

**FACULDADE DE CIÊNCIAS – CAMPUS DE BAURU**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA**

**UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA**  
**CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE**  
**CIÊNCIAS**

Leonardo De Conti Dias Aguiar

Bauru  
2016

Leonardo De Conti Dias Aguiar

UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA  
CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência (Área de Concentração: Ensino de Ciências), sob a orientação do Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa.

Bauru

2016

Aguiar, Leonardo De Conti Dias.

Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências / Leonardo De Conti D. Aguiar, 2016  
226 f. : il.

Orientador: Wilson Massashiro Yonezawa

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2016

1. Tecnologia de impressão 3D. 2. Instrumentação para o ensino de ciências. 3. Material didático. 4. Formação de Professores. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

**Leonardo De Conti Dias Aguiar**

**UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA  
CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE  
CIÊNCIAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência (Área de Concentração: Ensino de Ciências), sob a orientação do Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa.

**Banca examinadora**

Presidente e orientador: Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa (Unesp/Bauru - SP)

2º Examinador: Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho (Unesp/Presidente Prudente - SP)

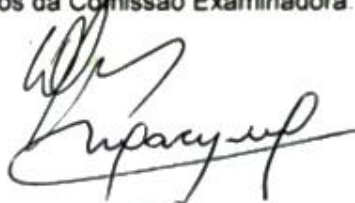
3º Examinador: Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR/Ponta Grossa-PR)

Bauru, 23 de fevereiro de 2016

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de Leonardo de Conti Dias Aguiar, discente do Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência, da Faculdade de Ciências.**

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2016, às 09:30 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-graduação da FC, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA do(a) Departamento de Computação / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. AWDRY FEISSER MIQUELIN do(a) DAENS / Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de Leonardo de Conti Dias Aguiar, intitulada **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA



Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO

Prof. Dr. AWDRY FEISSER MIQUELIN



## **Agradecimentos**

À minha esposa, Camila, pelo carinho, compreensão e companheirismo durante todo o tempo de realização desta pesquisa.

Aos colegas de licenciatura, Lucas e Maicon, pelas conversas que semearam as ideias que originaram a esta pesquisa.

Ao meu orientador, Wilson, por aceitar orientar este trabalho e colaborar com o desenvolvimento dele.

Aos professores que compuseram a Banca, Moacir e Awdry, por terem dedicado tempo para avaliar este trabalho e apontar importantes melhorias.

Aos participantes da Oficina de construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D, pois possibilitam a coleta de valiosos dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores das disciplinas cursadas no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, pois suas aulas contribuíram com a construção do conteúdo deste trabalho.

## Resumo

AGUIAR, L. C. D. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2016.

Esta dissertação trata de uma pesquisa empírica sobre a utilização da tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências. A crescente disponibilidade da tecnologia de impressão 3D abriu oportunidades de explorações em novas áreas, como a educação. Considerando as oportunidades de uso dessa tecnologia para a criação de materiais didáticos, este trabalho mostra como tal tecnologia pode ser utilizada por professores em formação e professores em serviço. Desta forma, um processo prático foi proposto e avaliado por meio de uma oficina. O processo consiste em 6 etapas distintas: identificação das necessidades de ensino por meio da seleção de conteúdos e conceitos científicos; desenvolvimento do plano de construção do instrumento didático desejado; elaboração de rascunhos considerando as dimensões físicas do objeto a ser construído; modelagem 3D do objeto utilizando *softwares* de desenho ou buscando por modelos prontos; preparação e impressão do modelo 3D na impressora 3D; utilização e avaliação do objeto real gerado. Esse processo foi apresentado e ensinado para alunos de licenciatura construírem instrumentos didáticos em uma oficina. A análise dos dados coletados nessa oficina por meio de observações, entrevistas e questionários mostram que: o processo pode guiar sobre quais são os passos a serem percorridos para construir instrumentos didáticos utilizando impressoras 3D; ocorrem situações estimuladoras ao aprendizado durante as construções; o uso desta tecnologia pode colaborar com o desenvolvimento da instrumentação para o Ensino de Ciências. Concluiu-se que, para se realizar o uso dessa tecnologia, é preciso que o professor desenvolva novas habilidades, como: planejar a construção de objetos levando em conta restrições técnicas das impressoras 3D, aprender a desenhar em *softwares* de modelagem 3D, preparar o modelo 3D para que a impressora 3D o construa (etapa denominada fatiamento) e a utilizar recursos informacionais para compartilhar e reutilizar modelos 3D de instrumentos didáticos criado por outras pessoas. Essa pesquisa contribui com o Ensino de Ciências, uma vez que: fornece uma forma sistemática para utilização da tecnologia de impressão 3D na educação; acrescenta novo conhecimento sobre o tema em uma área onde a literatura é escassa; abre oportunidades para que o conhecimento gerado por meio dos instrumentos didáticos construídos utilizando o processo proposto possa ser compartilhado com outros professores.

**Palavras-chaves:** tecnologia de impressão 3D, instrumentação para o Ensino de Ciências, material didático, formação de Professores.

## Abstract

AGUIAR, L. C. D. **A process to use the 3D printing technology in the building of educational tools for science teaching.** Dissertation (Master's Degree in Education for Science) – Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2016.

This thesis is an empirical research on the use of 3D printing technology in the construction of didactic tools for science teaching. The growing availability of 3D printing technology has opened exploration opportunities in new areas such as education. Considering the opportunities of this technology for the creation of teaching materials, this study shows how such technology can be used in the teacher education and by teachers in service. So, a practical process was proposed and evaluated by its use in a workshop. The process consists in 6 distinct stages: identification of educational needs through the selection of scientific content and concepts; development of the construction plan of the desired teaching tool; preparation of drafts considering the physical dimensions of the object to be built; 3D modeling of the object using drawing software or searching for 3D models created by others; preparation and printing of the 3D model in the 3D printer; use and evaluation of the real object generated. This process was presented and taught for undergraduate students for them build didactic tools during a practical workshop. The analysis of the collected data in this workshop through observations, interviews and questionnaires show that: the process can guide on which are the steps to be taken to build teaching tools using 3D printers; during the constructions occurs situations that stimulate the learning; the use of this technology can contribute to the development of instrumentation for Science Teaching. It was concluded that to do the use of this technology, it is required that the teacher develop new skills, such as planning the construction of objects taking into account technical constraints of 3D printers, learn to draw in 3D modeling software, prepare the 3D model to the 3D printer build it (step called slicing) and use IT resources to share and reuse 3D models of didactic tools created by others. This research contributes to the Teaching of Science, because: it provides a systematic way to use 3D printing technology in education; adds new knowledge on the subject in an area where the literature is scarce; It opens opportunities for knowledge generated through the teaching tools built using the proposed process can be shared with other teachers.

**Keywords:** 3D printing technology, instrumentation for science education, teaching materials, Teacher education.



## Lista de Ilustrações

Figura 2.1 – Passos percorridos na realização do estudo.	31
Figura 3.1 – Engrenagem sendo construída na manufatura aditiva (impressão3D).	37
Figura 3.2 – Bloco sendo esculpido para formar um objeto (usinagem).	37
Figura 3.3 – Esquema do aparato registrado por Hull (1984) como estereolitografia.	48
Figura 3.4 – Impressora 3D de estereolitografia modelo Projet 7000.	48
Figura 3.5 – Esquema do aparato registrado por Crump (1989).	39
Figura 3.6 – Impressora 3D FDM modelo Mojo.	39
Figura 3.7 - RepRap 1.0 "Darwin".	40
Figura 3.8 - Gráficos gerados por <i>softwares</i> que trabalham com expressões algébricas (CAS).	42
Figura 3.9 - Gráficos matemáticos impressos em 3D para trabalhar as habilidades de visualização 3D.	43
Figura 3.10 – A Prova bebível de Arquimedes.	44
Figura 3.11 – Cochlias de Arquimedes.	44
Figura 3.12 - Molécula de água ergonomicamente projetada com letras em Braille para estudantes cegos.	46
Figura 3.13 - Modelo 3D da estrutura do sistema solar.	47
Figura 3.14 – Roda de Pelton e lente solúvel construída por estudantes utilizando impressoras 3D.	48
Figura 4.1 – Impressoras 3D comparadas.	70
Figura 4.2 - Impressora 3D <i>RepRap Graber i3</i> montada a partir de um kit com as peças.	72
Figura 4.3 - Diferença entre as opções disponíveis para a escolha do preenchimento dos volumes dos objetos.	74
Figura 5.1 - Captura de tela do site <i>Thingiverse</i> , aberto na categoria “ <i>Learning</i> ”.	79
Figura 5.2 - Captura de tela do site <i>MyMiniFactory</i> , aberto na categoria “ <i>Education</i> ”.	80
Figura 5.3 – A <i>Math Gears</i> numa demonstração de uso com duas engrenagens diferentes	81
Figura 5.4 – O experimento “ <i>Pythagorean Theorem</i> ”.	82
Figura 5.5 – Representação <i>Fisher</i> das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno.	84
Figura 5.6 – Representação 3D computacional das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno.	84
Figura 5.7 – Construção da molécula C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> no software <i>Chemsketch</i> .	85
Figura 5.8 – Extensão “ <i>Molecule Importer</i> ” para o <i>software</i> de modelagem 3D <i>SketchUp</i> .	86
Figura 5.9 – Molécula trans-2-buteno sendo redimensionada no <i>SketchUp</i> para caber no volume de impressão da Impressora 3D.	87
Figura 5.10– Preparação para a impressão 3D (fatiamento) da molécula trans-2-buteno no <i>software MatterControl</i> .	88
Figura 5.11 – Molécula trans-2-buteno recém-impressa, ainda com os suportes sob a peça.	88
Figura 5.12 – Moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno impressas e acabadas.	89
Figura 5.13 – Duplo cone fabricado e comercializado por George Adams a partir de 1759.	91
Figura 5.14 – Duplo cone de Desaguliers.	91
Figura 5.15 – Vista lateral do cone no plano inclinado.	92
Figura 5.16 – Diferença das posições do centro de massa do cone no início da rampa (T1) e no topo (T2).	92
Figura 5.17 – Representação da rampa do experimento do duplo cone.	93
Figura 5.18 – Ilustração do Ponto de Contato (PC) com a rampa e do centro de massa (CM) dos duplos cones em rampas diferentes.	94
Figura 5.19 – Vista superior da rampa do experimento do duplo cone e suas medidas.	95
Figura 5.20 – Vista lateral do duplo cone com indicação do deslocamento vertical do centro de massa.	95
Figura 5.21 – Representação plana de um dos cones.	97
Figura 5.22 – Rascunhos desenvolvidos para a rampa.	98
Figura 5.23 – Modelagem 3D da rampa.	99
Figura 5.24 – Modelagem 3D do duplo cone.	101

Figura 5.25 – Captura da tela do <i>Cube Software</i> .	102
Figura 5.26 – Impressão 3D das peças que compõem o experimento do duplo cone.	103
Figura 5.27–Acabamento nas peças impressas.	103
Figura 5.28 – Peso dos objetos impressos.	105
Figura 5.29 – Experimento do duplo cone criado com materiais do dia a dia.	106
Figura 5.30 – Comparação da densidade de material em superfícies opostas do duplo cone.	106
Figura 5.31 – Duplo cone parado na rampa ao ser colocado nela com a superfície mais densa voltada para baixo.	106
Figura 5.32 – Fotograma da subida do duplo cone por toda a rampa.	107
Figura 5.33 – O virote e as soalhas que compõe a balestilha.	108
Figura 5.34 – Determinação do ângulo entre dois astros com a balestilha.	108
Figura 5.35 – Rascunhos das peças da balestilha.	110
Figura 5.36 – Modelagem 3D da balestilha.	110
Figura 5.37 – Impressão 3D e acabamento das peças da balestilha.	110
Figura 5.38 – Balestilha pronta.	110
Figura 6.1 – Etapas do processo de uso da impressão 3D para construir instrumentos didáticos.	114
Figura 6.2 – Digitalização com um scanner 3D.	119
Figura 6.3 – Digitalização com um sensor de movimentos de videogames.	119
Figura 6.4 – Comparação das opções para preparação da impressão de um texto e de um modelo 3D.	122
Figura 7.1 – Participantes criando esboços da balestilha.	131
Figura 7.2 – Foto dos participantes realizando acabamentos nas balestilhas.	139
Figura 7.3 – Soalha projetada com o furo contendo dimensões incompatíveis com o virote.	142
Figura 7.4 – Impressão de superfícies em objetos com baixa densidade de preenchimento.	143
Figura 7.5 – Modelo de célula animal.	146
Figura 7.6 - Roda para o estudo de movimento uniformemente variado.	147
Figura 7.7 – Cones impressos com respingos de filamentos.	148
Figura 7.8 - Modelo de ímã com elementos táteis para ser utilizado no ensino de magnetismo para deficientes visuais.	149
Figura 8.1 – Processo finalizado.	166
Figura 8.2 - Porca de parafuso modelada em 3D pela combinação de um polígono e um círculo.	177
Figura 8.3 - Malha de triângulos que compõem um modelo 3D no formato STL.	178
Figura 8.4 – Exemplo da preparação da impressão de um modelo 3D de um poste, com e sem os suportes em baixo dos elementos em apoio.	180
Figura 8.5 - Capturas de telas com as opções disponíveis nos softwares <i>Cube Software</i> e no <i>Matter Control</i> que preparam os modelos 3D para a impressão.	183
Figura 9.1 – Comparação entre mapas da topografia dos Estados Unidos: modelo utilizado em livros e o modelo físico construído com impressoras 3D.	192

### **Lista de tabelas**

Quadro 4.1 – Comparação de características entre três modelos de impressoras 3D disponíveis à venda no Brasil	71
Quadro 5.1 – Tempo gasto para reconstruir o experimento do duplo cone com a impressora 3D	104
Quadro 5.2 – Custo material segundo o tipo de filamento utilizado	105
Quadro 5.3 - Posição da Soalha 1 no Virote vs. Ângulo Obtido	111

## **Lista de abreviaturas e siglas**

3D: Tridimensional.

ABS: *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (acrilonitrila butadieno estireno).

FDM: *Fused Deposition Modeling* (modelagem por filamento fundido).

FFF: *Fused Filament Fabrication* (fabricação por filamento fundido).

PLA: *Polylactic acid* (ácido polilático).

RepRap: *The Replicating Rapid Prototyper* (prototipador replicante rápido).

STL: *Stereolithography* (estereolitografia).

TIC: Tecnologias da Informação e Comunicação.

## Sumário

Apresentação .....	17
1 Introdução .....	20
1.1 O problema: ausência de um método que oriente a utilização da tecnologia de impressão 3D para criar instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências .....	23
1.2 A importância deste estudo.....	24
1.3 Objetivo .....	25
1.4 Panorama desta pesquisa .....	25
2 Procedimentos metodológicos .....	29
3 Revisão Bibliográfica .....	35
3.1 Atividades experimentais no Ensino de Ciências.....	35
3.2 A tecnologia de impressão 3D.....	37
3.3 A impressão 3D na educação.....	41
3.4 Perspectivas para a educação tecnológica .....	49
3.5 A tecnologia de impressão 3D na educação com um olhar crítico sobre as mudanças na sociedade.....	54
3.6 Os tipos de aprendizagem de Gagné.....	62
4 Preparação Técnica.....	69
4.1 Escolha da técnica de impressão 3D.....	69
4.2 Escolhendo a impressora 3D .....	70
4.3 Escolha de um <i>software</i> de modelagem 3D.....	75
5 Construindo instrumentos didáticos com a Impressão 3D .....	77
5.1 Construção de instrumentos didáticos utilizando modelos 3D compartilhados .....	78
5.2 Modelagem 3D automática de moléculas para o ensino de química.....	83
5.3 Construindo instrumentos a partir “do zero” .....	90
5.3.1 O experimento do duplo cone no plano inclinado .....	91

5.3.2 A reconstrução da balestilha, um antigo instrumento de navegação que pode ser usado no ensino de matemática e astronomia.....	108
6 O processo desenvolvido pela análise das ações realizadas nas construções dos instrumentos didáticos com a impressão 3D .....	114
6.1 Seleção de conteúdos e conceitos científicos .....	115
6.2 Plano de construção levando em conta as restrições da impressora 3D .....	116
6.3 Rascunhos e esboços .....	117
6.4 A modelagem 3D.....	118
6.4.1 A partir de objetos reais.....	118
6.4.2 Modelando desde o início.....	119
6.4.3 Utilizando modelos 3D prontos.....	120
6.5 Imprimindo em 3D .....	120
6.6 Avaliação do objeto impresso.....	123
6.7 Compartilhamento do conhecimento.....	125
7 A Oficina de construção de instrumentos com a impressão 3D.....	127
7.1 Participantes.....	128
7.2 Procedimentos metodológicos .....	128
7.3 Dados registrados sobre a oficina.....	129
7.3.1 Primeiro encontro: introdução à tecnologia de impressão 3D; início do processo: seleção de conteúdos e conceitos, planejamento e rascunho.....	129
7.3.1.1 Conteúdo apresentado.....	129
7.3.1.2 Observações.....	131
7.3.2 Segundo encontro: a modelagem 3D e a impressão de modelos 3D.....	133
7.3.2.1 Conteúdo apresentado.....	133
7.3.2.2 Observações.....	135
7.3.3 Terceiro encontro: acabamentos, avaliação do instrumento impresso e instruções sobre o projeto .....	138
7.3.3.1 Conteúdo apresentado.....	138

7.3.3.2 Observações.....	139
7.3.3.3 Dificuldades e problemas observados nas construções das balestilhas pelos participantes.....	141
7.3.4 Quarto encontro: apresentação dos projetos, entrevistas e questionários.....	145
7.3.4.1 Conteúdo apresentado.....	145
7.4 Os projetos de instrumento didático dos participantes .....	146
7.4.1 Célula animal para o ensino de biologia.....	146
7.4.2 Roda para estudos do movimento uniformemente variado (MUV) .....	147
7.4.3 Modelo de ímã com elementos táteis para auxiliar o ensino de magnetismo para deficientes visuais.....	149
7.5 Entrevistas .....	151
7.6 Questionário aplicado e comentários sobre as respostas .....	154
8 Resultados e discussões .....	157
8.1 Verificação do processo.....	157
8.1.1 A Seleção de conteúdos e conceitos .....	157
8.1.2 O plano de construção e a criação de rascunhos e esboços .....	158
8.1.3 A modelagem 3D.....	160
8.1.4 Imprimindo em 3D .....	162
8.1.5 O uso e avaliação .....	163
8.2 O processo finalizado .....	165
8.3 A utilidade da tecnologia de impressão 3D como ferramenta para construir instrumentos didáticos .....	167
8.3.1 Um mesmo conjunto de ferramentas, várias aplicações.....	167
8.3.2 Custos materiais.....	168
8.3.3 O tempo de trabalho .....	169
8.4 Contribuições à aprendizagem.....	170
8.4.1 Durante a preparação técnica.....	171
8.4.2 Aprendizado de conceitos e princípios durante o plano de construção .....	172

8.4.3 O aprendizado de estratégias para resolver problemas durante a modelagem 3D .....	174
8.4.4 Aprendizagem de geometria e do pensamento em 3D .....	175
8.4.4.1 Durante a modelagem 3D .....	176
8.4.4.2 Na compreensão do código dos arquivos STL .....	177
8.4.4.3 Durante a preparação dos modelos 3D para a impressão .....	179
8.4.5 Aprendizado de conteúdos de física durante a preparação do modelo 3D para a impressão .....	181
8.4.6 Aprendizado por resolução de problemas durante o uso e avaliação do instrumento didático construído com a impressão 3D.....	184
9 Considerações finais .....	187
9.1 Sugestões para novos trabalhos .....	191
9.2 Considerações para novas Oficinas .....	194
Referências .....	197
Glossário .....	201
Apêndices .....	203
Apêndice A – Cartaz de divulgação da oficina enviado a professores.....	203
Apêndice B – Cartaz de divulgação da oficina enviado aos licenciandos.....	204
Apêndice C - Calendário e conteúdo da oficina .....	205
Apêndice D – Erros comuns na modelagem 3D com o SketchUp e que podem provocar falhas na impressão dos objetos .....	206
Apêndice E – Formulários de avaliação das balestilhas.....	208
Apêndice F - Fotos das construções das balestilhas pelos participantes da oficina .....	212
Apêndice G – Formulários de avaliação dos instrumentos criados como projeto.....	220
Apêndice H – Formulários com perguntas sobre a opinião dos participantes sobre o uso da impressão 3D como ferramenta para a instrumentação do ensino.....	223



## Apresentação

Durante a minha licenciatura, foram ministradas aulas da disciplina de “Metodologia e Prática do Ensino de Física”. Nesta disciplina, estudávamos artigos de periódicos científicos que versavam sobre o uso de experimentos no ensino de física, dentre outras atividades. Eram experimentos que nós, futuros professores de Física, poderíamos utilizar em aula para auxílio ao ensino dos conteúdos. Os experimentos eram desde simples demonstrações até atividades investigativas, nas quais os estudantes buscam resolver problemas aplicando os conteúdos de física. Os artigos exemplificavam os experimentos de maneira que instruísem os professores a conseguir reproduzi-los em suas aulas. As instruções eram desde como criar o aparato experimental, muitas vezes usando materiais disponíveis no nosso dia a dia, até relatos de alguns resultados que poderiam advir da aplicação das atividades aos estudantes e sugestões de como o professor poderia lidar com eles.

