

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ELTON KOJI TANNO
RAFAEL EIDI MATUGUMA

ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO NIVELAMENTO AUTOMÁTICO DA
MESA DE UMA IMPRESSORA 3D

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

ELTON KOJI TANNO
RAFAEL EIDI MATUGUMA

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO NIVELAMENTO AUTOMÁTICO DA
MESA DE UMA IMPRESSORA 3D**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para aprovação.

Orientador: Prof. Msc. David Kretschek

CURITIBA

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO NIVELAMENTO AUTOMÁTICO DA MESA DE UMA IMPRESSORA 3D", realizado pelos alunos Elton Koji Tanno e Rafael Eidi Matuguma, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Msc. David Kretschenk
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Msc. Carlos Alberto Vargas
DADIN, UTFPR
Avaliador

Prof. Msc. Fernando Irto Zanetti
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 07 de dezembro de 2016.

RESUMO

TANNO, Elton Koji; MATUGUMA, Rafael Eidi. **Estudo para aplicação do nivelamento automático da mesa de uma impressora 3D**. 2016. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A Manufatura Aditiva é umas das áreas que vem evoluindo constantemente com novas tecnologias e diversificando as suas possíveis aplicações. Como em qualquer outra tecnologia, existem diversos aspectos a serem melhorados e possibilidades de inovação. Neste trabalho iremos dar enfoque no estudo para aplicação do nivelamento automático da mesa de uma impressora 3D tipo REPRAP, com o intuito de melhorar a utilização do operador da impressora, evitando a necessidade de calibração manual antes de cada impressão. Foram realizados alguns experimentos para avaliar fatores que influenciam no posicionamento da mesa da impressora, e verificado a dificuldade do nivelamento manual. Para isso foi necessário adaptar a impressora para conseguir mensurar as diferenças de posicionamento do eixo Z em alguns pontos da mesa, utilizando um relógio comparador. A partir dos dados obtidos, foi possível quantificar os fatores que influenciam no desnivelamento da mesa da impressora. Motivando a aplicação do nivelamento automático.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Impressão 3D. Nivelamento automático de mesa. Bed compensation. Bed auto leveling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da tecnologia FDM Stratasys, Inc.	10
Figura 2 – Referência para calibração.....	12
Figura 3 – Processo genérico da manufatura aditiva	16
Figura 4 – Divisão das aplicações de AM.....	17
Figura 5 – Esquema de funcionamento da tecnologia FDM.....	18
Figura 6 – Impressora Graber i3.....	20
Figura 7 – Mesa aquecida PCB montada com superfície de vidro.....	22
Figura 8 – Impressora utilizada nos testes	23
Figura 9 – Controle Manual	24
Figura 10 – Botões de Movimentação	25
Figura 11 – Controle de Temperatura	26
Figura 12 – Movimentação G-Code.....	26
Figura 13 – Adaptação do relógio comparador na impressora.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - ANOVA.....	34
Tabela 2 – Tabela Experimento I.....	36
Tabela 3 – Tabela Experimento II.....	37
Tabela 4 – Resultado ANOVA.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AM	Additive Manufacturing
ASTM	American Society for Testing and Materials
BAL	Bed Auto Leveling
CAD	Computer Aided Design
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
GIP3D	Grupo de Impressão 3D
REPRAP	Replicating Rapid Prototyper
RP	Rapid Prototyping
SLA	Stereolithography Apparatus
SLS	Seletive Laser Sintering

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTEXTO DO TEMA.....	11
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.3 OBJETIVO GERAL.....	13
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.5 JUSTIFICATIVA.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CONCEITO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	14
2.2 A MANUFATURA ADITIVA.....	14
2.2.1 Etapas do processo da Manufatura Aditiva.....	15
2.2.2 Aplicações da Manufatura Aditiva.....	16
2.3 FDM (“FUSED DEPOSITION MODELING”).....	17
2.4 A IMPRESSORA REPRAP.....	19
2.5 O MODELO PRUSSA I3.....	19
2.5.1 Graber i3.....	20
2.6 A MESA AQUECIDA.....	21
3 METODOLOGIA	23
3.1 IMPRESSORA UTILIZADA NOS TESTES.....	23
3.2 SOFTWARE REPETIER HOST.....	24
3.3 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO.....	26
3.4 PROCEDIMENTO.....	27
3.5 TESTE T.....	28
3.5.1 Teste T para Duas Amostras Independentes.....	29
3.6 ANOVA.....	31
3.6.1 Considerações.....	31
3.6.2 Equações.....	32
3.6.2.1 Grau de liberdade (GL).....	32
3.6.2.2 Soma dos quadrados (SQ).....	32
3.6.2.3 Quadrados das médias.....	33
3.6.3 Tabela de Resultados ANOVA.....	34
4 RESULTADO	36
4.1 TESTE T PARA COMPARAÇÃO ENTRE DUAS MÉDIAS.....	36
4.2 ANOVA PARA FATOR ÚNICO.....	37
5 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41
ANEXO A - Tabela A.2 – Pontos de probabilidade da distribuição t com v graus de liberdade (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).....	43
ANEXO B - Tabela A.4 – Pontos de porcentagem da distribuição F, 25% (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).....	44

ANEXO C - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 10% (continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)	45
ANEXO D - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)	46
ANEXO E - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 1% (continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)	47

1 INTRODUÇÃO

A norma ASTM F2792-12a (*Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*) define a Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*), popularmente conhecida como impressão 3D, da seguinte forma:

Um processo de adição de materiais para produzir objetos a partir de dados 3D, usualmente através do empilhamento de camadas, oposto aos processos de subtração de material. São seus sinônimos: *Additive Fabrication, Additive Processes, Additive Techniques, Additive Layer Manufacturing, Layer Manufacturing e Freeform Fabrication.*

Existem várias tecnologias já patenteadas de Manufatura Aditiva. As principais diferenças entre elas estão no material e na maneira com que as camadas são formadas para criar os objetos.

Neste trabalho iremos dar enfoque na classe “*Extrusion*”, especialmente a tecnologia *Fused Deposition Modeling (FDM)*, patenteada por Scott Crump (patente US5121329), em 1989. A FDM consiste em produzir o objeto camada por camada, de baixo para cima, ao aquecer e extrudar um filamento termoplástico, conforme Figura 1.

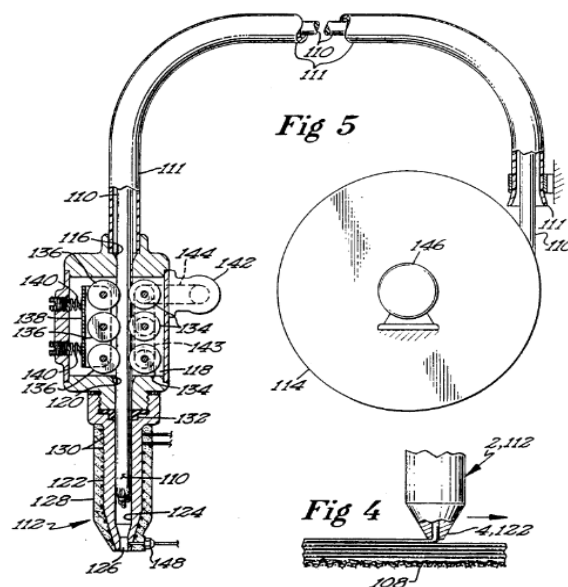


Figura 1 – Representação da tecnologia FDM Stratasys, Inc.
Fonte: Stratasys (1992)

Existem muitas pesquisas e desenvolvimentos de projetos baseados nesta tecnologia, sendo várias delas abertas ao desenvolvimento pelos próprios usuários (*open source*). Há uma grande troca de informações e experiências práticas nessa comunidade, que facilita a pesquisa a fim de se obter soluções para problemas encontrados pelo usuário ou ainda melhorias no funcionamento da impressora.

Uma das principais dificuldades encontradas neste tipo de impressora está na calibração da altura da primeira camada e no nivelamento do plano da mesa onde o material é depositado. Esses dois procedimentos são essenciais para que se tenha uma boa aderência da peça à mesa e se faça uma boa impressão das peças, porém demandam bastante tempo e não são tão simples de serem realizados pelo usuário leigo.

1.1 CONTEXTO DO TEMA

O estudo foi realizado em uma impressora RepRap modelo Graber i3 comprada e montada pelo Grupo de Impressão 3D (GIP3D) da UTFPR.

O GIP3D é um grupo de voluntários que tem como objetivo ser referência de apoio enquanto fomentador e facilitador de ideias, que está à disposição daqueles que estão em busca de um espaço favorável ou apoio técnico para concretização de projetos de impressão 3D (GIP3D, 2015).

Serão realizadas medições na mesa de impressão em diferentes condições a fim de se identificar a existência de um possível fator que influencie no seu desnivelamento. Através dos valores obtidos durante as medições, com o auxílio de testes estatísticos adequados, será comprovada ou não a influência dos fatores observados no experimento.

É importante ressaltar que os fatores que, ao serem alterados, não influenciarem significativamente nas medições realizadas no eixo Z serão descartados deste trabalho.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em uma impressora 3D que utiliza a tecnologia FDM, uma boa aderência da primeira camada de impressão é um fator importantíssimo para garantir a qualidade

final da peça impressa, uma vez que esta camada servirá de “fundação” para a construção do restante da peça.

Godoy (2016) lista como fatores que influenciam na adesão da primeira camada os seguintes:

- Nivelamento da mesa;
- Distância entre o bico extrusor e a mesa;
- Velocidade de impressão da primeira camada;
- Ajuste de temperatura (tanto da extrusão como da mesa);
- Material da superfície da mesa.

Na Figura 2 é possível identificar os resultados da impressão, de acordo com a altura do bico extrusor.

