC) de usinagem, exceto que a ferramenta da impressora 3D é um extrusor plástico, que deposita material, ao invés de uma ferramenta de usinagem que "esculpe" a peça a partir de um bloco. A impressora é então composta por uma mesa que desliza sobre um eixo Y, e um bico extrusor que desliza sobre um eixo X e pode também ter sua altura regulada ao longo de um terceiro eixo Z. Esses eixos são movimentados por motores de passo, que assim como a temperatura da mesa e do bico, são controlados por um circuito eletrônico integrado.

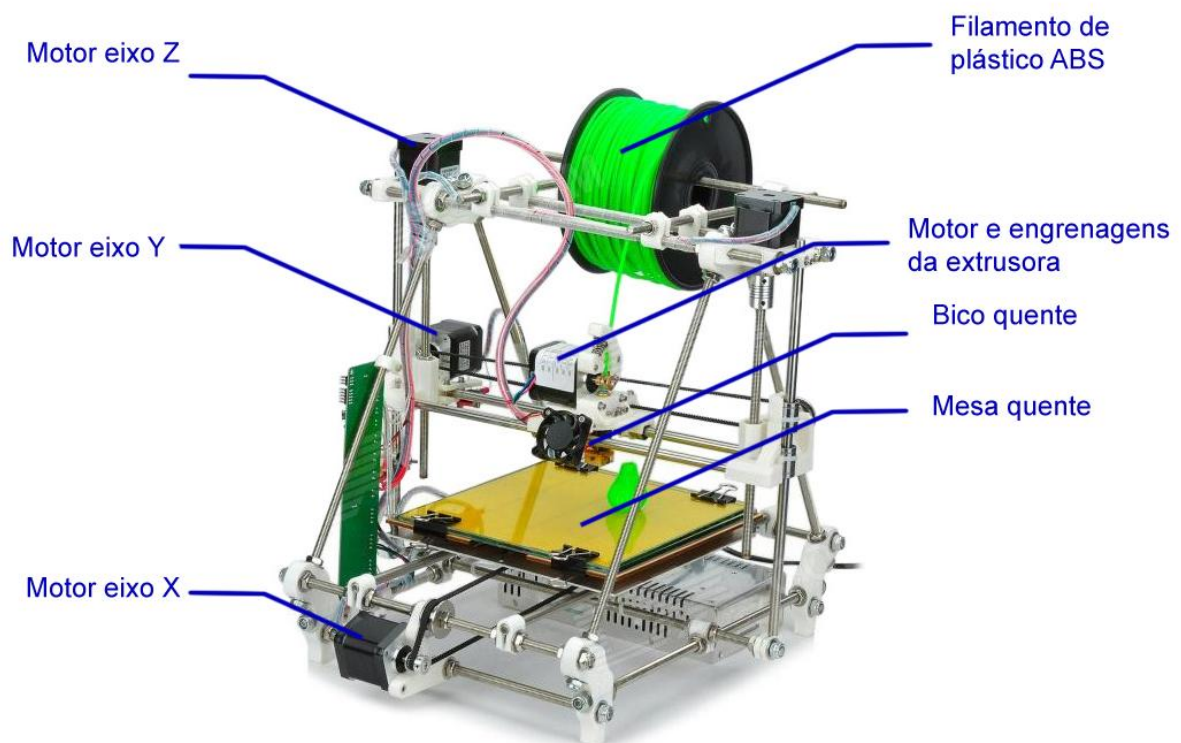


Figura 1 - Principais partes de uma impressora 3D

2.1.1 Padrão STL

Outra característica fundamental da Impressora 3D é sua capacidade de criar qualquer peça a partir de seu desenho 3d digital. Essa peça deve estar no formato ".stl" (STereoLithography) usualmente compatível com ferramentas de CAD. Também conhecido como *Standard Tessellation Language* (STL), esse formato foi criado pelo grupo Albert-Battaglin Consulting (RapidToday, 2013) e é compatível com diversos softwares de desenho digital e largamente usado para prototipagem rápida ou qualquer outra forma de manufatura computadorizada. O formato STL descreve as superfícies de um objeto, através dos vértices que compõem cada uma de suas faces, sem nenhuma representação de cor, textura ou outro atributo comum a modelos 3D artísticos.

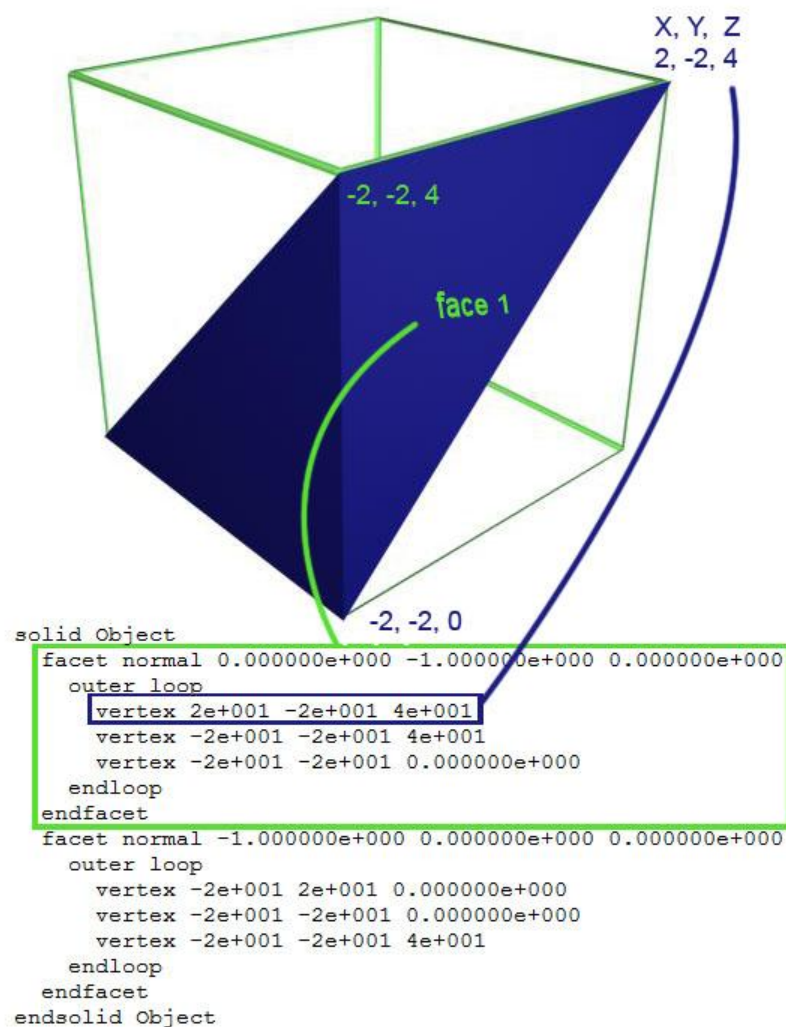


Figura 2 - Exemplo de código STL e sua geometria

2.1.2 Fatiamento do sólido

Uma vez que o sólido tenha sido exportado no formato STL, ele pode ser então processado por um software de fatiamento. Esse software é responsável por dividir o sólido em camadas, e projetar o trajeto que o bico extrusor deve fazer para depositar o plástico de modo a formar cada uma dessas camadas.

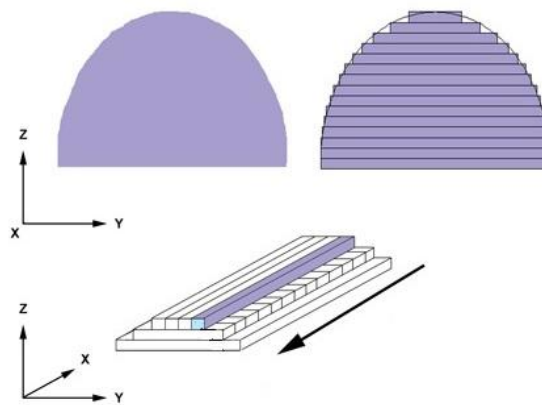


Figura 3 - Exemplo de fatiamento e caminho de extrusão

Escrito em Python², o software de fatiamento Cura (Ultimaker, 2012) que foi utilizado durante esse trabalho é recomendado pelo projeto RepRap e é livre para uso. Esse software é desenvolvido para trabalhar com diversas plataformas, de modo que deve ser configurado de forma adequada. Devem ser inseridas no software informações quanto ao tamanho da área máxima de impressão, a espessura do bico, espessura do filamento, a espessura desejada para cada camada, velocidade de impressão, e códigos para *start-end* da máquina. Também é possível configurar outras opções peça a peça, como presença ou não de suporte para partes suspensas, densidade das peças, saia de adesão e outros. Abaixo segue descrição de como esses parâmetros influenciam a impressão:

Parâmetros na modalidade de precisão (Accuracy):

Layer height (mm): altura de cada camada da peça. Geralmente é usado algo entre 1 e 2 décimos sendo que quanto menor essa altura, maior a resolução da peça, porém mais lenta será a impressão.

² **Python** é uma linguagem de programação interpretada e orientada a objeto. Seu formato enfatiza entendimento do código e sua sintaxe possibilita um rápido desenvolvimento de programas (python wiki, 2013).

Wall thickness (mm): espessura da parede da peça. Isto é, se a peça for parcial ou totalmente oca, essa será a espessura da sua superfície externa (Recomendável ao menos 0.8mm para peças 100% ocas).

Parâmetros na modalidade de preenchimento (*Fill*):

Bottom/Top thickness (mm): espessura da camada antes do início da parte oca da peça. Por exemplo uma espessura de 0.6mm em uma peça com camadas de 0.2mm significa 3 camadas antes do início da parte oca.

Fill Density (%): Porcentagem da peça que é preenchida. O valor zero significa uma peça oca, enquanto valores entre zero e 99 significa uma peça parcialmente oca com interior treliçado.

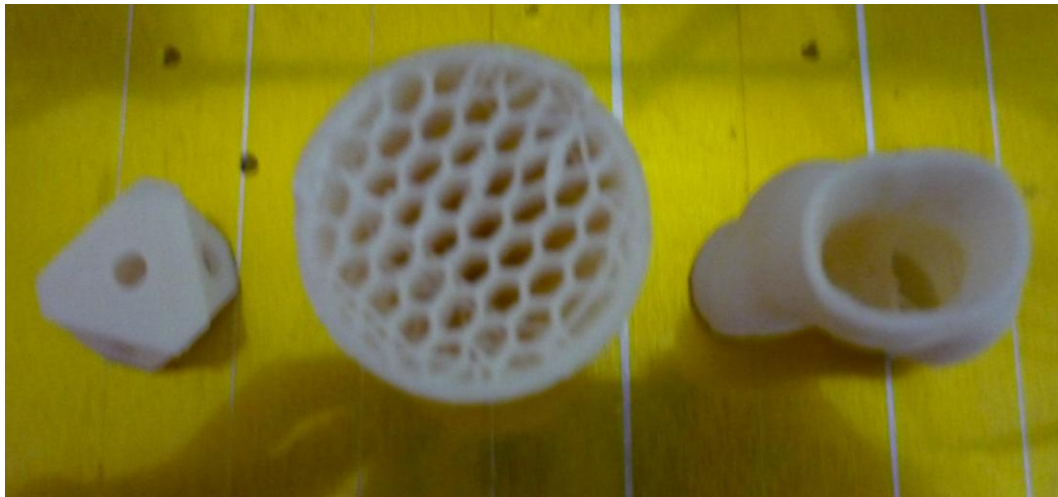


Figura 4 - Peças com 100, 25 e 0% de densidade de preenchimento

Parâmetros na modalidade de saia (*Skirt*):

Line count: número de linhas desenhadas na mesa ao redor da área de impressão. Serve para testar o bico, remover bolhas de ar, e verificar se a peça tem dimensões apropriadas a mesa quente.