Além de estudar os artigos sobre experimentos, também discutíamos o motivo de os experimentos serem pouco utilizados. Os motivos variavam desde a falta de conhecimento do professor em como utilizá-los, até o medo deles com resultados equivocados, provenientes de problemas surgidos durante o experimento. Outra barreira era a restrição material como, por exemplo, a ausência de um laboratório equipado na escola, fato que motivava os interessados a criar o próprio experimento com a substituição de alguns objetos por materiais do dia a dia. A construção manual de um experimento exige que o professor saiba ou imagine o método para se criar o experimento. Isso demanda algumas horas buscando diferentes materiais e ferramentas, pois nem sempre estes estão presente no ambiente escolar. Há também o tempo dedicado à construção em si, contudo essa etapa é interessante, já que traz o bônus da aprendizagem para o próprio professor. As dificuldades para criar experimentos, aliadas a outros fatores desmotivadores do ambiente escolar, tais como as longas cargas de horas-aulas, culminam, muitas vezes, nas clássicas aulas de Física, onde os estudantes copiam equações da lousa, memorizam-nas por meio de alguma frase engraçada e as utilizam em exercícios de memorização.

Para preparar melhor os futuros professores em relação à experimentação no ensino, cursamos disciplinas como a “Instrumentação para o Ensino de Física”. Uma das atividades nessas aulas era a prática da construção de instrumentos didáticos de diversas maneiras, desde

a confecção artesanal de uma câmera escura de orifício construída com cartolina preta, até o uso de componentes eletrônicos em experimentos para o ensino da Física Elétrica.

Durante uma dessas aulas, em grupo, criávamos algum experimento que exigia confecção manual. Começamos a discutir sobre aquelas atividades que estávamos realizando, a partir de um pensamento: "Se as impressoras 3D constroem automaticamente objetos tridimensionais a partir de desenhos 3D de computador, então poderíamos desenhar instrumentos didáticos no computador e a própria impressora fabricaria para nós."

Tal ideia deve ter advindo do nosso apreço às tecnologias, ao automatizado, ao robotizado. Principalmente eu, que iniciei minha carreira profissional na informática antes mesmo da Licenciatura em Física, quando ainda cursava o Ensino Técnico em Informática.

Por sermos apreciadores de tecnologia, mantemo-nos sincronizados com o jornalismo tecnológico. Já sabíamos àquela época que a tecnologia de impressão 3D havia deixado de ser exclusividade de empresas de Engenharia e Design em projetos de alto custo. Devido ao surgimento de projetos de impressoras 3D de arquitetura aberta, como as *RepRap*, o custo dessas impressoras 3D é semelhante ao de alguns modelos de *smartphones*, ou até menor. Tal fato tornou essa ferramenta mais acessível às pessoas que desejam utilizá-la de maneira pessoal e educacional.

A partir da ideia e das discussões, veio a dúvida: "Como nós, professores, poderíamos criar instrumentos didáticos com uma impressora 3D?". Foi essa dúvida que motivou esta pesquisa.

## **CAPÍTULO 1**

## 1 Introdução

Baseando-se no caráter tecnológico de cada Era, são inventadas as taxionomias para as culturas, tal como a Idade da Pedra, Idade do Aço e a Revolução Pós-industrial. Sem dúvida estamos hoje na Era da Informação, pois vivemos num mundo em que a tecnologia representa o modo de vida da sociedade. Os conhecimentos tecnológicos, científicos e informacionais deram suporte à vida no meio urbano. A cibernética, automação, engenharia genética, computação eletrônica são alguns dos ícones da sociedade tecnológica que nos envolve diariamente (SILVEIRA; BAZZO, 2009).

Segundo Ponte (2000), as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) tornaram-se uma força determinante do processo de mudança social na nossa sociedade da informação.

Postman (1994) afirma que as tecnologias redefinem até os significados das palavras e, em alguns casos, elas adquirem significado oposto. Uma palavra que parece estar em processo de redefinição de significado, devido à tecnologia, é a palavra “privacidade”, consequência do nível de conexão digital que alcançamos e o quão profundamente ela está inserida na vida das pessoas. Ela fez com que informações particulares fossem distribuídas para o mundo todo na velocidade da luz.

Ponte (2000) ainda destaca que todas essas mudanças vão implicando na necessidade de formação cada vez mais frequente, obrigando, por vezes, a mudanças radicais na própria atividade profissional.

Uma tecnologia emergente com potencial de trazer mais mudanças à sociedade é a técnica chamada hoje de impressão 3D<sup>1</sup>. Essa técnica consiste na construção automatizada de objetos sólidos, camada por camada, a partir de um arquivo digital com a imagem 3D do objeto. Há pouco mais de 10 anos Dimitrov, Schreve e Beer (2004) analisaram alguns potenciais dessa tecnologia. Tais potenciais recentemente têm tido seus feitos frequentemente noticiados no jornalismo. Dentre eles estão o seu uso na medicina para reconstruir partes do corpo humano, como ossos fraturados a partir de imagens de ressonância magnética 3D, na arquitetura para construir maquetes e na prototipagem rápida para a engenharia e design de produtos.

---

1: O termo “Impressão 3D” é relativamente novo; passou a ser um termo que engloba os dispositivos que, controlados por computadores, constroem objetos tridimensionais camada por camada. Essa associação deve-se à similaridade de arquitetura das impressoras 3D, principalmente das que depositam filamento fundido, com a arquitetura das impressoras de papel, que trabalham em duas dimensões.

A tecnologia de impressão 3D também está se estendendo à educação, mas a literatura que discorre sobre seu uso no ensino ainda não é ampla. Dentre os trabalhos publicados, há o do Department for Education (2013), que relatou resultados de um projeto-piloto constituído por 21 escolas do Reino Unido que receberam impressoras 3D e recursos para trabalharem com elas. Dentre as justificativas para realizar o projeto-piloto, havia o fato de que essa tecnologia está em crescente uso em todo o mundo. O relatório também justifica investigar a inclusão da impressão 3D no ensino, devido a facilitar, por exemplo, o estudo de ligações entre as ciências e suas aplicações, pois a impressão 3D possibilita que estudantes e professores criem objetos complexos que envolvam o uso de conceitos de ciências e matemática em seu projeto. A maioria das escolas submetidas ao projeto-piloto relataram que altos níveis de motivação afetaram os alunos e isso gerou um aumento de interesse nos currículos de ciências, tecnologia e matemática. O relatório ainda destacou a necessidade de treinamento de qualidade para professores quando houver a introdução de novas TIC, incluindo abordagens de ensino e tempo livre suficiente para planejar um uso mais efetivo das impressoras 3D.

Knill e Slavkovsky (2013a) utilizaram a impressão 3D para criar provas físicas e para ilustrar ideias, resultados e métodos que o matemático Arquimedes desenvolveu há 2300 anos. Os autores afirmaram que, por eles terem conseguido construir esses antigos projetos com o uso da impressão 3D, essa tecnologia pode levar a uma nova perspectiva ao olhar para a história da matemática e da engenharia, visto que ela possibilita criar modelos para serem utilizados em aula. Além disso, os autores também reconheceram que os modelos físicos são importantes para um aprendizado ativo. A soma desses fatos motiva a criação de repositórios de modelos imprimíveis para serem utilizados como instrumentos didáticos no Ensino de Ciências.

A ideia de repositório virtual já tinha sido apresentada no trabalho de Lipson (2007). Nele, o autor anuncia a criação de um site, o *3dprintables.org*<sup>2</sup>, para que educadores colaborassem com uma biblioteca pública de modelos 3D educacionais. Isso possibilitaria que instituições de ensino, equipadas com impressoras 3D, fabricassem objetos funcionais para atividades práticas utilizando os modelos disponíveis no repositório.

---

2: O site *3dprintables.org* não estava mais em funcionamento quando este trabalho foi escrito. No entanto, há outros sites de compartilhamento de modelos 3D que surgiram, em que existem tanto objetos para a educação como para fins pessoais.

Além do aproveitamento da tecnologia de impressão 3D como ferramenta para fabricar experimentos, Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) investigaram, sob a ótica da teoria do Construcionismo, como a tecnologia de impressão 3D poderia contribuir com o aprendizado. Nesse projeto, 33 estudantes utilizaram impressoras 3D para produzir artefatos que envolviam conhecimentos científicos em sua construção. Dentre os resultados, há o de que estudantes que não demonstravam preocupação com a escola construíram artefatos que envolviam cálculos complexos para conseguir projetá-los dentro dos limites da impressora 3D. No final do trabalho, os autores ressaltaram que o sucesso dos estudantes nesse projeto dependia, também, dos professores terem conhecimento sobre como utilizar a tecnologia de impressão 3D com a mesma finalidade.

Com resultados que podem ser interessantes para o Ensino de Ciências, há o trabalho de Pupo (2008). A autora realizou seis *workshops* com alunos de um curso de arquitetura para analisar a inclusão da técnica de prototipagem rápida no ensino de arquitetura. Os alunos foram instruídos a “desafiar” as restrições das máquinas. Para isso, os estudantes discutiam o processo de modelagem e impressão 3D visando maior aproveitamento de material, tempo de impressão, sustentabilidade e robustez da peça durante a sua concepção.

Essas situações de resoluções de problemas com que os estudantes de arquitetura se depararam ao lidar com os limites das impressoras 3D indica que seria interessante estender o uso dessa tecnologia ao Ensino de Ciências, pois situações de resoluções de problemas podem ser estimulantes ao aprendizado.

### **1.1 O problema: ausência de um método que oriente a utilização da tecnologia de impressão 3D para criar instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências**

A literatura atual que aborda o uso de impressoras 3D na educação apresenta resultados interessantes. No entanto, um professor que quisesse empregar a tecnologia de impressão 3D na criação de algum experimento, dificilmente utilizaria esses trabalhos como guias, uma vez que neles não existem orientações sobre quais são os passos a percorrer para alcançar os resultados.

Alguns trabalhos, como o de Flower e Moniz (2002), chegam a explicar sobre algumas técnicas de impressão 3D e relatam algumas etapas que podem acontecer ao imprimir objetos, como a necessidade de remover suportes construídos automaticamente pelas impressoras e dar acabamento nos objetos. Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) também reúnem algumas considerações técnicas sobre dificuldades que enfrentaram ao empregar essa tecnologia no ensino. Department for Education (2013) sugere algumas perguntas a serem feitas para orientar a escolha de uma impressora 3D para o uso escolar. Contudo, são instruções dispersas, que não ensinam uma estratégia para construir instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências.

A não ser que o interessado em usar essa tecnologia já tenha alguma experiência ou muita afinidade com ela, além de disponibilidade de tempo para explorá-la e, assim, aprender quais são seus percalços, é provável que essa pessoa não consiga utilizá-la. Isso acontece porque muitas tecnologias, como afirma Vicente (2005), não são desenvolvidas visando ter um modo de operação compatível com a intuição humana, podendo ocasionar sentimento de frustração e raiva, com a consequente desistência ou subutilização das mesmas.

Além da ausência de um processo que oriente o uso da impressão 3D na educação, foram observados outros problemas na literatura corrente, contudo, não foram os que motivaram o desenvolvimento dessa pesquisa. Um desses problemas, é a aparente omissão da literatura em relação a discussões sobre consequências negativas dessa tecnologia na sociedade, isto é, eles parecem vê-la sem defeitos. Os trabalhos existentes também não apresentam custos financeiros e estimativas do tempo necessário para alcançar os resultados relatados. Alguns apenas comentam sobre a ordem de grandeza do custo das impressoras, mas não de uma maneira que permita reflexões sobre os custos envolvidos na construção de um instrumento didático com a impressora 3D na escola, em vez de comprá-lo manufaturado ou fazê-lo de maneira artesanal.

## 1.2 A importância deste estudo

A compreensão de como utilizar a tecnologia de impressão 3D para a construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências possibilitou o desenvolvimento de um processo que pode orientar os agentes envolvidos na educação, como os professores e licenciandos, a reproduzir resultados positivos como os relatados nos trabalhos de Department for Education (2013), Knill e Slavkovsky (2013ab) e Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014).

Saber utilizar essa tecnologia nas escolas possibilita transformar as impressoras 3D em pequenas fábricas de instrumentos didáticos a serem utilizados em atividades práticas. Segundo Borges (2002), os professores em geral concordam que a melhoria do ensino passa pelas atividades experimentais, porém raramente as realizam devido a vários motivos. Dentre eles há a falta de recursos materiais e de tempo para o professor planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino. Para superar alguns desses problemas, os professores improvisam aulas práticas e demonstrações com materiais do dia a dia, mas, muitas vezes, eles se desestimulam por causa de resultados alcançados parcialmente. Outro obstáculo às atividades experimentais, segundo Santos; Piassi; Ferreira (2004), é que professores acreditam, dentre outros motivos, que elas são trabalhosas, exigem tempo excessivo, espaço e materiais específicos.

Nesse cenário de dificuldade material para a realização de experimentos, a tecnologia de impressão 3D oferece uma importante contribuição para amenizá-lo. Se houver professores, licenciandos e demais interessados da comunidade sabendo como criar instrumentos didáticos para o ensino, essas pessoas podem compartilhar via internet os modelos 3D desses experimentos. O conjunto desses arquivos forma uma biblioteca, um repositório virtual de modelos imprimíveis para a educação, como Knill e Slavkovsky (2013) e Lipson (2007) sugeriram, bastando ao professor selecionar o instrumento que atende às suas necessidades e acionar a construção numa impressora 3D.

O processo desenvolvido nesta pesquisa orienta o uso de uma TIC no ensino levando em conta o fator humano, pois parte de uma necessidade real: a necessidade de existirem atividades práticas no Ensino de Ciências como forma de contribuir para o aprendizado.



Além de colaborar com o desenvolvimento do trabalho dos professores, a tecnologia de impressão 3D também pode ser utilizada para contribuir para o aprendizado dos estudantes. Department for Education (2013) e Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) apresentaram resultados indicativos de que estudantes podem aprender ao utilizar a impressão 3D na construção de objetos que envolvem conceitos científicos em seu projeto. A construção desses objetos ativa os processos da construção do conhecimento. Para que isso ocorra, ambos os trabalhos ressaltaram que o professor também precisa saber como utilizar essa tecnologia para guiar os estudantes a um uso gerador de aprendizado.

Portanto, o processo desenvolvido nesta pesquisa é importante porque também colabora com a formação dos professores. Ao aprenderem como construir instrumentos didáticos para si, com o objetivo de utilizar em suas aulas, eles podem entender como o aprendizado acontece durante essas construções e ter ideias de como integrar o uso dessa TIC ao seu ensino.

### **1.3 Objetivo**

O propósito desta pesquisa experimental foi compreender como utilizar a impressão 3D para construir instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências. Isto possibilitou o desenvolvimento de um processo para que professores, licenciandos e outros interessados possam fazer o uso dele como um guia, alcançando, dessa forma, o mesmo objetivo.

Complementar a esse objetivo principal, esta pesquisa teve a intenção de examinar a utilidade da tecnologia de impressão 3D como uma ferramenta para a construção de instrumentos didáticos, frente às maneiras tradicionais de criá-los, bem como descrever algumas contribuições ao aprendizado que podem ocorrer ao realizar construções com a impressora 3D.

### **1.4 Panorama desta pesquisa**

Esta pesquisa foi realizada em duas fases. Na primeira, houve um estudo experimental da tecnologia de impressão 3D, onde se buscou a familiarização ao utilizá-la para construir instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências. As ações realizadas nestas construções foram registradas, para que ao final esses registros fossem analisados em busca de ações recorrentes em cada construção. Com isso, um processo pôde ser desenvolvido, contendo a sequência das

etapas percorridas. Na segunda fase da pesquisa, ocorreu a realização da Oficina de Construção de Instrumentos Didáticos com Impressoras 3D. Nesta oficina, licenciandos da Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru criaram instrumentos didáticos utilizando o processo desenvolvido na primeira fase. Para a verificação do processo, foram realizadas observações durante a oficina e aplicados entrevistas e questionários aos participantes.

Ao final das duas fases, os dados coletados foram analisados, os resultados interpretados e o processo pôde ser aprimorado. Também foram desenvolvidas discussões sobre a utilidade da impressão 3D como ferramenta para criar instrumentos didáticos e sobre possíveis contribuições ao aprendizado ocorridas ao realizar essas construções. Essas últimas discussões foram realizadas recorrendo aos resultados presentes na literatura e aos tipos de aprendizado de Gagné (1971).

A seguir, no segundo capítulo, estão descritos os procedimentos metodológicos adotados e as etapas que compuseram as duas fases desta pesquisa.

No terceiro capítulo há a exposição da literatura revisada. É apresentado um pouco da história da tecnologia de impressão 3D e os detalhes de alguns trabalhos publicados sobre o seu uso na educação. Também há uma discussão sobre as perspectivas para a educação tecnológica juntamente a inclusão da tecnologia de impressão 3D. Ademais, são sugeridos tópicos que podem ser utilizados para semear reflexões sobre possíveis consequências dessa tecnologia na sociedade.

Os relatos da primeira fase desta pesquisa iniciam-se no quarto capítulo. Nele é apresentado como foi a preparação técnica para esta pesquisa: a escolha da técnica de impressão 3D, as impressoras e o *software* de modelagem 3D.

No quinto e no sexto capítulo, é mostrado, respectivamente, o registro das construções dos instrumentos didáticos com a impressora 3D e o processo desenvolvido que contém as etapas percorridas durante as construções.

A segunda fase da pesquisa, que consistiu na verificação do processo desenvolvido ao término da primeira fase, é descrita a partir do sétimo capítulo. Nessa parte está o registro dos dados da Oficina de Construção de Instrumentos Didáticos. Dentre as informações, há o relato

dos conteúdos apresentados, observações realizadas durante os encontros presenciais e comentários sobre elas, e as entrevistas e os questionários aplicados aos participantes ao final das atividades.

No oitavo capítulo são apresentados os resultados e as discussões desta pesquisa. Nele também é realizada a avaliação do processo, o que levou a uma nova versão, mais aprimorada. Neste capítulo também há discussões sobre alguns aprendizados que podem ocorrer ao construir instrumentos didáticos com a impressão 3D.

Concluindo a dissertação, no nono capítulo são tecidas algumas considerações sobre a contribuição desta pesquisa ao Ensino de Ciências e indicações para futuros trabalhos.

## **CAPÍTULO 2**

## 2 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa não teve como base uma teoria, não houve a utilização de uma lente teórica para delinear os procedimentos metodológicos executados. Os métodos empregados foram escolhidos à medida em que ela ia sendo desenvolvida. Por essa característica, é possível afirmar que este trabalho se aproxima da concepção filosófica pragmática.