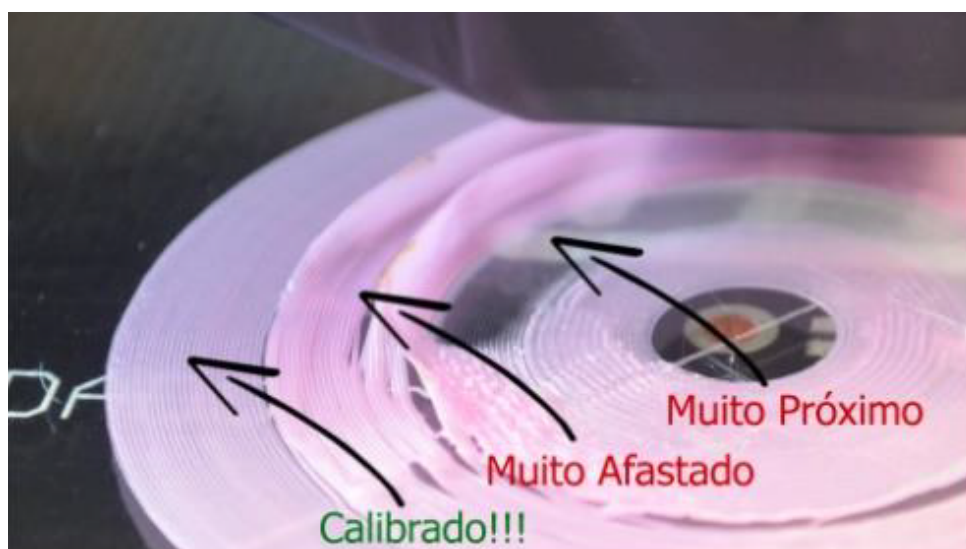


Figura 2 – Referência para calibração
Fonte: Cliever Tecnologias (2015)

O bico extrusor muito próximo à mesa de impressão deixará o filamento achatado ou não permitirá a extrusão. Já quando o bico extrusor está relativamente afastado da mesa de impressão, o filamento ficará solto e não haverá adesão com a mesa.

A calibração da mesa antes de cada impressão é um procedimento padrão para garantir uma boa qualidade da peça impressa. Porém, a necessidade de ajuste manual da mesa por parte do operador é um inconveniente, pois demanda muito tempo e habilidade. A dificuldade na calibração da mesa de impressão é um fato muito citado por usuários de impressoras 3D de baixo custo.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desse trabalho é analisar através de métodos estatísticos a influência de um fator que possa prejudicar o nivelamento da mesa de impressão de uma impressora 3D tipo RepRap.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos a serem desenvolvidos são:

- Desenvolver um planejamento genérico para o experimento, que possa ser replicado a outros modelos de impressora 3D;
- Realizar medições na altura da mesa (eixo Z) com a impressora operando em diferentes condições de trabalho, variando fatores que possam interferir nos valores obtidos nessas medições;
- Utilizar testes estatísticos para verificar se há diferença significativa entre as médias dos valores calculados nas duas condições (antes e depois de variar cada fator).

1.5 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste projeto poderá auxiliar na identificação de um possível fator responsável pelo desnivelamento da mesa aquecida de uma impressora 3D. Assim, se constatada a variação devido ao aquecimento, será justificável a aplicação de um sistema que auxilie no nivelamento da mesa, reduzindo o tempo de ajuste para uma impressão 3D, facilitando um dos processos essenciais para a qualidade final da peça, além de tornar possível a correta utilização da impressora pelo usuário leigo. Outro benefício de um sistema que facilite o nivelamento é a redução do desperdício de material durante a fabricação.

Não foi encontrado um estudo que quantificasse o problema de desnivelamento da mesa de uma impressora RepRap. Porém, o que se pôde observar nos fóruns de discussão e blogs sobre esse assunto foi a recorrência desse tipo de problema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado um breve estudo da área de aplicação do projeto a ser realizado, seus conceitos fundamentais e principais características.

2.1 CONCEITO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Em meados dos anos 1980, de acordo com Campbell et al. (2012), surgia um grupo de tecnologias utilizadas para a produção de protótipos físicos de produtos na fase inicial de desenvolvimento de forma rápida e automática, inicialmente chamado de Prototipagem Rápida (RP – *Rapid Prototyping*).

Para Raja e Fernandes (2008), a RP é definida como uma classe de tecnologias utilizadas para a fabricação de objetos físicos por adição sucessiva de material, camada sobre camada, a partir de informações obtidas diretamente de um modelo geométrico gerado por sistema de projeto auxiliado por computador (CAD – *Computer Aided Design*).

A primeira máquina de RP a ser desenvolvida utilizou a tecnologia denominada Estereolitografia (SLA – *Stereolithography Apparatus*), patenteada por Charles W. Hull em 1986. No mesmo ano, Hull fundou a empresa 3D Systems e, em 1989, iniciou a comercialização da nova tecnologia. Posteriormente, várias outras tecnologias de RP passaram a ser desenvolvidas (VOLPATO et al., 2007).

2.2 A MANUFATURA ADITIVA

O desenvolvimento da tecnologia RP ao longo dos últimos anos, fez com que suas aplicações também evoluísse, deixando de se restringir a simples fabricação de protótipos, passando a incluir cada vez mais a produção direta de produtos finais (INFORÇATTI NETO, 2013). Devido a essa inclusão de novas aplicações e devido a omissão do princípio básico dessa tecnologia, a fabricação por adição de material, o termo Prototipagem Rápida passou a ser questionado por seus usuários (GIBSON et al., 2010). Um comitê técnico formado pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) concordou que um novo termo técnico deveria ser

utilizado. Passou a ser adotado pela ASTM, então, o termo Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*).

Assim, a Manufatura Aditiva se refere a tecnologia na qual um modelo, inicialmente gerado através de um programa CAD 3D, pode ser fabricado diretamente sem a necessidade de um planejamento de processo através da superposição de camadas (GIBSON et al., 2010).

Em 2012, foi publicada pela ASTM a norma ASTM F2792–12a (*Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*), onde estão incluídos termos, suas descrições e definições, nomenclatura e siglas associadas a Manufatura Aditiva (AM), com o objetivo de padronizar a terminologia utilizada referente a essa tecnologia.

2.2.1 Etapas do processo da Manufatura Aditiva

Segundo Gibson et al. (2010), todo processo de manufatura aditiva é composto basicamente por oito passos, ilustrados pela Figura 3, que variam de uma tecnologia para outra. São eles:

1) Conceitualização e projeto auxiliado por computador (CAD), onde é feita a descrição completa da geometria da peça, através da modelagem da peça em um software de CAD 3D. Uma outra opção é a utilização de um equipamento de engenharia reversa, como scanner a laser.

2) Conversão do arquivo de desenho para STL. O STL é o formato padrão de arquivo utilizado nas máquinas de AM. A grande maioria dos softwares CAD possuem a opção desse tipo de conversão.

3) Transferência do arquivo para a máquina. Além da transferência do arquivo, pode ser necessário que o usuário faça alguns ajustes, como por exemplo a correção da escala.

4) Ajustes de máquina, realizados sempre antes de se iniciar a fabricação, tais como os ajustes referentes a matéria-prima, altura da camada, regulagem da mesa de impressão, etc.

5) Fabricação da peça. Esta etapa é realizada de forma totalmente automatizada.

6) Remoção e limpeza da peça. O processo de remoção da peça depende muito da tecnologia utilizada. Em alguns casos, pode ser necessário esperar um tempo de cura ou resfriamento da peça antes da retirada.

7) Pós-processamento da peça. Enquanto em algumas tecnologias o material pode ser simplesmente retirado da máquina pronto para sua aplicação, em outras pode ser necessário um pós-tratamento da peça.

8) Aplicação. Esse estágio consiste nos últimos detalhes da peça antes de sua finalização para um uso específico, como a montagem e o acabamento superficial, quando necessários.

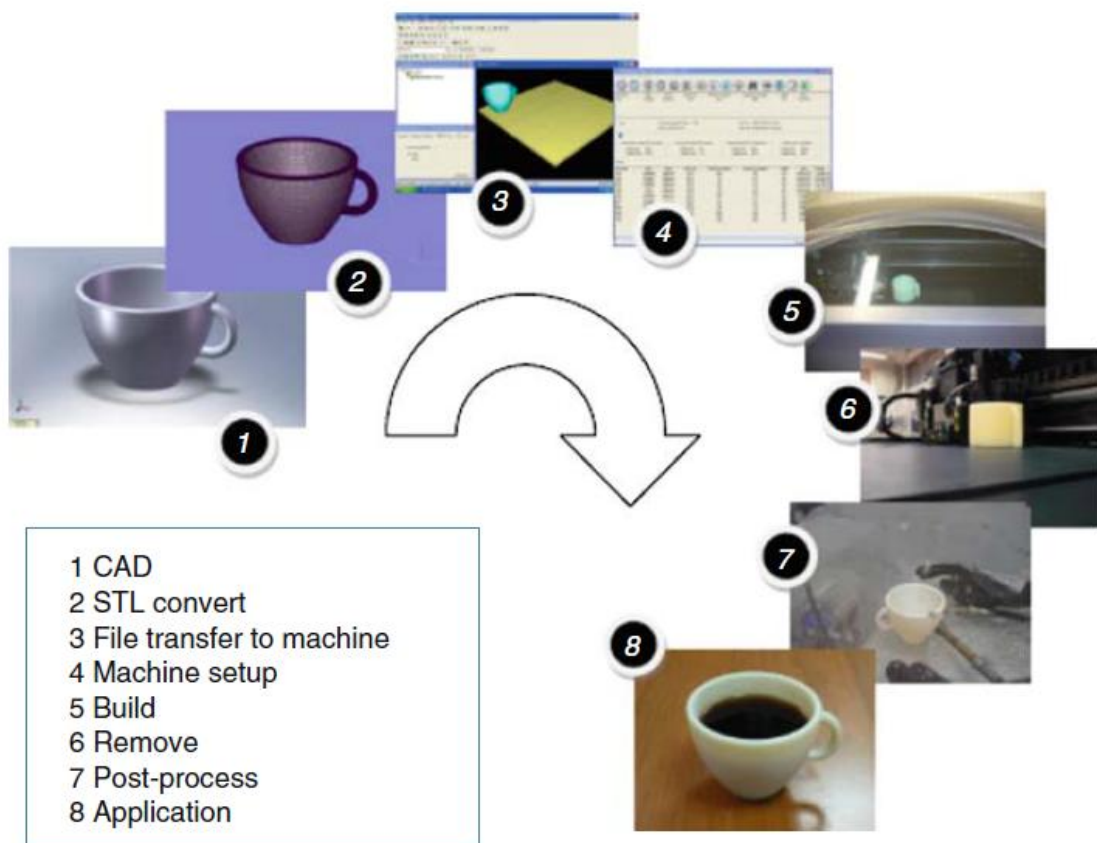


Figura 3 – Processo genérico da manufatura aditiva
 Fonte: Gibson et al. (2010)

2.2.2 Aplicações da Manufatura Aditiva

Segundo Vashishtha et al. (2011), a manufatura aditiva vem sendo utilizada nos mais diversos campos de aplicação, apresentando aproximadamente a divisão (em percentual) do gráfico apresentado abaixo (dados de 2011):

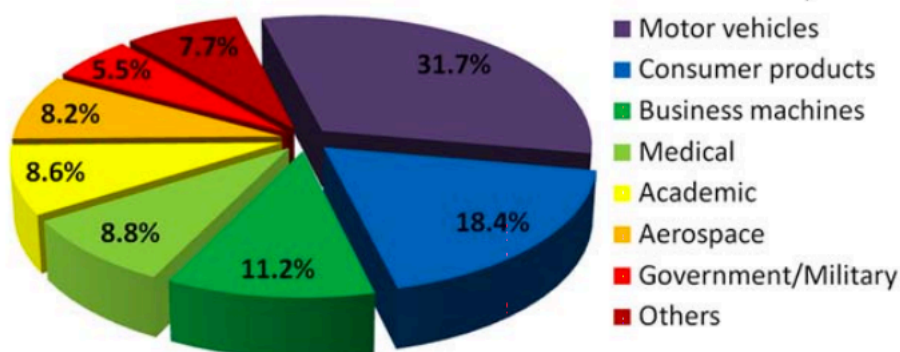


Figura 4 – Divisão das aplicações de AM

Fonte: Vashishtha et al. (2011)

É possível observar que a maior parte das aplicações está no setor de fabricação de peças mecânicas para automóveis que, junto com os bens de consumo, englobam mais da metade de toda a indústria de impressão 3D. Ainda assim é possível observar uma grande diversidade de setores que utilizam essa tecnologia (VASHISHTHA et al., 2011).