Start Distance (mm): distância entre a primeira linha e o objeto. Para evitar conflitos usa-se ao menos um valor maior que 1mm.

Parâmetros nas modalidades de velocidade e temperatura (*Speed and Temperature*):

Print speed (mm/s): velocidade de movimento horizontal do bico. Esse valor tem que ser menor que o máximo suportado pelos seus motores de passo e *drivers*. Quanto maior esse valor, menor o tempo de impressão, porém usualmente menor também a

resolução da peça e maiores as chances de falha na impressão como descolamento de camadas e entupimento do bico.

Printing temperature: temperatura de operação. O valor zero deve ser usado para permitir configurar a temperatura no software de interface com a impressora.

Parâmetros na modalidade de suporte (*Support*):

Support type: escolhe o tipo de suporte. O suporte serve para construir partes destacáveis de objeto para segurar partes suspensas do mesmo. Existem as opções de suporte apenas externos, externos e internos, e também a de apenas camadas vazias.

Devido ao fato de esses suportes serem de lenta impressão, desperdiçarem material e diminuírem a resolução da peça, recomenda-se modelar e posicionar a peça de forma a evitar o uso dos mesmos.

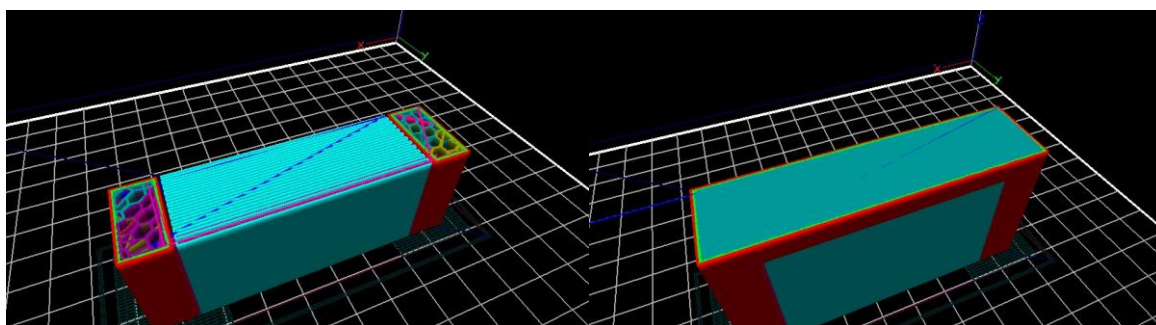


Figura 5: A esquerda fatiamento mostrando suporte em azul. A direita peça final em vermelho.

Parâmetros na modalidade de filamento (*Filament*):

Diameter (mm): diâmetro do filamento plástico utilizado. Esse dado não é variável, ele depende do filamento utilizado e serve para calcular qual a quantidade de extrusão por tempo necessária para a impressão.

Packing Density: Densidade do filamento. Para plástico ABS usa-se 0.85.

Parâmetros na modalidade de tamanho da máquina (*Machine Size*):

Nozzle size (mm): deve ser preenchido com o diâmetro do furo do bico injetor. No caso da impressora utilizada o tamanho é 0,45mm.

Machine center X (mm): Metade do valor da largura da mesa na direção X. Serve para a máquina saber o centro da mesa a partir do sensor de fim de curso, bem como o tamanho total da mesa. A impressora utilizada nesse trabalho apresenta uma mesa com 200mm de largura, portanto recomenda-se uso de 95mm (medida do meio da mesa, menos 5mm) para evitar impressões muito próximas a borda.

Machine center Y (mm): Metade do valor do comprimento da mesa na direção Y.

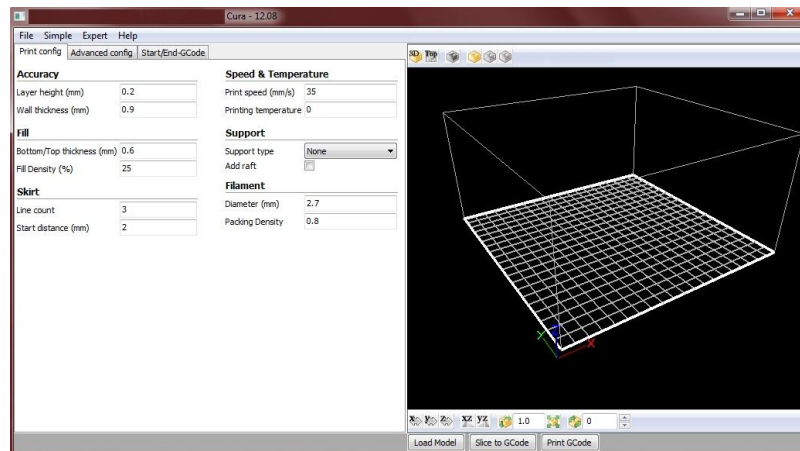


Figura 6 - Software de fatiamento Cura

2.1.3 Comandos em G-Code

Após o fatiamento é gerado um arquivo de comandos do tipo G-Code (no padrão NIST RS274NGC), que é uma serie de códigos usados pelo hardware da impressora para construir a peça (KRAMER, 2010). Esse código possui informações de temperaturas, velocidade de impressão, trajetória do bico, posicionamento, e outras rotinas necessárias para funcionamento da máquina.

Códigos nesse padrão são compostos por uma letra e três números. A letra relaciona em qual grupo se enquadra o tipo de comando ou informação, enquanto o número indica especificamente o mesmo. Na tabela 1 estão representados os principais comandos utilizados em impressão 3d.

Tabela 1 - Comandos e seus significados

Letra	Significado/Grupo
Gnnn	Comando padrão, como o de deslocar até um ponto.
Mnnn	Comando específico RepRap, como o de ligar uma ventoinha.
Tnnn	Selecionar a ferramenta nnn. No caso de impressoras, sempre extrusores.
Snnn	Parâmetro de controle, como a tensão de um motor.
Pnnn	Parâmetro de comando, como tempo em milissegundos.

Xnnn	Uma coordenada no eixo X.
Ynnn	Uma coordenada no eixo Y.
Znnn	Uma coordenada no eixo Z.
Fnnn	Velocidade de alimentação em mm por segundo.
Rnnn	Parâmetro de temperatura.
Ennn	Comprimento de plástico a extrusar em mm.

2.1.4 Interface e impressão

Existem diversas formas de transferir o G-Code do computador utilizado durante o fatiamento até a máquina de impressão 3d, variando desde *pen-drives* e cartões *SD*, até mesmo a interface via conexão serial PC-Impressora. Esse ultimo método foi o utilizado durante o desenvolvimento do projeto devido a sua praticidade, facilidade de manutenção e alta flexibilidade.

Para fazer a interface serial, foi utilizado o software livre Pronterface, que permite não apenas a transferência do G-Code para a impressora, como também sua supervisão e operação manual, o que é de grande utilidade para fins de teste e manutenção (Kliment, 2013).

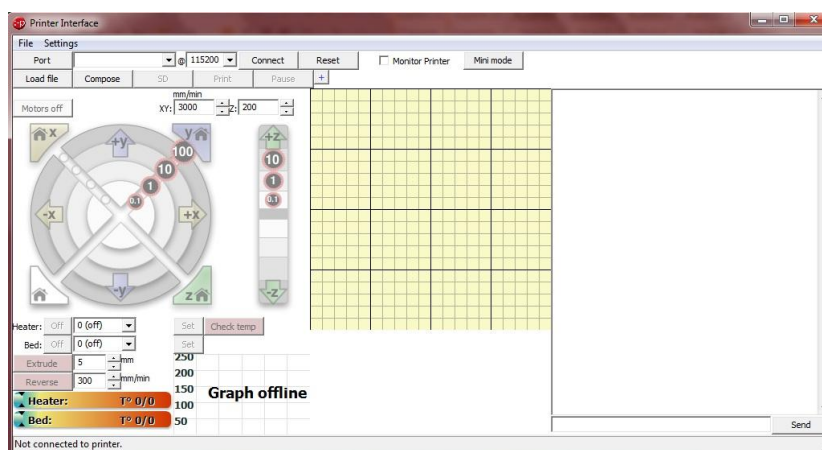


Figura 7 - Software de interface e controle Pronterface

Com esse software é possível configurar por meio de uma interface gráfica, de maneira simples, as condições de operação da impressora:

- a) *bemtemp_abs*: temperatura da mesa quente.
- b) *build_dimensions*: tamanho da área de impressão.
- c) *temperature_abs*: temperatura do bico quente.

Também é possível a qualquer momento pausar ou interromper uma impressão. Existem setas para operação manual de todos motores de passo e leitura em tempo real da temperatura da mesa quente e do bico.

O software também faz o início remoto da impressão, após aquecer a mesa e o bico até as temperaturas selecionadas. A impressão é feita linha por linha para compor as

camadas de cada fatia do objeto. A extrusão é feita através de um motor de passo que é ligado a duas polias de arraste, semelhante a um moedor, que impulsiona um filamento de plástico (usualmente ABS) através de um bico quente.

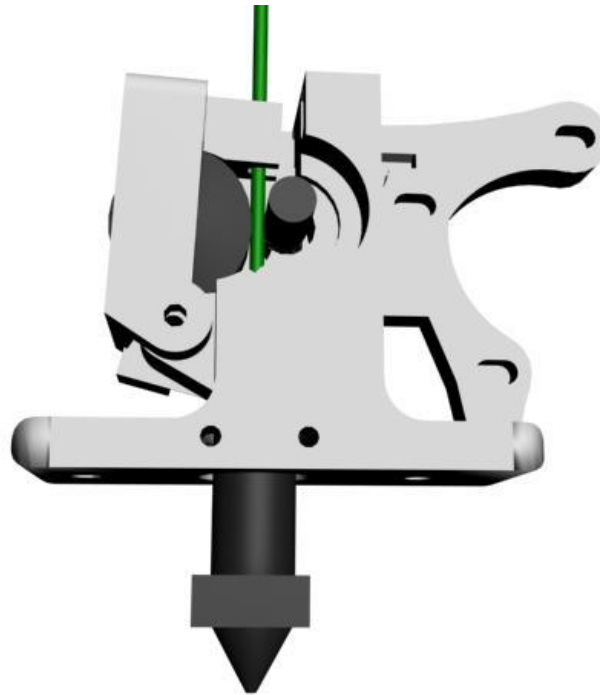


Figura 8 - Conjunto do bico extrusor

2.2. Mercado para impressoras 3D

O grande diferencial das impressoras 3D é o fato de operarem depositando camadas do material ao invés de removendo. Enquanto outras máquinas trabalham esculpindo um bloco do material até chegar a forma desejada ou despejando material fundido em uma fôrma, a impressão 3D trabalha depositando camadas do material umas sobre as outras até formar o objeto final.