Creswell (2010) explica que o pragmatismo não está comprometido com nenhum sistema de filosofia e realidade, e os investigadores baseiam-se tanto nas suposições quantitativas quanto nas qualitativas. Esses pesquisadores também não veem o mundo como uma unidade absoluta e, por isso, buscam várias abordagens para coletar e analisar os dados, ao invés de se aterem a uma única maneira. Eles podem trabalhar tanto com dados quantitativos como qualitativos com o objetivo de proporcionar o melhor entendimento de um problema de pesquisa.

A principal suposição qualitativa para esta pesquisa é a de que a tecnologia de impressão 3D é uma ferramenta que pode ajudar com a necessidade de construções de atividades práticas para o aprendizado no Ensino de Ciências. É por isso que foi desenvolvido um processo que oriente seu uso nesse sentido.

Suposições de natureza quantitativa não foram consideradas neste trabalho. Apesar de ter ocorrido a coleta de dados quantitativos, isto é, que necessitam de instrumentos de medição para obtê-los, tal como a massa de material utilizado em algumas das construções com a impressora 3D, a fim de efetuar estimativas de custos, as análises desses dados ocorreram de forma qualitativa.

Logo no começo desta pesquisa foi realizada uma preparação técnica na qual houve a busca na literatura por instruções sobre o uso e conceitos da tecnologia de impressão 3D. Porém, esse método não se mostrou muito eficiente, pois os conteúdos não se relacionavam a conhecimentos anteriores, o que dificultava desenvolver um plano de pesquisa baseando-se neles. Optou-se, então, por começar a trabalhar com essa tecnologia de maneira experimental, buscando entender como utilizá-la à medida que se tentava construir instrumentos com ela, encontrando problemas e buscando soluções. Tal método, inclusive, é apontado como eficiente em livros técnicos sobre a impressão 3D:

A melhor lição que eu posso dar para meus estudantes é que vocês aprendem melhor ao construir alguma coisa. [...] Você não aprende apenas por fazer, mas por cometer erros, que são uma importante parte do processo. Isso é chamado *design* interativo: crie alguma coisa, veja o que funciona e o que não funciona, crie uma nova versão, perceba como ela pode ser melhorada e crie uma outra nova versão. Iteração e experimentação são maneiras de aprender coisas que realmente nós não conseguimos ensinar para você neste livro. [...] Por você ter sua própria fábrica de mesa [a impressora 3D], você tem o poder de fazer um número infinito de iterações para melhorar seus projetos e compartilhar isso com o mundo. (EVANS, 2012, p. xxiv, tradução nossa)

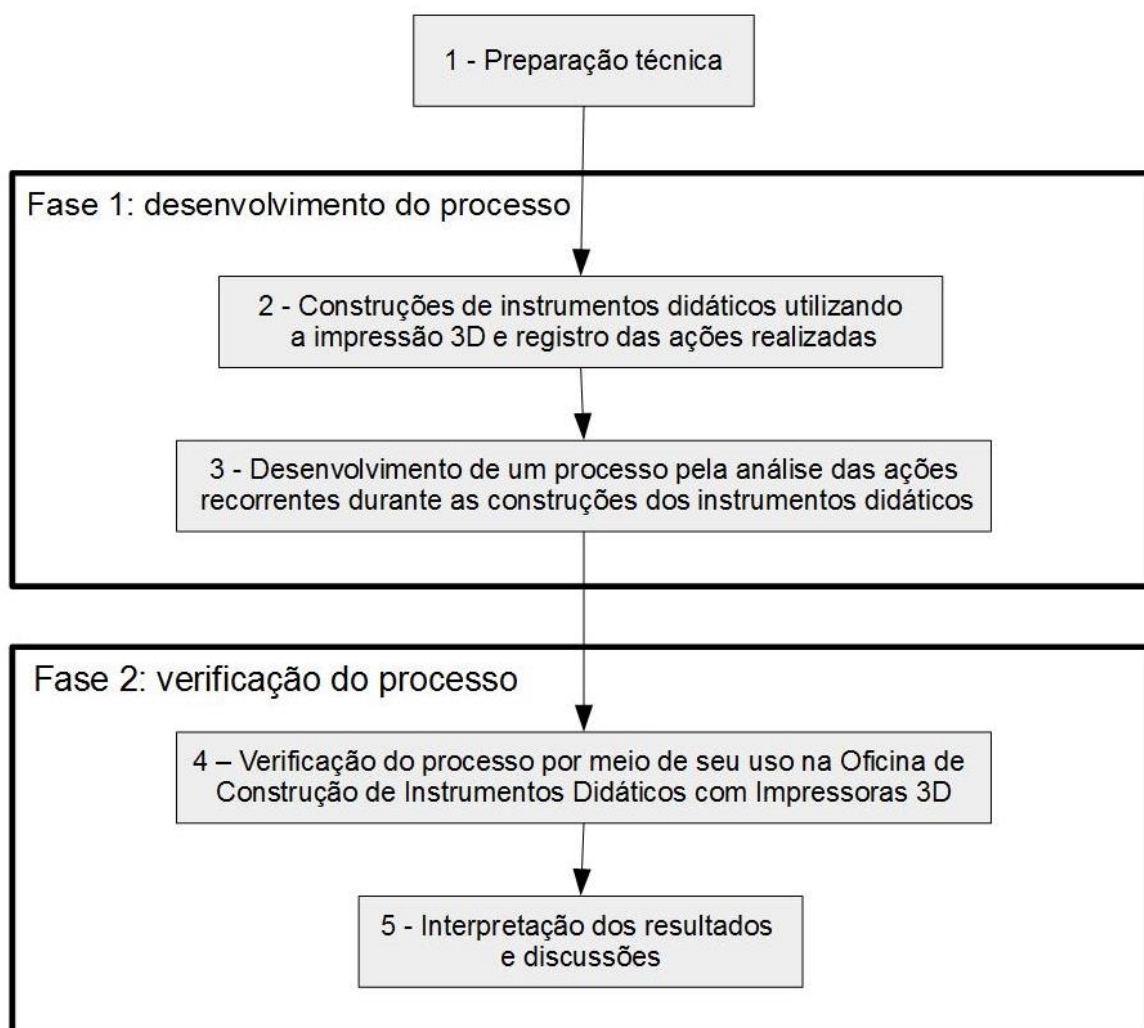
Durante a experimentação da impressão 3D, fontes formais e informais foram utilizadas para aprender a usá-la. Dentre as fontes informais, estiveram os fóruns de discussões virtuais, como, por exemplo, o *RepRapBR*<sup>3</sup>, onde os membros do grupo discutem experiências pessoais na montagem e utilização de impressoras 3D, os problemas obtidos ao imprimir os objetos, as soluções encontradas e opiniões sobre *softwares* e equipamentos. Esses meios de informação propiciaram cultura sobre o assunto de maneira mais rápida, fato que facilitou a busca posterior por materiais formais.

As atividades executadas nessa pesquisa podem ser agrupadas em cinco passos, dos quais quatro são separados em duas fases. A primeira fase consistiu no desenvolvimento do processo que orienta o uso da impressão 3D. Na segunda fase houve a verificação do processo desenvolvido. Apesar de que em qualquer “bom desenvolvimento” já está incluso, implicitamente, a etapa de verificação do que foi desenvolvido empiricamente, optou-se por realizar a separação entre “desenvolvimento” e “verificação”, a fim de identificar as duas fases que ocorreram. A Figura 2.1 ilustra o fluxo das fases e dos passos percorridos. Abaixo a há uma descrição deles.

---

3: Fórum do grupo RepRapBR: <https://groups.google.com/forum/#!forum/reprapbr>

Figura 2.1 – Passos percorridos na realização do estudo



Fonte: próprio autor

#### Passo I – Preparação técnica:

Neste passo houve a análise e definição das ferramentas a serem utilizadas na pesquisa: técnicas de impressão 3D, impressoras 3D e ferramentas de modelagem 3D. Os critérios principais para fazer as escolhas nessa etapa foram o custo da impressora 3D, seus suprimentos e a complexidade de operação, uma vez que no cenário em que está sendo proposto o uso dessa tecnologia, o escolar, normalmente há falta de recursos financeiros e pouco conhecimento técnico específico. Relatos encontrados na literatura com usos bem-sucedidos de equipamentos e *softwares* também foram levados em conta nas escolhas.

Passo II – Construção de instrumentos didáticos utilizando a impressão 3D:

Após a preparação técnica para trabalhar com a impressão 3D foram feitas buscas na literatura por trabalhos que instruísem a construção de instrumentos didáticos de maneira clássica, inclusive utilizando itens do dia a dia. Alguns instrumentos foram escolhidos para serem reconstruídos utilizando a impressão 3D. Ao reconstruir um objeto que já existe, seria possível comparar as características do instrumento construído de maneira clássica com o recriado com o uso da impressão 3D.

Por existirem *sites* dedicados ao compartilhamento de modelos 3D, e que contêm categorias voltadas à educação, alguns instrumentos didáticos foram construídos a partir desses modelos 3D com o objetivo de experimentar o conceito de repositório de objetos imprimíveis para a educação.

Durante a criação dos modelos 3D, foram encontradas ferramentas que se agregam aos *softwares* de modelagem 3D (*plugins* ou *extensions*) e automatizam várias tarefas que seriam realizadas manualmente. Por isso, houve também a construção de um instrumento didático utilizando essas ferramentas.

Como o objetivo principal dessa parte da pesquisa era a compreensão das ações envolvidas na construção de um instrumento didático para poder definir um processo, foram registrados os procedimentos realizados, desde o planejamento, passando por algumas considerações técnicas, dificuldades, problemas e possíveis soluções.

Devido às limitações materiais e de tempo serem fatores que dificultam a instrumentação para o ensino de ciências, dois parâmetros quantitativos foram registrados para alguns instrumentos recriados com a impressão 3D: o tempo dispendido durante o processo e o custo dos suprimentos (massa de filamento consumido na construção).

Passo III – Desenvolvimento do processo:

Neste passo houve a análise das informações registradas sobre como os instrumentos didáticos foram construídos. Buscou-se ações recorrentes que constituíssem procedimentos. Tais procedimentos foram organizados em forma de etapas para compor um processo que pudesse guiar outras pessoas a conseguir fazer o mesmo.



#### Passo IV – Realização da Oficina de Construção de Instrumentos Didáticos:

O processo desenvolvido foi submetido a uma verificação por meio da execução de um minicurso: a Oficina de Construção de Instrumentos Didáticos com impressoras 3D.

Nessa oficina, o processo desenvolvido na primeira fase da pesquisa foi apresentado e trabalhado pelos participantes. Primeiramente houve uma introdução a conceitos técnicos e potenciais mudanças que a tecnologia de impressão 3D poderá trazer à sociedade. Em seguida, os participantes executaram as etapas do processo que levaram à reconstrução de um instrumento que já tinha sido criado durante a primeira fase da pesquisa, a balestilha. Por último, como forma de projeto de conclusão do curso, os participantes tiveram que criar seus próprios instrumentos didáticos utilizando a impressão 3D.

Na oficina, os dados foram coletados pelo método da observação participante e registrados próximos aos momentos em que os eventos relevantes aconteciam. Ao final do encontro foram realizadas entrevistas semiestruturadas sobre algumas observações registradas ao longo da oficina. Também houve a aplicação de um questionário para que os participantes expressassem suas opiniões acerca do uso da tecnologia de impressão 3D para construir instrumentos didáticos.

#### Passo V – Interpretação dos resultados e conclusões:

Analisando os registros da oficina, tais como a maneira que os participantes trabalharam em cada etapa, suas dificuldades, as entrevistas e os questionários, o processo foi reavaliado. Houve uma reflexão sobre como as etapas do processo guiaram os participantes para que conseguissem utilizar a tecnologia de impressão 3D na instrumentação para o Ensino de Ciências. Por último, também foram feitas inferências sobre possíveis contribuições à aprendizagem ao trabalhar com a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos.

### **CAPÍTULO 3**

### 3 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentado brevemente a literatura revisada para esta pesquisa. A revisão abrangeu desde as dificuldades materiais encontradas na instrumentação para o Ensino de Ciências e o papel da impressão 3D no tratamento do problema, até a inclusão dessa tecnologia no ensino, levando em conta possíveis consequências que ela poderá trazer à sociedade.

#### 3.1 Atividades experimentais no Ensino de Ciências

O ensino de ciências naturais beneficia-se do uso de experimentos para dar significado ao aprendizado dos conteúdos. Segundo Freitas (2007), nas grades curriculares de vários cursos de licenciatura no Brasil há disciplinas específicas para esse tema, com o objetivo de ensinar futuros professores a desenvolverem a experimentação e instrumentação na escola. O assunto é tratado em diversos artigos publicados em periódicos como, por exemplo, na edição especial do Caderno Brasileiro do Ensino de Física do ano de 2004, onde os editores afirmam:

Por certo, a experimentação qualitativa e quantitativa, estruturada em bases educacionais e epistemológicas claras e bem conduzida: aguça a curiosidade; minimiza a abstração; suscita discussões e elaborações de hipóteses; demanda reflexão, espírito crítico e explicações; enseja o conhecimento de métodos e de técnicas de investigação e análise de dados; expõe os erros e suas causas, mostrando uma ciência ‘mais humana’; facilita a compreensão de conceitos, leis e teorias; instiga uma melhor percepção da relação ciência tecnologia; aproxima a Física do ‘mundo real’. (EDITORES, 2004 apud FREITAS, 2007)

Os professores, em geral, concordam que a melhoria do ensino passa pelas atividades práticas, porém raramente elas são realizadas. Borges (2002) descreve alguns desses motivos, tais como: não existirem atividades já preparadas para o uso do professor; falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção. A fim de superar o problema, professores improvisam aulas práticas e demonstrações com materiais do dia a dia, mas, segundo Borges (2002), os professores acabam ficando desestimulados, muitas vezes por causa dos resultados alcançados parcialmente. Outro obstáculo às atividades experimentais, é que professores acreditam, dentre outros motivos, que elas são trabalhosas, exigem tempo excessivo, espaço e materiais específicos (SANTOS; PIASSI; FERREIRA, 2004).

Lipson (2007) também afirma que o ensino pode ser melhorado por meio das atividades práticas, principalmente quando são envolvidos conceitos que são difíceis de serem visualizados e entendidos abstratamente, mesmo com a ajuda de simulações virtuais em computadores. O autor argumenta que os modelos físicos no ensino também possibilitam que estudantes cegos adquiram conceitos espaciais por meio da manipulação desses objetos. Estudantes com baixa visão também se beneficiam, pois eles têm dificuldades de perceber conceitos espaciais a partir de figuras ou descrições em livros. As percepções espaciais são importantes em todos os campos da ciência, principalmente com o advento da nanotecnologia, pois são necessários conceitos espaciais na escala nano e micro. Essas percepções também são críticas nas engenharias, pois envolve um uso extenso da geometria 3D.

Ainda segundo Lipson (2007), para trabalhar as atividades práticas nas universidades, constantemente são encontrados modelos físicos para o ensino de conteúdo como a cinemática e a dinâmica. No ensino de química os modelos de moléculas do tipo *balls-and-sticks* (bolas e palitos) são constantemente utilizados. Entretanto, o autor alega que esses modelos vão ficando velhos e subutilizados, lentamente sendo substituídos pelas baratas e flexíveis simulações virtuais. O autor ainda afirma que os modelos físicos raramente são feitos ou utilizados fora de um instituto educacional devido aos custos envolvidos na produção, manutenção e distribuição.

Por essas dificuldades, Lipson (2007) afirma que a tecnologia de impressão 3D tem um potencial para reverter esta tendência e colher os benefícios dos modelos físicos para as atividades práticas enquanto elimina muitas das dificuldades logísticas que restringem esta forma de educação. As impressoras 3D possibilitam a fabricação de objetos tridimensionais com detalhes complexos, isso sem o criador necessitar de habilidades de manufatura e fazer o uso de inúmeras ferramentas e recursos. Por essas características, a impressão 3D possibilita que os educadores facilmente consigam criar e produzir seus modelos físicos.

### 3.2 A tecnologia de impressão 3D

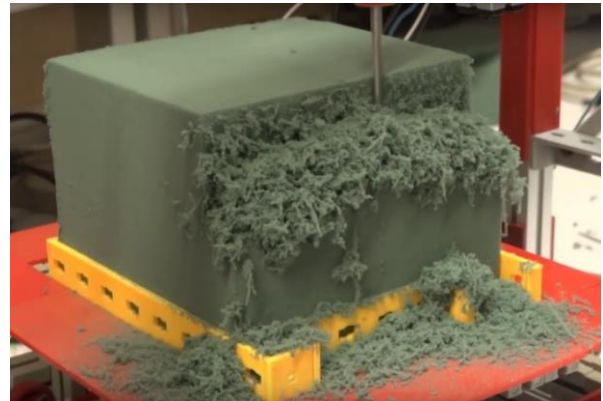
A tecnologia chamada hoje de impressão 3D é a técnica de construir sólidos tridimensionais, camada por camada, umas sobre as outras, até formar o objeto. Essa técnica também é chamada de manufatura aditiva, pois a matéria-prima vai sendo adicionada gradualmente até concluir a construção de um objeto (Figura 3.1). Este método se difere dos processos de usinagem, onde máquinas controladas computacionalmente vão esculpindo e cortando blocos de matéria-prima (Figura 3.2) como plásticos, madeiras e metais, até que se forme o objeto. Por essa diferença, a manufatura aditiva propicia economia de material em relação à usinagem.

Figura 3.1 – Engrenagem sendo construída pela manufatura aditiva (impressão 3D)



A impressora 3D vai depositando o material até concluir a construção do objeto. Fonte: próprio autor.

Figura 3.2 – Bloco sendo esculpido para formar um objeto (usinagem)



Fonte: *Robot Square*<sup>4</sup>

A impressão 3D teve início com o trabalho de Kodama (1981) que publicou um método de criar modelos plásticos pela solidificação de um fotopolímero<sup>5</sup> utilizando raios ultravioleta. No seu trabalho, ele ressaltou que a técnica permitiu a construção de formas complexas e a criação de objetos com a sua estrutura interna de uma única vez, o que pode dispensar a tradicional etapa de montagem.

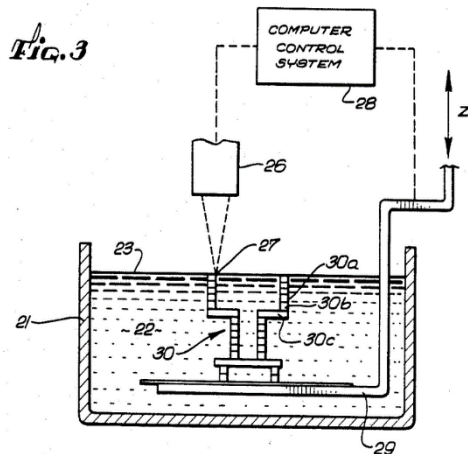
Três anos depois, Hull (1984), um engenheiro físico, registrou a patente de um aparato (Figura 3.3) que construía objetos tridimensionais utilizando um método semelhante ao de Kodama (1981). Para o aparato e o método, Hull deu o nome de estereolitografia

4: <http://robotsquare.com/2012/06/17/fischertechnik-milling-machine/>

5: Material, normalmente líquido, que endurece (ou curado) por reação química ao ser submetido a incidência de luz, normalmente o ultravioleta.

(*stereolithography*). Após a patente, ele fundou a empresa *3D Systems*<sup>6</sup>, a primeira fabricante de impressoras 3D.

Figura 3.3 – Esquema do aparato registrado por Hull (1984) como estereolitografia



Fonte: Google Patentes<sup>7</sup>

Figura 3.4 – Impressora 3D de estereolitografia modelo *Projet 7000*



Fonte: *3D Systems*

Numa entrevista publicada pela seção de jornalismo tecnológico da rede CNN<sup>8</sup>, Hull relatou como teve a ideia de criar a estereolitografia. Em 1983, ele trabalhava numa pequena empresa que produzia revestimentos para mesas. A produção desses revestimentos era realizada pela solidificação de fotopolímeros utilizando a radiação ultravioleta. A partir daí ele disse que teve a ideia de utilizar essa técnica, controlando-a computacionalmente, para construir objetos sólidos a partir de modelos 3D digitais (PONSFORD; GLASS, 2014).