2.3 FDM (“FUUSED DEPOSITION MODELING”)

De acordo com Volpato et al. (2007), o processo de manufatura aditiva baseado no FDM utiliza normalmente um filamento termoplástico que é inserido em uma câmara de aquecimento para liquefazer o material, e através de um bico que se movimenta nos eixos X e Y, é depositado esta resina termoplástica com sua primeira camada em uma mesa de temperatura inferior a do material, que se solidifica rapidamente. A movimentação do eixo Z é realizado com a mesa de impressão e uma nova camada de resina é depositada sobre o material solidificado, sucessivamente até que se obtenha o modelo desejado. A Figura 5 ilustra o funcionamento de uma impressora com tecnologia FDM.

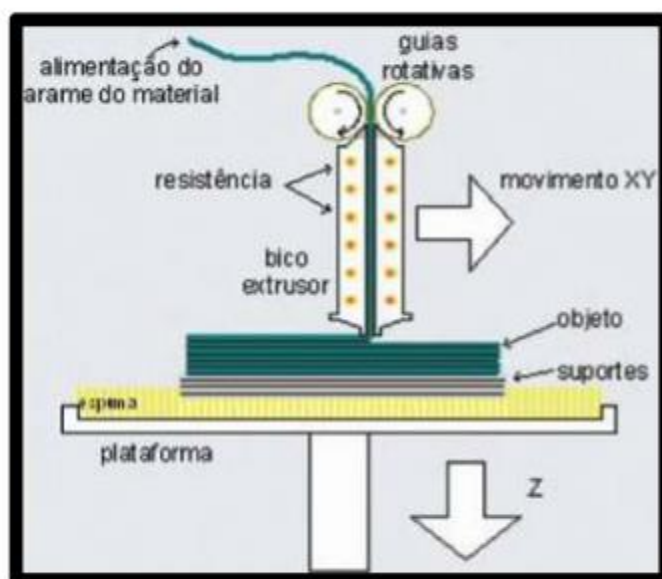


Figura 5 – Esquema de funcionamento da tecnologia FDM
 Fonte: Hotza (2009)

Conforme Grimm (2005), o processo FDM fabrica peças por extrusão de filamentos de polímeros como ABS e Poliamida, aquecidos e com um cabeçote que se movimenta nas coordenadas horizontais X e Y, e para a movimentação na coordenada vertical Z é utilizada uma plataforma que é a mesa de impressão. No cabeçote o filamento termoplástico é direcionado por guias rotativas que então é aquecido pelo bico extrusor. Podem ser utilizados dois bico extrusor, um para o material do objeto 3D e outro para o material de suporte para fabricação. Ao final de cada camada a plataforma se movimenta para baixo com a distância igual a da espessura do filamento que está sendo depositado, até a formação do objeto.

Segundo Volpato et al. (2007), é possível escolher o material de suporte de acordo com duas propriedades. O material-suporte sendo mais frágil que o material da peça, conseguindo retirar manualmente com facilidade, ou a forma mais moderna, que é por imersão em solução líquida aquecida. Quando o material-suporte não é retirado por imersão em solução líquida aquecida, é considerado por Volpato et al. (2007) como sendo uma desvantagem, pois para peças de geometria complexa isto pode dificultar ou impossibilitar a remoção deste material.

De acordo com Foggiatto (2005), comparando objetos produzidos por FDM com outras tecnologias de manufatura aditiva, seu acabamento superficial e precisão dimensional são inferior em relação à tecnologias como estereolitografia e sinterização seletiva a laser. Mesmo com estas desvantagens Grimm (2005) afirma

que na maioria das aplicações do objetivo sugerido pela RepRap, a tecnologia FDM apresenta a melhor relação custo-benefício, cabendo uma pós avaliação, porém menciona que esta técnica seria mais eficiente.

2.4 A IMPRESSORA REPRAP

Atualmente, segundo Inforçatti Neto (2013), o mundo passa por uma quarta revolução industrial, denominada “A Era das Máquinas Livres”.

O alto custo das máquinas comerciais de manufatura aditiva e a dificuldade em se ter acesso às suas tecnologias praticamente inviabilizam o uso dessas máquinas em ambientes de pesquisa, de acordo com Inforçatti Neto (2013). Soluções “domésticas” para esse problema começaram a surgir.

O projeto RepRap (*Replicating Rapid-Prototyper*, ou Prototipadora Rápida Replicável) é um projeto colaborativo fundado com o propósito de popularizar o processo de manufatura aditiva, tornando esta tecnologia acessível e livre para o benefício de todos.

O início da revolução do código aberto na impressão 3D se deu quando Adrian Bowyer, fundador do projeto RepRap, iniciou a concepção da primeira impressora 3D de baixo custo em 2004, na Universidade de Bath, Reino Unido. Trata-se de uma impressora de bancada, de código aberto (*open source*) e autoreplicável, ou seja, é capaz de reproduzir grande parte de suas próprias peças.

A tecnologia de manufatura aditiva utilizada nas impressoras RepRap foi baseada na FDM. Porém, devido ao fato do termo FDM ser registrado pela empresa Stratasys Inc., a comunidade RepRap se refere a esta tecnologia por “Fabricação por Filamento Fundido” (FFF – *Fused Filament Fabrication*). Todas essas impressoras possuem uma estrutura base em comum, que é basicamente composta por softwares, parte eletrônica, parte mecânica e a extrusora.

2.5 O MODELO PRUSSA I3

A Prusa i3 (interação 3) é uma impressora 3D desenvolvida pelo grupo original RepRap Prusajr. Este modelo agrupa os conhecimentos obtidos nas duas versões anteriores, assim como nos outros modelos populares de RepRap. O

criador deste projeto foi Josef Prusa, com sua primeira versão em 2010 (Prusa Mendel), a evolução desta impressora foi realizada junto com os usuários e já existem diversas variações deste modelo. O principal objetivo da impressora Prusa é ser a mais objetiva e simples impressora 3D que possa ser construída e tem como características principais a pouca complexidade na construção, facilidade de modificação e simplicidade nos consertos.

2.5.1 Graber i3

Existe uma variação da impressora Prusa i3, batizada de Graber i3, onde a diferença está nas peças da estrutura – algumas das peças do projeto original foi substituída por peças feitas em madeira. Este projeto é adequado para se fabricar as peças da impressora através do corte a *laser* ou de uma máquina de corte CNC simples.

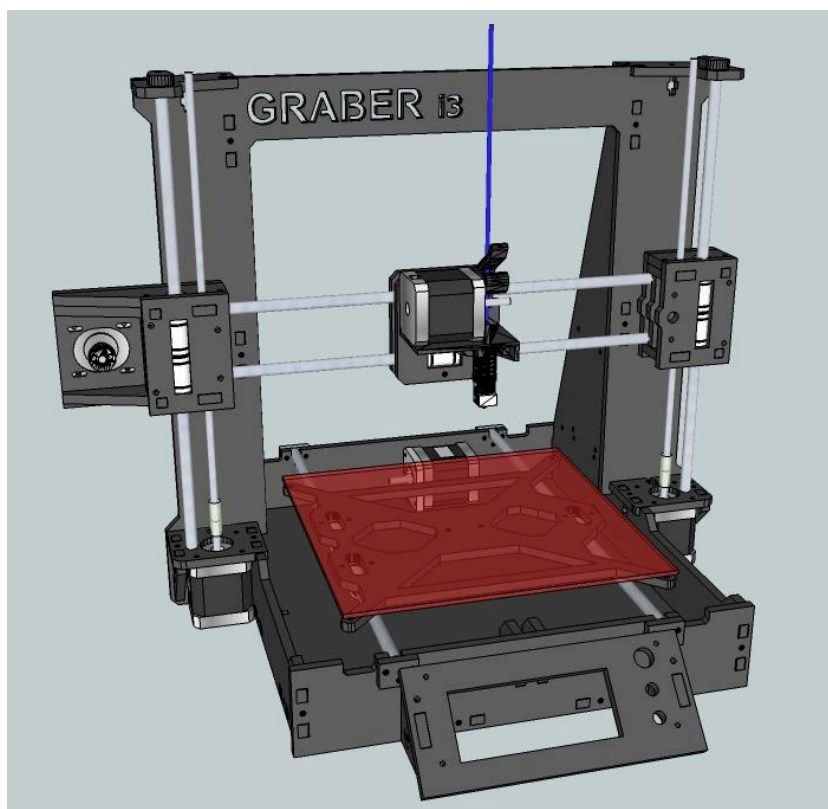


Figura 6 – Impressora Graber i3
Fonte: RepRap.org (2014)

2.6 A MESA AQUECIDA

A mesa da impressora RepRap é o local onde o material será depositado em camadas para a formação da peça, sendo essencial a limpeza e o alinhamento da mesma para uma boa qualidade final da peça. A temperatura da mesa também é um fator muito importante para se obter uma boa impressão.

