



Gustavo Marques Ritter

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE UMA IMPRESSORA
3D SOBRE A PRODUÇÃO DE PEÇAS**

Horizontina

2014

Gustavo Marques Ritter

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE UM IMPRESSORA 3D SOBRE
A PRODUÇÃO DE PEÇAS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Fabrício Desbessel, Especialista.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Influência dos parâmetros de uma impressora 3D sobre a produção de peças”

Elaborada por:

Gustavo Marques Ritter

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 27/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Esp. Fabrício Desbessel
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha família que sempre me apoiou durante esse período da faculdade. Aos meus primos André Zuchetto e Karolina Enick pelo companheirismo.

Ao meu orientador, Fabrício Desbessel que sempre esteve a disposição para me auxiliar neste trabalho.

A todos os professores da FAHOR, em especial Richard T. Lermen que me auxiliou em algumas etapas deste estudo.

Agradeço também ao Jean Radünz que teve participação no começo deste trabalho.

RESUMO

A prototipagem rápida vem se mostrando de grande utilidade para fabricação de peças poliméricas que possuem geometria de difícil fabricação por outros processos e, com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar as influências dos parâmetros de impressão de uma impressora modelo *RepRap Prusa Movtech* adquirida recentemente pela Faculdade Horizontina e encontrar a melhor configuração de impressão. Para se executar com êxito uma impressão com essa máquina, deve-se corrigir um problema de alinhamento entre a mesa aquecida e o bico extrusor, além de encontrar uma configuração onde as peças tenham um bom acabamento externo. Para a realização deste trabalho foi empregado a metodologia Taguchi para realizar os testes estatísticos de impressão afim de encontrar uma seleção de variáveis que se sobressaiam sobre as demais. Com o término dos testes, a metodologia se comprovou eficaz, uma vez que os resultados das impressões possibilitou encontrar um conjunto de variáveis em que as peças testadas apresentaram um acabamento dentro do esperado. Com o término do estudo, a impressora 3D está disponível para a faculdade realizar suas tarefas no laboratório de robótica e prototipagem, tornando possível a fabricação de peças para uso dos projetos de iniciação científica, assim como para os demais projetos e disciplinas pertencentes à Faculdade Horizontina.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida. Impressão 3D. Qualidade.

ABSTRACT

Rapid prototyping has proven very useful for the manufacture of polymeric parts that have geometry difficult to manufacture by other processes and, therefore , the aim of this study was to analyze the influences of print parameters of a printer RepRap Prusa MovtechH model acquired recently by Faculty Horizontina and find the best print setting. To run a successful printing with this machine , you must correct an alignment problem between the heated platen and the nozzle extruder , and find a setting where the parts have a good exterior finish . For this work was used the Taguchi method to perform the printing of statistical tests in order to find a selection of variables that stand out over the others . Upon termination of the test , the methodology proved effective , since the print results to find a set of possible variables in the tested samples presented a finish as expected . With the end of the study , the 3D printer is available to college perform their tasks in the laboratory robotics and prototyping , making it possible to manufacture parts for use of scientific initiation projects , as well as other projects and disciplines belonging to the Faculty Horizontia .

Keywords: Rapid Prototyping. 3D printing. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de impressão 3D.	15
Figura 2: Impressora RepRap.	19
Figura 3: Diferentes tipos de Extrusores.	20
Figura 4: Processos de impressão 3D	23
Figura 5: Impressora utilizada no trabalho.	27
Figura 6: Interface do Repetier host.	31
Figura 7: Interface do Slic3r.	32
Figura 8: Peça padrão.	33
Figura 9: Medidas da peça padrão.	33
Figura 10: Amostra 2	34
Figura 11: Amostra sendo impressa	36
Figura 12: Peças prontas.	36
Figura 13: Gráfico de seleção de variáveis de qualidade	38
Figura 14: Primeira configuração de impressão.	39
Figura 15: Gráfico de seleção de variáveis de tempo.	40
Figura 16: Segunda configuração de impressão.	41
Figura 17: Vista lateral da configuração "qualidade"	43
Figura 18: Vista superior da configuração "qualidade"	43
Figura 19: Vista lateral da configuração "tempo"	44
Figura 20: Vista superior da configuração "tempo"	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores das Variáveis.....	28
Quadro 2 – Seleção de amostras.....	30
Quadro 3 – Variáveis de saída.....	37
Quadro 4 – Níveis da configuração “qualidade”.....	39
Quadro 5 – Análise da primeira configuração de impressão.....	40
Quadro 6 – Níveis da configuração “tempo”.....	41
Quadro 7 – Análise da segunda configuração de impressão.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. JUSTIFICATIVA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. IMPRESSORAS 3D	15
2.1.1. VANTAGENS.....	16
2.1.2. DESVANTAGENS.....	17
2.1.3. TIPOS.....	17
2.3 COMPONENTES.....	19
2.3.1 ESTRUTURA.....	19
2.3.2 EXTRUSOR	20
2.3.3 MESA AQUECIDA	21
2.3.4 PLACA ELETRÔNICA.....	21
2.3.5 SOFTWARE	21
2.5.1 RITMOS DE FABRICAÇÃO.....	23
2.5.2 RESTRIÇÕES DE TAMANHO	24
2.5.3 RESTRIÇÕES DE DESIGN DE OBJETOS.....	24
2.5.4 RESTRIÇÕES DE MATERIAIS	24
3. METODOLOGIA	27
3.1 IMPRESSORA UTILIZADA PARA REALIZAR OS TESTES.....	27
3.2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	28
3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	31
3.4 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	32
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1 TESTES INICIAIS	35
4.2 VARIÁVEIS DE SAÍDA.....	36
4.3 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	37
4.4 COMPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A modelagem tridimensional não é algo recente, mas foi no final dos anos 80 e no início dos anos 90, que ganhou espaço e começou a ser economicamente viável. O processo de desenvolvimento de uma representação matemática de qualquer superfície tridimensional de um objeto (modelagem 3D) é basicamente a criação de formas, objetos, personagens e cenários através de um software específico para cada situação.

É através da modelagem 3D, que se obtém a prototipagem rápida, ou prototipagem 3D, que consiste em uma forma de tecnologia de fabricação aditiva onde um modelo tridimensional é criado por sucessivas camadas de material, geralmente um polímero. As impressoras 3D, que realizam tal ação, entraram no mercado recentemente, e assim, ainda é uma tecnologia a ser estudada e melhorada.

A Faculdade Horizontina recentemente adquiriu uma impressora que realiza a ação de imprimir um modelo tridimensional, do modelo RepRap Prusa Movtech. A escolha desta teve-se pelo fato de ser uma das mais em conta do mercado e pelo fato de ser uma impressora de código aberto, isto é, sem marca registrada, o que possibilita a fabricação de uma réplica dela através da impressão de seus componentes poliméricos.

O problema que se encontra nessa impressora é que os eixos devem estar perfeitamente alinhados e paralelos com a mesa aquecida, na qual a peça é impressa, pois qualquer desalinhamento entre eles influenciará na qualidade da peça a ser fabricada.

No presente estudo, é possível encontrar uma descrição de todos os componentes de uma impressora 3D, desde as partes mecânicas, até a parte computacional da impressora, envolvendo desde os softwares necessários para o funcionamento até os formatos de arquivos aceitados pela impressora.

1.1. JUSTIFICATIVA

A necessidade de se fazer uma análise em cima das variáveis de impressão se mostra importante para encontrar uma configuração de impressão a qual

apresente um acabamento sem falhas, pelo fato de que as peças serão utilizadas em vários projetos, e necessitam estar com o acabamento o mais perfeito possível.

Com a conclusão desse estudo, e resolvendo todos os problemas relacionados as variáveis incorretas da impressora, ela deverá ficar à disposição para a faculdade criar um laboratório de prototipagem, o qual auxiliará em algumas disciplinas, como Projeto de Produto, Desenho, Processos de Fabricação, Tópicos Especiais, etc. Projetos como Aerodesign, Baja e Carro Econômico também poderão usufruir do laboratório.

Com um laboratório de prototipagem, a FAHOR poderá criar parcerias com empresas para a impressão de protótipos de algumas peças.

1.2.OBJETIVOS

O principal objetivo do estudo é deixar a impressora em perfeito funcionamento para serviços da faculdade, que inclui ter conhecimento dos parâmetros (fatores) que influenciam a impressão, bem como as necessidades de manutenção regulares da máquina.