6: <http://www.3dsystems.com/>

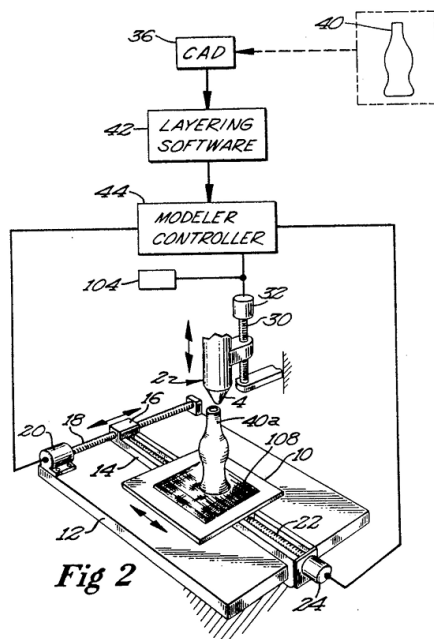
7: <http://www.google.com/patents/US4575330>

8: <http://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/>

Alguns anos depois, Crump (1989) registrou a patente de um “Aparato e método para criação de objetos tridimensionais” (Figura 3.5). A construção era feita por meio da deposição de material fundido, de modo similar ao realizado pelas impressoras jato de tinta comuns, mas depositando material derretido, normalmente filamento plástico, em vez de tinta. Esse método foi denominado *Fused Deposition Modeling* (FDM) – modelagem por deposição de material fundido. Entretanto, por se tratar de um nome comercial com restrições de uso, este método também é chamado de *Filament Fused Fabrication* (FFF) – fabricação por filamento fundido – termo de uso livre.

Crump fundou uma empresa especializada em fornecer soluções para a impressão 3D, a *Stratasys*<sup>9</sup>, que fabrica impressoras 3D que utilizam a técnica FDM (Figura 3.6).

Figura 3.5 – Esquema do aparato registrado por Crump (1989)



Fonte: Google Patentes<sup>10</sup>

Figura 3.6 – Impressora 3D FDM modelo *Mojo*



Fonte: *Stratasys*

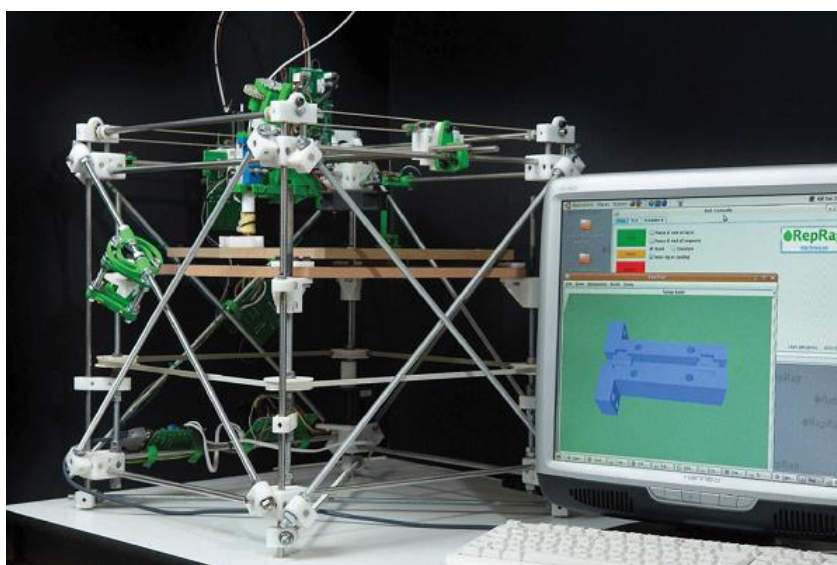
9: <http://www.stratasys.com>

10: <http://www.google.com/patents/US5121329>

Pela simplicidade da arquitetura das impressoras 3D de filamento fundido, esse método tornou-se o mais comum entre as impressoras 3D de baixo custo, as quais começaram a se popularizar por meio do projeto *RepRap*<sup>11</sup> (*The Replicating Rapid Prototyper*), criado pelo engenheiro mecânico Adrian Bowyer (JONES et al, 2011).

O primeiro documento sobre o projeto *RepRap* foi publicado por Bowyer na internet em 2004<sup>12</sup>. A primeira impressora 3D oriunda desse projeto foi montada em 2007 (JONES et al, 2011). Esses fatos deram início a um projeto de impressoras 3D de arquitetura aberta e que podiam ser construídas utilizando peças replicáveis pela própria *RepRap* junto a componentes eletrônicos que já estavam à venda no varejo. Esse projeto difundiu conhecimentos para que outras pessoas interessadas montassem sua impressora 3D com um custo mais acessível. Atualmente, existe uma comunidade virtual que contribui com o projeto e já desenvolveu mais de 50 versões<sup>13</sup> diferentes oriundas da primeira versão, a *RepRap Darwin* (Figura 3.7). Além das variações de modelos, surgiram fabricantes de impressoras 3D de arquitetura aberta. Uma dessas empresas é a *MakerBot Industries*<sup>14</sup>, fundada em 2009.

Figura 3.7 - *RepRap* 1.0 "Darwin".



Fonte: Jones et al (2011)

---

11: RepRap.org: <http://reprap.org/>

12: <http://reprap.org/wiki/BackgroundPage>

13: [http://reprap.org/wiki/RepRap\\_Options#Models](http://reprap.org/wiki/RepRap_Options#Models)

14: <http://www.makerbot.com/>



### 3.3 A impressão 3D na educação

Sparks et al. (2004) realizaram um *workshop* sobre prototipagem rápida para alunos e professores de ensino médio do *St. Louis Community College no Florissant Valley, Missouri*, EUA. O objetivo era expor essa técnica aos alunos e professores para analisar o impacto dela na escolha das profissões dos alunos. Inicialmente, foi apresentada a técnica de construção dos objetos pela deposição de camadas e a matemática envolvida nela. Depois houve uma introdução ao uso de um *software* de desenhos 3D e atividades práticas que consistiam em fazer desenhos 3D e imprimi-los. No final do *workshop*, foram coletados em formulários os *feedbacks* dos participantes, os quais os autores afirmaram que foram muito encorajadores:

[...] professores agora eram capazes de relacionar matemática e aplicações de computador com desenho, elaboração e, finalmente, a produção dos protótipos. Eles estavam agora em uma melhor posição para orientar os alunos sobre as oportunidades da carreira de fabricação industrial. (SPARKS et al, 2004, p.6)

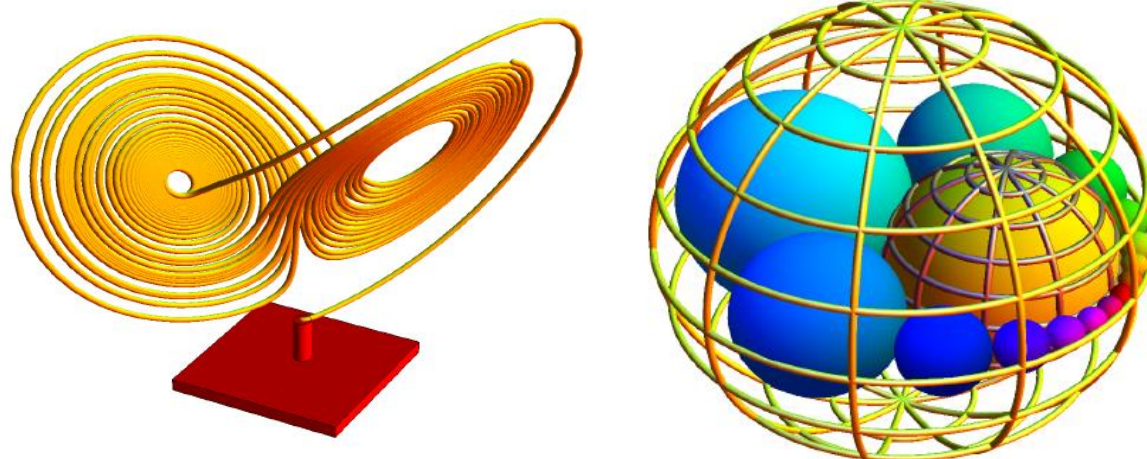
Os participantes foram questionados sobre se eles conseguiam ver qualquer conexão entre os tópicos do *workshop* e o que eles estavam ensinando, no caso dos professores, ou aprendendo, no caso dos estudantes. Dentre as respostas obtidas por Sparks et al (2004, p.6), um aluno relatou: “Há uma conexão entre este curso e a disciplina Álgebra II”; um professor também deu sinais positivos: “Definitivamente, como professor de matemática, eu vejo conexões matemáticas e geométricas no desenho, elaboração e na produção do protótipo”.

O aproveitamento da tecnologia de impressão 3D no aprendizado da matemática também é reportado por Knill e Slavkovsky (2013b). Segundo os autores, a visualização de provas e conceitos é importante para a comunicação da matemática, não sendo somente ilustrativa, educacional ou heurística, pois também tem um valor prático. Como exemplo, eles citam que triângulos Pitagóricos feitos com cordas ajudaram a medir e a dividir terrenos na Babilônia. As visualizações também ajudam a mostrar a beleza da matemática e promovê-la para as pessoas. As figuras podem inspirar novas ideias, gerar novos teoremas ou auxiliar na computação.

Sob a justificativa de que a tecnologia de impressão 3D tornou a criação de ferramentas mais acessível do que nunca, os autores publicaram um trabalho onde sugerem maneiras de utilizar essa tecnologia para auxiliar a visualização de conceitos e provas matemáticas, pois modelos físicos deixam a matemática mais perto dos aprendizes. Uma das maneiras é a

utilização de *softwares* que trabalham com expressões algébricas (*computer algebra systems - CAS*), como o *Mathematica*<sup>15</sup>. Esses *softwares* produzem gráficos (Figura 3.8) a partir de expressões algébricas. Os gráficos gerados podem ser salvos em formatos de arquivos que são modelos 3D, os quais, por sua vez, podem ser construídos pelas impressoras 3D.

Figura 3.8 - Gráficos gerados por *softwares* que trabalham com expressões algébricas (CAS)



(a) Ícone do Caos ou Atrator de Lorenz.

Fonte: Knill e Slavkovsky (2013b)

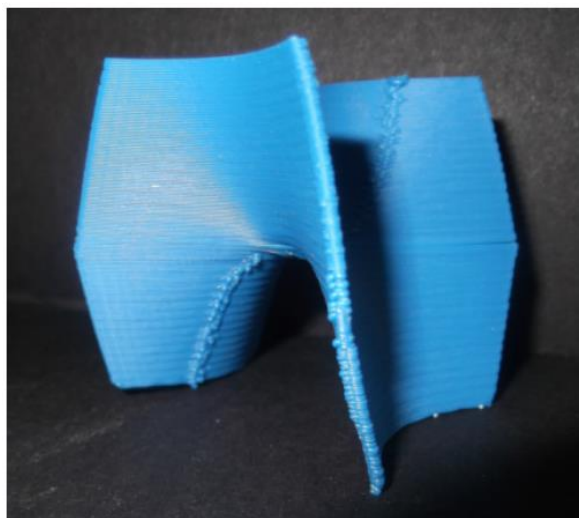
(b) Sexteto de Soddy

Fonte: Knill e Slavkovsky (2013b)

A transformação de gráficos matemáticos virtuais em modelos reais também foi realizada por algumas das escolas que receberam impressoras 3D para participar de um projeto-piloto do Department for Education (2013), órgão do Governo do Reino Unido. Alegando o desenvolvimento das habilidades de visualização 3D de estudantes, as escolas imprimiram gráficos para o estudo de assuntos como Teorema de Pitágoras e trigonometria. Dois gráficos matemáticos construídos com a impressora 3D estão exemplificados na Figura 3.9, porém eles são bem menos complexos do que os sugeridos por Knill e Slavkovsky (2013b). Essas escolas relataram que a construção deles pela impressora 3D não é tão simples, pois necessita da remoção de suportes após a impressão.

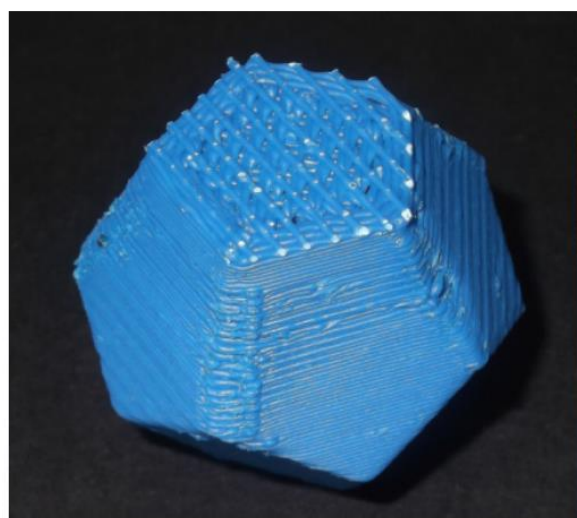
15: <https://www.wolfram.com/mathematica/>

Figura 3.9 - Gráficos matemáticos impressos em 3D para trabalhar as habilidades de visualização 3D.



(a) Gráfico de sela

Fonte: Department for Education (2013)



(b) Dodecaedro

Fonte: Department for Education (2013)

Ainda sobre o desenvolvimento da visualização na matemática, em 2013, ano de celebração de 2300 anos de Arquimedes, Knill e Slavkovsky (2013a) utilizaram impressoras 3D para construir objetos que ilustram algumas das ideias que o matemático grego teve há dois milênios. A tecnologia de impressão 3D facilitou recriar objetos como a Prova Bebível de Arquimedes (Figura 3.10), a qual visa provar que o volume dentro da meia esfera é igual ao complemento do volume de um cone num cilindro de mesma altura, e um exemplar das “cochlias”, bombas de água que chegaram a ser usadas na Espanha para retirar água de minas (Figura 3.11). Dentre as conclusões dos autores, há o reconhecimento das contribuições da impressão 3D para o ensino:

A tecnologia de impressão 3D tem sido usada no ensino primário e secundário em projetos de ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Há um otimismo que ela terá um grande impacto na educação. Bull e Groves (2009) escreveram: “Como ferramentas de fabricação, tornam-se cada vez mais acessíveis; estudantes serão capazes de aprender sobre engenharia e experimentar a emoção de ver suas ideias realizadas de forma física.”. Nós acreditamos que isto também é verdade na matemática. (KNILL; SLAVKOVSKY, 2013a, p. 13, tradução nossa)

Figura 3.10 – A Prova Bebível de Arquimedes



Fonte: Knill e Slavkovsky (2013a)

Figura 3.11 – Cochlias de Arquimedes



Fonte: Knill e Slavkovsky (2013a)

A investigação da impressão 3D da educação vai além do seu uso como uma construtora de objetos para a visualização. Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), baseando-se na teoria de ensino-aprendizagem do Construcionismo, desenvolvida por Seymour Papert, analisaram qual poderia ser o papel desempenhado pelo design e pela impressão 3D, juntamente as outras TIC, no desenvolvimento e implementação de novas ideias educacionais e como podem servir como um meio de aprendizagem e comunicação. Segundo os autores, a teoria do Construcionismo enfatiza a produção personalizada de artefatos que envolvem conhecimentos, bem como a natureza social do aprendizado:

O construcionismo [...] compartilha das conotações de aprendizagem do construtivismo, como a “construção das estruturas do conhecimento” independente das circunstâncias do aprendizado. Então isso adiciona a ideia de que a aprendizagem acontece especialmente em momentos felizes, em contextos onde o aprendiz está conscientemente engajado na construção de uma entidade pública, seja um castelo de areia na praia ou uma teoria do universo. (PAPERT; HAREL, 1991, p. 3 apud PAPERT, 1997 apud KOSTAKIS; NIAROS; GIOTITSAS, 2014, p. 2, tradução nossa).

Essa teoria considera que o crescimento intelectual dos estudantes deve estar enraizado na experiência deles, pois o conhecimento não é visto como uma mercadoria a ser transmitida, mas sim como uma experiência pessoal que deve ser construída e o estudante deve estar pessoalmente (intelectualmente e emocionalmente) envolvido.

No seu trabalho, Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) organizaram um cenário educacional experimental focado no *design* e na impressão 3D. Participaram do projeto 33 estudantes gregos, de duas escolas de ensino médio, que, de forma colaborativa, projetaram e produziram objetos utilizando impressoras 3D durante 3 meses. As atividades nas escolas começaram com

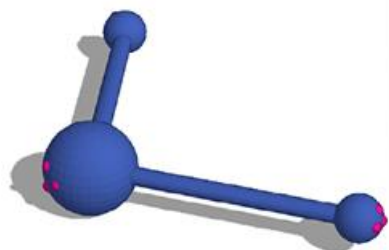
uma introdução aos conceitos básicos da pesquisa que estava sendo realizada e a familiarização com o processo de *design* 3D. Depois disso, os estudantes fizeram experimentações com as impressoras 3D em sessões de tentativa e erro até conseguirem produzir os artefatos. Os autores assumiram que a impressão 3D poderia motivar os estudantes a expressar suas ideias. E para tornar tais ideias tangíveis, é necessário fazer o uso de processos que estimulam conexões durante a criação dos artefatos. Eles listam alguns desses processos (KOSTAKIS; NIAROS; GIOTITSAS, 2014, p. 6):

- Aprender a desenhar e a pensar em 3D;
- Explorar a mecânica de objetos a serem criados pelas impressoras 3D;
- Estudar objetos similares que são criados pelas técnicas convencionais de manufaturas e entender a engenharia por trás deles;
- Prever necessidades de pessoas cegas que podem ser atendidas pela impressão 3D e buscar materiais sobre a linguagem Braille;
- Aplicar conhecimentos de diferentes disciplinas como geometria, física, arquitetura e artes;
- Compartilhar as criações.

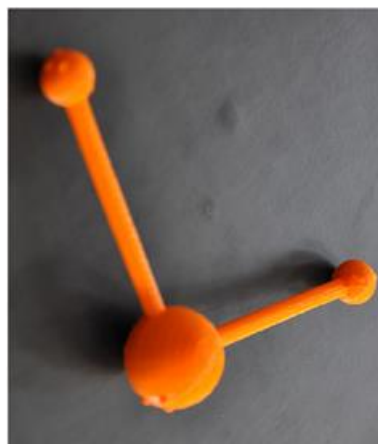
Um dos processos relatados, o de explorar a mecânica dos objetos para que possam ser construídos pela impressora 3D, coincide com o que Pupo (2008) relatou sobre seus estudantes do curso de arquitetura, os quais trabalharam a resistência e a forma dos objetos para lidar com as restrições da impressora 3D. Com isso, o desafio de contornar as restrições de uma impressora 3D pode ser encarado, na verdade, como uma situação de aprendizagem ao invés de ser apenas um problema que desestimule o uso da impressão 3D.

Ainda sobre o projeto de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), os professores que se voluntariaram para participar relataram aos pesquisadores uma redução da indisciplina dos estudantes e um maior engajamento. Alunos que, em geral, não eram cooperativos, surpreendentemente se mostraram engajados. Dentre os 17 artefatos produzidos, está uma molécula de água que um aluno com dislexia construiu. Ele calculou os ângulos de inclinação dos átomos da molécula, colocou letras em Braille nos átomos e a desenhou ergonomicamente (Figura 3.12).

Figura 3.12 - Molécula de água ergonomicamente projetada com letras em Braille para estudantes cegos.