Esse tipo de operação apresenta vantagens e desvantagens, sendo algumas mais decisivas na hora de escolher qual máquina usar para determinada aplicação.

Comparada a injeção de plástico e a usinagem, a impressão 3D possui um baixo custo de produção, utilizando material mais barato, não gerando sobras e não utilizando uma matriz (molde feito em aço) para sua produção. A máquina 3D também é muito mais barata que suas irmãs, que chegam a ter preços cem vezes maiores.

Porém as impressoras 3D também possuem desvantagens. Sua produtividade é muito menor que a injeção plástica, que apesar de necessitar do desenvolvimento de um molde, pode depois imprimir grandes tiragens em baixíssimo tempo. A resistência das peças também são muito menores, mesmo ambas trabalhando com o mesmo material, plástico ABS, pois a impressão 3D sofre com o descolamento das camadas que compõem as peças. As impressoras 3D também são muito menos robustas que as máquinas de usinagem e injeção, exigindo muita manutenção e apresentando diversas interrupções ao longo de sua produção.

Outro ponto importante é o tipo de manutenção necessária para manter a máquina funcionando adequadamente. Embora a impressora seja atualmente pouco robusta, a manutenção que essa exige é simples e pode ser executada por uma pessoa com pouco treinamento e quase nenhum conhecimento técnico. Enquanto que suas concorrentes exigem uma manutenção mais técnica e mais complicada, tornando-as inadequadas para o uso doméstico ou em escritórios.

O gráfico 1 a seguir resume as qualidades dessas 3 formas de produção, sendo 5 referente a ótimo, 4 a bom, 3 a regular, 2 a ruim, e 1 a péssimo.

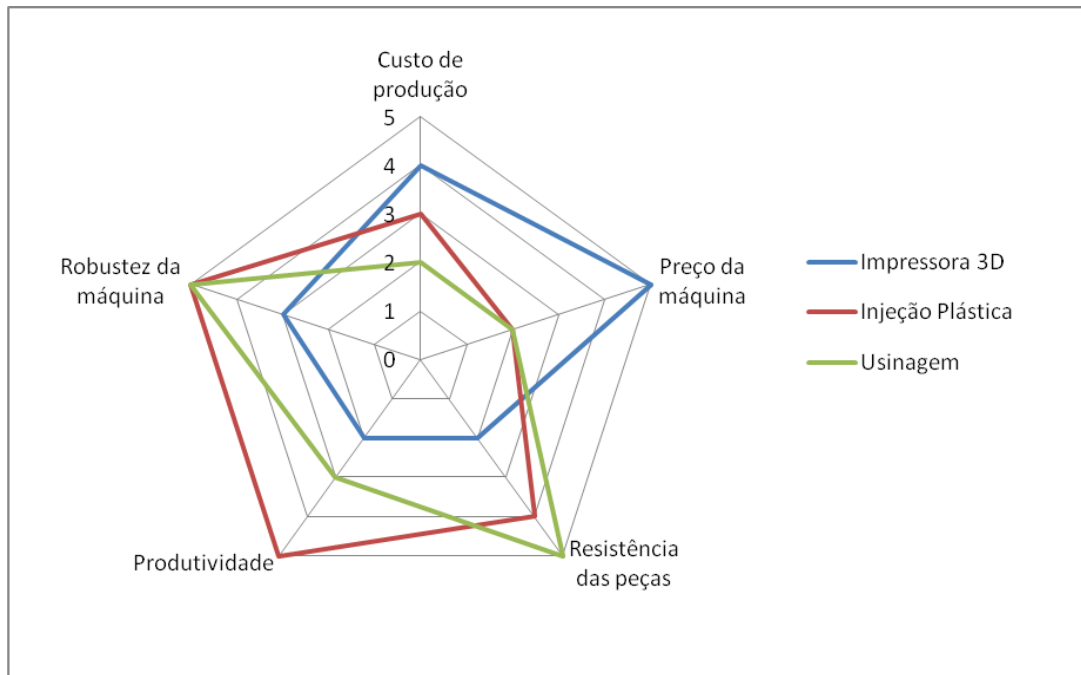


Figura 9 - Comparativo de desempenho de diferentes meios de produção

Por essas diferenças, as máquinas acima citadas são empregadas em funções diferentes tendo como alvo mercados distintos. A impressora 3D teve seu potencial avaliado a seguir dentro desses mercados, onde se destacam:

- a) Produção em série.
- b) Eletrodoméstico para uso de lazer por usuários comuns.
- c) Prototipagem rápida.

2.2.1 Impressora 3D como forma de produção em série

Apesar da qualidade da peça impressa ser muito inferior a uma peça injetada, e inadequada para atividades que demandam algum estresse, foram comparados os preço e tempo para produção por esses métodos.

O Gráfico 2 mostra que apesar de não necessitar de um alto investimento inicial como as injetoras (produção do molde custa em torno de 10 mil reais), mesmo para pequenos portes o custo pode não ser muito convidativo e só seria mesmo vantajoso na faixa entre 1 e 4000 peças (informação verbal)³. E ainda sim essas peças teriam qualidade muito inferior.

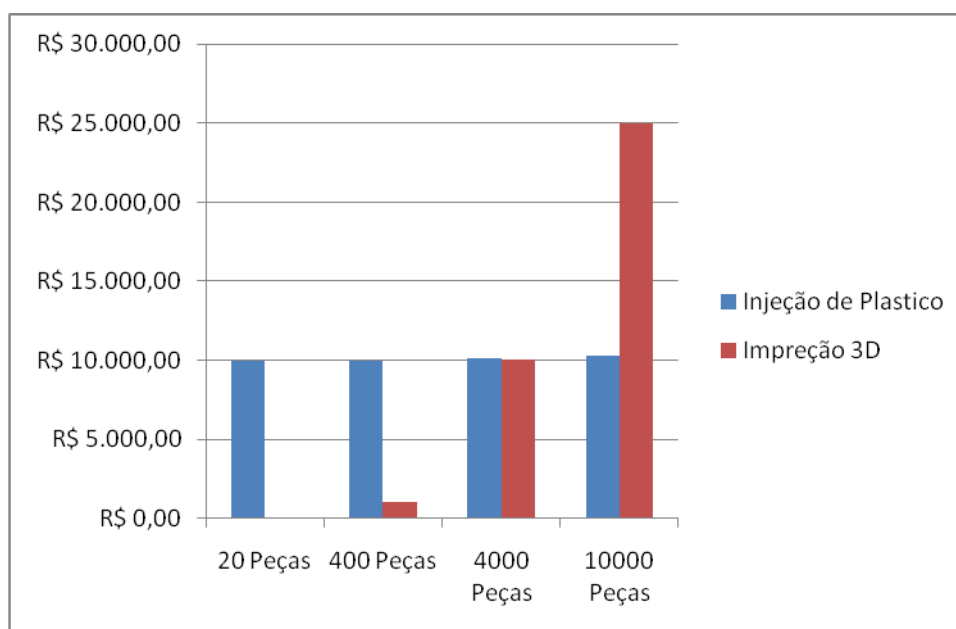


Figura 10 - Custos de produção para diferentes quantidades de peças.

Enquanto o preço para injeção quase não varia para pequenos lotes, sendo quase todo determinado pelo preço de fabricação do molde, o preço para produção por injeção 3D cresce rapidamente de modo que em 4000 peças os valores já são equivalentes.

A figura 10 representa os custos de produção considerando-se uma pequena peça (tampa de garrafa pet) que custa em media 0,03 por injeção e 2,5 reais por impressão 3D. O preço por peça na impressão 3D é muito mais sensível a sua massa (quantidade de plástico gasta na sua produção) enquanto que na injeção essa variação é menor.

³ As informações quanto a injeção plástica foram dadas por Thiago Menanteau Budoya durante uma visita em julho de 2012 à sua fábrica de injeção plástica, "Wamovale Moldes e Plásticos", situada em São José dos Campos.

Assim o tamanho do lote que tornariam viáveis a impressão 3D fica ainda menor se considerarmos peças maiores e portanto mais caras. Essas peças teriam quase o mesmo custo para fabricação do molde e injeção, porém preços bem maiores por peça para a impressão 3D, já que esse é mais sensível a quantidade de plástico gasta para fabricar cada peça.

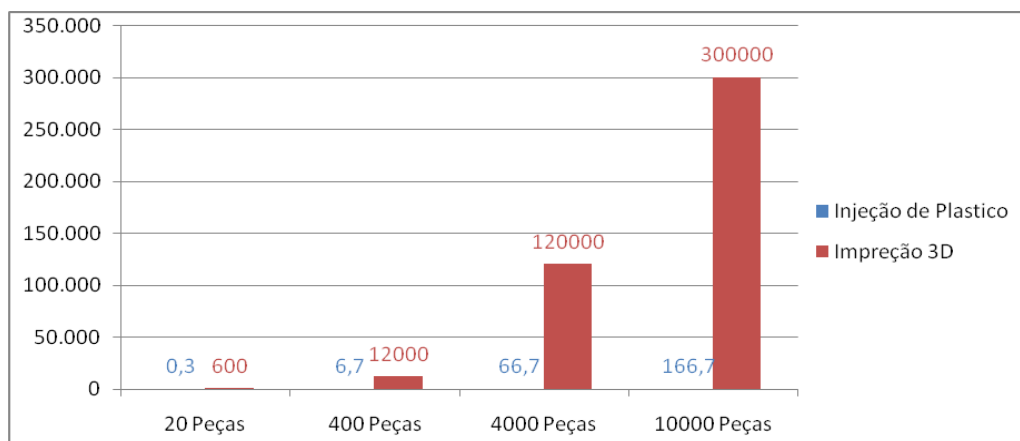


Figura 11 - Tempo de produção em minutos

Por fim foram comparados o tempo gasto para produção via impressão e injeção, como mostrados na figura 11. Fica evidente a ineficiência da impressora 3D como produtora em série.

Como se pode observar no gráfico, a velocidade de produção da impressão 3D é muito menor. Mesmo que fosse adicionado um bico de extrusão extra por impressora, e fossem colocadas varias impressoras pra trabalhar ao mesmo tempo, levando em consideração o conjunto tempo, preço e produtividade, a injeção de plástico ainda é muito mais viável como forma de produção em série.

2.2.2 Impressora 3D como eletrodoméstico para o lazer

Como lazer de uso doméstico, a impressora Prusa Mendel (bem como os demais modelos atualmente no mercado) apresenta de imediato uma serie de complicações:

- a) Exige do usuário conhecimentos gerais de informática para utilização da mesma. Isso se deve em boa parte devido ao softwares com características funcionais porém nada intuitivas. Sem contar o fato do processo envolver o uso de dois softwares diferentes que precisam ser configurados.