Durante a impressão, conforme o material depositado esfria, ele sofre uma ligeira contração. Quando esse processo não ocorre uniformemente, tem como resultado uma deformação da peça e conseqüentemente o descolamento desta com a mesa. O aquecimento da mesa permite que a peça impressa se mantenha quente durante o processo de impressão e faz com que a contração do material seja mais uniforme, resultando numa melhora na qualidade da impressão prevenindo a deformação do material. Com isso, a temperatura da mesa pode ser controlada para se adequar a cada tipo de material – cada material necessita de uma temperatura para ter melhor aderência e fixação.

De acordo com Hausman e Horne (2014), a mesa aquecida é constituída de uma superfície plana de madeira ou de alumínio, com uma placa de circuito impresso (PCB) fixada na parte superior que irá atuar como um elemento de aquecimento quando alimentado pelo sistema eletrônico da impressora 3D. Normalmente, é colocada uma placa de vidro de aproximadamente 3 mm de espessura (presa por presilhas) sobre a mesa para a deposição do material extrudado.

O vidro, por possuir uma baixa condutividade térmica, evita picos repentinos ou quedas de temperatura, dando maior estabilidade térmica ao processo. A desvantagem deste material é que, quando muito pesado, pode resultar em problemas na movimentação do eixo Y da máquina.

Devido à baixa condutividade térmica, a temperatura na parte superior do vidro pode ser mais baixa que do lado inferior (em contato com o aquecimento). Esse fato deve ser levado em consideração ao escolher a temperatura da mesa se o termistor estiver abaixo do vidro.

O ajuste da altura e do nivelamento da mesa é feito através da regulagem de quatro conjuntos de porcas e parafusos localizados nos quatro cantos da mesa. Os parafusos são fixados na estrutura da mesa. Em cada parafuso existe uma porca

que serve de apoio para a mesa aquecida. A altura dessas quatro porcas determinarão o posicionamento da mesa na impressora.

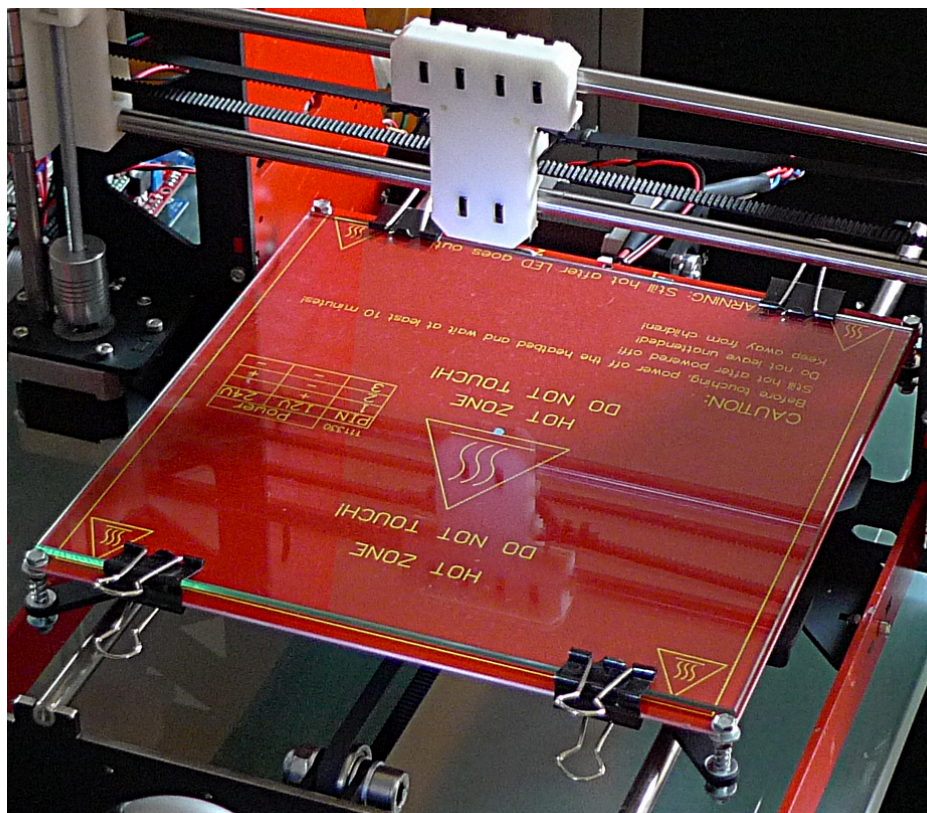


Figura 7 – Mesa aquecida PCB montada com superfície de vidro
Fonte: RepRap.org (2015)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos empregados para realização do estudo proposto, além dos testes estatísticos utilizados para o mesmo.

Durante o experimento, foram testados alguns fatores que não interferiram significativamente no nivelamento da mesa, como a retirada do vidro que é posicionado acima da placa de aquecimento entre uma medição e outra, a mudança nas posições das presilhas de fixação deste vidro, e a desmontagem e montagem do cabeçote extrusor. Portanto, a metodologia apresentada neste capítulo foi realizada levando em consideração um único fator: o aquecimento da mesa de impressão.

3.1 IMPRESSORA UTILIZADA NOS TESTES

Para a realização do estudo foi utilizada uma impressora RepRap modelo Graber i3, comprada e montada pelo Grupo de Impressão 3D (GIP3D) da UTFPR.

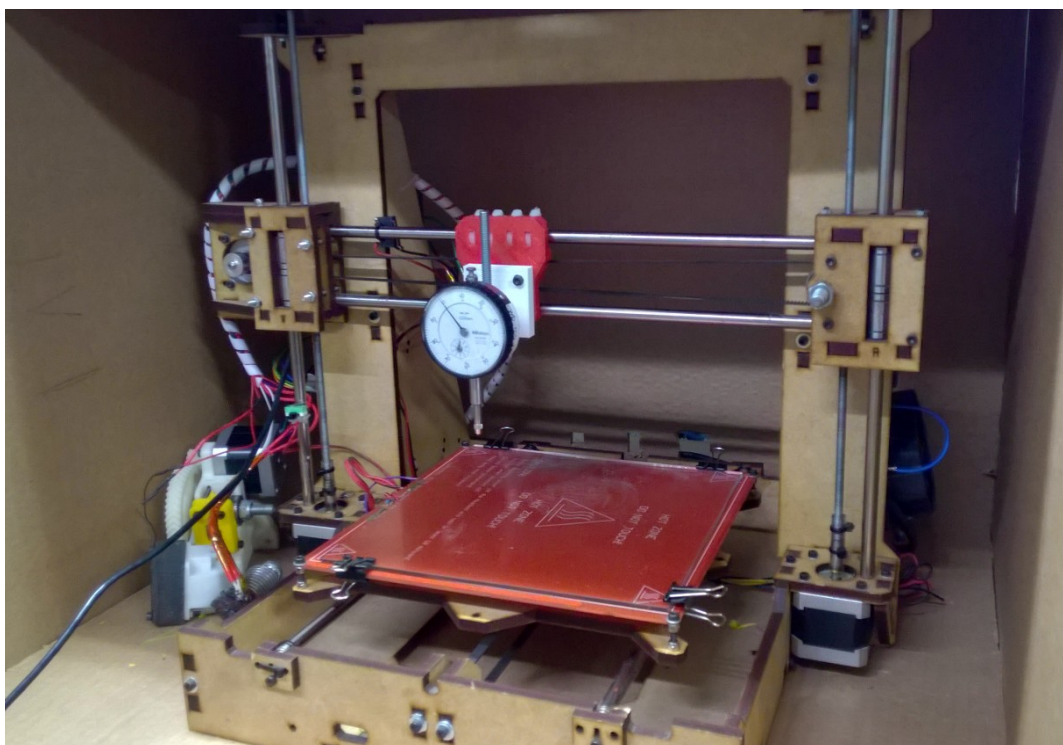


Figura 8 – Impressora utilizada nos testes
Fonte: Autoria própria

Considerando a correta montagem e regulagem da impressora, a movimentação dos eixos da impressora para realizar as medições nos pontos desejados foi feita utilizando o comando manual da máquina através do Software Repetier-Host. O acionamento do aquecimento da mesa e a determinação da temperatura de aquecimento também foram feitos através desse software.

3.2 SOFTWARE REPETIER HOST

O Repetier-Host é um software simples de se usar, compatível com a maioria dos firmwares existentes. Dentre muitas outras funcionalidades, ele permite que o usuário controle manualmente alguns parâmetros da impressora – como a movimentação dos eixos e aquecimento da mesa, utilizados neste trabalho. A Figura 9 mostra a janela de controle manual (Manual Control) do programa.

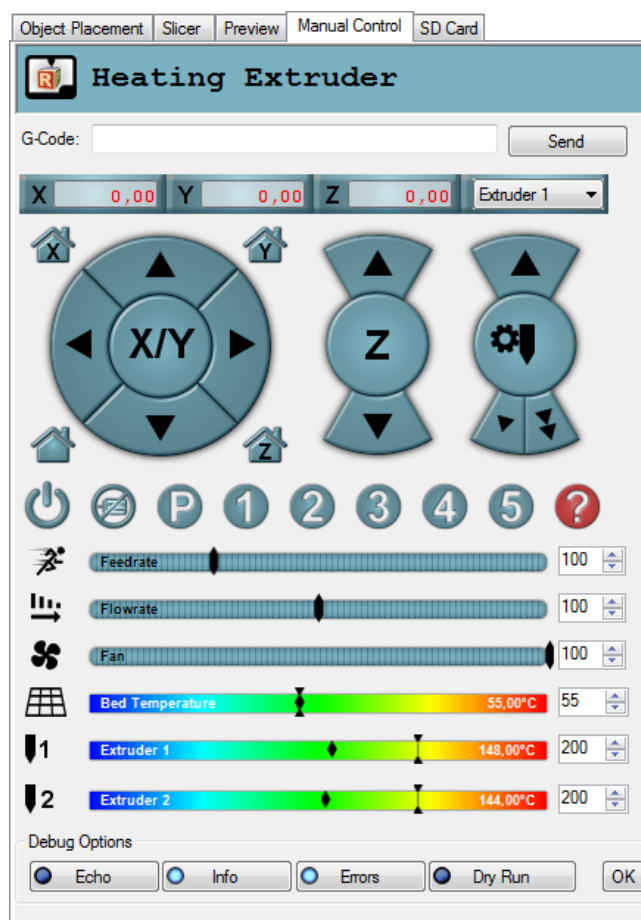


Figura 9 – Controle Manual
Fonte: Software Repetier Host

Através do bloco indicado na Figura 10 é possível movimentar os eixos da impressora e controlar o posicionamento do carrinho da extrusora, clicando nas setas correspondentes a cada eixo. Cada clique corresponde a um movimento da extrusora. A distância em mm deste movimento é determinada através do valor que aparece quando o cursor passa sobre a seta de movimentação.