(a) Modelo 3D. Fonte: Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014)

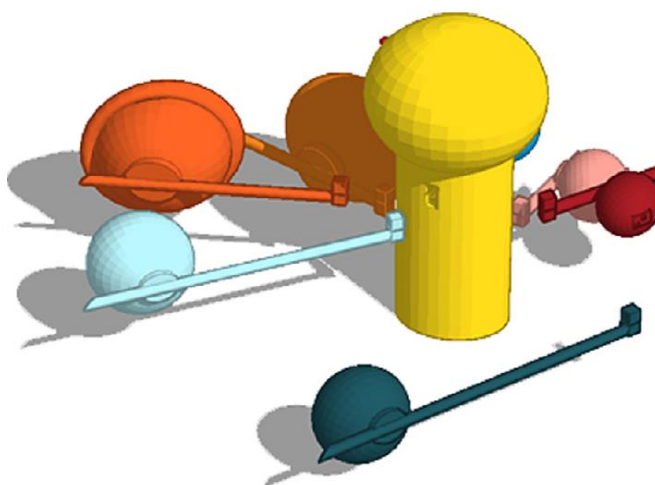


(b) Molécula impressa. Fonte: Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014)

A utilização da tecnologia de impressão 3D para a criação de artefatos que servem como instrumentos didáticos para ensinar conceitos para estudantes cegos coincide com as ideias de Lipson (2007). Ciente da importância que os modelos físicos têm para os deficientes visuais, Lipson (2007) argumentou que impressão 3D poderia auxiliar na criação desses modelos físicos com recursos especiais.

Dentre os outros artefatos modelados pelos estudantes que participaram do projeto de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), está um Sistema Solar (Figura 3.13), que os autores disseram ser um dos mais intrigantes, pois foi criado por um estudante extremamente talentoso e hábil, inclusive ganhador de um campeonato de xadrez de sua idade, mas que nunca se demonstrou preocupado com a escola (relato de um de seus professores). O aluno modelou o Sistema Solar em escala, o que demandou cálculos para projetá-lo, além de incluir em cada planeta uma letra em Braille (a primeira letra do nome deles) para auxiliar cegos a fazerem experimentos com aquela estrutura.

Figura 3.13 - Modelo 3D da estrutura do sistema solar

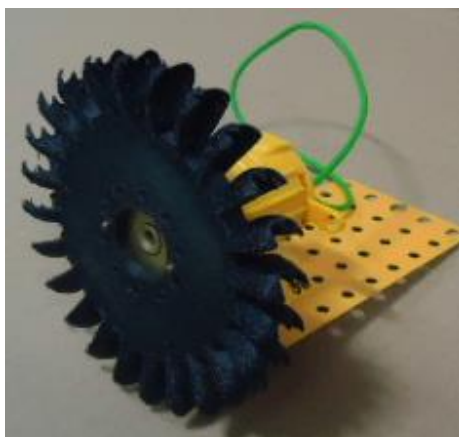


Fonte: Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014)

Ao final, os pesquisadores disseram que o experimento deu algumas indicações sobre os efeitos que a impressão 3D pode ter como ferramenta de aprendizagem. Ela pode ajudar o estudante a pensar diferente e a ver o mundo de outra maneira. Junto a outras TIC, ajuda a formar ambientes que dão o estímulo adequado a estudantes que se apresentam indiferentes na escola, pois possibilita que eles aprendam por conta própria mediante exploração. Contudo, eles destacam que primeiro é necessário a familiarização dos professores com a impressão 3D e cuidados extras com a explicação de conceitos e princípios, e, a partir desse ponto, os estudantes poderão prosseguir sem ficar para trás. Condição que deve valer para todas as TIC.

A colaboração da impressão 3D para a formação de ambientes mais estimuladores ao aprendizado também foi relatada pelo Department for Education (2013): “vários alunos comentaram que eles puderam construir formas e componentes na impressora 3D que não podiam fazer com a tecnologia que tinham em classe” (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 18, tradução nossa). As construções que estes estudantes realizaram, como a Roda de Pelton e a lente solúvel ilustradas na Figura 3.14, demandam de processos como os relatados por Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), como, por exemplo, trabalhar a matemática envolvida no *design* e aplicar conceitos físicos. Portanto, essas construções podem desenvolver situações que estimulam a aprendizagem.

Figura 3.14 – Roda de Pelton e lente solúvel construída por estudantes utilizando impressoras 3D



(a) Roda de Pelton criada por alunos para o estudo de turbinas geradoras de energia

Fonte: Department for Education (2013)



(b) Lente impressa em material solúvel em água para o estudo de eletromagnetismo no micro-ondas. Fonte:

Department for Education (2013)

Assim como no trabalho de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), a importância da formação dos professores como fator que pode afetar o sucesso do uso da impressão 3D também foi relatada por Department for Education (2013). Vários professores que participaram do projeto relataram que demoraram alguns meses para se familiarizarem com a impressão 3D. A integração dessa tecnologia ao currículo mostrou-se mais bem-sucedida com professores autoconfiantes e que não tinham medo de experimentar. Os professores que trabalhavam de forma mais isolada não insistiram na resolução de dificuldades e nem buscaram ajuda. O relatório do Department for Education (2013) reconheceu que o uso da impressão 3D não vai mudar instantaneamente os planos de ensino:

O projeto destacou a necessidade de uma boa qualidade na formação inicial de professores em momentos de introdução de novas tecnologias, incluindo novas abordagens de ensino, e tempo vago suficiente para planejar o uso mais eficaz das impressoras. (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 5, tradução nossa).



### 3.4 Perspectivas para a educação tecnológica

A sociedade moderna é dominada pelo conhecimento, é, sem dúvida, a sociedade do conhecimento. Nesta sociedade, Bastos (1997) afirma que o saber se transformou em meio de dominação e expropriação, criando a divisão entre o trabalho intelectual e o de execução. Carvalho (1997) alega que uma nova divisão social se configura: a sociedade passa a ser dividida entre quem detém a informação ou não. O conhecimento tecnológico permite dominar sociedades dependentes que se encontram submetidas às malhas de poder dos detentores deste conhecimento.

Além de criar novas divisões sociais, o conhecimento tecnológico perturba os hábitos, as tradições e a cultura. Tais perturbações despertam críticas, como as de Postman (1994), o qual argumenta que, devido à velocidade e o alcance que a difusão da informação passou a ter a partir do advento do telégrafo, ela deixou de ser parte de um processo de compreensão e resolução de problemas de interesses locais. Informações despropositadas aos problemas das pessoas começaram a ser difundidas em massa. O parâmetro de qualidade de um veículo de notícias, por exemplo, deixou de ser a qualidade para dar lugar à quantidade.

Apesar de fomentar a produção de informações supérfluas, as tecnologias intensificaram a comunicação entre as pessoas. Em 2010, iniciaram-se na Tunísia ondas de manifestações contra ditadores, esses protestos ficaram conhecidos como a Primavera Árabe. No Brasil, em 2013, ocorreram massivos protestos a partir do reajuste de tarifas de ônibus na cidade de São Paulo. Essas manifestações tiveram em comum a promoção e organização desenvolvidas por meio de tecnologias como as redes sociais na internet.

Contudo, as mesmas tecnologias que proporcionam um meio de comunicação à velocidade da luz para milhões de pessoas simultaneamente, também podem ser utilizadas para promover o ódio e o racismo em escala global. Qualquer pessoa, de repente, pode ter alguns minutos de fama por algo que escreveu numa rede social, seja por algo que insultou e despertou raiva em milhões de pessoas ou por um ato simbólico que comoveu pessoas no mundo todo. Essas características motivam declarações polêmicas, mas que, ao mesmo tempo, despertam reflexões, como a do filósofo Humberto Eco<sup>16</sup> que, durante um evento em que ele recebia da

---

16: Jornal O Dia. Caderno Mundo & Ciência. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/noticia/mundoeciencia/2015-06-11/redes-sociais-deram-voz-a-legiao-de-imbecis-diz-escritor-umberto-eco.html>>. Acessado em 28/12/2015.

Universidade de Turin o título de Doutor *honoris causa* em Comunicação e Cultura, disse que as redes sociais deram voz a uma legião de imbecis, pois nela cada um pode escrever o que quer e ter o mesmo direito à palavra que um prêmio Nobel.

Para os períodos de instabilidade cultural, como o de agora, onde parece que a facilidade e a velocidade da propagação da informação vêm gerando fatos inéditos na sociedade, a tecnologia causa desordens. Vicente (2005) diz que tais momentos podem ser considerados como de "instabilidade transicional". Neste tempo, as inovações tecnológicas são caóticas e ocorre um processo de "seleção natural". Quando as coisas se acomodam, as tecnologias insatisfatórias são descartadas e as que "sobreviveram" se estabelecem como as novas tecnologias junto a novos hábitos culturais. Segundo Vicente (2005), isso aconteceu várias vezes nos últimos 20 mil anos da história humana, onde houve a influência de tecnologias cada vez mais sofisticadas: redes de caça deram lugar à agricultura, à escrita, ao dinheiro, à imprensa e, finalmente, aos computadores.

Devido à velocidade com que a tecnologia perturba a sociedade, tentar enxergar o mundo de maneira mecanicista ou humanista não é mais adequado. Essas visões funcionaram bem quando a tecnologia era menos complexa e mudava lentamente, mas elas não são compatíveis com os tempos modernos:

Estamos emperrados numa camisa-de-força intelectual imposta por estruturas sociais que um dia foram úteis, mas que agora se tornam inadequadas diante de sistemas tecnológicos cada vez mais complexos e dinâmicos que dominam nosso mundo moderno. (VICENTE, 2005, p. 55).

Vicente (2005) reconhece que a competência técnica é necessária, mas é preciso ultrapassá-la e olhar para a interação das pessoas com a tecnologia. A partir desse relacionamento necessário, ele cunha o termo "Humano-tecnologia", onde a palavra "Humano" vem em primeiro lugar para lembrar que devemos começar pela identificação das necessidades das pessoas, não pela glorificação de alguma engenhoca fantasiosa, e o hífen do termo enfatiza a importância dos relacionamentos entre os humanos e a tecnologia. Para o desenvolvimento desse relacionamento, o autor sugere uma educação tecnológica com um olhar mais crítico.

A educação tecnológica também se justifica, pois, segundo Esteves e Moura (2009), o processo de globalização é irreversível e é preciso que os atores sociais ajam de acordo com as

regras do jogo. Faz-se necessária a alfabetização tecnológica de professores e estudantes para que eles tenham um domínio contínuo e crescente das tecnologias que estão na escola e na sociedade, mas mediante visão crítica sobre produção, aperfeiçoamento, função, papel e intenções com o uso habitual da tecnologia. Isso é importante, pois na sociedade pós-industrial, detentora de um novo modo de produção do conhecimento, o exercício da cidadania dependerá do acesso ao conhecimento de base científica e tecnológica devidamente relacionada com questões de natureza social.

A ciência, tecnologia e informação são, portanto, dados fundamentais da vida humana na sociedade global e levam a uma reorganização do espaço habitado. Sabe-se que este é um processo irreversível, “é a realidade com a qual nos defrontamos, por isso é preciso estudá-la com todos os recursos do conhecimento e tentar dominá-la e humanizá-la”. (SANTOS, 1996 apud CARVALHO, 1997, p. 11)

A educação tecnológica não deve se tratar de preparar o indivíduo para exercitar procedimentos mecânicos, limitando-se ao treinamento para o uso de ferramentas, mas sim entender seus conteúdos no contexto global da história e suas relações com a sociedade, adquirir capacidade para raciocinar sobre modelos produtivos por meio de elementos críticos, compreender a realidade da produção, apreciar tendências e reconhecer seus limites, assim como Bastos (1997) justifica:

O aprendiz não se detém à execução de ofícios, pois ele é intérprete das tecnologias para transformá-las a partir do uso e da manipulação. O processo de aprendizagem, conseqüentemente, não se vincula diretamente ao manuseio daquela máquina, mas a seu entendimento, a sua razão social e à possibilidade de construir com ele, aprendiz, um futuro baseado na história da tecnologia e na história de seu povo. (Bastos, 1997, p. 15)

Por isso não podemos abandonar os fundamentos que sustentam a educação, de modo geral, e as práticas pedagógicas, de modo específico, assim, a educação tecnológica é convidada a refletir sobre seu destino histórico, não para abandonar as pegadas já percorridas, mas para revê-las à luz de um novo mundo que aí está acontecendo.

Por intermédio da educação é possível modificar a maneira de pensar e as atitudes dos membros da sociedade. Carvalho (1997) afirma que se um programa de educação tecnológica desenvolver uma nova visão sobre o desenvolvimento do mercado mundial, certamente, com o passar do tempo, sua lógica também será modificada.

Para isso, Carvalho (1997) sugere orientações para a educação tecnológica:

- Formação de uma nova consciência sobre o verdadeiro papel da tecnologia e que desenvolva conhecimentos adequados à realidade de seres humanos e não apenas do mercado;
- Desenvolver capacidades de criatividade e inovação, mas que sejam ao mesmo tempo críticas no sentido de dar condições de percepção da realidade como um todo e não apenas do lado racional do processo;
- Consciência de que o processo de desenvolvimento tecnológico, tal como vem ocorrendo, normalmente aguça desigualdades sociais e traz graves implicações à possibilidade de uma vida humana pacífica sobre o Planeta.

Lima Filho e Queluz (2005) sistematizam duas matrizes conceituais sobre a tecnologia: a primeira, chamada de matriz relacional ou plena, fundamenta-se na concepção da tecnologia como construção, aplicação e apropriação das práticas, saberes e conhecimentos; a segunda matriz, tida como reduzida, diz respeito à concepção de tecnologia como técnica, como a aplicação prática de saberes conhecidos.

Entre as características que diferenciam as duas matrizes está, em primeiro lugar, a conceituação relacional, ou plena, de tecnologia. Nela há a integração do Trabalho como extensão das possibilidades e potencialidades humanas, do desenvolvimento científico e tecnológico (visto ao longo do processo histórico de apropriação contínua de saberes, conhecimentos e práticas pelo ser social), e da ciência e tecnologia, que são construções sociais complexas que participam e condicionam as mediações sociais.

A segunda característica que diferencia as matrizes é a conceituação instrumental, ou reduzida, da tecnologia, onde considera-se: que a Tecnologia e o Trabalho são aplicações da ciência ou o desenvolvimento de processos e protótipos direcionados a fins úteis; e que há um determinismo tecnológico no qual se atribui autonomia e neutralidade à tecnologia, pois não a considera como relação social, mas sim como técnica, artefato ou máquina.

Para Lima Filho e Queluz (2005), o entender da tecnologia como mero saber aplicado é uma ruptura epistemológica entre teoria e prática. É preciso possibilitar a compreensão da tecnologia

como um fenômeno histórico-social, evitando a sua autonomização. Bastos (1997) também critica a ideia de tecnologia autônoma:

Na verdade, ela não é autônoma por si só e sua neutralidade é um mito. A estrutura de poder se utiliza da tecnologia, como de outros meios, para exercer sobre ela o controle de suas ações e de suas ideologias. A tecnologia, embora fundamentada em conceitos científicos, vincula-se porém ao concreto de máquinas e ferramentas. Com efeito, cada máquina é utilizada por indivíduos e grupos como meio de realizar um ato específico dentro de uma atividade que se torna necessariamente social. A máquina objetiva, no particular, um modo concreto de vivenciar a ação social. (Bastos, 1997, p. 4)

Devido a esses fatores, na educação tecnológica é necessário restituir a tecnologia aos contextos sociais e culturais nos quais é produzida e apropriada historicamente. A partir do pressuposto da existência de uma sociedade histórica e concretamente determinada, será possível avançar na discussão sobre a conceituação de tecnologia e de sua produção, apropriação e inter-relação com os processos de transformação social.

As discussões realizadas neste trabalho enquadram-se no conceito de matriz relacional de tecnologia de Lima Filho e Queluz (2005). Na seção seguinte, estão discutidas algumas relações que a tecnologia de impressão 3D já realiza, ou ainda poderá realizar, com a cultura e o contexto social.

### **3.5 A tecnologia de impressão 3D na educação com um olhar crítico sobre as mudanças na sociedade**

Postman (1994) intitula como Tecnopólio a sociedade que é cercada de pessoas incapazes de imaginar o que as novas tecnologias irão desfazer e que passa a ter sua autoridade na ciência. Ele chama essas pessoas de tecnófilos, pois eles veem a tecnologia sem defeitos, não sentem apreensão alguma quanto ao futuro. Os tecnófilos consideram que as novas invenções nada mais são que meios aperfeiçoados para se chegar a um fim não melhorado.

Apesar das críticas, Postman (1994, p.15) relata que ele é acusado de ser um “profeta de um olho só”, que está inclinado a falar apenas dos fardos da tecnologia, justificando que, se tem que errar, é melhor errar pelo lado do ceticismo. No entanto, uma posição como essa dá margem a sua interpretação como sendo aquilo que Vicente (2005) classifica como “Ciclope Humanista”, que são indivíduos que conseguem focalizar as pessoas, mas não a tecnologia, pois lhe faltam compreensão da tecnologia nos seus aspectos mais simples.

Entretanto, Postman (1994) tem razão ao afirmar que é importante termos consciências das consequências da tecnologia, pois “não é aceitável que a casa seja invadida sem protesto ou pelo menos sem conscientização”. (POSTMAN, 1994, p.28)

Com comportamento oposto, há o “Ciclope Mecanicista”, o qual, segundo Vicente (2005), é aquele que reconhece apenas a tecnologia, não conseguindo ver a relação dela com as pessoas. A fim de evitar essa visão ao trabalhar com a tecnologia de impressão 3D na educação, deve-se também discutir as perturbações que ela poderá causar.

Vários trabalhos sobre o uso de impressoras 3D no ensino parecem apresentar a abordagem que Lima Filho e Queluz (2005) definiram como conceito restrito de tecnologia. As discussões desses trabalhos ficam restritas ao conceito de tecnologia como uma “ciência aplicada”, tal como consta nas justificativas do relatório do Governo do Reino Unido para a inclusão da impressão 3D no ensino:

Dotar os alunos para compreender a aplicação e potencial desta nova tecnologia será importante para ajudar a prepará-los para um mundo em que tecnologias similares serão cada vez mais comuns, particularmente em disciplinas de ciências, tecnologia, engenharia e matemática. [...] Há um considerável potencial em usá-la dentro de uma gama de disciplinas para permitir, por exemplo, ligações entre a matemática, design e física, como por exemplo, o assunto “som”, que possibilita ligar música, física (propriedades de onda), biologia (audição) e engenharia (projetos de salas de concertos) (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 4, tradução nossa).

Contrário à interpretação de “ciência aplicada” sobre tecnologia de impressão 3D, Rifkin (2012) especula que essa tecnologia pode ser um dos pilares da próxima revolução industrial. As pessoas poderão se tornar seu próprio fabricante, pois as impressoras 3D possibilitam a manufatura em nível pessoal, podendo substituir atividades até então remuneradas na indústria. Bastos (1997, p. 7) afirma que muitas tarefas, exercidas anteriormente pelo trabalho remunerado, serão transformadas pela tecnologia em trabalho próprio, incluindo o consumidor como parte importante no processo de produção. Os lares, aos poucos, transformar-se-ão em pequenas fábricas, funcionando ao lado da tradicional superestrutura da indústria.

Contudo, uma característica como essa não precisa ser levada à discussão como um problema pessimista. A manufatura pessoal dá fôlego, por exemplo, ao desenvolvimento da cultura *Do-It-Yourself (DIY)* - faça você mesmo – ou “*maker movement*”, na qual os adeptos praticam a experimentação, o *design* e a produção de coisas em casa. Esses construtores passarão gradualmente da “prototipagem” para a “manufatura”.

Como visto no trabalho de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), a teoria do construcionismo prevê que a atividade de criar coisas em que as pessoas estão pessoalmente envolvidas propicia aprendizado, pois nessas construções é necessário trabalhar com conceitos como os de ciências, matemática, arquitetura e artes.

A comunidade composta por esses construtores entusiastas, chamados de *makers*, ou *maker movement*, resulta da interação de três elementos fundamentais (TESCONI, 2015, p. 2):

1. A mentalidade *maker* (“*maker mindset*”): valores, crenças, disposições que caracterizam o pertencer à comunidade *maker*;
2. Uma infraestrutura comunitária que inclui recursos *online* e espaços para a organização pessoal e de eventos;
3. Um conjunto de ferramentas que inclui máquinas de fabricação digital, impressoras 3D, microcontroladores de baixo custo e equipamentos tradicionais.