- b) Exige do usuário paciência e capacidade para efetuar a manutenção eletromecânica da mesma.
- c) Possui grande índice de falha na impressão, ainda mais quando mal calibrada ou configurada.
- d) Não apresenta design atraente.
- e) Não é completamente segura. Não possui isolamento elétrica. Não possui isolamento térmica.

Levando todos esses fatores em consideração, e o fato de que os corrigir implicaria num trabalho científico e técnico muito além do proposto para um trabalho de conclusão de curso (haja vista que tais resultados ainda não foram obtidos em nenhuma impressora atualmente no mercado), foi descartada a possibilidade de trabalhar a impressora com a intenção de vendê-la como eletrônico de uso pessoal e lazer.

2.2.3 Impressora 3D como máquina de prototipagem rápida

Por ser uma fabricação baseada em camadas, os sistemas de Prototipagem Rápida são capazes de produzir peças de geometria complexa e formas que são impraticáveis ou impossíveis, ou mesmo onerosas para construir com sistemas tradicionais. Exemplos incluem blocos com cavidades internas ou peças contendo outras peças embutidas. A Prototipagem rápida também tende a permitir a fabricação de peças com estruturas montadas (componentes eletrônicos ou térmicos) que seria impraticável usando sistemas convencionais de fabricação.

A Prototipagem rápida representa um importante papel em ferramental rápido, fabricando ferramentas para serem usadas em processos convencionais de fabricação de grandes volumes ou mesmo baixos lotes de produção para os emergentes “mercados de massa”, como por exemplo, ferramentas para moldes de injeção ou moldes para fundição. A Prototipagem Rápida é também utilizada para fabricar protótipos para visualização ou comunicação de ideias em grupos de desenvolvimento, tocar e sentir, visualização de estruturas complexas, exibição de marketing, e protótipos funcionais (PHAM, 2001)..

Como máquina para prototipagem rápida de baixo custo a impressora 3D quase não apresenta desvantagens. Sua única concorrente é a máquina de impressão 3D a gesso, que chega a ter um custo 15 vezes maior. Esse preço elevado não é devido somente ao custo de produção das mesmas, mas também a patentes.

O usuário da impressora para fins de prototipagem, geralmente já está inserido no meio digital, de desenhos 3D, programação e até mesmo eletrônica sendo assim muito mais apto a realizar os ajustes e manutenções que a máquina requer atualmente.

Como citado anteriormente, a impressora 3D tem baixo custo de produção e aquisição além de não exigir a confecção de nenhum tipo de molde. Assim é notável que prototipagem rápida é o melhor mercado para impressora 3D atualmente. Portanto as melhorias desenvolvidas para impressora, devem priorizar as necessidade desse mercado, ou seja:

- a) Impressão de uma peça seja o mais rápida possível porém sem a preocupação de se produzir grandes lotes de peças em série, e sem o compromisso de ter a impressora trabalhando varias horas por dia/semana.
- b) Impressora necessite de tão pouca manutenção quanto for possível, e que essa seja simples de forma a ser feita por qualquer usuário.
- c) Impressora não necessite de uma pessoa supervisionando sua produção, de modo que o usuário fique livre para adiantar outras tarefas do seu serviço enquanto a impressora trabalha.

3 Desenvolvimento

Depois de colhidas informações sobre as diferentes tecnologias de impressão 3D disponíveis no mercado, e também após familiarização com o projeto RepRap e suas propostas, foram compradas as peças necessárias para montagem de uma impressora 3D do modelo Prusa Mendel, com a qual foram desenvolvidas as propostas desse trabalho.

3.1 Impressora 3D Prusa Mendel (RepRap)

O projeto RepRap trabalha em diversos modelos de impressoras simultaneamente. Isso ocorre devido a ser um projeto *open-source* de modo que a comunidade pode alterar e criar suas próprias modificações para impressora, ramificando a tecnologia em diversos modelos diferentes. Entre esses modelos podemos citar Prusa, Darwin, Huxley e Printbot como as impressoras com maior desenvolvimento e maior número de colaboradores.

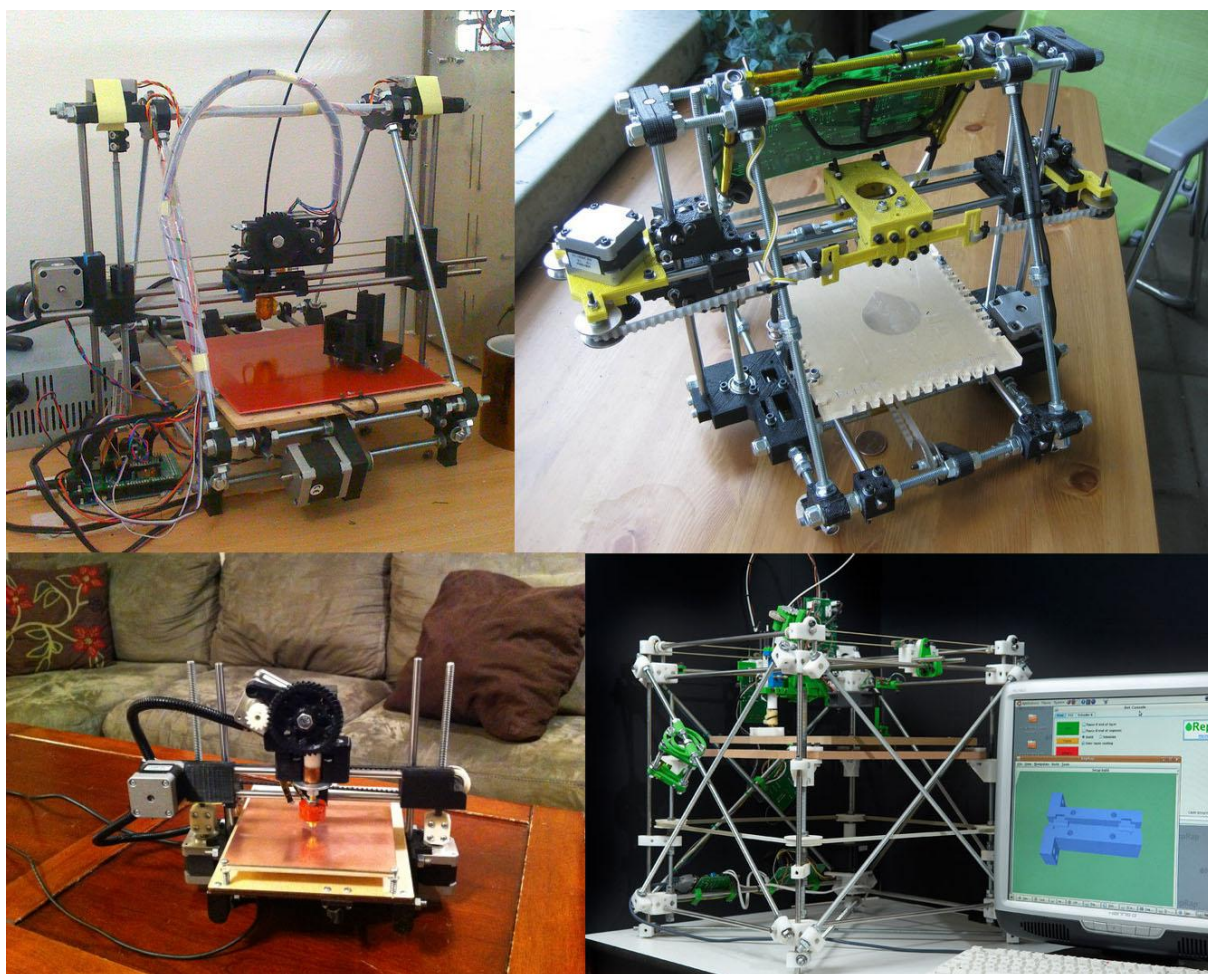


Figura 12 - Modelos de impressoras RepRap (Sentido horário: Prusa, Huxley, Printbot e Darwin)

Embora algumas modificações resultem em impressoras com estruturas ou hardwares divergentes, muitas pesquisas também são feitas de modo a melhorar e atualizar impressoras já existentes. Um dos modelos mais antigos do projeto é a impressora Prusa.

A sua versão mais atual, também conhecida como Prusa Mendel, foi a impressora escolhida para desenvolver esses estudos. Entre as razões para escolha da mesma destacam-se o fato de ser uma impressora com grande documentação disponível online, grande comunidade participante nos fóruns de discussão da mesma, e também pelo fato de ser uma ótima impressora no que se refere a relação desempenho por custo de aquisição (Fórum RepRap, 2012).

Assim como as demais impressoras 3D, a Prusa Mendel é composta basicamente dos seguintes elementos:

- a) Estrutura: Composta por partes plásticas (impressas por uma outra impressora 3D, remetendo a replicabilidade das mesmas) e também peças de aço como parafusos, porcas, chapas e tirantes.
- b) Parte eletrônica: Composta por um circuito controlador, motores de passo, fonte, termistores, resistências e detectores de fim de curso.
- c) Firmware: Programa executado pelo controlador responsável por interpretar o G-Code e comandar a máquina.
- d) Software: Dois softwares, um responsável pelo fatiamento, e outro pela interface PC-Impressora. Alguns softwares possuem essas duas funcionalidades integradas. Porém softwares dedicados a fatiamento costumam apresentar melhores resultados além de serem mais flexíveis.

A impressora Prusa Mendel, escolhida para o trabalho, possui uma estrutura de fácil montagem, que utiliza apenas peças de prateleira, como roscas e parafusos com tamanho padrão, além daquelas que são impressas por ela mesma. Possui também um tamanho total pequeno em relação a sua área de impressão (200mm, 200mm, 150mm). Sua estrutura não é robusta o suficiente para torna-la uma impressora de fácil mobilidade porém é suficiente para realizar diversas impressões sem a necessidade de manutenção.

No que se refere a eletrônica, são encontrados diversos circuitos controladores para impressoras 3D. Três deles em particular, ambos open source e compatíveis com a Prusa Mendel, são o RAMPS, SAGUINOLOLU e Gen 7. Todos esses circuitos são baseados em controladores Atmega 644p (Builders Blog, 2012).

A impressora Prusa Mendel usada nesse trabalho possui um circuito do tipo Gen 7, que é uma versão mais enxuta dos outros modelos, apresentando menor custo para aquisição e maior facilidade na montagem.