Para atingir o principal objetivo, os seguintes objetivos específicos foram desenvolvidos:

- Alinhar os eixos x,y e z.
- Analisar os influenciadores de funcionamento (temperatura da mesa, temperatura do bico, velocidade de impressão, velocidade de alimentação do polímero, tamanho da camada, etc.) da impressora sobre as peças impressas.
- Encontrar a melhor configuração de impressão para a impressora em questão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

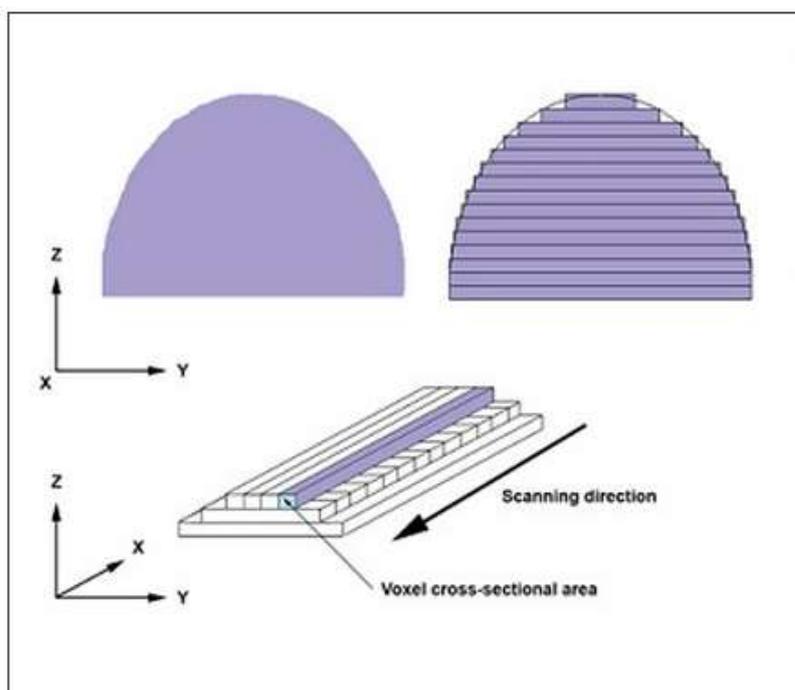
Nesta seção do trabalho, é encontrada uma descrição sobre as impressoras 3D em que o estudo é baseado, incluindo uma descrição de todas as partes constituintes da máquina em questão.

2.1. IMPRESSORAS 3D

De acordo com Hausman e Horne (2014) as impressoras 3D são muito parecidas com as impressoras que imprimem textos, cópias de documentos, onde estas recebem um documento eletrônico transmitido pelo computador. A diferença básica é que a impressora 3D cria um objeto sólido tridimensional a partir de uma variedade de materiais, e não apenas um simples papel documento.

Segundo Canessa, Fonda e Zennaro (2013) a indústria de impressão 3D começou no final de 1980 (com algumas experiências iniciais em 1970), tendo estas um alto custo na época. Nesta impressora os objetos são construídos camada por camada com a extrusão do plástico derretido até o final da peça, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo de impressão 3D



Fonte: Canessa, Fonda e Zennaro (2013)

2.1.1. Vantagens

Para Hausman e Horne (2014) no mundo interconectado de hoje, a capacidade de modificar rapidamente produtos para atrair uma variedade de culturas é de extrema importância. Desenhos de objetos podem ser transportados por via eletrônica ou compartilhado para download através da Internet. A impressão em 3D permite a fabricantes e clientes projetar suas próprias versões personalizadas de produtos.

Hausman e Horne (2014) ainda destacam que as vantagens das impressoras 3D podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

- a) Personalização: no momento da impressão permite que objetos impressos possam atender as preferências de cada consumidor individual, em termos de formulário, materiais, design, ou até mesmo coloração.
- b) Complexidade: Como cada camada de um objeto é criado sequencialmente torna a impressão 3D a possível criação de estruturas internas complexas, que seriam impossíveis de atingir com peças moldadas ou fundidas. Podem ser criadas peças preenchendo os vazios internos parcialmente, como estruturas de favo de mel, que resultam em estruturas rígidas e leves.
- c) Sustentabilidade: Ao permitir que a força e a flexibilidade podem variar para construir um objeto, as impressões em 3D podem reduzir o peso dos produtos e economizar combustível. Colocando-se apenas materiais onde eles terão de ser, pode permitir uma redução da quantidade de material perdida na usinagem de pós-produção, o que vai economizar dinheiro e recursos. Além disso, podem ser utilizados materiais de origem vegetal para moldar as peças.
- d) Reciclagem e obsolescência planejada: um componente menor não necessita ser fabricado e enviado, ele pode ser criado localmente e devolvido para a original condição funcional para uma fração do custo e com o mínimo impacto ambiental, além de poder aproveitar materiais de usados para a construção de componentes novos.
- e) Economias de escala: A fabricação em 3D permite a criação de itens individuais com menor custo em comparação a produção em massa tradicional e, em relação ao tempo de desenvolvimento do produto, materiais, operação, não necessita outras ferramentas para a construção do produto e redução do número de funcionários.

2.1.2. Desvantagens

Seguin (2011) apresenta algumas desvantagens das impressoras 3D:

- a) Desperdício de material em alguns modelos de impressoras.
- b) Limitação de materiais de trabalho, não podendo trabalhar com metais;
- c) Dificuldade no momento da retirada do objeto impresso de dentro da impressora, em virtude de que peças grandes com espessura muito fina de parede podem se quebrar.
- d) Falta de mão de obra para manutenção das impressoras, acarretando em altos gastos.

2.1.3. Tipos

De acordo com Hausman e Horne (2014) todas as impressoras 3D exigem as coordenadas únicas (X, Y e Z) para poder formar as partes do objeto a ser fabricado. Algumas impressoras 3D funcionam através de uma superfície plana chamada de placa de construção, enquanto outros criam objetos em cima de camadas sucessivas de material granulado.

Esses mesmos autores ainda apresentam os tipos mais comuns de impressoras 3D:

- a) Fotopolímeros: estas são as impressoras que utilizam os polímeros como material de impressão. Esses são materiais que podem se transformar em líquido para sólido quase instantaneamente quando aplicado calor sobre eles. Este equipamento usa a luz UV focada para transformar o polímero líquido em forma sólida.
- b) Granular: Outra técnica, popular para plásticos, metais, e até mesmo cerâmica, baseia-se na utilização de um pó granular. Esta tecnologia tem sido utilizada para criar grandes objetos. Os grânulos podem ser solidificados numa variedade de maneiras, como:
 - Através da ligação dos grânulos com materiais de ligação, como colas.
 - Por sinterização (que combina pó por aquecimento abaixo de seu ponto de fusão).
 - Por fusão, utilizando um laser para fornecer a energia necessária para fundir o material.
- c) Laminação: Outro tipo de impressão, a laminação, utiliza um processo um pouco diferente. Em vez de estabelecer camadas de pó ou de material fundido, a laminação corta as camadas individuais de material e, em seguida, combina-os, uma

em cima da outra, com uma espécie de cola. Folhas de metal, folhas de plástico, e até mesmo de papel podem ser usados para criar objetos laminados.

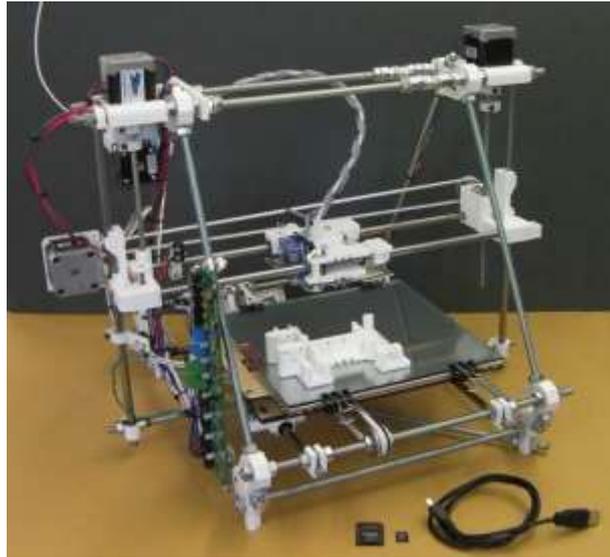
d) Modelagem por deposição fundida: Talvez a forma mais conhecida de impressão 3D é a Modelagem por Deposição Fundida (FDM), que foi inventado por Stratasys no final de 1980. Este tipo de impressora tem um sistema que aperta termoplásticos derretidos através de um pequeno bocal para criar um objeto. O processo é muito parecido com a forma de espremer creme dental para cobrir a escova de dente. Através da construção de camadas de plástico derretido, o objeto pode ser criado e rapidamente é arrefecida para um quarto da temperatura em questão de minutos.

2.2 IMPRESSORAS REPRAP 3D

O cenário das impressoras 3D decolou depois que o pesquisador britânico Adrian Bowyer criou o primeiro tipo de prototipagem rápida de auto-replicação do sistema (RepRap) recuperando motores e materiais comuns da loja de ferragem local. O sistema de RepRap pode ser usado para imprimir muitos dos componentes de um segundo sistema (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Para Canessa, Fonda e Zennaro (2013) uma máquina RepRap é uma máquina de prototipagem rápida, que pode fabricar uma significativa fracção das suas próprias partes. A qualidade e complexidade de modelos de impressão, no entanto, bem como a qualidade do kit ou produtos acabados, varia muito de projeto para projeto. Desde por volta de 2008, houve vários projetos e as empresas fazendo esforços para desenvolver impressoras 3D acessíveis para uso no desktop em casa.