Segundo Tesconi (2015), na mentalidade *maker* há um interesse individual em querer criar algum artefato que tenha significado para a pessoa que o faz. A motivação gerada pelo interesse pessoal e a livre escolha fomentam a aprendizagem de habilidades e conhecimentos necessários para continuar criando. Dentre os valores culturais que existem nessa mentalidade, o fracasso é um recurso fundamental, pois ele é visto com valor positivo que aciona novos processos de aprendizagem.

Quando os *makers* se reúnem, Tesconi (2015) diz que eles formam uma comunidade de compartilhamento de conhecimento (*knowledge building community*) e, dentre suas práticas formativas, está a formação profissional em ciências e tecnologia e a prática educativa baseada na indagação.

Por esses fatores, pode ocorrer um problema quando uma tecnologia se torna hábito das pessoas, principalmente dos estudantes, e passa a ser utilizada como meio de aprendizado. A escola tradicional, que opta por não incorporar ou que não sabe incorporar as TIC no ensino, deverá ficar ainda mais em desacordo com os novos hábitos dos estudantes. Por isso, é necessário trabalhar as transformações tecnológicas na formação docente, não apenas transmitindo conhecimentos técnicos, mas preparando os professores para que eles possam entender sobre as relações das tecnologias com o mundo em que estão inseridas, e para que possam fazer parte do aprendizado dos estudantes não apenas como instrutores de conteúdo, mas também contribuam com o desenvolvimento de opiniões e atitudes sobre as TIC.

Com a finalidade de semear discussões sobre possíveis consequências da tecnologia de impressão 3D na sociedade, alguns assuntos foram selecionados e discutidos abaixo:

**a) A manufatura pessoal deverá facilitar a fabricação de itens que hoje têm seu comércio mais controlado, tais como as armas, para as quais já há modelos 3D desenvolvidos exclusivamente para serem produzidos por impressoras 3D:**

Um grupo autodenominado *Defense Distributed* está embarcado em um controverso projeto para tornar disponível modelos 3D de armas funcionais de plástico que podem ser baixados e fabricadas por qualquer um com uma impressora 3D. [...] “É uma espécie de um primeiro passo. Os símbolos são importantes. Este é um símbolo, armas podem ser impressas”, disse Wilson. “Isso abre novas fronteiras para a propriedade intelectual. Uma tonelada de coisas vai acontecer na próxima década. Não estou dizendo que o nosso projeto em particular vai revolucionar o mundo, mas se esse projeto falhar totalmente, armas poderão ser impressas por qualquer um, em algum lugar.” (POETER, 2012, tradução nossa)



Nessa discussão é necessário o uso do bom senso, pois se deparar com a notícia de que a impressora 3D possibilita fabricar armas de plástico em casa pode despertar medo. Esse medo, inclusive, pode motivar ideias como o controle e a regulamentação do acesso a essa tecnologia.

As impressoras 3D acessíveis às pessoas físicas, até este momento, utilizam principalmente polímeros (plástico) para construir os objetos. Existem milhares de fabricantes de objetos plásticos, e basta um olhar em volta para que dezenas de objetos plásticos sejam vistos. Ou seja, a possibilidade de fabricar armas de plástico sempre existiu e, inclusive, elas são fabricadas, mas como brinquedos, que também podem ser utilizados para cometer crimes, como assaltos, mas esses simulacros de armas não disparam as tradicionais munições de chumbo, que se impulsionam utilizando a energia liberada na reação química provinda da pólvora. E essas munições continuam com seu acesso regulado.

Uma rápida navegação no site do grupo que desenvolveu os modelos 3D de armas, o *Defense Distributed*<sup>17</sup>, pode ser suficiente para perceber que as armas conseguem disparar uma quantidade limitada de projéteis antes de quebrarem, mesmo utilizando impressoras 3D de estereolitografia, que têm seu custo de aquisição mais elevado. Portanto, imprimir uma arma numa impressora 3D residencial deverá propiciar um resultado ainda pior. Portanto, pelo menos por ora, essa tecnologia não deverá ser utilizada para produzir armas caseiras para a realização de crimes.

É claro que a tecnologia muda rapidamente. Em breve, as impressoras 3D pessoais poderão construir utilizando metal a um custo reduzido, ou os tradicionais projéteis de chumbo impulsionados pela combustão da pólvora poderão ser substituídos por objetos perfurantes de plástico, disparados pela energia liberada pela reação de produtos químicos encontrados em casa. Tudo isso poderá ter sido desenvolvido por um grupo de pessoas que, em cooperação virtual, aprenderam e compartilharam esses conhecimentos.

Caso uma situação desatinada como essa se torne realidade, é pouco provável que os mecanismos atuais conseguirão controlar. Provavelmente será preciso outras maneiras de trabalhar o problema, tal como o desenvolvimento de atitudes e valores. E apesar das críticas,

---

17: <https://defdist.org/>

como as de Postman (1994), poderá ser preciso, sim, modificar a cultura devido às novas tecnologias. Isso vem sendo feito, por exemplo, no caso da distribuição digital de música; em vez de considerar essa modalidade como pirataria, desenvolveu-se o conceito de que ela pode ser utilizada a favor dos músicos. Isso motivou o surgimento de serviços virtuais que utilizam essa funcionalidade e remuneram os artistas. O próprio conceito de pirataria também poderá ser rediscutido com o uso da impressão 3D.

#### **b) A reprodução de objetos e a pirataria**

Alguns produtos são criados sob direitos autorais e patentes: armações de óculos, bonecos de personagens de desenhos e filmes, blocos de montar, etc. Uma das maneiras de criar modelos 3D é por meio da técnica de digitalização 3D. Ela pode ser realizada com a câmera fotográfica digital de um *smartphone*, onde se rotaciona o aparelho em torno de um objeto, fotografando-o, e, em alguns instantes, por meio de um aplicativo instalado no próprio *smartphone*, acontece o processamento das fotos. Então um modelo 3D do objeto é gerado, pronto para ser construído por uma impressora 3D. Esse modelo 3D pode ser compartilhado com o mundo todo em alguns segundos. A partir dessa sucessão de eventos, pode não mais fazer sentido comercializar esses objetos, uma vez que os compradores poderão fabricá-lo em casa.

Alguns *sites* aparecem constantemente no jornalismo tecnológico por facilitar a distribuição de conteúdo sob direitos autorais por meio de ferramentas como o *torrent*<sup>18</sup>. Parte deles já contam com uma seção exclusiva para o compartilhamento de modelos 3D. Além desses, que há muito tempo são acusados de pirataria, outros foram e continuam sendo criados exclusivamente para o compartilhamento de modelos 3D, como o *Thingiverse*<sup>19</sup>. Navegando rapidamente por ele, é possível encontrar dezenas de modelos de objetos iguais aos que estão à venda no comércio.

Por ora, as técnicas de impressão 3D mais acessíveis às pessoas impossibilitam a produção de objetos com o acabamento que um produto oficial normalmente possui. Mas esforços conjuntos das comunidades virtuais que compartilham experiências e conhecimentos com a

---

18: *Torrent* é uma tecnologia *software* que possibilita a pessoas trocar arquivos ponto-a-ponto entre os computadores das pessoas envolvidas na troca, sem necessitar de um computador central (servidor) que contenha uma cópia e vá distribuindo esses arquivos

19: <http://www.thingiverse.com/>

impressão 3D já desenvolveram e compartilharam métodos que possibilitam fazer em casa um acabamento com qualidade estética.

Um dos métodos de realizar acabamento, compartilhado na internet<sup>20</sup>, consiste em colocar alguns mililitros de acetona num pote fechado junto com o objeto impresso em plástico ABS<sup>21</sup>. O pote é, então, deixado em repouso sobre uma superfície aquecida, que pode ser a própria superfície de impressão da impressora 3D, para que a acetona líquida mude seu estado físico para o gasoso. Esse gás dissolve suavemente a superfície do objeto que, após algumas horas, fica suavizada e brilhante, alcançando um resultado estético próximo aos produtos fabricados industrialmente.

Tão interessante quanto a melhora da aparência do objeto construído pela impressora 3D, é o aprendizado que ocorre quando as comunidades virtuais interagem entre si para aprender a aplicar e difundir o método. Isso porque a execução dessa atividade trabalha conteúdos de química (a corrosão do plástico ABS pela acetona) e física (aquecer o pote para alterar o estado físico da acetona líquida dentro dele).

Portanto, apesar de não ser imediato e nem em larga escala devido às características atuais da maioria das impressoras 3D de custo reduzido e os métodos trabalhosos para dar qualidade às peças impressas, a tecnologia de impressão 3D poderá mudar, por exemplo, a maneira como se obtém o boneco de um personagem admirado de um filme de ficção científica.

---

20: <http://blog.reprap.org/2013/02/vapor-treating-abs-rp-parts.html>

21: Sigla para o polímero (plástico) *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrila, butadieno e estireno).

**c) Impactos socioeconômicos na indústria:**

As impressoras 3D podem ser consideradas robôs que constroem, o que as torna interessante para a indústria:

Para muitas empresas, a lógica desta tecnologia já está clara. A primeira vantagem é a eficiência. Dado que as impressoras 3D constroem objetos por camadas, com plástico ou outro material, guiadas por um arquivo de desenho que elimina o desperdício da fabricação tradicional, na qual até 90% da matéria-prima acaba sendo descartada. As impressoras podem trabalhar durante todo o dia e noite sem vigilância. Podem imprimir peças interligadas, reduzindo ou eliminando a necessidade de montagem. Elas vão permitir que as empresas encurtem as cadeias de fornecimento, rapidamente distribuirão produtos para qualquer impressora e rapidamente farão peças de reposição. E podem criar objetos com geometrias e complexidades internas que as máquinas das fábricas tradicionais não conseguem igualar. (BLOOMBERG NEWS, 2013, tradução nossa).

Não é difícil imaginar uma possível alteração na cadeia de produção em atividades simples do cotidiano das pessoas: quando o para-choques de um carro quebrar e for levado a uma oficina de funilaria, em vez do funileiro solicitar ao fabricante ou ao distribuidor que envie uma peça dentro de alguns dias, a própria oficina poderá fabricar o para-choques utilizando sua impressora 3D de grandes dimensões. Essa hipótese não é exagerada, dado que o aumento dos eixos de uma impressora 3D não altera sua lógica de funcionamento. Além disso, impressoras 3D de alta resolução são utilizadas para construir protótipos de peças da carroceria dos automóveis durante seu projeto. Portanto, bastam os custos dos equipamentos reduzirem e o conhecimento de como utilizá-los se difundir.

Imaginar uma situação como essa pode levar a uma reflexão apocalíptica: a fábrica tradicional de para-choques irá à falência, o distribuidor regional não terá a quem representar e o caminhoneiro que fazia o frete não terá o que entregar. Contudo, alguma empresa terá que fabricar as impressoras 3D, seus componentes e os suprimentos, assim como algum distribuidor será preciso para representar esse novo fabricante em diferentes locais, e o caminhoneiro terá que aprender novos cuidados para fretar produtos de tecnologia. Ou seja, deverão haver mudanças, não substituições.

As mudanças ocasionadas pelas tecnologias também atingem a educação, as escolas e os professores. Mais importante ainda, elas atingem os alunos. Se um professor trabalhar 30 anos numa escola, ele deverá se deparar com duas ou três gerações diferentes de estudantes que estarão desenvolvendo hábitos diferentes do dele, cada vez mais rápido. Se a escola e os

professores não discutirem, refletirem e acompanharem, os novos hábitos poderão ser interpretados como fatores que atrapalham a educação. Um exemplo atual são os *smartphones*, que a maioria das escolas ainda vê como um mal à educação, pois não sabe como usá-lo a favor do ensino, integrando-o às práticas educacionais.

#### **d) Problemas de saúde e ambientais**

O filamento plástico de menor custo até o momento é o plástico *ABS*. Rutkowsk e Levint (1986) analisaram por meio de uma revisão bibliográfica a toxicidade do *ABS*, e concluíram:

[...] A avaliação completa da toxicidade relativa dos produtos de combustão de *ABS* é complicada devido a um grande número de variações possíveis nas formulações químicas do *ABS* e a uma variedade de sistemas de testes e protocolos experimentais. No entanto, as seguintes generalizações são possíveis: [...] Os produtos da degradação térmica dos plásticos *ABS* demonstram um grau mensurável de toxicidade. Porém, a toxicidade dos produtos de combustão *ABS* é comparável à toxicidade dos produtos de degradação de outros materiais poliméricos comuns. (RUTKOWSKI; LEVINT, 1986, p. 104, tradução nossa).

À medida que as impressoras 3D se popularizarem e as pessoas utilizarem o filamento de plástico *ABS* como suprimento, poderão ficar expostas de modo constante ao vapor do *ABS* em suas residências ou ambientes profissionais, pois o plástico é derretido em torno de 210 a 240 °C para a construção dos objetos e, conseqüentemente, uma parte chega a ser vaporizada. Ambientalmente, outra consequência é que, se houver uma produção desenfreada de objetos desnecessários, aumentará a quantidade de lixo e desperdício de energia se esses não forem reciclados.

Alternativo ao *ABS*, há o filamento de plástico *PLA*<sup>22</sup>. Ele é um polímero formado por moléculas de ácido polilático, que são derivadas de fontes renováveis como o amido de milho e a mandioca. Isso torna este material biodegradável e atóxico. Seu ponto de fusão também é a uma temperatura mais baixa, propiciando economia de energia em relação ao *ABS* quando utilizado para construir objetos com a impressora 3D.

O custo de aquisição do plástico *PLA* é mais elevado que o *ABS*, mas pela redução das consequências ao utilizar o *PLA* como matéria-prima, essa diferença de valores se compensa no longo prazo.

---

22 Sigla para o polímero (plástico) *Polilact Acid* (Ácido Polilático).

### 3.6 Os tipos de aprendizagem de Gagné

Durante a revisão bibliográfica sobre o uso impressão 3D na educação, foram encontrados alguns trabalhos que indicam que essa tecnologia pode, de fato, contribuir para o aprendizado. As atividades desenvolvidas nesta pesquisa não foram elaboradas a partir de teorias de ensino-aprendizagem, como o que foi feito no trabalho de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), onde foi utilizada a teoria do Construcionismo de Seymour Papert para organizar atividades e prever aprendizados. Apesar disso, aprendizagens puderam ser observadas durante as duas fases desta pesquisa.

Para fundamentar algumas discussões sobre os aprendizados, foram empregados alguns dos tipos de aprendizagem que Gagné (1971) descreveu em seu livro “Como se realiza a aprendizagem”. O autor considera seu trabalho como referência para as condições e características que se apresentam quando ocorre a aprendizagem, e não uma teoria de ensino-aprendizagem. Nesta subseção da revisão bibliográfica, está colocada uma síntese dos tipos de aprendizagem de Gagné (1971) que foram utilizadas para fazer as análises nesta pesquisa.

Para Gagné (1971), a aprendizagem é uma modificação na disposição ou na capacidade do homem. Essa modificação pode ser retirada, e não pode ser simplesmente atribuída ao processo de crescimento (fatores biológicos). É através dessas modificações que se desenvolvem habilidades, apreciações e raciocínios, bem como as esperanças, as aspirações, as atitudes e os valores do homem. É pelo aprendizado, também, que o homem pode conduzir-se convenientemente dentro de uma sociedade complexa.

Gagné (1971) considera como elementos do processo de aprendizagem:

- O aprendiz;
- Uma situação estimuladora;
- Uma resposta.

A situação estimuladora é a soma dos fatores que estimulam os sentidos do aprendiz; a resposta (ou realização/execução) é uma ação que resulta da estimulação e da atividade nervosa subsequente ao estímulo.

A modificação trazida pela aprendizagem é:

Do nível:

“situação estimuladora” => “nada” (incapacidade de prover alguma resposta/performance)

Para o nível:

“situação estimuladora” => “resposta/performance”

Ou seja, o processo de aprendizagem realiza-se quando uma situação estimuladora afeta de tal maneira o aprendiz que a performance por ele apresentada antes de entrar em contato com essa situação se modifica depois de ser nela colocado. A modificação da performance é o que nos leva à conclusão de que a aprendizagem se realizou (GAGNÉ, 1971, p. 4).

Segundo Gagné (1971), a premissa de que “toda aprendizagem se realiza igualmente” é injustificável. E assim como há distintos tipos de aprendizagem, também há diferentes condições para que elas se realizem. Cada aprendizagem inicia-se a partir de um ponto diferente de habilidade interna e demanda uma situação externa diferente.

Os oito tipos de aprendizado de Gagné (1971) são:

1) Aprendizagem de sinais; 2) Aprendizagem do tipo estímulo-resposta; 3) Aprendizagem em cadeia; 4) Associações verbais; 5) Aprendizagem de discriminações múltiplas; 6) Aprendizagem de conceitos; 7) Aprendizagem de princípios; 8) Resolução de problemas.

As primeiras são os tipos primários, tal como a aprendizagem de sinais, onde o indivíduo aprende a dar uma resposta geral e difusa a um sinal. Já as últimas são as mais complexas, pois dependem das anteriores terem sido aprendidas. O autor restringe o uso dos tipos de aprendizagem, afirmando que eles não são aplicáveis a alguns problemas da educação como os aspectos da interação pessoal de um professor com seus alunos, a motivação, a persuasão, o estabelecimento de atitudes, aptidões e de valores.

Na análise dos resultados desta pesquisa, foram utilizados os tipos de aprendizagem de conceitos, princípios e a de resolução de problemas.

### **a) O aprendizado de conceitos**

Gagné (1971, p. 41) afirma que aprender um conceito, significa a responder a estímulos em termos de propriedades abstratas, tais como cor, forma, posição e números, como opostas a propriedades físicas concretas, tais como comprimentos de onda ou intensidades específicas. Assim, a pessoa se torna capaz de dar uma resposta que identifica toda uma classe de objetos ou fatos.

Dentre as condições de aprendizagem para os conceitos, há a necessidade de uma variedade de situações estimuladoras sobre a propriedade conceitual a ser aprendida, isto é, uma mesma propriedade deve ser apresentada em situações diferentes para que ela possa ter sua representação interna bem discriminada. Devido à necessidade de ocorrer várias circunstâncias, essa aprendizagem pode ser gradual.

Um exemplo desse tipo de aprendizagem, pode ser apresentado com conceito de “forma esférica”, que é uma propriedade abstrata. Para aprendê-la, seria preciso haver situações em que ocorresse sua diferenciação dentre outras formas: o aprendiz poderia indicar várias vezes qual é o objeto esférico entre outros com a forma cúbica, piramidal, cilíndrica, etc., até que pudesse sempre identificar o conceito de “forma esférica”.

### **b) A aprendizagem de princípios**

Uma cadeia de conceitos forma um princípio, que, por sua vez, é aquilo denominado “conhecimento”. Um princípio representa todas as relações possíveis de existir entre os conceitos. O tipo mais simples de princípio pode ser considerado comumente sob a forma: “Se A, logo B”. Para ocorrer essa ligação, os conceitos devem ter sido aprendidos anteriormente, por isso essa aprendizagem não ocorre no indivíduo como em “tabula rasa”. Cada forma de aprendizagem se edifica sobre bases fornecidas pelas aprendizagens que as precedem. É errôneo acreditar que os objetivos podem ser atingidos ignorando os outros tipos de aprendizagem (GAGNÉ, 1971, p. 125).

Gagné (1971, p. 130) exemplifica uma condição para o aprendizado de um princípio: um estudante de biologia encontra-se diante do princípio relativo à metamorfose dos insetos. É bastante evidente, neste caso, que o estudante que está tendo de aprender o princípio, já deva conhecer o conceito de inseto de modo suficientemente discriminado do de outras categorias



de animais; igualmente já deve saber o conceito de metamorfose, também convenientemente diferenciado de outros tipos de mudanças que se dão durante o desenvolvimento de um animal.

Quando os conceitos que compõem um princípio foram previamente aprendidos, a instrução verbal pode ser suficiente, mas, no exemplo acima do estudante de biologia, deve-se assinalar que será mais fácil o indivíduo aprender se já tiver visto algum tipo de metamorfose em laboratório, museu, natureza, etc.