É possível visualizar a posição atual da extrusora em X, Y e Z indicada nas caixas acima das flechas. Os números em vermelho indicam que o programa não reconhece a posição correta da extrusora. É necessário clicar no botão HOME (que pode ser feito individualmente para cada eixo) para mover a extrusora até sua posição de origem (X0 Y0 Z0). A partir disso o programa reconhece as coordenadas corretas de origem da impressora e os números ficam na cor preta. Caso seja necessário mudar o posicionamento da extrusora (zero máquina) é preciso movimentar o sensor fim-de-curso do eixo desejado e realizar novamente o procedimento de homing.

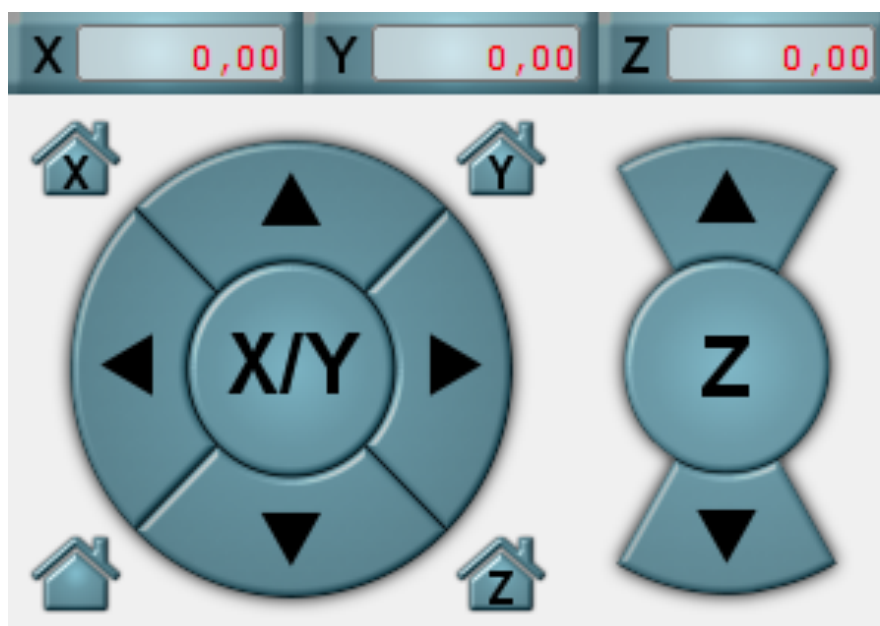


Figura 10 – Botões de Movimentação
Fonte: Software Repetier Host

O bloco mostrado na Figura 11 permite que seja controlada a temperatura da mesa. Ela pode ser regulada tanto digitando o valor (em graus Célsius) no campo de texto a direita, como clicando sobre a curva de temperatura. O aquecimento é ligado ou desligado clicando no ícone da mesa, à esquerda da barra de temperatura (o ícone mostrado está indicando que o aquecimento está ativo).



Figura 11 – Controle de Temperatura
Fonte: Software Repetier Host

A movimentação da extrusora também pode ser executada enviando um comando g-code através do campo mostrado na Figura 12. Para isso, é preciso digitar o comando no campo de texto e clicar em “Send”

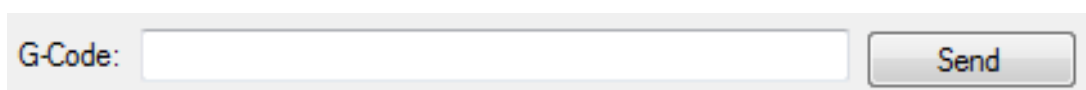


Figura 12 – Movimentação G-Code
Fonte: Software Repetier Host

3.3 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

Para aferir as variações geradas no eixo Z da máquina, foi utilizado um relógio comparador analógico da marca Mitutoyo, com gradação de 0,01 mm.

Para possibilitar a adaptação do relógio comparador na impressora, foi necessário modelar uma peça utilizando o software SolidWorks® e imprimi-la pela própria impressora. Assim, o instrumento foi fixado no lugar do cabeçote extrusor da máquina, podendo movimentar-se através dos eixos X e Y da impressora.

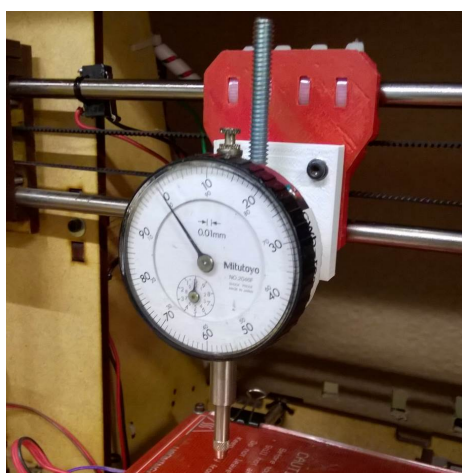


Figura 13 – Adaptação do relógio comparador na impressora
Fonte: Autoria própria

3.4 PROCEDIMENTO

O primeiro passo foi definir os “pontos zeros” – “X0 Y0 Z0” – da máquina (procedimento conhecido como “*homing*” da impressora). Durante esta etapa, foi necessário ajustar a altura do sensor fim-de-curso (*endstop*) do eixo Z para que a mesa exercesse sobre o relógio comparador um deslocamento equivalente a aproximadamente 1 mm.

Após este procedimento, foi definido como o primeiro ponto de medição as coordenadas “X0 Y182 Z0” – os limites da área de impressão na mesa são 200 mm em X e 182 mm em Y. Neste ponto, o relógio comparador foi zerado. Os pontos “X150 Y182 Z0”, “X150 Y32 Z0” e “X0 Y32 Z0” foram os segundo, terceiro e quarto pontos a serem medidos, respectivamente – antes de cada deslocamento entre um ponto e o ponto consecutivo no plano XY, foi feito um deslocamento de 10 mm em Z, evitando o contato da ponta relógio com a mesa durante este processo. Repetiu-se a medição nos pontos, seguindo a sequência descrita.

Em seguida, após realizar novamente o *homing*, foi ligado o aquecimento da mesa – processo realizado antes de cada impressão de peça – antes de realizar nova medição. A temperatura de aquecimento da mesa para esta medição foi de 100°C, pois, segundo Godoy (2016), para imprimir materiais de alta temperatura, como por exemplo, o ABS, recomenda-se que a mesa seja aquecida entre 100°C e 120°C para diminuir o efeito do descolamento da primeira camada devido a contração do material durante seu resfriamento. Após a mesa atingir essa temperatura, foram realizadas 10 medições nos mesmos quatro pontos, seguindo a mesma sequência e com o mesmo número de medições realizado com a mesa a temperatura ambiente.

Com os valores obtidos nas duas condições (mesa a temperatura ambiente e mesa aquecida a 100°C), utilizou-se de duas técnicas estatísticas para compará-los e tirar as conclusões desejadas sobre eles: teste t para comparação de duas médias e teste de análise de variâncias (ANOVA) de fator único, ambos testes de hipóteses.

3.5 TESTE T

O teste t de Student (ou simplesmente teste t) é um teste de hipótese que é utilizado tanto para a comparação entre duas amostras, como para uma amostra e uma população.

Um teste de hipóteses consiste em fazer afirmações sobre parâmetros populacionais e testá-los a fim de comprovar sua veracidade. As hipóteses podem ser testadas de duas formas diferentes: através da comparação entre um valor de t calculado e o valor crítico de t (tabelado) ou através da construção de intervalos de confiança.

De forma resumida, quando o valor calculado de t for maior do que o valor crítico (para o primeiro caso), ou quando o valor zero, isto é, a diferença nula, não estiver contida no intervalo de confiança calculado (para o segundo caso), o teste de hipótese leva à rejeição da hipótese nula. Contrariamente, se o valor calculado for menor do que o valor crítico de t, ou se a diferença nula (valor zero) estiver contida no intervalo de confiança calculado, significa que o teste de hipótese leva a não rejeição da hipótese nula.

Quando não for necessário especificar se um determinado parâmetro é maior ou menor que um determinado valor, é necessário realizar um teste bilateral. A região de rejeição na curva de distribuição t será dividida em duas partes iguais, onde cada região possui metade do nível de significância desejado.

A distribuição t possui um formato que varia em função do número de graus de liberdade da amostra, ou seja, do número de observações que são completamente livres para variar. Quanto maior esse número, menos “espalhada” é a distribuição. A distribuição t se aproxima da distribuição normal quanto maior for o número de graus de liberdade.

Segundo Neto, Scarminio e Bruns (2001), a variável t que segue a distribuição t com N-1 graus de liberdade, definida por:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{N}} \quad (1)$$

A partir dessa distribuição, isolando-se o valor da média populacional (parâmetro a ser comparado), é possível calcular um intervalo de confiança para a média populacional a partir da seguinte equação:

$$\bar{x} - t_{N-1} \frac{s}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{x} + t_{N-1} \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Sendo definidos os termos das equações (1) e (2), conforme abaixo:

\bar{x} é a média da amostra retirada da população;

μ é a média da população;

s é a estimativa do desvio padrão de uma observação;

N é o tamanho das amostras;

3.5.1 Teste T para Duas Amostras Independentes

Ao se empregar o teste t de duas amostras independentes, avalia-se a diferença entre duas médias populacionais μ_1 e μ_2 quando uma amostra de cada população é selecionada aleatoriamente (LARSON, FARBER, 2009).

De acordo com Pestana e Gageiro (2005), esse teste é aplicado quando se deseja comparar as médias de uma variável quantitativa de dois grupos diferentes (sem nenhuma relação entre eles), sem se conhecer as variâncias populacionais dos mesmos. Através do erro padrão (variabilidade da média, em função do tamanho da amostra), observa-se o contraste da diferença entre dois grupos.

Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (2001), este teste é bastante útil quando um único fator é responsável pela diferença sistemática entre as amostras. O mesmo autor apresenta o método para se realizar um teste de hipóteses da diferença entre duas médias amostrais através do cálculo de intervalo de confiança.

Para a realização do teste t, foi adotado o procedimento proposto por Barros Neto et al. (2001), cujo teste de hipóteses é realizado calculando-se o intervalo de confiança para a diferença entre as médias populacionais. Para se comparar duas médias, a expressão do teste t aparece da seguinte forma:

$$t_v = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - (\mu_A - \mu_B)}{s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}}} \quad (3)$$

A partir dessa equação, o intervalo de confiança para a diferença entre duas médias populacionais será:

$$(\mu_A - \mu_B) = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) \pm t_v s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}} \quad (4)$$

Onde:

μ_A é a média da população A.