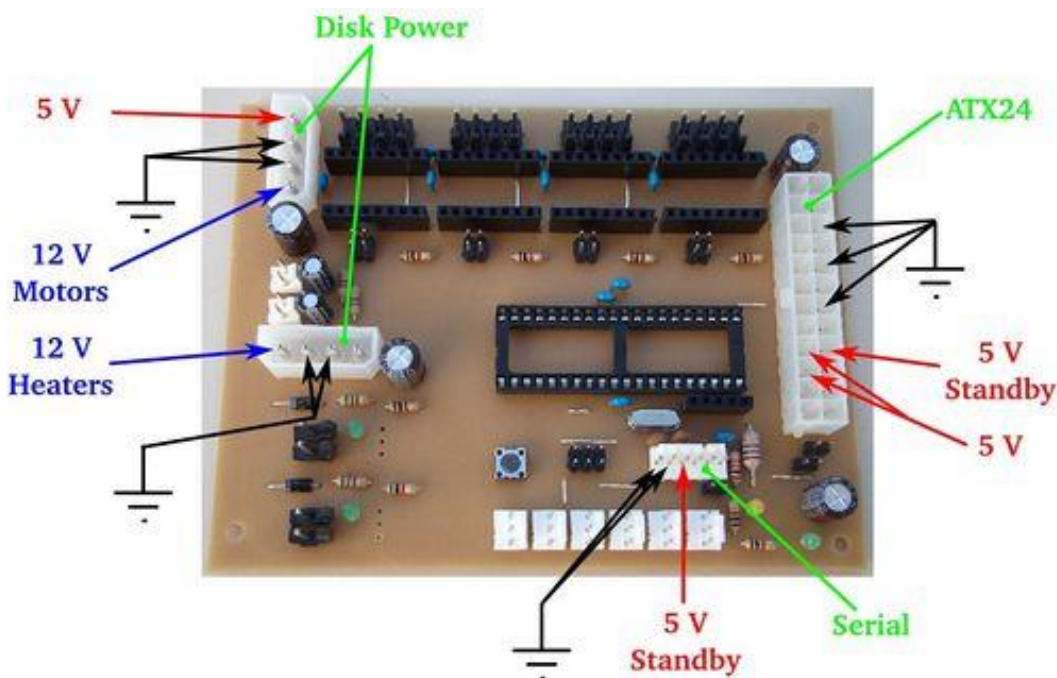


Figura 13 - Placa de circuito Gen7

Todos os 3 circuitos citados anteriormente são compatíveis com diversos Firmwares desenvolvidos pelo projeto RepRap bem como terceiros. Esses firmwares interpretam e executam as informações passadas pelo G-Code de forma diferente entre si. Também existem variações na forma como são equacionados os passos dos motores.

Dessa forma existe grande debate quanto ao desempenho de cada firmware. Para desenvolver as pesquisas de forma objetiva, e evitar retrabalhos, escolheu-se o firmware Sprinter, pois o mesmo apresentava bastante suporte da comunidade e é descrito como um firmware de fácil customização.

Os software usados para fatiamento e interface foram o Cura e o Pronterface, ambos já apresentados durante a introdução dessa monografia. O Pronterface também pode realizar o fatiamento, porém esse não possui a liberdade de configuração e a qualidade que o Cura pode oferecer, então foi usado apenas para fazer a interface com a máquina.

3.2 Montagem e estudo do desempenho

Os componentes mecânicos e elétricos necessários para montagem da impressora Prusa Mendel foram comprados da Movtech⁴. A impressora foi montada seguindo-se esquemas e tutoriais disponibilizados na internet tanto pelo projeto RepRap quanto pelo o fórum RepRap. Também foi consultado frequentemente o *web site* "Planet RepRap", que se trata de um jornal onde são compartilhadas novidades, dicas e curiosidades no ramo de impressão 3D (Planet RepRap, 2012).

Logo nos primeiros testes foram encontradas algumas dificuldades no uso da impressora:

- a) Dificil calibragem da altura da mesa: A mesa deve ser calibrada com uma diferença de altura entre ela e o bico de aproximadamente 0.2mm. Caso essa calibragem não seja feita de forma precisa o bico extrusor pode colidir com a mesa, ou a peça pode ter baixa adesão e descolar da mesa durante a impressão.
- b) Grande sensibilidade ao ajuste de temperatura do bico extrusor ou da mesa aquecida: Ambas as partes aquecidas da impressora podem ter sua temperatura ajustada no software de impressão e existem opiniões diferentes sobre os valores ideais entre os desenvolvedores da impressora. É muito grande a influência dessas temperaturas na qualidade da impressão (adesão entre camadas, rigidez da peça, fidelidade da peça, adesão a mesa).
- c) Pouca robustez: A impressora precisa de manutenção constante (afrouxamento de porcas, afrouxamento de correias, óleo nos eixos, calibragem da mesa, limpeza do bico).

Assim, visando um melhor entendimento dos fatores que afetam seu desempenho, a impressora foi avaliada quanto a confiabilidade, qualidade e velocidade de impressão. Para tanto, foram impressas 20 peças iguais, e ao longo dessas impressões foi observado a resposta da impressora e medido o tempo gasto com a impressão, manutenção e outros. Os resultados foram divididos entre tempo útil, no qual a impressora esta produzindo, e tempo não útil, referente ao tempo gasto com manutenção, calibragem de falhas ou outros não diretamente associados a produção de uma peça:

⁴ Movtech é a empresa brasileira que oferece a distribuição online de componentes para impressoras 3D (Movtech, 2012)

- Tempo "útil":
 - 120 minutos: tempo médio de impressão por peça (para peça teste com tamanho de 75mm).
- Tempo "não útil":
 - 4 minutos: tempo gasto com a manutenção da máquina, envolvendo calibragem da altura da mesa, limpeza, troca da fita kapton⁵, lubrificação e outros.
 - 16 minutos: tempo gasto para aquecimento da mesa e do bico extrusor.

Apesar dos tempos não úteis aparentemente serem pequenos (16 minutos aquecimento e 4 minutos manutenção, comparados aos 120 minutos de tempo útil de impressão), notou-se a influencia de um outro fator. A falta de robustez e de alguma forma de detecção e alerta de erro, ocasionaram a perda de 7 em cada 20 peças. Isto é, para cada 20 tentativas de impressão, 7 falharam em função da peça descolar da mesa, do bico entupir ou outro problema eletromecânico. Geralmente, mesmo esse problema acontecendo no inicio da impressão, todo o tempo previsto para impressão é perdido, já que a impressora não emite nenhum tipo de alerta, e a falha só pode ser descoberta ao fim do tempo previsto quando o usuário vai colher a peça.

Após pesquisa em fóruns relacionados e conversas com outros usuários de diferentes modelos de impressoras 3D, constatou-se que essas falhas são comuns a outros usuários e também a outros modelos de impressora e que ainda há dificuldades e poucas propostas de soluções para diminuir a incidência dessas falhas.

Na figura 14 é possível ver a influencia do tempo desperdiçado com essas 7 peças perdidas.

⁵ É a fita termo-resistente responsável pelo revestimento e proteção da mesa aquecida.

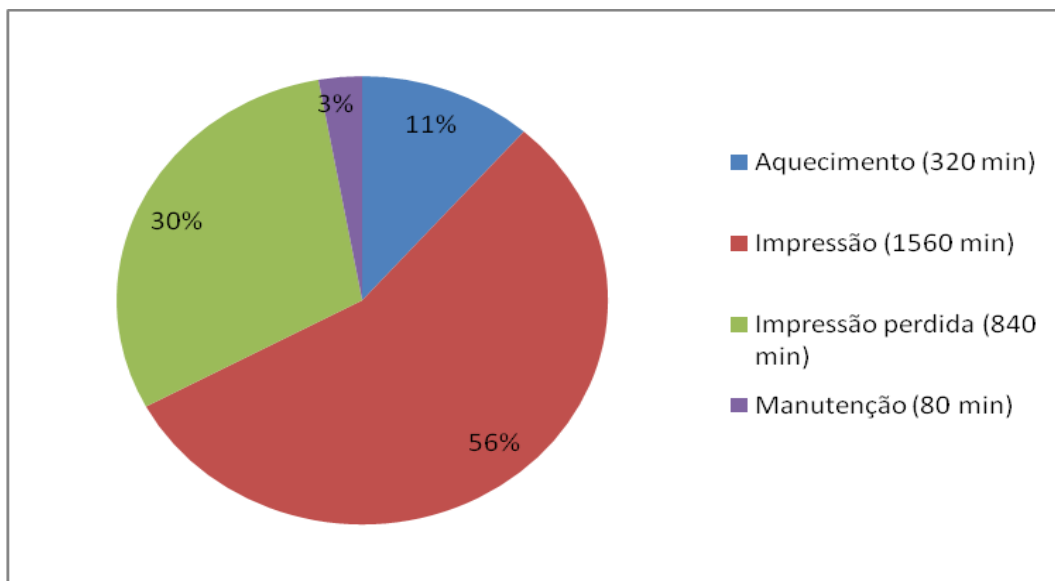


Figura 14 - Duração de cada etapa

O tempo útil de impressão, caso não houvesse nenhuma peça perdida, equivaleria a 86% do tempo total de uso da impressora. Nesse caso, os 14% restantes devido ao tempo de aquecimento (11%) e manutenção (3%) poderiam ou não ser reduzidos sem muitos prejuízos a produtividade.

Porém, contando as peças perdidas, o tempo útil mal alcança 50%. O tempo desperdiçado com peças perdidas é de 30% do tempo total (isso sem levar em conta o tempo de manutenção e aquecimento gasto com essas peças).

Tendo em mente a decisão de melhorar a impressora visando seu uso para prototipagem rápida e a noção de que grande parte do tempo de impressão é gasto com peças perdidas (30% do tempo), planejou-se desenvolver a impressora de modo que essa possa detectar suas falhas e emitir alertas, bem como interromper a impressão sem que essa seja descartada quando possível.

Peças são perdidas geralmente devido a falha na extrusão ou descolamento entre a peça e a mesa. Assim os esforços foram concentrados em desenvolver um sistema de detecção, alerta e eventual correção de falhas na impressão. Essas características contribuirão para melhor rendimento de tempo, e matéria prima na impressão, além de maior conforto para o usuário.

Devido também ao fato de a qualidade da peça, resistência e aderência a mesa estarem diretamente relacionadas a temperatura de operação, foi feito também uma pesquisa em busca das condições ótimas para operação da impressora.

3.3 Desenvolvimento de melhorias para redução de falhas

Com o intuito de reduzir o número de falhas de impressão, observou-se ao longo de um mês os principais motivos de falhas. Essas falhas se deviam principalmente a entupimento do bico, ou descolamento da peça, mostrando-se a eletrônica e o programa eficazes e robustos.

3.3.1 Relaxamento da correia

Também ocorreu, porém apenas uma vez no decorrer de todos os estudos, uma falha por decorrência do deslize da correia do eixo X. Esse erro pode ser evitado com a manutenção preventiva da máquina, checando se todas as correias estão sempre bem tensionadas. Para realizar o retensionamento da correia, devido a estrutura da máquina, é necessário desmontar alguns componentes, e o tensionamento é complicado de se realizar. O tensionamento da correia podia levar até 1 hora pra ser realizado. Pensando nisso, mesmo o tensionamento não precisando ser realizado com muita frequência, foi desenvolvido uma ferramenta para mais fácil realização dessa tarefa. Graças a essa ferramenta o tensionamento pode ser realizado em menos de 5 minutos, bastando utilizar uma chave allen, a mesma que já é utilizada para ajuste da altura e inclinação da mesa quente para pressionar um parafuso contra a correia aumentando a tensão da mesma. A ferramenta é simples e pode ser fabricada pela própria impressora 3D.