Um exemplo de ensino verbal que pode ser suficiente nas situações em que o aprendiz está apto a aprender um novo princípio, é o aprendizado do princípio de geometria elementar "Um ângulo é formado pela intersecção de duas linhas", que pode manifestar-se em frases como: "Aqui estão duas linhas, elas se cortam. Temos, então, um ângulo." (GAGNÉ, 1971, p. 132)

Dois ou mais princípios podem compor um princípio de ordem superior, que, por sua vez, pode se combinar para servir de aprendizado de outro princípio de ordem superior e assim por diante. O conjunto total de princípios, assim sistematizados, forma uma hierarquia denominada estrutura do conhecimento sistematizado do assunto (GAGNÉ, 1971, p. 135).

Gagné (1971, p. 139) destaca que, apesar de haver a necessidade do conhecimento prévio de princípios para a aprendizagem de um de ordem superior, o simples fato de conhecê-los não significa que um princípio imediatamente superior será conhecido; este deverá, também, ser aprendido. Ao conhecer os princípios de ordem inferior, obtém-se apenas as condições inerentes ao aprendiz, mas isso não acontece com a situação de aprendizagem; alguma coisa deve ser ensinada.

Nesse tipo de aprendizagem, a repetição não tem se mostrado uma condição importante, nem mesmo para sua retenção. Entretanto, sob a forma de exercícios de fixação, a fim de superar os efeitos da interferência, a repetição não deve ser rejeitada.

O aprendizado de princípios de ordem superior resulta, em geral, da resolução bem-sucedida de problemas e se torna, por sua vez, parte do acervo de habilidades do indivíduo. Esses princípios parecem ser de fácil retenção e altamente resistentes ao esquecimento (GAGNÉ, 1971, p. 128).

### **c) A aprendizagem pela resolução de problemas**

Gagné (1971, p. 48) afirma que, uma vez adquiridos alguns princípios, o ser humano pode utilizá-los com finalidades diversas. Ele pode pensar, e isso significa que ele está apto a combinar os princípios já aprendidos com novos princípios de hierarquia mais elevada. A solução de problemas é a elaboração de um novo princípio que combine outros já aprendidos. Os princípios lembrados combinam-se de maneira que um novo princípio apareça e seja aprendido.

Os problemas devem ser solucionados por meio de raciocínio, utilizando-se de princípios simples ou complexos. Os princípios são, pois, o conteúdo do pensamento. Quando a solução do problema é alcançada, alguma coisa é sempre aprendida, no sentido de que a capacidade do indivíduo se modificou mais ou menos permanentemente.

Para que ocorra uma aprendizagem por meio da resolução de um problema, deve-se ter em mente que é o primeiro encontro do aprendiz com o problema. A situação deve ser realmente nova, e o aprendiz deve encontrar as etapas do pensamento que o levarão à solução.

Para Gagné (1971, p. 143), os dois aspectos mais dignos de nota a respeito da situação problemática, do ponto de vista do aluno, são: primeiro, as instruções informam-no do que ele quer realizar, isto é, um tipo de informação relativa ao fato; em segundo lugar, ele deve evidentemente ser capaz de evocar determinados princípios já aprendidos.

Gagné (1971, p. 144) alerta que não se deve apresentar a solução do problema à pessoa que aprende, pois isso é um processo que se mostra ineficiente para a aprendizagem. Pode-se, em vez disso, apresentar verbalmente um princípio envolvido, mas evitando uma orientação muito extensa, pois pode limitar a organização de hipóteses a serem desenvolvidas na solução do problema.

Quando um problema é resolvido sem qualquer auxílio verbal específico, isto é, o indivíduo defronta-se com um problema que esteja "além de sua capacidade", no sentido de que ele deve adquirir por si mesmo todos os princípios subordinados antes de chegar à solução, o indivíduo constrói um novo princípio de ordem superior à sua maneira pessoal e pode ou não ser capaz de verbalizá-lo após tê-lo elaborado. Resoluções de problemas em situações como essa podem

acontecer, mas Gagné (1971, p. 149) afirma que não faz sentido advogar essa ocorrência como um método prático de aprendizagem.

Sobre o fator repetição, Gagné (1971, p. 147) afirma que uma vez alcançada a resolução do problema, a aprendizagem não parece influenciada pela repetição e o que se aprende resiste ao esquecimento. Também alega que a capacidade estabelecida pela resolução do problema pode ser generalizada imediatamente e sem qualquer repetição a toda uma classe de problemas.

Os estudos de Gagné (1971, p. 153) indicaram que quando os indivíduos tentam resolver um problema, eles podem aprender também a dar instruções a si mesmos, a adotar estratégias (princípios heurísticos) que guiem seu pensamento. Apesar de não aparecerem como fazendo parte dos objetivos da aprendizagem, elas são, todavia, aprendidas.

Pelo aprendizado de estratégias gerado na resolução de problemas, este deveria ser considerado o tipo mais importante tipo de aprendizado. Afinal, questiona Gagné (1971), “a finalidade principal das instruções escolares não seria ensinar o aluno a pensar”?

Apesar da importância de se aprender estratégias de pensamento, as aprendizagens que acontecem anteriores à heurística são igualmente importantes:

Conhecer uma série de estratégias não é o que se requer para pensar; nem mesmo uma parte substancial do que é necessário. Para ter realmente capacidade de resolver problemas, o indivíduo precisa de algum modo já ter adquirido grande cabedal de conhecimentos estruturalmente organizados. E estes conhecimentos se compõem de princípios de conteúdo e não de princípios heurísticos. (GAGNÉ, 1971, p. 154)

## **CAPÍTULO 4**

## 4 Preparação Técnica

A preparação técnica começou pela definição de dois requisitos: primeiro, escolher uma técnica de impressão 3D dentre as várias existentes; em segundo lugar, definir o *software* para desenhar os objetos que seriam construídos pela impressora 3D, atividade intitulada como modelagem 3D.

### 4.1 Escolha da técnica de impressão 3D

A escolha da técnica de impressão deu-se, principalmente, pela análise do custo da impressora e seus suprimentos. Para isso, foram feitas pesquisas de custos de impressoras 3D à venda no varejo virtual e por fornecedores especializados. Também foram levados em conta características que poderiam dificultar o uso, tal como o tamanho e requisitos especiais difíceis de implementar num ambiente escolar. Os custos das impressoras 3D variavam desde o custo de um microcomputador pessoal, no caso das impressoras baseadas no projeto *RepRap*, até o preço de um automóvel zero-quilômetro para as impressoras de alta resolução.

A técnica de impressão 3D escolhida foi a Fabricação por Filamento Fundido (FFF), que também é conhecida como FDM, termo registrado por Crump (1989). As impressoras 3D que trabalham com essa técnica são as que apresentam menor custo, principalmente as baseadas no projeto *RepRap*, mas mesmo as impressoras de arquitetura proprietária também possuem um custo inferior em relação a outras técnicas de impressão, como a estereolitografia. É possível que a diferença entre esses custos mude em breve, pois já existem impressoras de estereolitografia desenvolvidas para o uso pessoal, fabricadas por empresas financiadas coletivamente como a *Formlabs*<sup>23</sup>.

Com relação aos suprimentos, as impressoras de filamento também são as que apresentam menor custo para esse item, já que existem vários fornecedores, inclusive fabricantes brasileiros. O tipo de filamento pelo qual se optou foi o plástico PLA, apesar de existir o plástico ABS, que é um pouco mais barato, mas cujo vapor apresenta toxicidade (RUTKOWSKI; LEVINT, 1986). É importante levar em consideração que, em um ambiente escolar, não costumam existir equipamentos como máscaras de proteção.

---

23: <http://formlabs.com/>

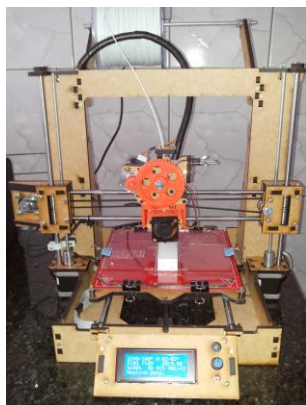
## 4.2 Escolhendo a impressora 3D

A escolha de uma impressora 3D deve atender às necessidades dos usuários. Pela experiência obtida com o uso dela e por sugestões encontradas no relatório do Department for Education (2013), algumas perguntas podem ser feitas para orientar a escolha:

- Quem irá usá-la? Apenas professores, ou alunos também e até a comunidade?
- Qual a velocidade de impressão necessária?
- Qual a interface de comunicação entre a impressora 3D e o arquivo a ser impresso? Porta USB? Cartão SD? Um computador poderá ficar conectado à impressora enviando as instruções durante o período de impressão?
- Qual deve ser o custo dos suprimentos?
- Qual o nível de dificuldade de uso que a impressora 3D deve apresentar?
- Com quais sistemas operacionais a impressora deverá ser compatível?
- Será preciso haver garantia, assistência e suporte técnico após a compra?

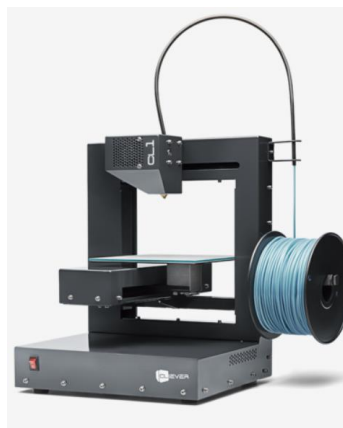
Algumas características das impressoras 3D, segundo as questões acima, foram comparadas entre três modelos de impressoras 3D (Figura 4.1), disponíveis à venda no Brasil (Quadro 4.1).

Figura 4.1 – Impressoras 3D comparadas.



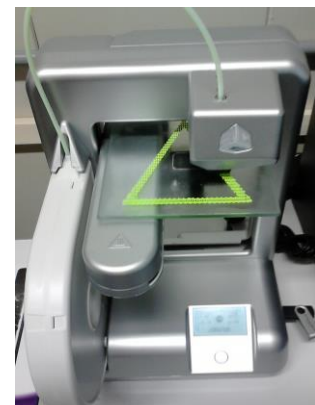
(a) RepRap versão Graber i3

Fonte: Próprio autor.



(b) Cliever. Fonte: Cliever

Tecnologia.



(c) Cube de 2ª Geração.

Fonte: 3D Systems.

Quadro 4.1 – Comparação de características entre três modelos de impressoras 3D disponíveis para a venda no Brasil.

	<i>RepRap Graber i3</i> <sup>24</sup>	<i>Cliever</i> <sup>25</sup>	<i>Cube 2</i> <sup>26</sup>
Complexidade de uso	Média	Baixa	Baixa
Custo da impressora <sup>27</sup>	R\$ 2000, 00 (kit com peças p/ montar)	R\$ 4659,00	R\$ 3998,00
Custo dos suprimentos	R\$ 180/kg	R\$ 180/kg	R\$ 590,63/kg
Suporte técnico no Brasil	Não, mas há uma grande e ativa comunidade virtual para ajudar.	Sim	Sim
Sistemas operacionais compatíveis	<i>Windows, Linux e Mac</i>	<i>Windows</i>	<i>Windows</i>
Interface de comunicação	Normalmente cabo USB, mas pode ser agregado um acessório para cartão <i>SD</i>	Cabo USB	<i>Wi-fi e memória flash USB</i>

Duas impressoras de filamento foram utilizadas nesta pesquisa. Primeiramente, adquiriu-se uma impressora de arquitetura proprietária, a *Cube* de 2<sup>a</sup> geração, fabricada pela empresa 3D *Systems*. Mais tarde, um kit com peças para a *RepRap* versão *Graber i3* foi obtido e a impressora montada (Figura 4.2).

24: RepRap Graber i3: [http://reprap.org/wiki/Graber\\_i3](http://reprap.org/wiki/Graber_i3)

25: <http://www.cliever.com.br>

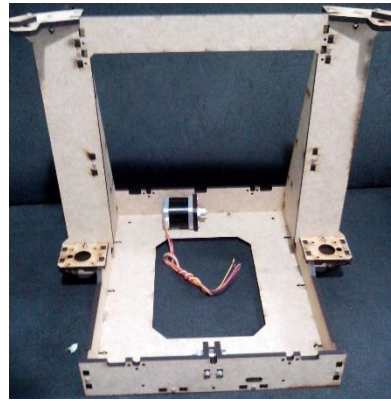
26: <http://cubify.com/Products/Cube2TechSpecs>

27: Os custos apresentados referem-se aos valores pagos pela *Cube 2* e pelo kit da *RepRap Graber i3*. Os outros custos referem-se a preços disponíveis pelos produtos, no mês de agosto de 2014, em lojas virtuais brasileiras.

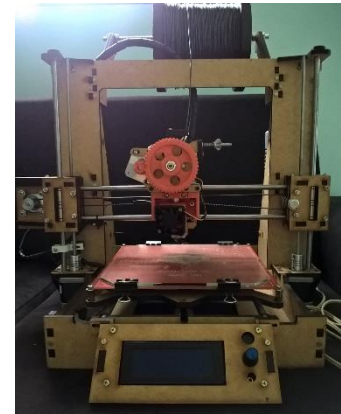
Figura 4.2 - Impressora 3D *RepRap Graber i3*, montada a partir de um kit com as peças.



(a) Caixa com as peças soltas.  
Fonte: próprio autor.



(b) Parte estrutural montada. Fonte:  
próprio autor.



(c) Montagem concluída. Fonte:  
próprio autor.

O filamento para a impressora 3D *Cube 2* apresenta um custo alto, pois é fornecido em cartuchos proprietários, cada que cartucho vem com aproximadamente 320g e custa, em média R\$ 180, o que totaliza R\$ 540 o quilo. Já a impressora *RepRap Graber i3* não utiliza suprimentos proprietários; assim, 1 kg de filamento PLA pode ser encontrado por R\$ 120, fornecido por um fabricante brasileiro, ou seja, um custo quase 5 vezes menor que o filamento da *Cube*.

As principais diferenças entre a *Cube 2* e a *RepRap Graber i3* estão na maneira de operar. O painel de operações da *Cube 2* e o *software* que a acompanha para fazer a preparação dos modelos 3D para a impressão exigem menos conhecimentos técnicos para serem operados e buscam analogias com ações com as quais as pessoas se acostumaram mediante o uso das tecnologias atuais. Uma das analogias presentes no *software* que acompanha a impressora *Cube 2*, está na escolha da densidade de preenchimento dos objetos que serão construídos: as opções para a impressão 3D são “oco”, “forte” e “sólido” (Figura 4.3a), o que, de certa maneira, cria uma analogia com as opções utilizadas nas impressoras de papel, que são: “rascunho”, “qualidade normal” e “alta resolução”.

Já nos *softwares* que preparam os modelos 3D para serem impressos nas *RepRap*, como o *MatterControl* (Figura 4.3b), as opções que exigem do usuário mais entendimentos sobre o que está sendo trabalhado. Por exemplo, em vez de agrupar as opções sob o título “Modo de impressão”, como acontece no *Cube Software*, elas ficam reunidas na configuração



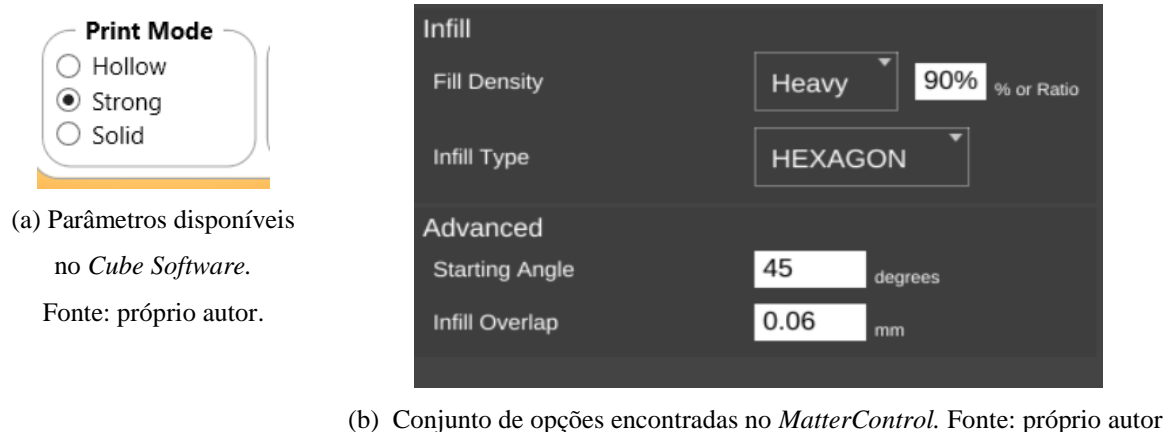
“Preenchimento” do objeto. Para trabalhar essa configuração, o software solicita informações (parâmetros) como “densidade de preenchimento” e “tipo de preenchimento”, o que exige do usuário o conhecimento sobre o conceito físico de densidade, além de possuir instruções (ou experiência) sobre o que os outros parâmetros causarão no objeto que será construído pela impressora 3D.

Apesar das dificuldades iniciais, a utilização de um software que exige mais raciocínio sobre como está sendo realizada a preparação do objeto para a impressão é uma oportunidade de aprendizado, pois, como no exemplo dado acima, é preciso conhecer previamente ou buscar o aprendizado do conceito físico de densidade.

É inegável que uma interface simples como a do *Cube Software*, aliada a um cenário escolar onde os professores não terão muito tempo disponível para aprender como operar ferramentas mais complexas, pode ajudar devido à simplicidade das funcionalidades. Entretanto, aprendizados errados podem ocorrer devido às tentativas de analogias e simplificações.

No *Cube Software*, dentre as opções do modo de impressão (Figura 4.3a), existe a opção “*Solid*” (sólido), que é utilizada como sinônimo de objeto maciço, de alta densidade de preenchimento. Entretanto, essa simplificação pode levar a um aprendizado equivocado, pois mesmo se o usuário escolher outras opções disponíveis no modo de impressão, como a opção “*Hollow*” (oco), o objeto depois de impresso será um sólido também, isto é, o objeto só deixaria de ser sólido se estivesse em outros estados, como o gasoso ou líquido. De maneira contrária, fazendo um uso correto do conceito de densidade, o *software MatterControl* associa a opção “*Heavy*” (pesada) a uma densidade maior de preenchimento (Figura 4.3b), e “*Light*” (leve) para a baixa densidade.

Figura 4.3 - Diferença entre as opções disponíveis para a escolha do preenchimento dos volumes dos objetos.



Outra diferença entre uma impressora 3D montada com componentes à venda no varejo, como as *RepRap*, e uma vendida pronta, como a *Cube 2*, é que as impressoras de arquitetura proprietária têm uma equipe de engenheiros, técnicos e assistentes de qualidade fazendo testes e ajustes para desenvolver uma boa sincronia entre seus componentes. Devido a isso, elas se tornam mais caras. Contudo, essas impressoras 3D podem ser a uma boa escolha num cenário em que a escola necessita de dispositivo que exige poucos ajustes e tenha assistência técnica.

As impressoras de arquitetura aberta são montadas com componentes diferentes, cada um fornecido por um fabricante. Tal fato vai exigir calibrações de quem as montar. Isso pode ser considerado uma grande barreira, mas, ao mesmo tempo, produz uma excelente situação de estímulo à aprendizagem. Nessas impressoras, é necessário regular componentes como motores de passo, correias, termistores, microcontrolares e outros. A tarefa de sincronizar todas as peças exige que sejam trabalhados conceitos matemáticos e físicos para, por exemplo, calibrar quantos graus o eixo de um motor de passo deve girar para que a correia que está conectada a ele movimente-se exatamente uma determinada distância, pois, caso contrário, ao imprimir, as medidas do objeto impresso poderão ficar divergentes das estabelecidas durante a modelagem 3D.