μ_B é a média da população B.

\bar{x}_A é a média da amostra retirada da população A

\bar{x}_B é a média da amostra retirada da população B

s é a estimativa do desvio padrão de uma observação

N_A e N_B representam o tamanho das amostras A e B respectivamente.

O índice v em t_v indica o número de graus de liberdade do teste:

$$v = N_A + N_B - 2 \quad (5)$$

Para se obter o valor de S^2 , pressupondo que s_A^2 e s_B^2 sejam estimativas da mesma variância populacional, faz-se uma média das variâncias das duas amostras, ponderadas pelos respectivos graus de liberdade

$$S^2 = \frac{(N_A - 1)s_A^2 + (N_B - 1)s_B^2}{(N_A - 1) + (N_B - 1)} \quad (6)$$

Podemos reescrever a Equação 4 para facilitar a visualização do intervalo de confiança:

$$(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - t_v s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}} < (\mu_A - \mu_B) < (\bar{x}_A - \bar{x}_B) + t_v s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}} \quad (7)$$

Tendo como hipóteses:

H_0 (hipótese nula): $\mu_A = \mu_B$

H_1 (hipótese alternativa): $\mu_A \neq \mu_B$

Para que a hipótese nula seja aceita, o intervalo de confiança deve conter o valor zero. Caso contrário, rejeita-se a hipótese de que as médias são estatisticamente iguais, de acordo com a significância estatística avaliada.

3.6 ANOVA

A análise de variância (*Analysis of Variance* - ANOVA) é uma ferramenta que permite realizar comparação global de diversas amostras. Quanto maior for o número de amostras, é possível diminuir a probabilidade do erro amostral. Um dos objetivos desta ferramenta é avaliar se as médias populacionais são iguais, ou se, ao menos uma é diferente, testando se há diferenças significativas entre elas.

Basicamente a ANOVA divide a variação total das observações do experimento em seções de causas controladas/conhecidas e seções com causas não controladas/desconhecidas (erro ou resíduo). Este erro pode estar vinculado a diversos fatores, como manuseio do experimentador, ambiente do experimento, ou até mesmo em função do material utilizado no experimento.

Este método analisa as variações de cada população, em comparação com as médias de todas as populações (teste F).

3.6.1 Considerações

Para aplicação da ANOVA é necessário considerar algumas hipóteses, conforme listadas abaixo:

- Amostras aleatórias e independentes: Por exemplo, no nosso experimento foram utilizados 4 pontos distintos da mesa de impressão, para manter a independência de cada dado obtido.

- Normalidade das amostras: Verificar se as variações realizadas em algum fator geram mudanças na variável de interesse, e se apresentam distribuição normal.
- Populações homocedásticas: Significa que a variação entre uma mesma população deverá ser similar a de outras populações.

3.6.2 Equações

De acordo com Anjos (2005), para aplicar o método da ANOVA, é necessário calcular a soma dos quadrados (SQ), grau de liberdade (GL), quadrados das médias (QM) e a estatística F (teste F).

Abaixo serão apresentadas as equações que foram utilizadas no cálculo da ANOVA.

3.6.2.1 Grau de liberdade (GL)

Para o cálculo do Grau de Liberdade (GL), considera-se I como sendo o número de tratamentos e J o número de repetições. Assim facilmente é possível encontrar o grau de liberdade do tratamento (GL_{trat}), resíduo (GL_{res}) e total (GL_{total}) com as equações abaixo:

$$GL_{trat} = I - 1 \quad (8)$$

$$GL_{res} = I \cdot (J - 1) \quad (9)$$

$$GL_{total} = I \cdot J - 1 \quad (10)$$

3.6.2.2 Soma dos quadrados (SQ)

A soma de quadrados são os desvios de todas as observações em comparação com a média. Para o cálculo da soma de quadrados total (SQ_{total}), utilizamos a seguinte equação:

$$SQ_{total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij}^2 - C \quad (11)$$

Onde y_{ij} é a observação do i -ésimo tratamento na j -ésima unidade experimental ou parcela, e a constante “C” é definida como sendo o fator de correção da soma de quadrados e pode ser calculada conforme equação abaixo:

$$C = \frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij})^2}{I \cdot J} \quad (12)$$

Para a parcela da soma de quadrados referente a todos os efeitos dos tratamentos (SQ_{trat}), é calculado utilizando a equação abaixo:

$$SQ_{trat} = \frac{1}{J} \cdot (T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_I^2) - C \quad (13)$$

Onde T é o efeito dos tratamentos.

E ainda, sabendo que:

$$SQ_{total} = SQ_{trat} + SQ_{res} \quad (14)$$

Facilmente é possível calcular a soma de quadrados dos resíduos (SQ_{res}), somente manipulando a equação acima.

3.6.2.3 Quadrados das médias

Para os quadrados das médias referente à parcela de tratamentos (QM_{trat}), é definida pela equação abaixo:

$$QM_{trat} = \frac{SQ_{trat}}{GL_{trat}} \quad (15)$$

E de forma análoga, os quadrados das médias da parcela dos resíduos (QM_{res}) é apresentada na equação abaixo:

$$QM_{res} = \frac{SQ_{res}}{GL_{res}} \quad (16)$$

Para realizar a comparação das variâncias, é aplicado o Teste F. Que nada mais é do que o quociente entre os quadrados das médias referente à parcela de tratamentos (QM_{trat}) com os quadrados das médias da parcela dos resíduos (QM_{res}). De acordo com a equação abaixo:

$$F = \frac{QM_{trat}}{QM_{res}} \quad (17)$$

3.6.3 Tabela de Resultados ANOVA

Normalmente os resultados da aplicação do método ANOVA é apresentado conforme tabela 1 abaixo:

Causas de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F calculado
Tratamentos	I-1	SQ _{Trat}	QM _{Trat}	QM _{Trat} /QM _{Res}
Resíduo	I (J-1)	SQ _{Res}	QM _{res}	
Total	IJ-1	SQ _{total}		

Fonte: Anjos (2005)

Utilizando as tabelas apresentadas nos ANEXOS B, C, D e E, é comparado o valor F calculado e o valor F tabelado, de acordo com o grau de liberdade do tratamento (v_1) e com grau de liberdade do resíduo (v_2), dependendo do nível de significância desejado.

Caso o valor de F calculado seja maior que F tabelado, então a hipótese de nulidade H_0 é rejeitada, ou seja, existe diferença significativa entre pelo menos um contraste entre médias de tratamentos ao nível de significância escolhidas.

Caso o valor de F calculado seja menor que F tabelado, então a hipótese de nulidade H_0 é real, ou seja, não existe diferença significativa entre tratamentos ao nível de significância escolhida.

Aplicando-se o teste F numa análise de variância, as hipóteses que podem estar sendo testadas são:

H_0 – Não existe diferença entre tratamentos.

H_1 – Pelo menos dois tratamentos diferem entre si.

4 RESULTADO

A tabela abaixo contém os valores obtidos neste experimento medidos nos quatro pontos da mesa, para cada uma das duas temperaturas, com dez amostras de cada situação:

Tabela 2 – Tabela Experimento I

	T ambiente				T 100°C			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1	0,00	0,03	0,05	0,06	0,51	0,58	0,49	0,53
2	0,03	0,03	0,03	0,06	0,55	0,61	0,49	0,52
3	-0,02	0,00	0,02	0,05	0,59	0,63	0,52	0,57
4	0,00	0,04	0,04	0,08	0,58	0,65	0,57	0,58
5	-0,04	0,02	0,07	0,10	0,58	0,65	0,52	0,52
6	-0,01	-0,01	0,05	0,07	0,53	0,64	0,53	0,55
7	0,02	0,03	0,05	0,07	0,57	0,62	0,51	0,54
8	0,03	0,02	0,03	0,06	0,60	0,65	0,56	0,56
9	0,04	0,03	0,06	0,05	0,57	0,61	0,57	0,56
10	0,02	0,01	0,05	0,08	0,57	0,62	0,55	0,57
Média	0,01	0,02	0,05	0,07	0,57	0,63	0,53	0,55

Fonte: Autoria própria

4.1 TESTE T PARA COMPARAÇÃO ENTRE DUAS MÉDIAS

Através dos valores obtidos, utilizou-se do teste t para se comparar as médias dos valores de um mesmo ponto (ponto P1, com coordenadas X0 Y182) em temperaturas diferentes para se verificar a existência da variação das médias devido ao aquecimento da mesa.

Aplicando-se as equações 6 e 4, com $t_{18}=3,922$ ($\nu=10+10-2=18$ e 99,9% de confiança, vide anexo A), temos:

$$s^2 = \frac{(N_A - 1)s_A^2 + (N_B - 1)s_B^2}{(N_A - 1) + (N_B - 1)} = \frac{9 \cdot 0,00073 + 9 \cdot 0,00076}{18} = 0,00075$$

$$\begin{aligned} (\mu_A - \mu_B) &= (\bar{x}_A - \bar{x}_B) \pm t_{\nu} s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}} = (0,01 - 0,57) \pm 3,922 \cdot 0,0274 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}} \\ &= -0,56 \pm 0,0481 = [-0,6081, -0,5119] \end{aligned}$$

Portanto, como o intervalo calculado (de 99,9% de confiança) não contém o valor zero, a hipótese nula é rejeitada, ou seja, as médias das duas amostras são diferentes entre si ($\mu_A - \mu_B \neq 0$).

Assim, pode-se concluir que o aquecimento da mesa influenciou significativamente nos valores medidos em Z.

4.2 ANOVA PARA FATOR ÚNICO

Para que fosse possível verificar se a variação no valor de Z foi diferente entre os pontos, isto é, se a altura da mesa variou uniformemente nos quatro pontos medidos, foi aplicado o teste ANOVA através dos valores obtidos com a diferença entre os valores obtidos nos quatro pontos com a mesa a 100°C e a média dos valores medidos a temperatura ambiente, em cada ponto correspondente.