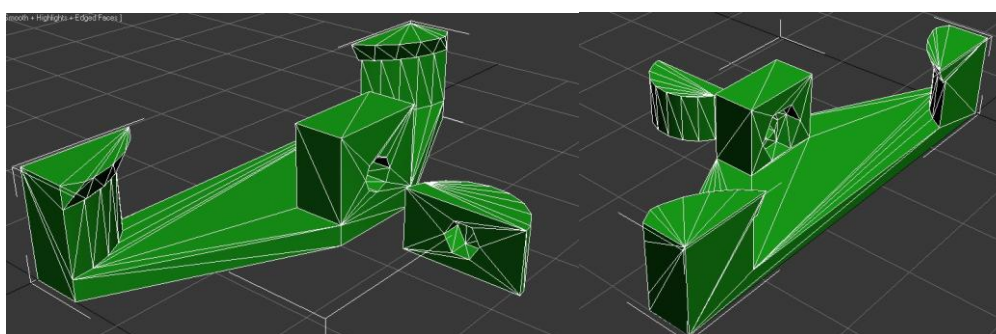


Figura 15 - Modelo 3D do tensionador de correia

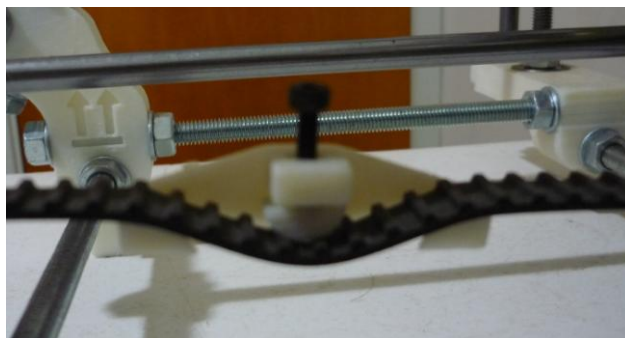


Figura 16 - Foto do "tensionador" em uso na impressora Prusa Mendel

Enquanto o problema com tensionamento das correias não era recorrente, falhas no bico foram responsáveis por pelo menos metade das falhas de impressão. Um dos motivos dessas falhas na alimentação foi devido a entupimentos do bico extrusor.

3.3.2 Ventilação do tubo guia no bico extrusor

Após observação dessas falhas por diversas impressões, notou-se que as mesmas ocorriam sempre aproximadamente 30 minutos após o bico extrusor atingir sua temperatura de operação. Surgiu então a suspeita, que foi depois confirmada desmontando o bico extrusor e analisando seu interior, de que esses entupimentos estavam ocorrendo por conta do dilatação do fio de plástico no tubo guia, devido a subida do calor do bico extrusor.

Após discutir esse problema no fórum da comunidade RepRap foi testado a sugestão de utilizar uma ventoinha para resfriamento do tubo guia. Foi sugerido também que essa ventoinha poderia melhorar o resfriamento das camadas da peça melhorando a qualidade da impressão.

Para testar essa solução foi projetado um suporte customizado para o carro do bico injetor. O suporte foi impresso na própria impressora e foi construído de forma a guiar o vento na parte superior do bico, e logo abaixo do mesmo, sobre a peça sendo impressa, mas sem atingir diretamente a parte quente do bico, para não desperdiçar calor.

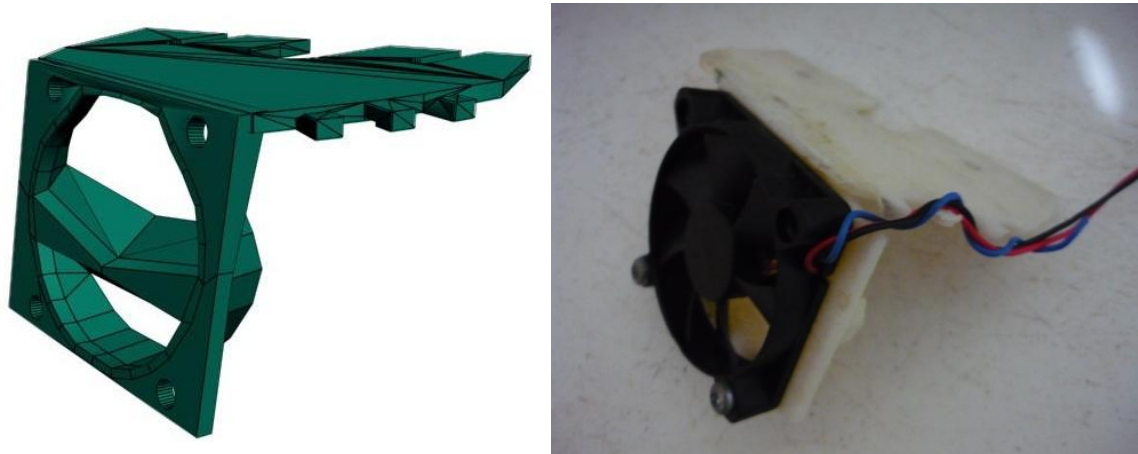


Figura 17 - Modelo e impressão do suporte para ventoinha

O suporte resolveu o problema de dilatação do filamento plástico, e assim evitou entupimentos, confirmando a hipótese anterior. Porém essa solução gerou um novo problema; após aproximadamente 30 horas de uso, o bico injetor vergou e parou de operar corretamente, vazando plástico entre o guia e o bico. Estudando o bico foi possível notar que o mesmo havia entortado devido ao vento resfriar um lado mais do que o outro, causando uma dilatação pequena, porém não uniforme do guia.

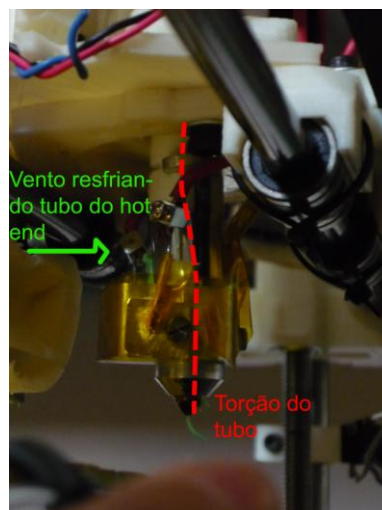


Figura 18 - Torção do tubo guia do bico extrusor

Assim o suporte foi removido, e para dissipar o calor do tubo, de forma uniforme evitando torções do mesmo, a alternativa encontrada foi o uso de um bico metálico com aletas.



Figura 19 - Bico extrusor com aletas metálicas

Embora essa solução apresente um pequeno aumento de preço na impressora, ela tornou a mesma bem mais robusta auxiliando no resfriamento do guia e evitando entupimentos ou torções.

3.3.3 Sensor de extrusão

Mesmo com um tubo mais robusto e com melhor dispersão de calor, ainda ocorriam falhas de outras naturezas no bico extrusor. Alguns motivos que foram observados foram:

- a) Irregularidades no filamento plástico; o filamento plástico muitas vezes apresentava bolhas de ar ou irregularidades no seu diâmetro, causando entupimento do bico extrusor.
- b) Desgaste do filamento; o filamento muitas vezes sofria desgaste pelas engrenagens de extrusão que passavam a "patinar" dentro da guia.
- c) Falha na alimentação; falha na alimentação do plástico por motivos variados.

Pensando nisso, foi desenvolvido um sensor para interromper a impressão no caso de falha no bico extrusor. A ideia inicial era utilizar um sensor óptico junto do rolamento de extrusão. Dessa forma poderia ser detectada a rotação do mesmo, e por consequência o movimento do filamento plástico de forma correta.

Embora a solução fosse elegante, ela exigiria um trabalho extenso por parte de hardware e principalmente de software. Deveria ser refeita a placa do circuito e novas portas I/O deveriam ter um "drive" desenvolvido. Só então o programa poderia ser escrito para checar erros na leitura desse sensor e gerar as alertas de falha.

Porém, ao se estudar mais profundamente o circuito elétrico, e o firmware, descobriu-se uma solução mais simples. Para cada eixo de liberdade da impressora, isso é eixo X, Y e Z, existem 2 conexões rápidas na placa do circuito e toda programação necessária para interpretação de sensores de fim de curso. Porém para cada eixo é utilizado apenas 1 sensor de fim de curso, no início de cada eixo, sendo todas as posições atingidas por movimentos do motor de passo a partir desse ponto. Sendo assim existem interfaces prontas para utilização de 3 sensores de fim de curso.

Utilizando-se dessas características foi possível com apenas um sensor de fim de curso mecânico, desenvolver uma forma de supervisionar a extrusão do plástico.

Para garantir que a extrusão estava ocorrendo, sem deslize ou entupimentos, colocou-se o sensor no rolamento que fica ao lado oposto da engrenagem de extrusão, cuja rotação ocorre apenas quando existe movimento correto do filamento. O rolamento teve sua superfície trabalhada, apresentando ranhuras de forma a acionar o sensor intermitentemente enquanto gira.

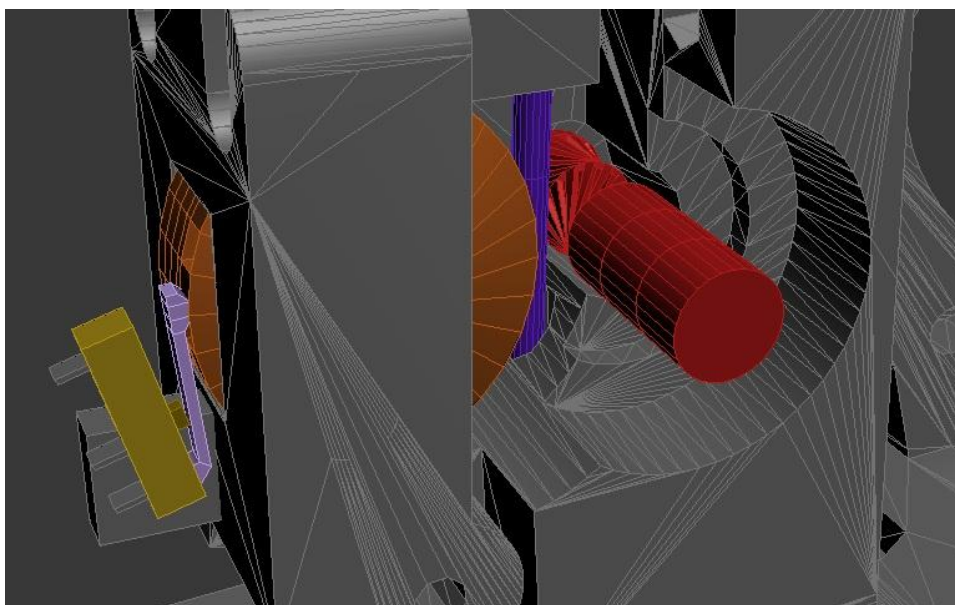


Figura 20 - Esquemático do sensor de extrusão

Ao lado direito da figura 20 vemos o parafuso com chanfrado que é responsável por empurrar o filamento plástico. A esquerda temos o rolamento, no qual foram feitas ranhuras que podem ser lidas pelo sensor de fim de curso quando o mesmo gira acompanhando o movimento do filamento.