Figura 02 - Impressora RepRap



Fonte: Canessa, Fonda e Zennaro (2013)

Esses mesmos autores ainda apresentam que as impressoras RepRap são baseados na tecnologia de fabricação por fusão do filamento, o qual identifica o processo de fusão do filamento de plástico e aplicando o material fundido no topo outras camadas feitas do mesmo material. Estas impressoras são muito semelhantes em termos de hardware. Uma ferramenta é movida no espaço por um sistema cartesiano capaz de alcançar qualquer ponto XYZ dentro do volume de construção.

Esta ferramenta é um dispositivo de extrusão que derrete os termoplásticos e empurra-os através de um pequeno orifício para construir camada por camada do objeto. Essas máquinas funcionam normalmente para construir de 20-30 cm³ de volume, ainda assim não é muito difícil construir equipamentos maiores para imprimir grandes objetos. No entanto, existem alguns problemas com impressões maiores: retração térmica tende a deformar objetos grandes, e os tempos de impressão atingiria vários dias que muitas vezes é um risco, pois qualquer falha levaria a reiniciar toda a impressão (CANESSA, FONDA e ZENNARO, 2013)

2.3 COMPONENTES

2.3.1 Estrutura

De acordo com Hausman e Horne (2014) a estrutura de uma impressora RepRap 3D é geralmente de um material comum que pode ser encontrados em muitos países ao redor do mundo. Este é um dos motivos que colocam o modelo RepRap como a impressão 3D mais acessível. Alguns kits de impressora usam

placas de madeira ou alumínio de corte a laser como parte ou para todo o quadro. Em alguns projetos, os tubos de alumínio *extrudado* (muitas vezes utilizados para fins industriais racks ou equipamentos de produção) podem constituir um forte e leve quadro para uma impressora 3D.

2.3.2 Extrusor

A parte de extrusão a quente de uma impressora 3D é uma das partes mais importantes para garantir uma boa qualidade de impressão. O tipo mais comum de *extruder* é o *hot-end* tem um alumínio ou latão com bico de um buraco pequeno (tipicamente de 0,4 ou 0,5 mm de diâmetro) na extremidade. Isto é onde a fusão do plástico é *extrudado*. O bronze é muitas vezes utilizado, uma vez que fornece a condução de calor adequada. *Extruder* de alumínio pode aquecer mais rápido e pode melhorar a velocidade de impressão, mas em alumínio são menos comuns (HAUSMAN e HORNE, 2014). A Figura 3 apresenta diferentes tipos de *Extruder*.

Figura 3 - Diferentes tipos de *Extruder*



Fonte: Hausman e Horne (2014)

O bocal de extrusão é enroscado num bloco de aquecimento, e muitas vezes estas duas peças são integradas e usinadas como uma única parte. O bloco de aquecimento contém um elemento de aquecimento, este pode ser um resistor de esmalte vítreo, um comprimento de fio de níquel-cromo ou de um aquecedor de cartucho. Um aquecedor de cartucho é geralmente uma segura forma de aquecer a matéria plástica. Um sensor de temperatura é também necessário para controlar o aquecimento exato do material a ser *extrudado* (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.3.3 Mesa aquecida

A placa de construção da impressora 3D pode ser feita a partir de qualquer um de diversos materiais. Porque muitas impressoras 3D movem a placa de construção para trás e para frente no eixo Y, é desejável fazer a placa de construção e quaisquer elementos de aquecimento o mais leve possível, para o eixo Y poder mover e acelerar rapidamente (HAUSMAN e HORNE, 2014).

A placa de construção é normalmente uma superfície plana de madeira ou de alumínio, muitas vezes com uma placa de circuito impresso (PCB), fixada na parte superior. O PCB atua como um elemento de aquecimento quando alimentado por sistema eletrônico da impressora 3D. Também são necessários isolamento térmico e um modo para nivelar a placa de construção mecanicamente (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.3.4 Placa eletrônica

Os controles eletrônicos normalmente tomam a forma de uma placa Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre) padrão e uma capa de "escudo" (que contém os componentes eletrônicos específicos de impressão 3D, controladores e sensores) ou um conjunto totalmente dedicado tudo-em-um, ainda com base em Arduino, mas personalizado especificamente para RepRap e maior aplicação na impressão 3D (HAUSMAN e HORNE, 2014).

O programa utilizado o sistema eletrônico de uma impressora 3D é chamado de *firmware*, sendo esse as instruções programadas diretamente no hardware do equipamento eletrônico. É muito normal ser obrigado a alterar as configurações-chave neste *firmware* e carregar essas alterações para o sistema eletrônico (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.3.5 Software

Outra parte crítica de impressão 3D é o software usado para projetar, saída (ou converter), reparar e, em seguida, processar modelos 3D em um código que pode ser entendido pela impressora 3D (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Um software muito utilizado é o Slic3r, projetado por Alessandro Ranellucci, que é uma ferramenta de conversão de código aberto para modelo de processamento para impressão 3D. Slic3r está num estado constante de atualização, o que faz dele a escolha ideal para os rápidos desenvolvimentos em

impressão 3D. Muitas melhorias para esse software são constantemente propostas e produzidas (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Um programa muito conhecido para impressão 3D, é o Repetier Host, pois ele está disponível em várias linguagens, e abrange uma serie de controles da impressora, desde um amplo controle dos eixos, até gráficos de temperatura e modelagem.

2.4 PROCESSOS DE IMPRESSÃO 3D

De acordo com Takagaki (2012) os processos de impressão 3D estão baseados em 5 passos, ou seja:

- 1) Desenho do objeto em um software de CAD 3D. Ex.: SolidWorks, AutoCAD 3D, Catia, Google sketchup Pro, etc.
- 2) Conversão do arquivo do software de CAD para formato STL, comum à impressora 3D.

O formato STL descreve as superfícies, internas e externas, através do contorno da figura 3D através de um conjunto de superfícies triangulares de diversas dimensões e formas. Quanto maior o número de superfícies triangulares utilizadas, maior a precisão da figura. O arquivo STL pode ser binário ou ASCII e ele basicamente descreve os 3 vértices de cada triângulo, através das suas coordenadas x,y,z ortogonais e algum atributo específico da superfície, em questão. O arquivo stl é genérico para qualquer impressora 3D (TAKAGAKI, 2012, p. 31).

- 3) Escolha do plano de referência e fatiamento da figura.

Para ser impresso, deverá ser escolhido um plano de referência do arquivo STL e a figura deverá ser fatiada em diversas superfícies, sempre paralela a um plano de referência. A espessura do fatiamento será definida pela precisão da tecnologia de impressão utilizada. Quanto mais preciso, mais delgado será o fatiamento. A figura fatiada é geralmente descrita em um arquivo de formato SGM (TAKAGAKI, 2012, p. 31).

- 4) Criação dos códigos para os comandos no equipamento.

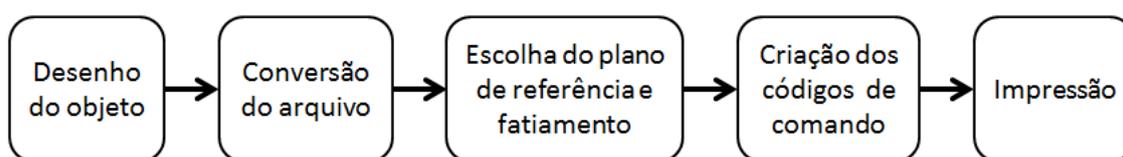
Cada uma dessas superfícies obtidas, através do fatiamento da figura original, é descrita, geralmente, em uma linguagem criada em tecnologias de CNC (controle numérico) denominada gcode. O gcode descreve cada superfície horizontal através de comandos utilizados em máquinas de controle numérico, tais como: caminhe a uma velocidade de X m/s das coordenadas A até B com o laser cabeça de impressão ligada. Isso fará com que a impressora 3D, imprima uma linha sólida de espessura definida pela tecnologia, no plano definido pelas coordenadas A e B. A impressão de diversas linhas sólidas num determinado plano, definirá a impressão da superfície desejada. O arquivo gcode descreve todas as superfícies fatiadas em um único arquivo que é interpretado pela maioria das impressoras 3D. A linguagem gcode tem diversos dialetos para cada tipo de aplicação

específica E.G. se é possível imprimir com atributo cores, há um adendo na linguagem para a escolha da cor (TAKAGAKI, 2012, p. 31).

5) Impressão. É nesta etapa que a impressora interpreta a linguagem gcode, que a instrui a imprimir linha a linha, superfície a superfície, até obter o objeto desejado.

De forma a melhorar a visualização das etapas de impressão, a figura 4 apresenta a sequência lógica do que apresentado anteriormente.