Tabela 3 – Tabela Experimento II

	T = 100°C			
	P1	P2	P3	P4
1	0,50	0,56	0,44	0,46
2	0,54	0,59	0,44	0,45
3	0,58	0,61	0,47	0,50
4	0,57	0,63	0,52	0,51
5	0,57	0,63	0,47	0,45
6	0,52	0,62	0,48	0,48
7	0,56	0,60	0,46	0,47
8	0,59	0,63	0,51	0,49
9	0,56	0,59	0,52	0,49
10	0,56	0,60	0,50	0,50
Soma	5,55	6,06	4,81	4,80

Fonte: Autoria própria

Aplicando-se os valores da tabela nas equações apresentadas na seção 2.6.2, obteve-se os seguintes valores:

$$SQ_{Total} = (0,50^2 + 0,56^2 + 0,44^2 + \dots + 0,50^2) - \frac{(5,55 + 6,06 + 4,81 + 4,80)^2}{40}$$

$$= 0,133$$

$$SQ_{Trat} = \frac{5,55^2 + 6,06^2 + 4,81^2 + 4,80^2}{10} - \frac{(5,55 + 6,06 + 4,81 + 4,80)^2}{40}$$

$$= 0,113$$

$$SQ_{Res} = SQ_{Total} - SQ_{Trat} = 0,133 - 0,113 = 0,020$$

$$QM_{Trat} = \frac{0,113}{4-1} = 0,0377$$

$$QM_{Res} = \frac{0,020}{4(10-1)} = 0,0006$$

$$F_c = \frac{0,0377}{0,0006} = 62,83$$

A tabela a seguir apresenta o resultado da aplicação do teste ANOVA:

Tabela 4 – Resultado ANOVA

	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médias	F calculado
Tratamentos	4-1=3	0,113	0,0377	62,83
Resíduo	4(10-1)=36	0,020	0,0006	
Total	4x10-1=39	0,133		

Fonte: Autoria própria

Na tabela de F a 1% de probabilidade, com 3 e 36 graus de liberdade, o valor de F encontra-se entre 4,31 e 4,51 (a tabela utilizada não apresenta o valor exato para 3 e 36 graus de liberdade). Como $F_{calculado} > F_{tabelado}$, pode-se concluir que, ao nível de 1% de probabilidade, ao menos um dos pontos possui uma variação diferente dos demais pontos.

Portanto é correto afirmar que a variação da altura da mesa em relação ao plano XY da máquina ocorrida devido ao aquecimento não ocorre uniformemente em todos os pontos, fato que dificulta ainda mais o nivelamento inicial da mesa.

5 CONCLUSÃO

Pôde-se observar estatisticamente que a influência da temperatura da mesa é um fator que foi relevante na variação da altura do eixo Z durante o trabalho, confirmado pela aplicação do teste t nos valores encontrados durante as medições. Após zerar o relógio comparador no início do experimento com a mesa a temperatura ambiente e aquecer a mesa até a temperatura de 100°C (temperatura aproximada da mesa para impressão), foi constatado um aumento na altura da mesa (valor da coordenada em Z do plano da mesa) bastante significativo (bem acima da espessura de camada), o que influencia diretamente na qualidade na impressão de uma peça.

Além disso, também foi concluído que a variação da altura do eixo Z não ocorre uniformemente em todos os pontos do plano XY – o teste ANOVA indicou que há uma diferença estatística em pelo menos dois pontos medidos.

O resultado do experimento apresentado nos mostra que existe uma variação na altura medida no eixo Z (distância entre a mesa e o bico extrusor) ocasionado pelo aquecimento da mesa de impressão, tornando útil para o desenvolvimento e fabricação da impressora que seria utilizada neste estudo (impressora em desenvolvimento pelo GIP3D), uma vez que as duas impressoras apresentam exatamente o mesmo sistema de aquecimento da mesa, com as mesmas peças e materiais.

As variações existentes na altura podem ter acontecido por diversos fatores, como por exemplo a dilatação de componentes da mesa (superfície e parafusos de regulagem). A distribuição de calor no vidro da superfície da mesa pode não ter acontecido uniformemente, resultando na dilatação desuniforme entre os pontos mensurados. O aquecimento da mesa também pode ter ocasionado o aumento da temperatura de outros componentes da impressora, como nos parafusos utilizados para a movimentação do eixo Z, motores de passo e guias dos eixos.

Uma possível solução para o problema encontrado seria a realização do ajuste (nivelamento) da mesa após o aquecimento da mesma. Porém, há o risco de queimadura para o usuário. Além disso, as repetições do processo de aquecimento e resfriamento da mesa podem fazer com que surjam diferentes fontes causadoras da variação dos valores no eixo Z da máquina, sendo necessário realizar

periodicamente a regulagem do nivelamento da mesa. Assim, torna-se justificável a utilização do sistema de autonivelamento da mesa (compensação na altura do eixo Z durante a execução do programa de impressão), pois a mesa de impressão com aquecimento utilizada neste trabalho será a mesma na impressora a ser desenvolvida pelo GIP3D.

REFERÊNCIAS

ANJOS, Adilson dos. Planejamento de experimentos I, 2005. Disponível em <<https://docs.ufpr.br/~aanjos/CE213/apostila.pdf>>. Acesso em: 28 de set. de 2016.

ASTM. **ASTM Standard F2792 - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**, ASTM International, 2010.

BARROS NETO, Benício de; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, SP : Editora da Unicamp. 2001.

CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I. **Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age**. Rapid Prototyping Journal, v.18, n.4, p.255-258, 2012.

CLIEVER TECNOLOGIAS. **Impressora 3D Cliever CL1: Calibrando a impressora**. Disponível em <<http://cliever.hospedagemdesites.ws/cliever/arquivos/manuais/calibracao.pdf>>. Acesso em: 09 de nov de 2015.

FOGGIATTO, J. A. **Utilização do processo de modelagem por fusão e deposição (FDM) na fabricação rápida de insertos para injeção de termoplásticos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, março, 2005.

GIP3D. Disponível em <<http://gip3d.com.br/>>. Acesso em: 20 nov 2015.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer Heidelberg Dordrecht London, 2010.

GODOY, Anderson. **O que fazer quando a impressão não adere na mesa?**, 2016. Disponível em <<http://filamentos3dbrasil.com/index.php/2016/03/16/oque-fazer-quando-a-impressao-nao-adere-na-mesa/>>. Acesso em: 17 de set de 2016.

GRIMM, T. **Choosing the Right RP System: A study of seven RP systems**, 2005.

HAUSMAN, Kalani Kirk; HORNE, Richard. **3D Printing For Dummies**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.

HOTZA D. **Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido**. Revista Matéria, v. 14, n. 4, pp. 1101 – 1113, 2009.

INFORÇATTI NETO, P. **Estudo da viabilidade técnica e projeto de um mini-cabeçote de extrusão com rosca para impressoras tridimensionais portáteis**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2013.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4 ed. São Paulo: Pearson, 2009.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS**. 4. ed. Lisboa: Edições Silabo, 2005.

RAJA, I., FERNANDES, V.J. **Reverse engineering: an industrial perspective**. London: Springer-Verlag, pp.1-8, 2008 (ISBN: 978-1-84628-855-5).

REPRAP COMMUNITY. Disponível em <<http://www.reprap.org>>. Acesso em: 22 de novembro de 2015.

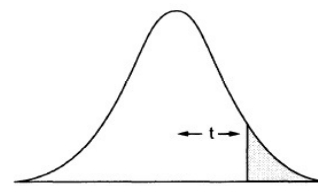
STRATASYS INC. (Minneapolis). Steven Scott Crump. Apparatus and method for creating three-dimensional objects.US n. 5121329, 30 out.1989, 09 jun 1992.

VASHISHTHA, V.K., MAKADE, R., MEHLA, N., “**ADVANCEMENT OF RAPID PROTOTYPING IN AEROSPACE INDUSTRY - A REVIEW**”, International Journal of Engineering Science and Technology, v.3, n.3, pp. 2486-2493, Março 2011. Disponível em: <<http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-03-232.pdf>>. Acesso em: 21 novembro 2015.

VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo. Edgard Blücher. 2007.

ANEXO A - Tabela A.2 – Pontos de probabilidade da distribuição t com v graus de liberdade (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)

Tabela A.2 Pontos de probabilidade da distribuição t com v graus de liberdade.



v	Área de probabilidade									
	0,4	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	0,325	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	127,32	318,31	636,62
2	0,289	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,089	22,326	31,598
3	0,277	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,213	12,924
4	0,271	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,267	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,265	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,263	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,449	4,029	4,785	5,408
8	0,262	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,261	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,260	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,260	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,259	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,259	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,258	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,258	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,258	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,257	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,257	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,257	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,257	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,257	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,256	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,256	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,256	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,256	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,256	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,256	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
28	0,256	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,256	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,256	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,255	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
60	0,254	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
120	0,254	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,253	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

Fonte: Box, G. E. P.; Hunter, W. G., e Hunter, J. S., *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model building*. Nova York, Wiley, 1978. Pearson, E. S. e Hartley, H. O. (eds.), *Biometrika tables for statisticians*, vol. I, Cambridge University Press (1958). Fisher, R. A. e Yates, F., *Statistical tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, Longman Group Ltd. (1974) - Tabela III. Reproduzida com autorização da John Wiley & Sons, Inc; Biometrika Trustees e Longman Group UK Ltd.

ANEXO B - Tabela A.4 – Pontos de porcentagem da distribuição F, 25% (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)



Tabela A.4 Pontos de porcentagem da distribuição F, 25%.