Utilizando-se do ambiente arduino, foi escrito e inserido no firmware sprinter, utilizado na impressora Prusa Mendel, um código de programa que verifica durante a impressão se ocorre pelo menos uma mudança no estado do sensor a cada 1 décimo de

segundo. Para isso o valor do sensor de fim de curso, que varia entre 0 e 1 (fechado e aberto) é lido e comparado ao seu valor anterior (OXER, 2009). Caso não haja alteração no mesmo, uma variável auxiliar é incrementada. Quando essa variável atingir o valor referente a 4 segundos, o alerta é disparado.

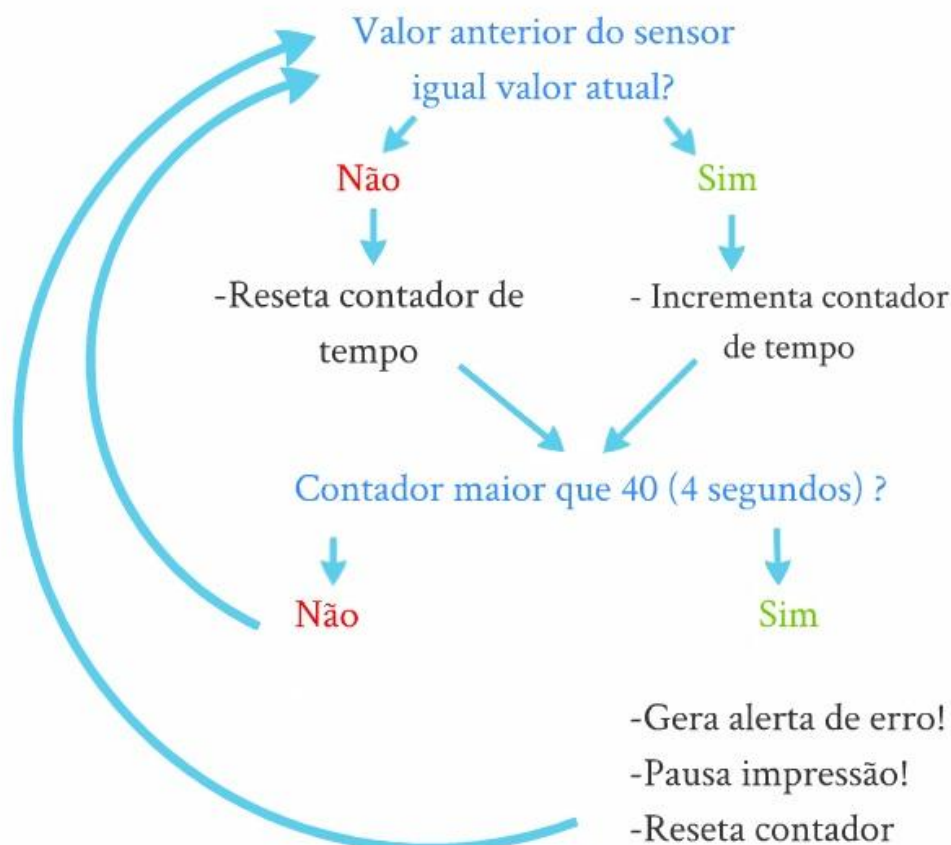


Figura 21 - Programa para controle do sensor

A rotina foi inserida no "*main loop*" dentro da função "*manage_heater*" do programa e é chamada a cada décimo de segundo. Quando uma alerta é gerado a impressão é interrompida e é emitido um som de alerta pelo software de interface, porém as temperaturas de operação e a posição do bico são mantidas de forma que a impressão pode ser resumida após uma eventual correção da falha.

Essa melhoria permitiu uma maior liberdade no uso da impressora. O operador fica livre para realizar outras tarefas pois caso ocorra uma falha na impressão, é emitido um alerta sonoro e a mesma é pausada, permitindo até mesmo que a falha possa ser corrigida e a impressão resumida. Na pior das hipóteses a impressão é reiniciada imediatamente diminuindo desperdícios de tempo e material.

3.4 Estudo de temperatura ótima de operação

As temperaturas de operação escolhidas para o bico extrusor e para mesa quente tem grande influencia não só sobre o funcionamento correto da impressora, quanto também para uma melhor qualidade das peças. Foram assim estudadas as influencias dessas temperaturas nas propriedades das peças para achar um ponto ótimo de operação.

3.4.1 Quanto a resistência da peça

Para comparar as peças em função das temperaturas do bico usadas na sua impressão, foi desenhada um peça padrão para o teste de resistência a tensão. As peças tinham um comprimento de 5 cm ,dois furos para encaixe, e foram impressas na lateral de forma que suas camadas estavam disposta de forma a melhor resistir a separação ou a quebra dos encaixes.

Diferente de outros tipos de testes de resistência, nesse a peça não sofre torção ou é dobrada, mas sim tracionada para avaliar sua resistência a tensão longitudinal. Esse teste foi escolhido pois era esperado que sofresse menos influencia do descolamento entre camadas do objeto.



Figura 22 - Peça de teste de resistência

As peças tinham uma seção de 1cm^2 e foram então tensionadas até se romperem. A tensão limite que cada peça resistiu variou de acordo com a temperatura do bico, como mostra o gráfico abaixo.

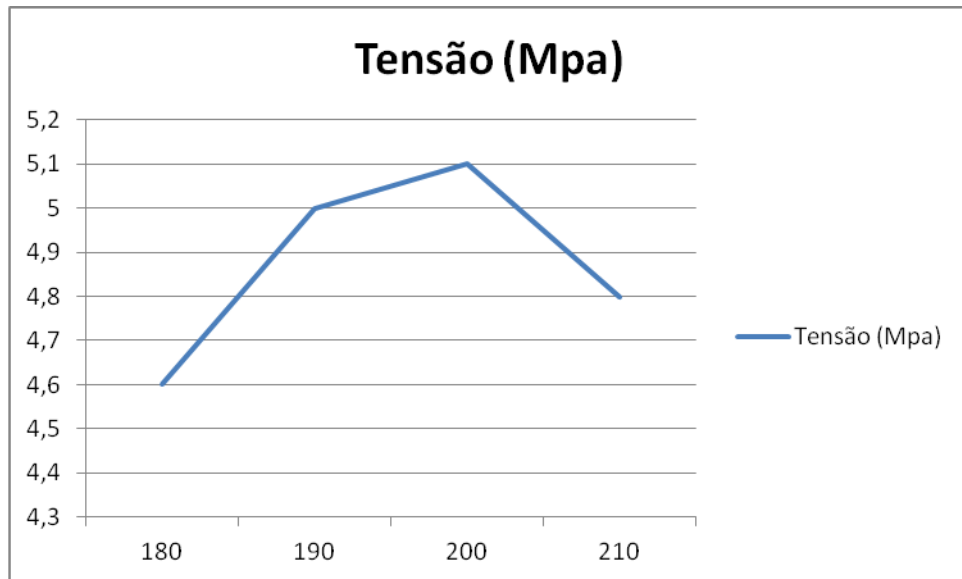


Figura 23 - resistência à tensão

É possível observar na figura 23 que a melhor temperatura para impressão no que se refere a resistência da peça, esta entre 190 e 200 °C. Foi observado também que peças impressas com temperaturas próximas a 210 °C apresentaram uma coloração amarela, que pode ser consequência de uma alteração no material próximo a essas temperaturas. Essas peças também apresentaram uma aparência "derretida" e perda nos detalhes como quinas e pontas vivas.

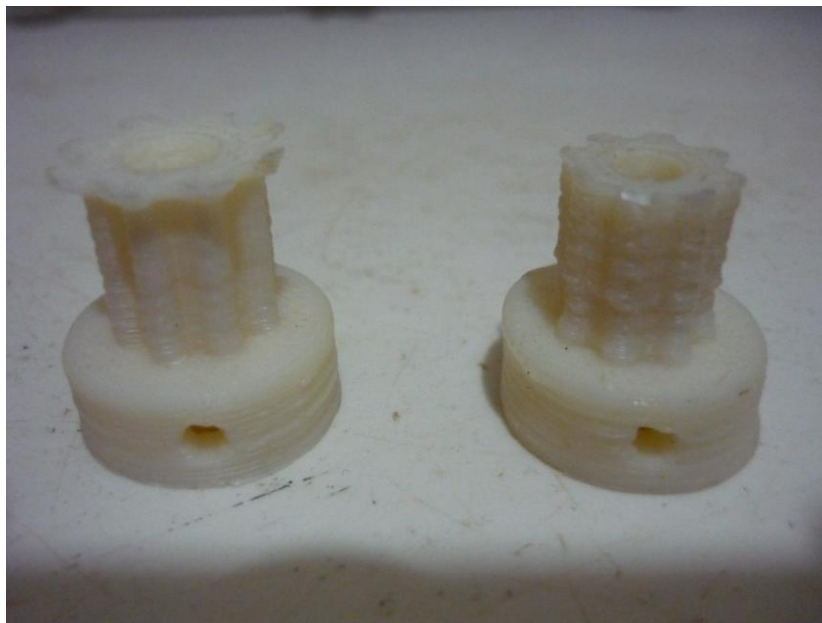


Figura 24 - A direita peça impressa em alta temperatura apresentando cor amarela e deformações

É interessante observar que em todas temperaturas houve uma perda de aproximadamente 6 vezes na resistência da peça impressa se comparada com o material bruto, de acordo com a norma ASTM D-638 que confere ao plástico ABS a resistência de tensão no valor de 36 MPa comparados a média de 5 MPa das peças testadas.

3.4.2 Quanto a aderência a mesa

Outro responsável por grande parte das falhas de impressão é o descolamento da peça da mesa quente. Esse erro sofre grande influencia não só do tamanho da superfície da peça em contato com a mesa, mas também da temperatura da mesa quente.

Para avaliar qual temperatura apresenta melhor aderência entre peça e mesa foram impressas uma mesma peça de teste cilíndrica com 1 cm de diâmetro e 2cm de altura em diversas temperaturas e observado se ocorreu descolamento durante a impressão.

Para cada temperatura foram impressas 3 peças. A primeira e segunda peça para cada temperatura foram impressas com a impressora partindo do repouso, isso é, fonte desligada e bico e mesa a temperatura ambiente. A terceira peça por outro lado foi impressa logo em seguida a segunda, ou seja, com a mesa e bico já operando na temperatura designada.

Tabela 2: Resultado dos testes de descolamento

Temperatura (°C)	70	80	90	100	108
1ª tentativa	descolou	descolou	Ok	Ok	Ok
2ª tentativa	descolou	descolou	descolou	Ok	Ok
3ª tentativa	descolou	Ok	Ok	Ok	OK

As temperaturas acima de 90 °C apresentaram menor índice de falhas. Temperaturas abaixo de 80 °C se mostraram insuficientes para manter a adesão entre a peça e a mesa. Também foi observado, de forma subjetiva, que quanto maior a temperatura da mesa, mais difícil era a remoção manual da peça da mesma, sugerindo que quanto maior a temperatura maior a aderência. A terceira peça a ser impressa, após um maior tempo de operação da mesa, também apresentaram menor índice de descolamento sugerindo que uma maior estabilidade térmica é favorável a fixação da peça a mesa.