Figura 4 - Processos de impressão 3D



Fonte: Adaptado de Takagaki (2012)

2.5 LIMITAÇÕES DAS TECNOLOGIAS ATUAIS

De acordo com Hausman e Horne (2014) o potencial para a fabricação em 3D é algo surpreendente, mas ainda há uma série de fatores que afetam processo.

2.5.1 Ritmos de fabricação

A recém-chegada impressão 3D é muitas vezes surpreendida com o tempo que leva para imprimir mesmo um pequeno item de plástico. Alguns dos itens mostrados sobre a impressão 3D podem ser incríveis, mas também pode ser feito de centenas de pequenas peças individuais, cada um dos quais leva tempo para projetar e em seguida, imprimir supondo que tudo funciona perfeitamente da primeira vez. O benefício da impressão 3D é que qualquer característica complexa que leva um longo tempo para ser produzido através de meios tradicionais (buracos através o objeto, números de série estampadas, e assim por diante) pode simplesmente ser impresso (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.5.2 Restrições de tamanho

A maioria das impressoras 3D só tem um volume específico dentro do qual eles podem criar sua produção. Para algumas impressoras, uma xícara de chá pode ser muito grande; outros podem produzir um poste de luz em grande escala em uma única impressão (HAUSMAN e HORNE, 2014).

A maioria dos sistemas de produção em 3D atualmente têm um limitado volume de impressão, embora este conceito em breve poderá ser eliminado, se os sistemas de forma aberta forem aperfeiçoados (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.5.3 Restrições de design de objetos

Todas as formas de produção têm suas preocupações específicas. Qualquer pessoa familiarizada com moldagem por injeção, por exemplo, sabe que deve haver canais de ar para escapar do molde quando o material de enchimento é forçado, a impressão 3D é não é diferente. Vários fatores exclusivos já se tornaram comuns. O software usado para projetar os objetos também deve ser de qualidade, embora ele não precise ser caro (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.5.4 Restrições de materiais

Está é uma limitação em evolução, praticamente já está superada. Uma variedade de novos materiais que podem ser usados em impressoras 3D está expandindo rápido demais para ser enumerado. Já se conhece mais de 100 tipos diferentes de materiais. Os fabricantes estão aumentando os seus esforços na expansão de opções para os materiais e as técnicas de fabricação. Hoje os primeiros órgãos impresso-3D estão sendo testados. (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Técnicas de impressão de hoje estão sendo refinadas, mas eles não são perfeitos. Comparado aos itens moldados por injeção, os objetos termoplásticos fundidos criados por impressoras de hoje têm deficiências ao longo de fronteira de cada camada. A utilização de novos materiais sustentáveis, como o ácido polilático (um plástico biodegradável derivado de açúcares de plantas) pode até mesmo ajudar na reciclagem. Toda mudança revolucionária traz tanto novas exigências e novas capacidades (HAUSMAN e HORNE, 2014).

2.6 METODOLOGIA TAGUCHI

De acordo com Moita (2007), Taguchi é uma metodologia na qual consiste em uma série de testes que são realizadas alterações deliberadas nas variáveis de entradas de um processo ou sistema, de modo que se observe e identifique as variáveis ou repostas de saída.

Oliveira (2003) comenta que para cada atributo de produto há um valor-meta, e os produtos que apresentam a referida característica acertada a meta correspondem as perdas mínimas. Na medida em que o valor da característica se afeta desta meta, começa a ocorrer perdas.

Button (2005) explica a metodologia em questão sugere avaliar a resposta média para um determinado conjunto de fatores escolhidos e em seguida avaliar a variabilidade através da razão sinal-ruído (S/N), sendo o ruído descrito por Taguchi como as causas que interferem na variabilidade das funções do produto. Três razões sinal-ruído são empregadas:

- Menor é melhor – busca minimizar a resposta, sendo esta condição expressa pela Equação 1

$$SN = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (1)$$

SN = Transformação Sinal/Ruído;

n = Número de estudos/observações;

y_i^2 = i -nésima resposta observada para cada experimento.

- Maior e melhor – busca maximizar a resposta, sendo esta condição expressa pela Equação 2.

$$SN = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2)$$

SN = Transformação Sinal/Ruído medido em decibéis (dB);

n = Número de estudos/observações;

y_i^2 = i -nésima resposta observada para cada experimento.

- Nominal é melhor – busca reduzir a variabilidade em torno de um valor nominal, sendo esta condição expressa pela Equação 3.

$$SN = 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3)$$

SN = Transformação Sinal/Ruído medido em decibéis (dB);

\bar{y}^2 = Valor médio ao quadrado;

S^2 = Variância das respostas observadas para cada experimento

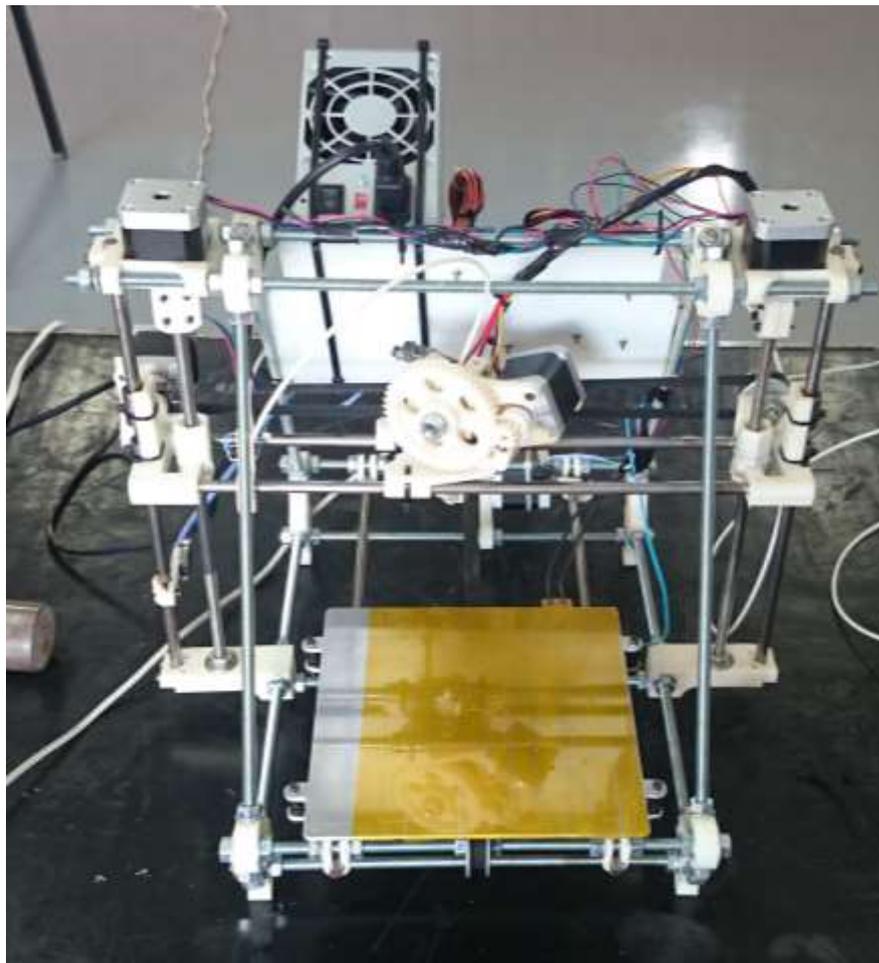
3. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos empregados para realização do presente trabalho, além da metodologia utilizada para realização do mesmo.

3.1 IMPRESSORA UTILIZADA PARA REALIZAR OS TESTES

A impressora utilizada para a realização do estudo, foi uma Prusa Movtech a qual não se diferencia das demais do conceito RepRap, pelo fato de que todas deste conceito são basicamente as mesmas, muda apenas a logo do fabricante/distribuidor. A Figura 5 mostra a impressora em questão.

Figura 5: Impressora utilizada no trabalho



A impressora 3D em questão, possibilita o uso de dois polímeros como matéria-prima para o processo de prototipagem, são eles o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e Ácido Poliláctico (PLA). Para a utilização do ABS, o bico extrusor deve ser aquecido a uma temperatura média de 230° C, e a mesa a uma temperatura de 110° C, enquanto que o PLA é aquecido a temperaturas de 185°C e 60° C respectivamente.

3.2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para a realização dos testes experimentais foi realizado um projeto de experimento o qual baseia-se para a metodologia Taguchi, descrita na revisão de literatura, e que neste caso optou-se por selecionar treze variáveis (fatores) de impressão. Com base em uma escolha padrão do programa de fatiamento dos valores das variáveis, variou-se esses valores de fatores em três níveis diferentes, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Fatores (parâmetros) com seus respectivos níveis.