v_1	v_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	1	5,83	7,50	8,20	8,58	8,82	8,98	9,10	9,19	9,26	9,32	9,41	9,49	9,58	9,63	9,67	9,71	9,76	9,80	9,85
2	1	2,57	3,00	3,15	3,23	3,28	3,31	3,34	3,35	3,37	3,38	3,39	3,41	3,43	3,43	3,44	3,45	3,46	3,47	3,48
3	1	2,02	2,28	2,36	2,39	2,41	2,42	2,43	2,44	2,44	2,44	2,45	2,46	2,46	2,46	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
4	1	1,81	2,00	2,05	2,06	2,07	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
5	1	1,69	1,85	1,88	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
6	1	1,62	1,76	1,78	1,79	1,79	1,78	1,78	1,78	1,77	1,77	1,77	1,77	1,76	1,76	1,75	1,75	1,74	1,74	1,74
7	1	1,57	1,70	1,72	1,72	1,71	1,71	1,70	1,70	1,69	1,69	1,68	1,68	1,67	1,67	1,66	1,66	1,65	1,65	1,65
8	1	1,54	1,66	1,67	1,66	1,66	1,65	1,64	1,64	1,63	1,63	1,62	1,62	1,61	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58	1,58
9	1	1,51	1,62	1,63	1,63	1,62	1,61	1,60	1,60	1,59	1,58	1,58	1,57	1,56	1,56	1,55	1,54	1,54	1,53	1,53
10	1	1,49	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58	1,57	1,56	1,56	1,55	1,54	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51	1,50	1,49	1,48
11	1	1,47	1,58	1,58	1,57	1,56	1,55	1,54	1,53	1,53	1,52	1,51	1,50	1,49	1,49	1,48	1,47	1,47	1,46	1,45
12	1	1,46	1,56	1,56	1,55	1,54	1,53	1,52	1,51	1,51	1,50	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,45	1,44	1,43	1,42
13	1	1,45	1,55	1,55	1,53	1,52	1,51	1,50	1,49	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,42	1,41	1,40
14	1	1,44	1,53	1,53	1,52	1,51	1,50	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,41	1,40	1,39	1,38
15	1	1,43	1,52	1,52	1,51	1,49	1,48	1,47	1,46	1,46	1,45	1,44	1,43	1,41	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36
16	1	1,42	1,51	1,51	1,50	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,44	1,43	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34
17	1	1,42	1,51	1,50	1,49	1,47	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33
18	1	1,41	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,42	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32
19	1	1,41	1,49	1,49	1,47	1,46	1,44	1,43	1,42	1,41	1,41	1,40	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,30
20	1	1,40	1,49	1,48	1,47	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,29
21	1	1,40	1,48	1,48	1,46	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,28
22	1	1,40	1,48	1,47	1,45	1,44	1,42	1,41	1,40	1,39	1,39	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28
23	1	1,39	1,47	1,47	1,45	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,28	1,27
24	1	1,39	1,47	1,46	1,44	1,43	1,41	1,40	1,39	1,38	1,38	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26
25	1	1,39	1,47	1,46	1,44	1,42	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,27	1,25
26	1	1,38	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	1,39	1,38	1,37	1,37	1,35	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25
27	1	1,38	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,30	1,28	1,27	1,26	1,24
28	1	1,38	1,46	1,45	1,43	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,24
29	1	1,38	1,45	1,45	1,43	1,41	1,40	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,23
30	1	1,38	1,45	1,44	1,42	1,41	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,32	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,24	1,23
40	1	1,36	1,44	1,42	1,40	1,39	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,31	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19
60	1	1,35	1,42	1,41	1,38	1,37	1,35	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15
120	1	1,34	1,40	1,39	1,37	1,35	1,33	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,24	1,22	1,21	1,19	1,18	1,16	1,13	1,10
∞	1	1,32	1,39	1,37	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28	1,27	1,25	1,24	1,22	1,19	1,18	1,16	1,14	1,12	1,08	1,00

Fonte: Box, G. E. P.; Hunter, W. G., e Hunter, J. S., *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model.* Nova York, Wiley, 1978. building. Merrington, M. and Thompson, C. M., *Biometrika* 33, 73 (1943). Reproduzida com autorização da John Wiley & Sons, Inc. e Biometrika Trustees.

**ANEXO C - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 10%
(continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)**

Tabela A.4 Pontos de percentagem da distribuição F, 10% (continuação).

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,91	59,44	59,86	60,19	60,71	61,22	61,74	62,00	62,26	62,53	62,79	63,06	63,33
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37	9,38	9,39	9,41	9,24	9,44	9,45	9,46	9,47	9,47	9,48	9,49
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25	5,24	5,23	5,22	5,20	5,18	5,18	5,17	5,16	5,15	5,14	5,13
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95	3,94	3,92	3,90	3,87	3,84	3,83	3,82	3,80	3,79	3,78	3,76
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34	3,32	3,30	3,27	3,24	3,21	3,19	3,17	3,16	3,14	3,12	3,10
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98	2,96	2,94	2,90	2,87	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,74	2,72
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,83	2,78	2,75	2,72	2,70	2,67	2,63	2,59	2,58	2,56	2,54	2,51	2,49	2,47
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59	2,56	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32	2,29
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47	2,44	2,42	2,38	2,34	2,30	2,28	2,25	2,23	2,21	2,18	2,16
10	3,29	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38	2,35	2,32	2,28	2,24	2,20	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06
11	3,23	2,86	2,66	2,54	2,45	2,39	2,34	2,30	2,27	2,25	2,21	2,17	2,12	2,10	2,08	2,05	2,03	2,00	1,97
12	3,18	2,81	2,61	2,48	2,39	2,33	2,28	2,24	2,21	2,19	2,15	2,10	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,90
13	3,14	2,76	2,56	2,43	2,35	2,28	2,23	2,20	2,16	2,14	2,10	2,05	2,01	1,98	1,96	1,93	1,90	1,88	1,85
14	3,10	2,73	2,52	2,39	2,31	2,24	2,19	2,15	2,12	2,10	2,05	2,01	1,96	1,94	1,91	1,89	1,86	1,83	1,80
15	3,07	2,70	2,49	2,36	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,06	2,02	1,97	1,92	1,90	1,87	1,85	1,82	1,79	1,76
16	3,05	2,67	2,46	2,33	2,24	2,18	2,13	2,09	2,06	2,03	1,99	1,94	1,89	1,87	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72
17	3,03	2,64	2,44	2,31	2,22	2,15	2,10	2,06	2,03	2,00	1,96	1,91	1,86	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69
18	3,01	2,62	2,42	2,29	2,20	2,13	2,08	2,04	2,00	1,98	1,93	1,89	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66
19	2,99	2,61	2,40	2,27	2,18	2,11	2,06	2,02	1,98	1,96	1,91	1,86	1,81	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,63
20	2,97	2,59	2,38	2,25	2,16	2,09	2,04	2,00	1,96	1,94	1,89	1,84	1,79	1,77	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
21	2,96	2,57	2,36	2,23	2,14	2,07	2,02	1,98	1,95	1,92	1,87	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59
22	2,95	2,56	2,35	2,22	2,13	2,06	2,01	1,97	1,93	1,90	1,86	1,81	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57
23	2,94	2,55	2,34	2,21	2,11	2,05	1,99	1,95	1,92	1,89	1,84	1,80	1,74	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59	1,55
24	2,93	2,54	2,33	2,19	2,10	2,04	1,98	1,94	1,91	1,88	1,83	1,78	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61	1,57	1,53
25	2,92	2,53	2,32	2,18	2,09	2,02	1,97	1,93	1,89	1,87	1,82	1,77	1,72	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52
26	2,91	2,52	2,31	2,17	2,08	2,01	1,96	1,92	1,88	1,86	1,81	1,76	1,71	1,68	1,65	1,61	1,58	1,54	1,50
27	2,90	2,51	2,30	2,17	2,07	2,00	1,95	1,91	1,87	1,85	1,80	1,75	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57	1,53	1,49
28	2,89	2,50	2,29	2,16	2,06	2,00	1,94	1,90	1,87	1,84	1,79	1,74	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52	1,48
29	2,89	2,50	2,28	2,15	2,06	1,99	1,93	1,89	1,86	1,83	1,78	1,73	1,68	1,65	1,62	1,58	1,55	1,51	1,47
30	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85	1,82	1,77	1,72	1,67	1,64	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46
40	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79	1,76	1,71	1,66	1,61	1,57	1,54	1,51	1,47	1,42	1,38
60	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74	1,71	1,66	1,60	1,54	1,51	1,48	1,44	1,40	1,35	1,29
120	2,75	2,35	2,13	1,99	1,90	1,82	1,77	1,72	1,68	1,65	1,60	1,55	1,48	1,45	1,41	1,37	1,32	1,26	1,19
∞	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63	1,60	1,55	1,49	1,42	1,38	1,34	1,30	1,24	1,17	1,00

Fonte: Box, G. E. P.; Hunter, W. G., e Hunter, J. S., *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model.* Nova York, Wiley, 1978. building. Merrington, M. and Thompson, C. M., *Biometrika* 33, 73 (1943). Reproduzida com autorização da John Wiley & Sons, Inc. e Biometrika Trustees.

ANEXO D - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)

Tabela A.4 Pontos de percentagem da distribuição F, 5% (continuação).

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

ANEXO E - Tabela A.4 – Pontos de percentagem da distribuição F, 1% (continuação) (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001)

Tabela A.4 Pontos de percentagem da distribuição F, 1% (continuação).

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,42	99,43	99,45	99,46	99,47	99,47	99,48	99,49	99,50
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,23	27,05	26,87	26,69	26,60	26,50	26,41	26,32	26,22	26,13
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,55	14,37	14,20	14,02	13,93	13,84	13,75	13,65	13,56	13,46
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16	10,05	9,89	9,72	9,55	9,47	9,38	9,29	9,20	9,11	9,02
6	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,56	7,40	7,31	7,23	7,14	7,06	6,97	6,88
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,47	6,31	6,16	6,07	5,99	5,91	5,82	5,74	5,65
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,67	5,52	5,36	5,28	5,20	5,12	5,03	4,95	4,86
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,11	4,96	4,81	4,73	4,65	4,57	4,48	4,40	4,31
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,71	4,56	4,41	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00	3,91
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,40	4,25	4,10	4,02	3,94	3,86	3,78	3,69	3,60
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,16	4,01	3,86	3,78	3,70	3,62	3,54	3,45	3,36
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,82	3,66	3,59	3,51	3,43	3,34	3,25	3,17
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,66	3,51	3,43	3,35	3,27	3,18	3,09	3,00
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,52	3,37	3,29	3,21	3,13	3,05	2,96	2,87
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,55	3,41	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,84	2,75
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,60	3,46	3,31	3,16	3,08	3,00	2,92	2,83	2,75	2,65
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,37	3,23	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,66	2,57
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,30	3,15	3,00	2,92	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,23	3,09	2,94	2,86	2,78	2,69	2,61	2,52	2,42
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40	3,31	3,17	3,03	2,88	2,80	2,72	2,64	2,55	2,46	2,36
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,98	2,83	2,75	2,67	2,58	2,50	2,40	2,31
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,93	2,78	2,70	2,62	2,54	2,45	2,35	2,26
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	3,03	2,89	2,74	2,66	2,58	2,49	2,40	2,31	2,21
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,85	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	2,99	2,85	2,70	2,62	2,54	2,45	2,36	2,27	2,17
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	2,96	2,81	2,66	2,58	2,50	2,42	2,33	2,23	2,13
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,39	3,26	3,15	3,06	2,93	2,78	2,63	2,55	2,47	2,38	2,29	2,20	2,10
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,90	2,75	2,60	2,52	2,44	2,35	2,26	2,17	2,06
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09	3,00	2,87	2,73	2,57	2,49	2,41	2,33	2,23	2,14	2,03
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,84	2,70	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,66	2,52	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92	1,80
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,50	2,35	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56	2,47	2,34	2,19	2,03	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,18	2,04	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,32	1,00