4 Tratamento de superfície

Existem algumas técnicas de tratamento de superfície pós impressão que visam suavizar os degraus entre cada camada das peças, conferindo uma aparência mais uniforme e polida. Foram testadas duas dessas formas de tratamento encontradas no fórum RepRap.

4.1 Spray de Silicone

Essa técnica se trata da aplicação de uma ou mais camadas de spray de silicone sobre a peça já finalizada. A expectativa é que as finas camadas de silicone tampariam os poros da superfície da peça e suavizariam os degraus entre as camadas.

Porém essa técnica se mostrou pouco eficaz. Não é possível garantir uma aplicação uniforme do spray, resultando em deformidades na aplicação. Também não houve bom tratamento superficial, permanecendo as irregularidades na peça.

Também não é possível fazer a aplicação em partes côncavas, pequenas ou interiores da peça de forma que essa aplicação fica limitada apenas à peças de geometria simples e convexas.

4.2 Acetona

Uma outra forma de tratamento superficial testada foi a reação com acetona. A acetona reage com o plástico ABS, dissolvendo o mesmo. Assim, foi utilizado um recipiente de vidro onde a peça é colocada no meio, e aproximadamente uma colher de acetona é colocada no fundo. O vaso é colocado sobre a mesa quente da impressora (ou outra forma de aquecimento) de forma que a acetona em vapor reage com toda superfície da peça de forma uniforme.

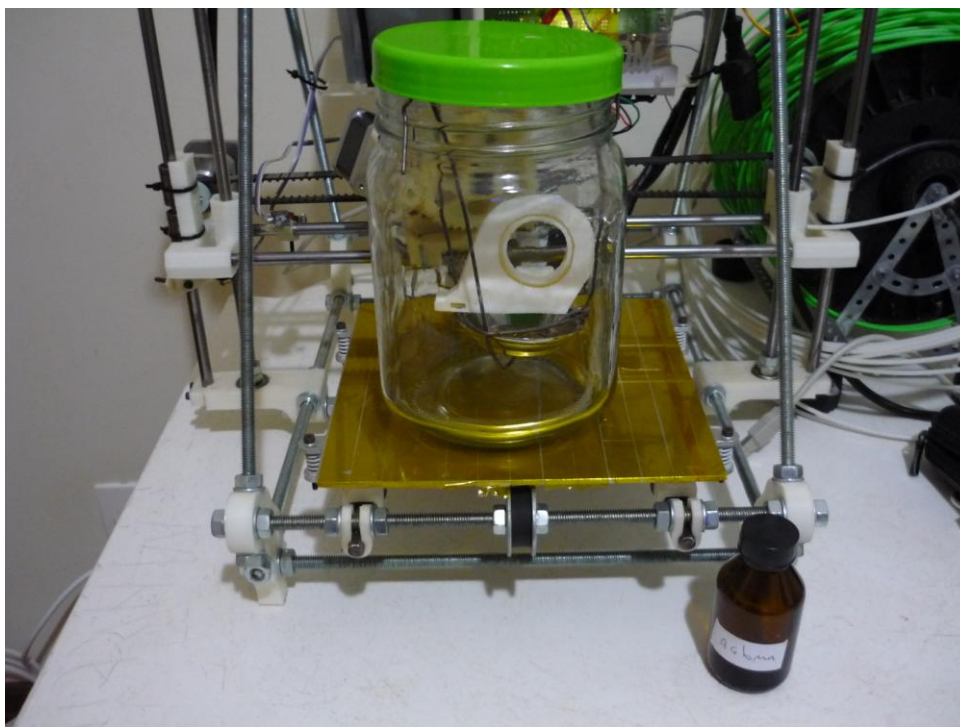


Figura 25 - Recipiente de vidro sobre mesa quente para tratamento superficial

Com esse método foram obtidos resultados excelentes, com um tratamento superficial bem uniforme e de boa qualidade. A peça após esse tratamento apresenta uma superfície semelhante a de um objeto polido. Pode ser usado também removedor de esmalte, que apresenta em sua composição cerca de 40% de acetona, porém o resultado é inferior.



Figura 26 - Peça tratada com acetona pura, removedor de esmalte e sem tratamento

CONCLUSÃO

As impressoras 3D tem grande potencial no mercado de prototipagem rápida. Possuem baixo custo de aquisição, manutenção e impressão. Embora ainda sejam novos, os diversos modelos que vem sendo desenvolvidos principalmente nos últimos 8 anos apresentam bom desempenho.

A impressora 3D Prusa Mendel em específico, apresentou de forma geral um desempenho acima do esperado, e mesmo apesar de algumas deficiências quanto a robustez, demonstrou ser uma ótima ferramenta de prototipagem rápida, sendo se baixo custo de aquisição, baixo custo de operação e boa velocidade de impressão.

Ao longo desse trabalho foram impressas mais de 50 peças e é possível estimar que a impressora tenha operado por mais de 150 horas. Nesse período, observaram-se diversas vezes falhas relacionadas a alimentação do bico extrusor, e a descolamento entre a peça e a mesa. Porém as melhorias e os estudos realizados permitiram reduzir o número de descolamentos e também uma grande economia de tempo decorrente de falhas no bico, que agora geram alertas permitindo que falhas possam ser corrigidas ou ao menos que a impressão seja reiniciada mais cedo.

Esses estudos e correções atuaram de forma incisiva nas principais falhas encontradas na impressora, que depreciavam a mesma para o mercado de prototipagem rápida, que foi avaliado como o mais promissor e mais vantajoso para as impressoras 3D.

Sendo assim pôde se concluir que o trabalho teve um resultado extremamente satisfatório não somente pela economia de quase 20% no tempo geral de impressão, devido ao sensor de falhas no bico extrusor, e os estudos de temperatura ótima que permitiram a impressão de peças com melhor qualidade e menor índice da falhas, mas também por toda documentação e conhecimento compartilhado que pode servir de auxílio para futuros estudos na área.

REFERÊNCIAS

ABS wiki. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene> Acesso em: 07 out. 2013.

DEURSEN, Felipe. A revolução das impressoras 3D. **Super Interessante**, n. 314, p. 31-32, 2013.

RepRap. Disponível em: <<http://www.reprap.org/wiki>> Acesso em: 2012, 2013.

RapidToday. Disponível em: <<http://www.rapidtoday.com/stl-file-format.html>> Acesso em 14 out. 2013.

Ultimaker. Disponível em: <<http://blog.ultimaker.com/cura-user-manual/>> Acesso em 26 set. 2012.

KRAMER, T.R.; PROCTOR, F. M. The NIST RS274NGC Interpreter. 200.

KLIMENT, C. Klimetn Github. Disponível em: <<https://github.com/kliment>>. Acesso em 26 set. 2012.

PHAM, D. T.; DIMOV, S.S. Rapid Manufacturing. 2001, p. 6.

Fórum RepRap. Disponível em: <<http://www.forums.reprap.org>>. Acesso em 2012.

Builders Blog. Disponível em: <<http://www.builders.reprap.org>>. Acesso em: 2012.

MovTech. Disponível em: <<http://movtech.webstorelw.com.br>> Acesso em 2012.

Planet RepRap, Disponível em: <<http://www.planet.arcol.hu>>. Acesso em: 2012.

OXER, J.; BLEMININGS, H. Practical Arduino, Cool Projects for Open Source Hardware. 2009.

Apêndice A - Guia rápido de instalação da impressora

Visando agilizar o estudo de impressoras 3D e acelerar o contato pratico entre o aluno e a máquina, foi escrito um guia rápido que visa explicar passo a passo de forma objetiva a instalação e configuração da impressora 3D modelo Prusa Mendel que foi utilizada nesse projeto.

Configuração do Cabo USB-RS232

Conectar o cabo serial na entrada USB do computador que será utilizado para interface com a impressora 3D. Em seguida verifique se o computador reconhece algum driver nativo. Caso seja necessário, instalar o driver utilizando a ferramenta de busca de drivers do windows.

Instalação do Firmware

Instalar o interpretador Python cuja distribuição é gratuita e pode ser encontrada na internet. Copiar do CD que acompanha a impressora a pasta "arduino-22" e executar o arquivo arduino.exe. Uma vez aberto, o software deve ser ajustado para a nossa placa, clicando em "tools" e selecionando como board a opção "Gen7 with Atmega 644p and 20Mhz".

Em seguida, abrir no programa o arquivo que também é encontrado no CD da distribuição de nome "sprinter.pde". Para fazer o upload do firmware, segurar o botão de reset da placa, ao mesmo tempo que se seleciona a opção file->"upload to board" no arduino. A mensagem "Done Uploading" deve aparecer sinalizando que o mesmo foi executado com sucesso.

Configuração do Pronterface

Para instalar o software responsável pela interface com a impressora, deve-se copiar a pasta "Dist" encontrada no CD para o computador. Dentro dessa pasta pode ser

encontrado o arquivo Pronterface.exe. Sugere-se que seja feito um atalho do mesmo na área de trabalho.

Após abrir o programa, é necessário criar dois botões extras responsáveis por ligar e desligar a fonte da impressora. Para isso basta clicar no botão [+] ao lado do botão "pause". Nomear o primeiro de "Liga Fonte" com o comando "M80" e o segundo como "Desliga Fonte" com o comando "M81".

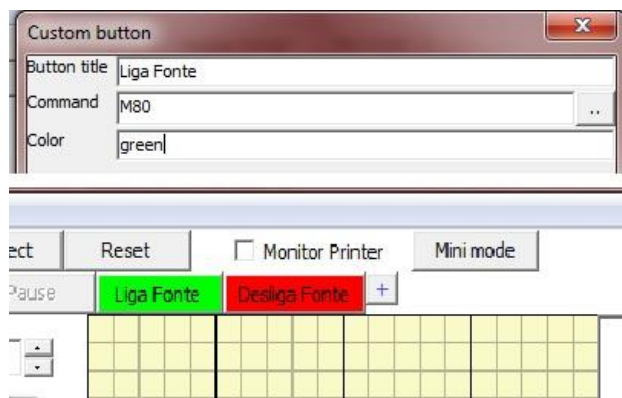


Figura 27 - Inserção de botões para controle da fonte

Configuração Cura

O software de fatiamento Cura também pode ser encontrado dentro do CD da distribuição. uma vez instalado o python, basta um duplo clique no arquivo cura_12.exe para instalar o software no computador.

O software deve ser configurado de acordo com as especificações desejadas pelo usuário seguindo as descrições encontradas no capítulo introdutório desse trabalho.

Primeira impressão

Para imprimir uma peça, o modelo 3D deve ser aberto e fatiado no software Cura. Após o fatiamento, será gerado um arquivo do mesmo nome do modelo com o sufixo "_export.gcode".

Esse arquivo deve então ser aberto no pronterface, onde após conectar a impressora e ligar a fonte, pode se dar o início da impressão. Caso necessário, usar os botões de controle manual do conjunto estrusor para conferir se a diferença de altura entre o bico e a mesa é de 2 décimos, aproximadamente a espessura de um cartão de visitas.