	Variável	Unidade	Notação	Nível	Valor
A	Layer Height (Tamanho da camada)	Milímetros	mm	1	0,2
				2	0,25
				3	0,3
B	Perimeters (Perímetros)	Milímetro por segundo	mm/s	1	25
				2	30
				3	35
C	Small Perimeters (Pequenos perímetros)	Milímetro por segundo	mm/s	1	35
				2	40
				3	45
D	Infill (Preenchimento)	Milímetro por segundo	mm/s	1	50
				2	60
				3	70
E	Solid Infill (Preenchimento)	Milímetro por segundo	mm/s	1	40
				2	50
				3	60
F	Top Solid Infill (Preenchimento do topo)	Milímetro por segundo	mm/s	1	30
				2	35
				3	40
G	Support	Milímetro	mm/s	1	50

	Material (Suporte de material)	por segundo		2	60
				3	70
H	Bridges (Pontes)	Milímetro por segundo	mm/s	1	50
				2	60
				3	70
I	Gap Fill (Paredes próximas)	Milímetro por segundo	mm/s	1	15
				2	20
				3	25
J	First Layer Speed (Velocidade primeira camada)	Porcentagem	%	1	25
				2	30
				3	35
L	Extruder Temperature 1 (Temperatura extrusora 1)	Celsius	°C	1	220
				2	230
				3	240
M	Extruder Temperature 2 (Temperatura extrusora 2)	Celsius	°C	1	220
				2	225
				3	230
N	Bed Temperature (Temperatura mesa aquecida)	Celsius	°C	1	105
				2	110
				3	115

Cada variável (fator) do quadro acima tem uma função na produção de uma peça, como descrito abaixo:

- *Layer height* (tamanho da camada): Espessura da camada impressa.
- *Perimeters* (perímetros): Velocidade dos perímetros.
- *Small perimeters* (pequenos perímetros): Velocidade dos pequenos perímetros.
- *Infill* (preenchimento): Velocidade de preenchimento da peça.
- *Solid Infill* (preenchimento) Velocidade de preenchimento da peça.
- *Support material* (Suporte de Material): Suporte do material para a impressora
- *Bridges* (Pontes): Velocidade de impressão de pontes.
- *Gap Fill* (Paredes próximas): Velocidade de impressão para paredes próximas.

- *First layer speed* (Velocidade primeira camada): Velocidade em que a primeira camada é impressa.
- *Extruder temperature 1* (Temperatura extrusora 1): Temperatura inicial do extrusor da impressora.
- *Extruder temperature 2* (Temperatura extrusora 2): Temperatura para as demais camadas.
- *Bed temperature* (Temperatura da mesa): Temperatura da mesa aquecida.

Realizada essa etapa, com a ajuda de um software chamado Minitab 16, essas variáveis foram cruzadas, e assim foi determinada uma matriz onde 27 testes foram realizados. O Quadro 2 apresenta o que foi descrito.

Quadro 2: Seleção de amostras

EXPERIMENTO	VARIÁVEL												
	A	B	C	D	E	F	G	H	i	j	L	M	N
1	0,2	25	35	50	40	35	50	50	15	25%	220	220	105
2	0,2	25	35	50	50	40	60	60	20	30%	230	225	110
3	0,2	25	35	50	60	45	70	70	25	35%	240	230	115
4	0,2	30	40	60	40	35	50	60	20	30%	240	230	115
5	0,2	30	40	60	50	40	60	70	25	35%	220	220	105
6	0,2	30	40	60	60	45	70	50	15	30%	230	225	110
7	0,2	35	45	70	40	35	50	70	25	35%	230	225	110
8	0,2	35	45	70	50	40	60	70	25	35%	240	230	115
9	0,2	35	45	70	60	45	70	60	20	30%	220	220	105
10	0,25	25	40	70	40	40	70	50	20	35%	220	225	115
11	0,25	25	40	70	50	45	50	60	25	25%	230	230	105
12	0,25	25	40	70	60	40	50	70	20	25%	240	220	110
13	0,25	30	45	50	40	40	70	60	25	25%	240	220	110
14	0,25	30	45	50	50	45	50	70	15	30%	220	225	115
15	0,25	30	45	50	60	35	60	50	20	35%	230	230	105
16	0,25	35	35	60	40	40	70	70	15	30%	230	230	105
17	0,25	35	35	60	50	45	50	50	20	35%	240	225	105
18	0,25	35	35	60	60	35	60	60	25	25%	220	225	115
19	0,3	25	45	60	40	45	60	50	25	30%	220	230	115
20	0,3	25	45	60	50	40	60	60	15	30%	230	220	115
21	0,3	30	45	60	60	40	50	70	20	25%	240	225	105
22	0,3	30	40	70	40	45	60	60	15	35%	240	225	105
23	0,3	30	40	70	50	35	70	70	20	35%	220	230	110

24	0,3	30	40	70	60	40	50	50	25	30%	230	220	115
25	0,3	35	40	50	40	45	60	70	20	25%	230	225	115
26	0,3	35	40	50	50	40	70	50	25	30%	240	225	105
27	0,3	35	40	50	60	40	50	60	20	35%	220	230	110

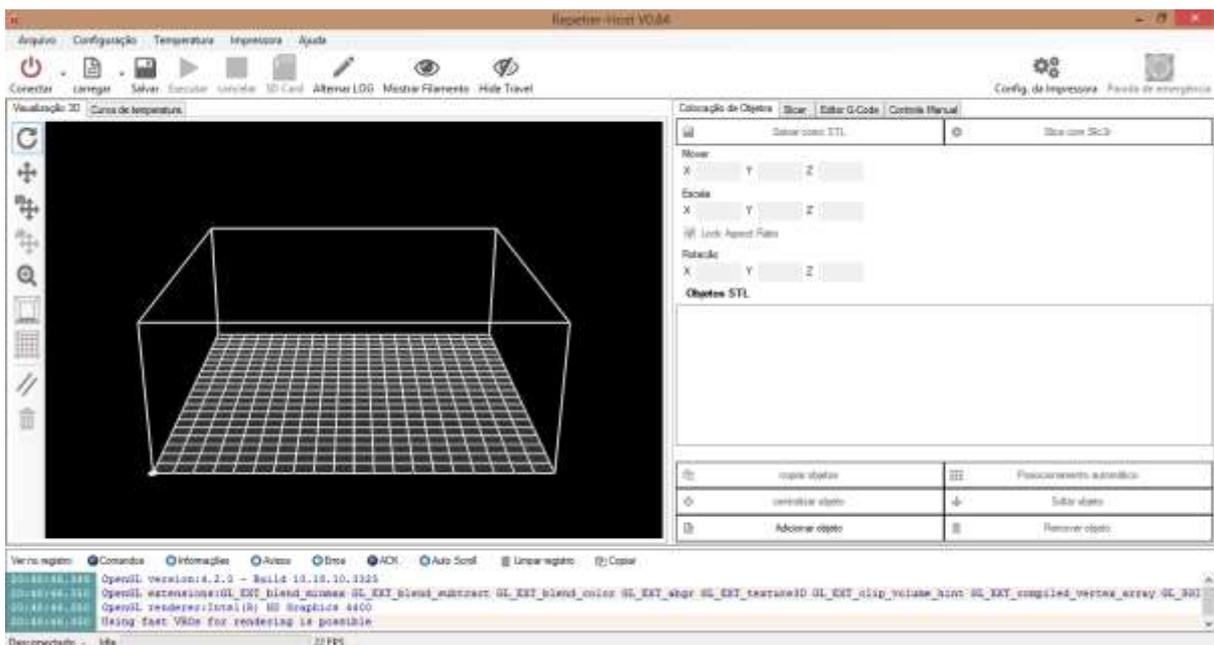
Fonte: O autor

Os experimentos foram todos realizados no mesmo dia, com intenção de ter uma influência mínima em relação às condições climáticas externas. Todas as impressões foram executadas nas mesmas posições X e Y da mesa aquecida, com intenção de não ter influência de possível desnível na mesa. A retirada da peça também foi realizada após a espera de aproximadamente três minutos para a peça resfriar com intuito de não sofrer deformações ainda em temperaturas altas do abs.

3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

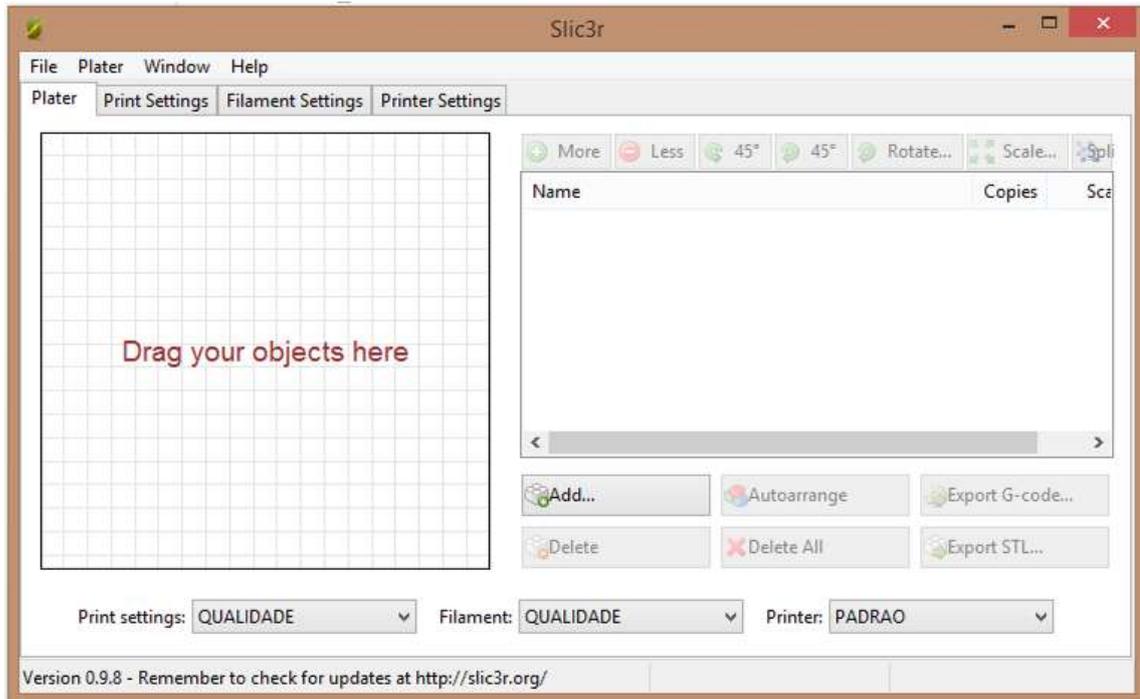
O software selecionado para se comunicar com a impressora, foi o *Repetier Host*, devido a ele ser em língua portuguesa e mais completo que o *Pronterface*, o qual vem como padrão com a impressora. A Figura 6 mostra a interface do programa.

Figura 6: Interface do Repetier Host



O programa que apresenta as opções de configuração de fatores de impressão, é conhecido como fatiador, e neste caso optou-se pelo uso do Slic3r, pois o mesmo apresenta um fácil manuseio. A Figura 7 mostra a interface do programa.

Figura 7:Interface do Slic3r



3.4 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

O polímero escolhido foi ABS pelo fato de ter uma qualidade melhor que o PLA, já que o estudo tem base na análise de defeitos no acabamento da peça.

Uma peça padrão, constituinte da própria impressora, e a partir dela foi analisado as mediadas conforme a Figura 9, o tempo resultante de impressão, e o número de defeitos encontrados no protótipo. Esses defeitos se encaixam em todas as imperfeições na peça, além de resultados de acabamento.

Figura 8: Peça padrão

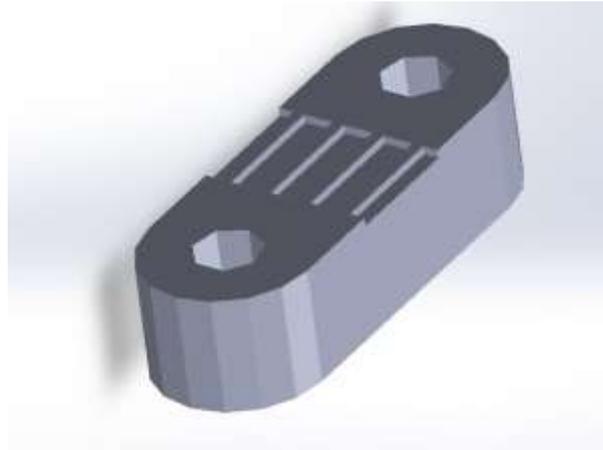
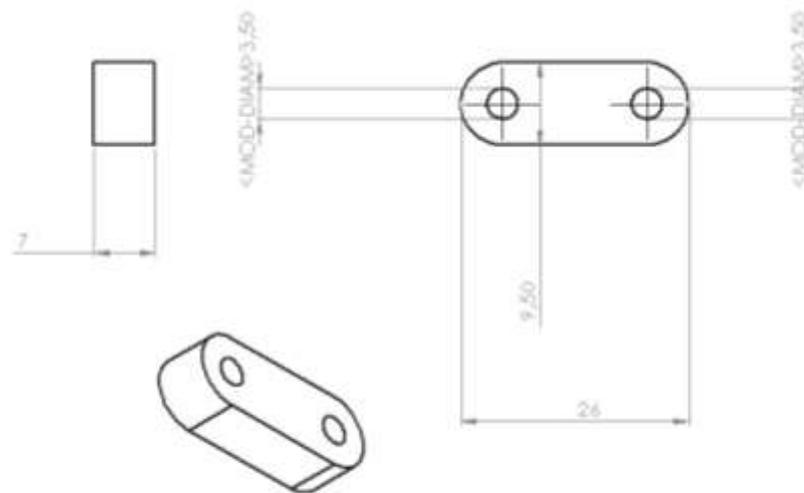


Figura 9: Medidas da peça padrão



A: 26mm B:3,5 mm C: 3,5 mm D: 9,5mm E: 7mm

Uma segunda amostra apresentada na Figura 10 foi selecionada para comparações devido ao pequeno tamanho e simplicidade da primeira amostra. Porém essa peça será apenas para uma melhor visualização, tendo em vista que a peça padrão é considerada pequena.

Figura 10: Amostra 2



4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 TESTES INICIAIS

Inicialmente foram realizados testes de funcionamento da impressora para detectar problemas como desalinhamento, bico extrusor, etc.

O maior problema encontrado na hora da impressão, é o fato de que o bico necessita estar perfeitamente alinhado com a mesa onde a peça é impressa. Uma variação de um milímetro entre as extremidades da mesa, ocasiona em uma impressão desnivelada e até a danificação dos componentes da impressora.

Os eixos “Z”, devem estar em paralelo um com o outro, pois, conforme a altura onde o carro do bico extrusor está posicionado, pode vir a ocorrer problemas que desalinham todos os parâmetros ajustados.

Para ajustar os eixos de maneira que ocorra uma impressão de qualidade, primeiramente foi necessário deixar em paralelo os eixos Z, onde fica o bico extrusor. Para isso as duas extremidades dos eixos devem estar com a mesma medida, para então com a ajuda de um nível convencional, nivelar o carro do eixo X.

Em seguida os quatro pontos da mesa foram alinhados com a ponta do bico extrusor, uma variação de 1mm de um ponto a outro pode ocasionar de a impressora não imprimir a peça selecionada, e até danificar partes dela.

O end/stop do eixo Z, na qual manda o comando para o motor parar quando chega a extremidade inferior, deve estar em uma posição em que a ponta do bico encoste na mesa, sem pressioná-la.

Fazendo todos esses procedimentos descritos anteriormente, a impressora tornou-se apta a imprimir, desde que o software que comunica o computador com a impressora, e o que fatia a peça a ser impressa, estejam em perfeito funcionamento.

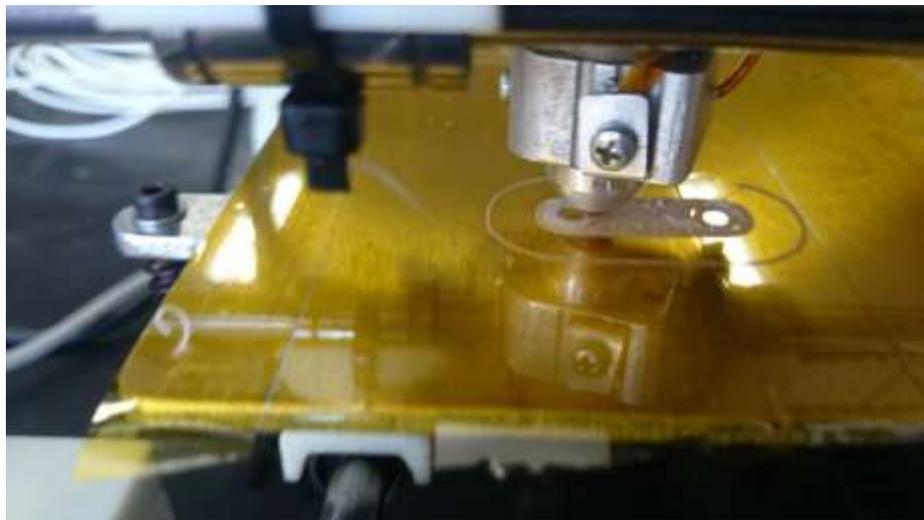
A grande dificuldade apresentada durante a parte operacional da máquina, é suas constantes manutenções requeridas pela impressora. Os eixos de trabalho constantemente se desalinhavam, fator no qual atrasava os testes de impressão.

O bico extrusor que acompanhava a máquina apresentava uma péssima qualidade de impressão, e devido a isso optou-se por fazer a troca do mesmo. O mesmo bico teve vários problemas de entupimento, no qual também atrasava os testes pretendidos para o estudo.

4.2 VARIÁVEIS DE SAÍDA

Com o término dos testes, obteve-se os 27 experimentos desejados, os quais foram analisados seus defeitos e medidos. A Figura 11 representa a amostra sendo impressa enquanto que a Figura 12 apresenta elas prontas.

Figura 11: Amostra sendo impressa



Fonte: O autor

Figura 12: Peças Prontas



Fonte: O autor

O Quadro 3, apresenta as variáveis de saída encontradas com a análise dos resultados. O quadro apresenta também os números de defeitos na peça, os quais são definidos nesse estudo como imperfeições na peça, como camadas que não saíram como deveriam, ranhuras, etc. É possível visualizar o tempo coletado em minutos no quadro.

Quadro 3: Variáveis de saída

PEÇA	DEFEITOS				DIMENSÕES					Tempo
	Superior	Externo	Inferior	Total	A	B	C	D	E	
1	4	1	3	8	26,34	3,6	3,7	9,46	6,7	12:57
2	4	2	2	8	26,42	3,5	3,6	9,4	6,8	12:32
3	7	3	8	18	26,22	3,54	3,66	9,22	7,06	12:08
4	4	5	9	18	26,18	3,5	3,46	9,24	7,06	12:12
5	4	2	1	7	26,28	3,5	3,54	9,22	7,1	11:59
6	4	4	1	9	26,38	3,56	3,5	9,4	7,08	12:31
7	4	2	4	10	26,48	3,46	3,6	9,5	7	11:44
8	4	3	1	8	26,4	3,5	3,54	9,4	7,1	11:53
9	4	3	1	8	26,38	3,4	3,3	9,42	7,1	12:02
10	3	2	1	6	26,5	3,48	3,26	9,54	7	09:54
11	3	1	1	5	26,4	3,5	3,54	9,5	7	10:24
12	5	3	0	8	26,6	3,5	3,5	9,36	7,06	10:21
13	6	2	1	9	26,38	3,4	3,54	9,4	7	10:15
14	4	1	1	6	26,5	3,38	3,5	9,3	6,98	09:56
15	5	2	0	7	26,56	3,58	3,54	9,44	7,08	09:46
16	5	2	0	7	26,58	3,5	3,4	9,4	7	09:39
17	4	2	0	6	26,48	3,6	3,5	9,3	7	09:24
18	4	2	0	6	26,4	3,4	3,4	9,2	7	09:49
19	5	16	3	24	26,5	3,4	3,52	9,56	6,9	08:34
20	4	10	1	15	26,4	3,5	3,44	9,6	6,88	08:25
21	5	15	3	23	26,5	3,4	3,44	9,52	6,96	08:41
22	3	18	2	23	26,5	3,3	3,3	9,52	6,9	08:10
23	5	6	0	11	26,56	3,28	3,4	9,58	6,8	08:41
24	5	20	5	30	26,5	3,5	3,4	9,7	6,92	08:12
25	3	7	2	12	26,44	3,58	3,5	9,6	6,94	08:16
26	3	5	4	12	26,52	3,4	3,48	9,6	6,9	07:49
27	5	4	3	12	26,5	3,3	3,2	9,6	6,9	07:51

Fonte: O autor

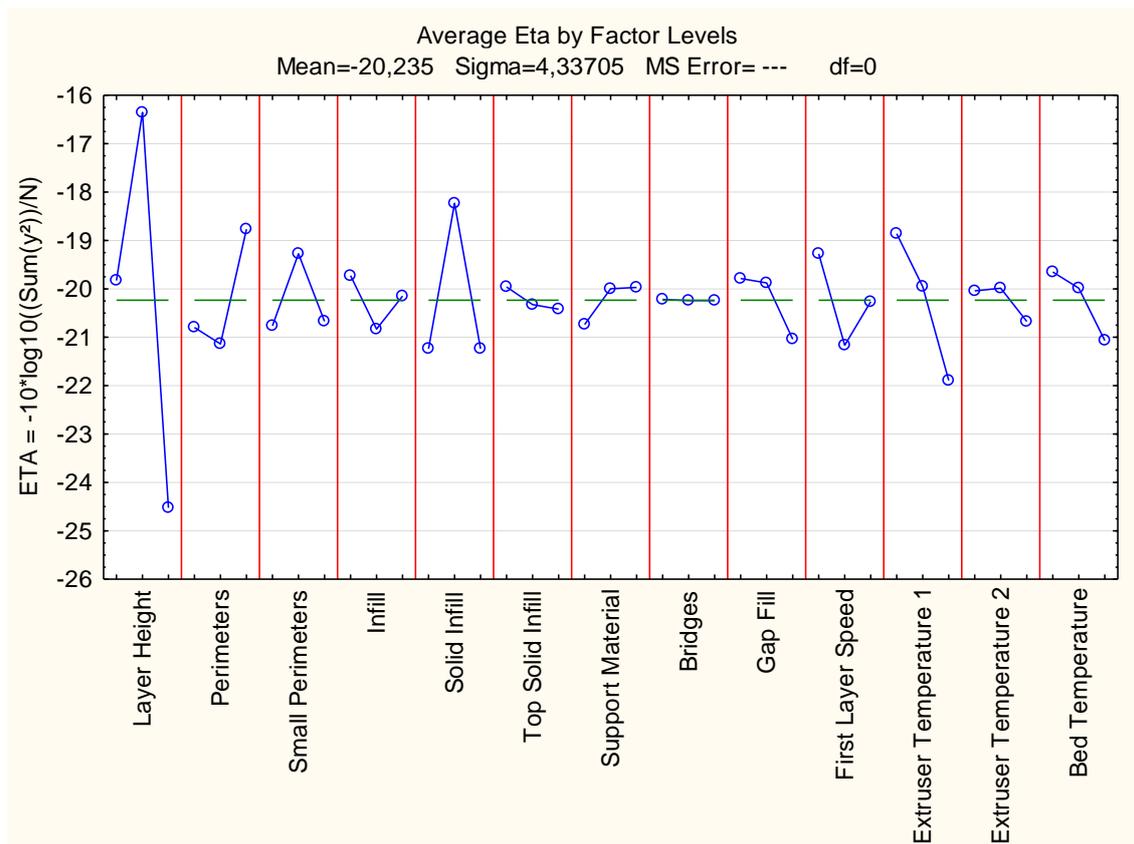
4.3 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Através de um software da área de estatística, foi possível obter dois gráficos com a melhor combinação de variáveis de prototipagem, um para se obter o conjunto de variáveis em que a peça padrão apresente menos defeitos, e outro, no qual foi analisado o tempo de execução da peça.

Levando em consideração os defeitos apresentados nas peças impressas, cada variável apresentou o nível com menor sinal ruído, neste caso, o menor número de defeitos.

Na Figura 13, estão expostas todas as variáveis analisadas nesse estudo, sobrepostas sobre os defeitos encontrados.

Figura 13: Gráfico de seleção de variáveis de qualidade



No gráfico é possível observar todas as variáveis (fatores) do programa de fatiamento da peça, os quais tem sem nível ideal selecionado para a situação onde prioriza-se a qualidade final da peça.

Através deste gráfico obteve-se a configuração do Quadro 4, a qual está define os valores selecionados para a configuração que prioriza a qualidade de acabamento final da peça.

Quadro 4: Níveis da configuração “qualidade”

	Variável	Nível	Valor
A	Layer Height	2	0,25
B	Perimeters	3	35
C	Small Perimeters	2	40
D	Infill	1	50
E	Solid Infill	2	50
F	Top Solid Infill	1	30
G	Support Material	3	70
H	Bridges	1	50
I	Gap Fill	1	15
J	First Layer Speed	1	25
L	Extruder Temperature 1	1	220
M	Extruder Temperature 2	2	225
N	Bed Temperature	1	105

Utilizando esses parâmetros de impressão obteve-se uma peça nova conforme a Figura 14, na qual foi analisada da mesma maneira que as anteriores e chegou-se ao resultado apresentado no quadro 5.

Figura 14: Primeira configuração de impressão



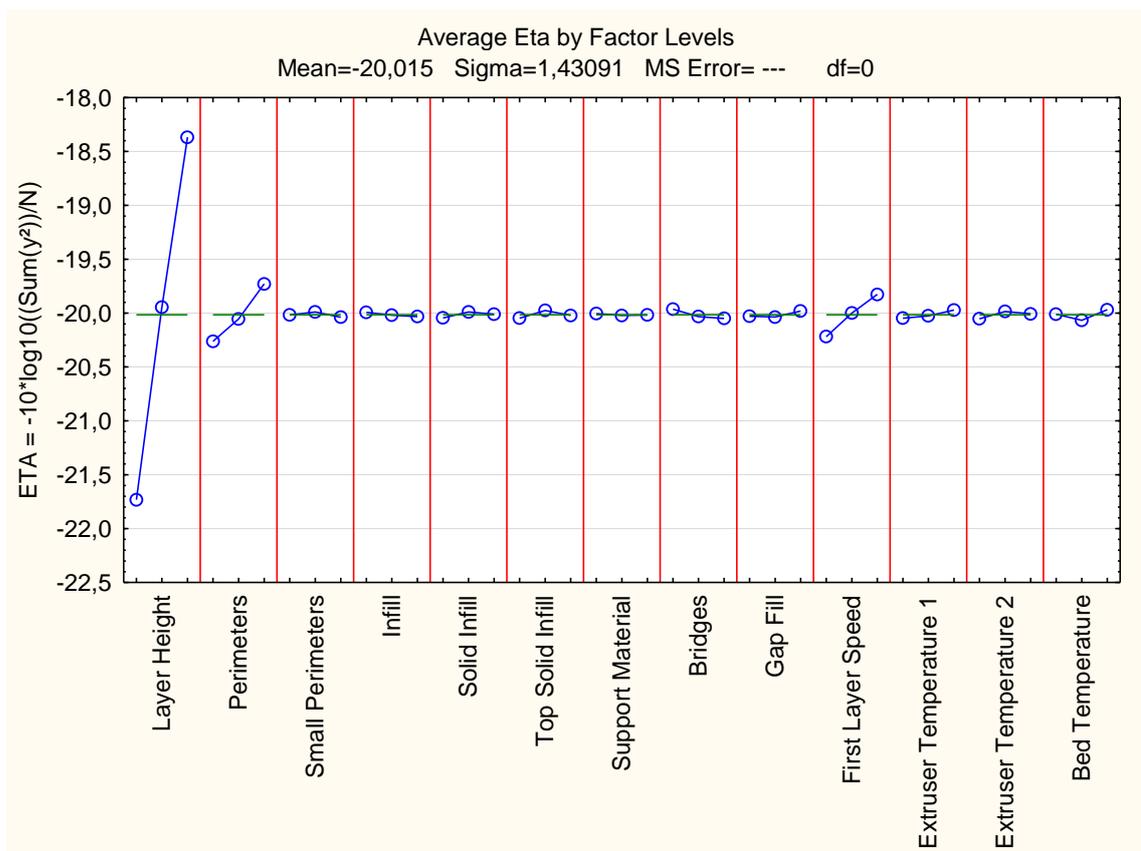
Quadro 5: Análise da primeira configuração de impressão

PEÇA	DEFEITOS				DIMENSÕES					Tempo
	Superior	Externo	Inferior	Total	A	B	C	D	E	
Qualidade	1	3	0	4	26	3,5	3,5	9,42	7	09:48

A peça em questão, dentre todas, apresentou o menor número de defeitos e imperfeições no acabamento externo, tornando-se a configuração ideal de impressão quando busca-se a construção da peça padrão com menor número de defeitos.

Em busca de uma otimização no tempo de impressão de um objeto ou peça, usou-se a mesma ideia acima, porém usando o tempo como variável de saída. O resultado pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: Gráfico de seleção de variáveis de tempo



Essa análise possibilitou descobrir a melhor configuração para reduzir o tempo de impressão com os níveis escolhidos.

Porém deve-se ressaltar que de acordo com o gráfico da Figura 15, apenas as variáveis A,B e J apresentaram influencia no tempo de impressão da máquina. Isso

significa, que embora uma variável de velocidade de impressão tenha apresentado o nível 1, como na variável G, o qual, é o mais baixo em questões de velocidade, ela não tem grande variação de tempo do nível 1 ao 3, diferente das comentadas anteriormente. O quadro 6, apresenta os valores selecionados.

Quadro 6: Níveis da configuração “tempo”

	Variável	Nível	Valor
A	Layer Height	3	0,3
B	Perimeters	3	35
C	Small Perimeters	2	40
D	Infill	2	60
E	Solid Infill	2	50
F	Top Solid Infill	1	30
G	Support Material	1	50
H	Bridges	3	70
I	Gap Fill	3	25
J	First Layer Speed	3	35
L	Extruder Temperature 1	3	240
M	Extruder Temperature 2	2	225
N	Bed Temperature	3	115

O resultado da prototipagem utilizando essas configurações, é visualizado na Figura 16, e sua análise de defeituosos e tempo no quadro 7.

Figura 16: Segunda configuração de impressão



Quadro 7: Análise da segunda configuração de impressão

PEÇA	DEFEITOS				DIMENSÕES					Tempo
	Superior	Externo	Inferior	Total	A	B	C	D	E	
Qualidade	4	17	3	24	26,18	3,4	3,44	9,58	6,7	07:50

Em relação as duas configurações analisadas, suas dimensões não serão analisadas pelo fato de terem uma variação muito pequena, fato que pode ter ocorrido por falha humana na hora de tirar todas as medidas, embora que todas as peças foram medidas com o mesmo paquímetro na mesma forma.

4.4 COMPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Afim de definir se é valido as duas configurações selecionadas, comparou-se ambas em questões de qualidade e tempo.

A configuração definida que prioriza a qualidade mostrou-se superior em relação aos defeitos apresentados no acabamento das peças, 4 contra 24 da segunda configuração. A peça impressa com a configuração em questão, apresentou um acabamento na parte inferior e na parte externa do modo que se esperava, apenas deixando a desejar na parte superior da amostra.

A configuração que prioriza o tempo de execução de uma peça, deixou a desejar no quesito acabamento.

A amostra número dois foi realizada nas mesmas configurações da amostra um, afim de se ter uma peça em um tamanho razoável que se possa observar com mais facilidades a qualidade das peças apresentadas. Porem as análises estatísticas da peça padrão a qual foram realizadas 27 experimentos, não se aplica a essa peça pelo fato de terem geometrias diferentes. As Figuras 17 e 18 mostram a peça impressa com a configuração “qualidade” e as Figuras 19 e 20 com a configuração “tempo”.

Figura 17: Vista lateral da configuração “qualidade”



Figura 18: Vista superior da configuração “qualidade”



Figura 19: Vista lateral da configuração “tempo”



Figura 20: Vista superior da configuração “tempo”



Nessas amostras apresentadas, observa-se que embora sejam peças apenas para visualização, a configuração que prioriza a qualidade mostrou-se superior na qualidade do acabamento das camadas da peça em relação a configuração que prioriza o tempo de prototipagem. Também em relação ao tempo, a diferença de

prototipagem foi de aproximadamente 10 minutos, e numa impressão que demora por volta de duas horas, a configuração que dá prioridade ao tempo pode ser descartada para essa peça, pois não apresenta benefícios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste estudo, foi possível alcançar os objetivos definidos no começo do trabalho, de analisar os fatores de impressão e encontrar a configuração mais adequada para a impressora utilizada.

Com o alinhamento dos eixos, foi possível dar início aos testes na impressora, que no decorrer deles, analisou-se as variáveis de funcionamento e assim, através da metodologia selecionada, foi possível obter a melhor configuração de impressão.

A metodologia Taguchi, empregada neste trabalho, se mostrou eficaz quando se fala em encontrar a melhor configuração para o processo de prototipagem, pois foram encontrados resultados muito superiores em questão de acabamento, quando comparado aos péssimo acabamento do começo do estudo, onde a impressora modelava apenas peças com uma qualidade muito questionável, pelo fato de as camadas não apresentarem uma qualidade aceitável para utilização, apresentando vários defeitos em todas as partes da amostra escolhida.

Apesar das dificuldades do estudo em impressoras 3D, que partem desde em encontrar material de apoio, até as dificuldades operacionais deste modelo de impressora, utilizado no estudo, foi possível concluir o trabalho de maneira que este poderá abrir portas para futuras pesquisas, agora que, a impressora 3D da Faculdade Horizontina, está pronta para imprimir.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do trabalho, foi possível observar várias melhorias que podem ser feitas para diminuir a manutenção da máquina e até melhorias para qualidade de impressão da máquina, visto que a parte superior da peça não apresentou um acabamento no mesmo nível do acabamento lateral e inferior. Abaixo segue uma lista de assuntos a serem estudados.

- Projeto de um novo modelo de bico extrusor.
- Ventilador acoplado ao bico para resfriamento imediato do material extrusado.
- Novos softwares para corrigir o problema de acabamento superior.
- Replicação da impressora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, C. H. et.al **Prototipagem rápida tecnologias e aplicações**. São Paulo: Bucher, 2006.
- BUTTON, Sérgio T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- CANESSA, E.; FONDA, C.; ZENNARO, M.. **Low-cost 3D Printing: for Science, Education and Sustainable Development..** Trieste, Itália: ICTP Science Dissemination Unit, 2013.
- HAUSMAN, Kalani Kirk; HORNE, Richard. **3D Printing For Dummies**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014. 384 p.
- MOITA, N. F. V. C. **Implementação do método Taguchi e análise de experiências na fase de testes de moldes para injeção de plásticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica, Lisboa, 2007.
- OLIVEIRA, C. A. (2003). **INOVAÇÃO DA TECNOLOGIA, DO PRODUTO E DO PROCESSO**. Belo Horizonte: EDG.
- SEGUIN, Luciana. **Trabalho explicativo a respeito das impressoras 3D, e seus desenvolvimentos**. Curso de Curso Técnico em Instrumentação, Curso Nacional de Aprendizagem Industrial-SENAI, Santos, 2011.
- TAKAGAKI, Luiz Koiti. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez.2012.