Devido aos conhecimentos necessários para montar e calibrar uma *RepRap*, elas são uma ótima escolha para instituições de ensino em que existam estudantes interessados na montagem

de dispositivos eletrônicos. Esses estudantes estarão submetidos a uma situação de estímulo à aprendizagem, pois, de maneira prazerosa, eles precisarão estudar e aplicar conceitos de matemática e física na resolução do problema de montar e configurar uma impressora 3D.

#### 4.3 Escolha de um *software* de modelagem 3D

O *software* para modelagem 3D foi escolhido a partir de dois parâmetros importantes para o cenário escolar: uma interface com funcionalidades intuitivas, pois tanto os professores como os estudantes provavelmente não terão conhecimentos avançados em *design* para operar aplicativos complexos, e o custo do *software*, a fim de facilitar sua aquisição e distribuição.

Dentre dezenas de *softwares* de modelagem 3D disponíveis, dois foram pré-selecionados por serem ou terem uma versão gratuita: o *SketchUp Make*<sup>28</sup> e o *Blender*<sup>29</sup>. Em seguida, utilizando-os, foram avaliadas funcionalidades disponíveis nas interfaces, verificando se o uso delas era intuitivo. A literatura revisada indicou *softwares* que foram utilizados com propósitos parecidos com o desta pesquisa:

A maioria das escolas usaram o *SketchUp* como *software* principal, pois é gratuito e está disponível para os alunos fazerem o *download* e usarem fora da escola. Em algumas escolas, o *SketchUp* era ensinado como parte do currículo das TIC. (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 21, tradução nossa)

Para esta pesquisa, o *software* escolhido para fazer a modelagem 3D também foi o *SketchUp*. Ele já foi de propriedade do *Google* e hoje é distribuído e mantido pela *Trimble Navigation*<sup>30</sup>, que ainda disponibiliza uma versão gratuita. Sua interface disponibiliza funcionalidades para desenhar utilizando formas geométricas conhecidas pela maioria das pessoas, tais como linhas, círculos e retângulos. As operações dessas ferramentas também são semelhantes às existentes em outros *softwares* de desenho conhecidos, como o *Microsoft Paint*.

---

28: <http://www.sketchup.com/pt-BR/products/sketchup-make>

29: <https://www.blender.org/>

30: <http://www.trimble.com/>

## **CAPÍTULO 5**

## 5 Construindo instrumentos didáticos com a Impressão 3D

Nesta seção estão os registros das ações realizadas durante as construções dos instrumentos didáticos na primeira fase.

A primeira subseção contém exemplos de instrumentos didáticos que foram construídos a partir de modelos 3D compartilhados pela internet. A reprodução desses objetos visou demonstrar a funcionalidade de um conceito que pode vir a se desenvolver se a tecnologia de impressão 3D for utilizada no ensino: repositório de objetos imprimíveis para a educação (KNILL; SLAVKOVSKY, 2013a; LIPSON, 2007).

Em seguida, estão os registros da experimentação de uma ferramenta que automatiza a modelagem 3D de moléculas no *software SketchUp*. Essa ferramenta foi utilizada na construção de moléculas com a finalidade de estender uma atividade que se inicia de maneira virtual, sugerida por Raupp, Serrano e Moreira (2009), para o estudo da isomeria geométrica na química, assunto que necessita de habilidades visuoespaciais para ser compreendido.

As construções dos experimentos do “duplo cone no plano inclinado” e a “balestilha” foram construídos desde o início e tiveram seus dados registrados a partir da perspectiva de um professor que estava aprendendo a como criar instrumentos didáticos com impressoras 3D para serem utilizados em experimentações durante as aulas.

O experimento do duplo cone é utilizado principalmente para despertar a curiosidade nos estudantes quando estiverem estudando o conceito de centro de massa, mas também pode ser estendido para outros conteúdos, como a geometria. Para o planejamento da construção, foi preciso estudar o trabalho de Medeiros e Medeiros (2003) para compreender as relações matemáticas entre as medidas deste experimento.

A construção da balestilha foi baseada no trabalho de Fernandes, Longhini e Marques (2011). Recriá-la com a impressão 3D possibilitou o resgate de uma ferramenta histórica que era utilizada nas antigas navegações portuguesas. Sua construção não é complexa, pois envolve menos conteúdo de matemática em seu projeto; ainda assim, pode ser utilizada em experimentos que proporcionam aplicações de conceitos de trigonometria, e no ensino de astronomia, visto

que a balestilha pode ser usada para realizar medidas da latitude a partir da constelação do Cruzeiro do Sul.

### 5.1 Construção de instrumentos didáticos utilizando modelos 3D compartilhados

Devido ao tempo necessário para a modelagem 3D de um objeto, além de conhecimentos técnicos que podem se fazer necessários, é interessante fazer o uso de soluções que forneçam modelos 3D prontos, bastando apenas prepará-los para a impressão e, efetivamente, imprimir o objeto.

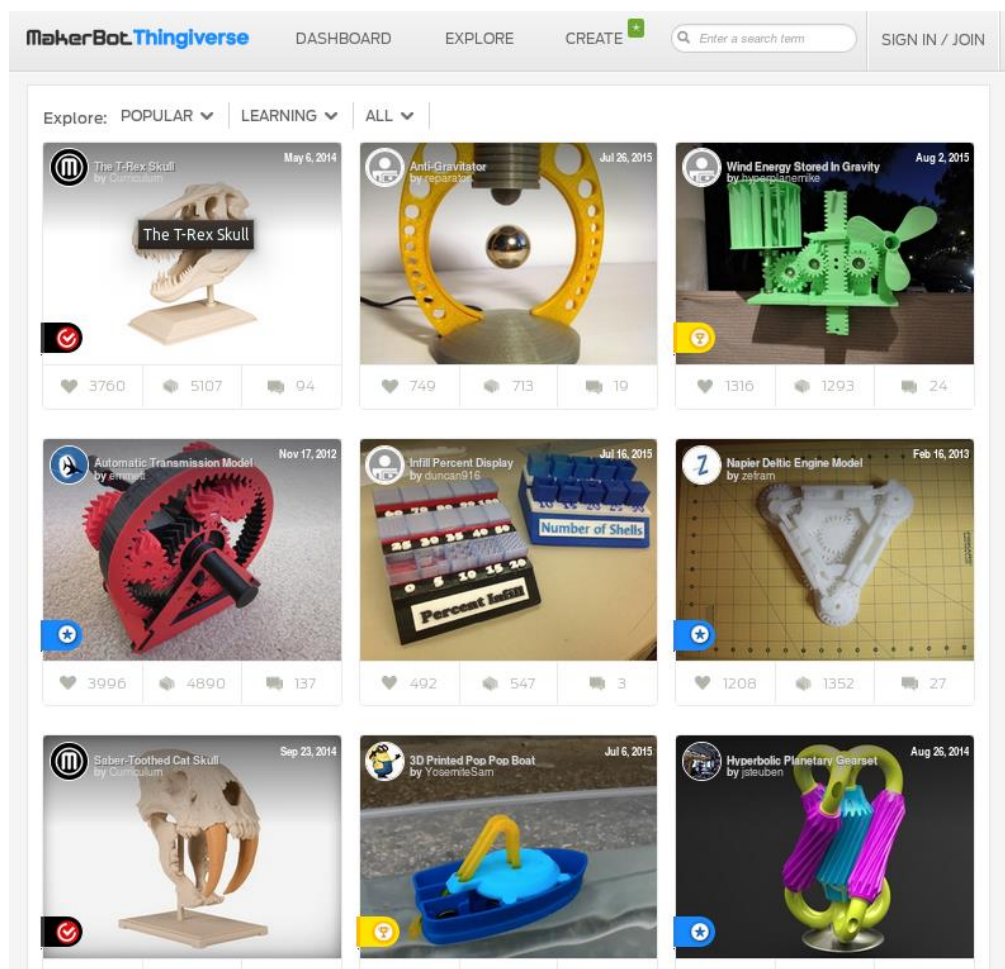
Quando houve a busca por soluções para as dificuldades ocorridas durante a modelagem 3D dos dois instrumentos construídos desde o início, foram encontrados *sites* que compartilham modelos 3D desenhados por outras pessoas e, na maioria das vezes, já impressos e testados; alguns deles, inclusive, vendem esses arquivos. Os modelos 3D compartilhados variam desde objetos decorativos e peças de reposição, como botões, até objetos que podem ser utilizados como instrumentos didáticos.

O *site Thingiverse* (Figura 5.1), criado pela empresa *Makerbot*, fabricante de impressoras 3D, é o que contém mais objetos que podem ser utilizados no ensino; os experimentos disponíveis nele apresentam maior diversidade de conceitos entre as ciências, o que pode proporcionar mais situações que podem ser exploradas no ensino. Esse *site* tem funcionalidades que se assemelham a uma rede social, pois é possível haver interação, por meio de postagem de fotos dos objetos e de comentários, entre as pessoas que compartilham os modelos 3D e as que copiaram os arquivos e imprimiram. Outro ponto positivo é que todo o conteúdo é gratuito. Os modelos 3D são agrupados em seções e, dentre elas, há uma seção intitulada “*Learning*”<sup>31</sup> (Aprendizado), que contém subcategorias como, por exemplo, “*Biologia*” e “*Física e Astronomia*”.

---

31: <http://www.thingiverse.com/explore/popular/learning/>

Figura 5.1 - Captura de tela do *site Thingiverse*, aberto na categoria “*Learning*”.

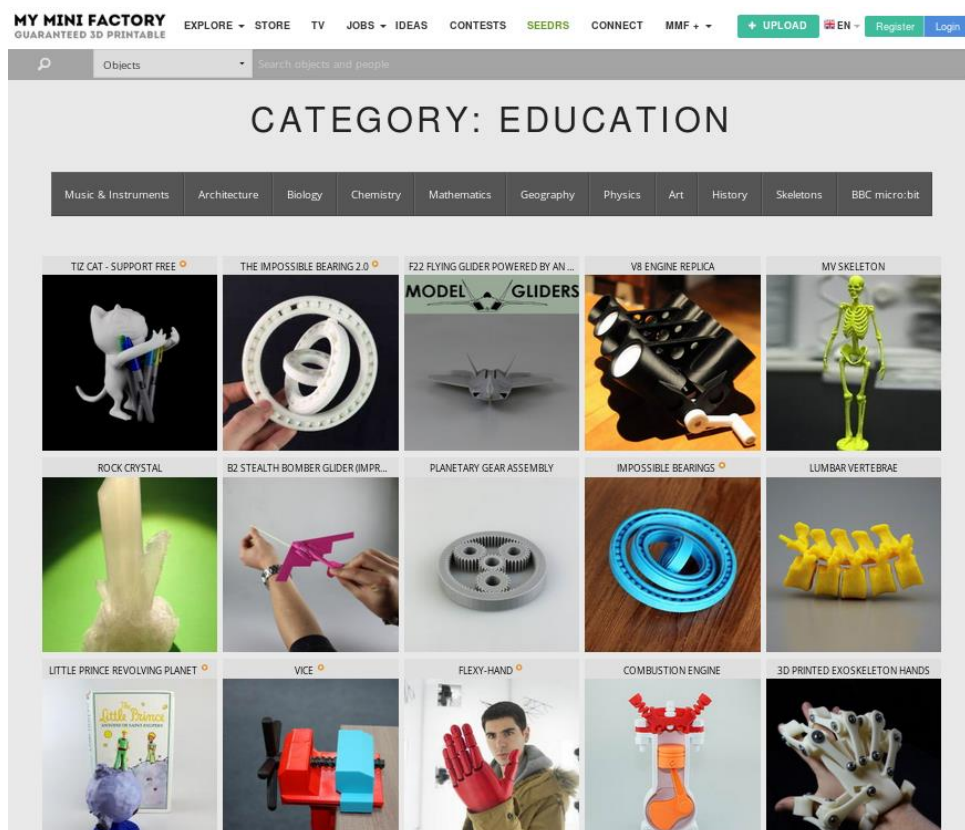


Fonte: próprio autor.

Outro *site* que contém vários modelos 3D que podem ser aproveitados no ensino é o *MyMiniFactory* (Figura 5.2). Nele também há uma categoria voltada à educação, chamada de “*Education*”<sup>32</sup>, com subcategorias que agrupam os objetos pela ciência em que se aplicam. Nesse *site* há tanto objetos compartilhados (gratuitos) como pagos. Inclusive, qualquer pessoa pode tentar vender seus modelos 3D nele.

32: <https://www.myminifactory.com/category/education>

Figura 5.2 - Captura de tela do *site MyMiniFactory*, aberto na categoria “Education”.



Fonte: próprio autor.

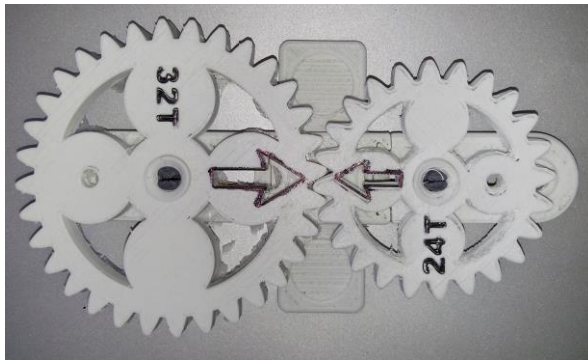
Dentre os modelos 3D disponibilizados nesses *sites* de compartilhamento, dois encontrados nas seções que agrupam objetos voltados ao ensino foram impressos para serem avaliados.

Encontrado<sup>33</sup> no site *Thingiverse*, a *Math Gears* (Figura 5.3), segundo o autor que a compartilhou, é para ser utilizada no ensino de “redutores de velocidade”, mas, pelos conceitos envolvidos, é possível usá-la, dentre outras aplicações, no ensino de física. Dentro do assunto “movimento circular”, o professor poderia utilizar a *Math Gears* com duas engrenagens de raios diferentes, como na Figura 5.3a, onde a engrenagem maior tem um raio 25% maior que a engrenagem menor. Nessa configuração, fica fácil demonstrar que ao movimentar a engrenagem menor até que ela complete uma volta ( $2\pi$ ), a engrenagem maior terá produzido um deslocamento angular 25% menor ( $3/2\pi$ ) (Figura 5.3d), apesar das duas estarem rodando juntas.

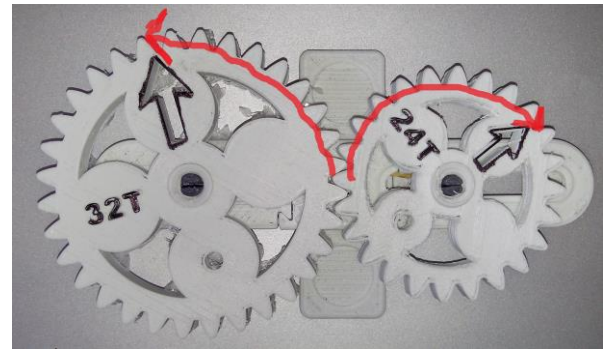
33: <http://www.thingiverse.com/thing:185912>



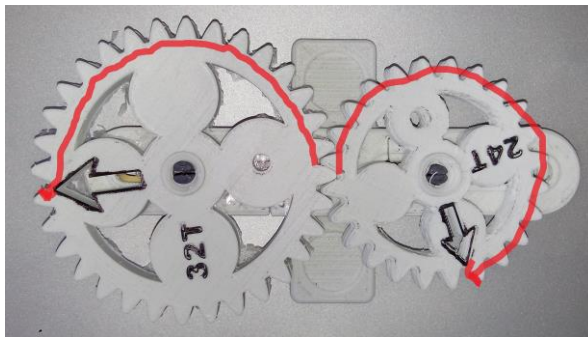
Figura 5.3 – A *Math Gears* numa demonstração de uso com duas engrenagens diferentes.



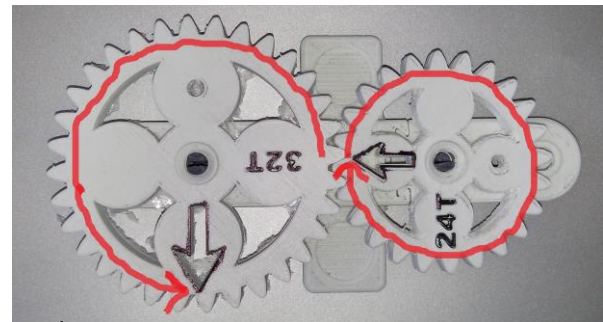
(a) Posição inicial das engrenagens.



(b) Início do movimento.



(c) Continuação do movimento.



(d) Engrenagem menor rotacionada completamente ( $2\pi$ ), enquanto que a maior teve um deslocamento angular 25% menor ( $3/2\pi$ ).

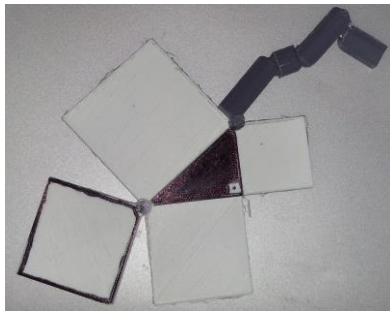
Fonte: próprio autor.

Este objeto, por ter várias peças, sendo algumas grandes, necessitou de um total de 8h para ser impresso. A massa total das peças foi de 75 gramas, o que dá um custo material de R\$ 7,50, calculado sobre um filamento ABS que foi adquirido por R\$ 100 o quilo.

O segundo objeto impresso, dentre os modelos 3D compartilhados, foi o “*Pythagorean Theorem*” (Figura 5.4), obtido<sup>34</sup> também, no site *Thingiverse*, e visa uma demonstração lúdica do teorema de Pitágoras. É composto por três peças: uma base, um quadrado e uma corrente que, ao ser dobrada, forma um quadrado (Figura 5.4a). Esse objeto pode ser utilizado para ilustrar que a soma dos quadrados dos catetos, representados pelos dois quadrados posicionados nos catetos (Figura 5.4b), é igual ao quadrado da hipotenusa, que é representado pela movimentação dos dois quadrados, anteriormente posicionados nos catetos, para dentro do quadrado da hipotenusa (Figura 5.4c).

34: <http://www.thingiverse.com/thing:245202>

Figura 5.4 – O experimento “Pythagorean Theorem”.



(a) Peças que o compõem: uma base, um quadrado e uma corrente.



(b) Quadrados posicionados nos catetos.



(c) Quadrados dos catetos movimentam-se para o quadrado da hipotenusa.

Fonte: próprio autor

Uma característica interessante deste objeto é que a corrente utilizada para simbolizar o quadrado do cateto menor, foi construída pela impressora 3D em uma peça única, ou seja, não foi necessário montá-la como uma corrente tradicional de ferro, onde são precisos pinos de encaixe para unir as peças. Apesar de a corrente deste exemplo ser de plástico, esta é uma demonstração da potencialidade da fabricação de peças complexas em uma única etapa, dispensando a montagem.

Esse instrumento levou 2h30 para ser impresso e utilizou 18g de filamento, que resulta num custo material de R\$ 1,80, com o filamento ABS adquirido por R\$ 100 o quilo.

## 5.2 Modelagem 3D automática de moléculas para o ensino de química

Outros recursos encontrados na busca por ajuda para as dificuldades no processo de modelagem 3D foram aplicativos que se agregam aos *softwares* de modelagem 3D (*plugins* ou *extensions*) e automatizam alguns procedimentos comuns às modelagens, tal como desenhar formas padrões como esferas, pirâmides, etc.

Alguns desses aplicativos têm funcionalidades especializadas, como o *Molecule Importer*<sup>35</sup>, que automaticamente desenha moléculas no *software* de modelagem 3D *SketchUp*, utilizando arquivos de texto que contenham as coordenadas cartesianas dos átomos que as compõem.

Na química, faz-se necessário transitar entre os níveis representacionais, como, por exemplo, uma representação 2D de uma molécula num papel para a representação estrutural dessa molécula em 3D. Essa habilidade de transição é chamada de visuoespacial e se dá em três níveis:

[...] o nível macroscópico corresponde às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta e é construído mediante a informação proveniente dos sentidos; o nível microscópico está correlacionado às representações abstratas, como modelos; o nível simbólico expressa os conceitos químicos a partir de fórmulas, equações, dentre outros. (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009)

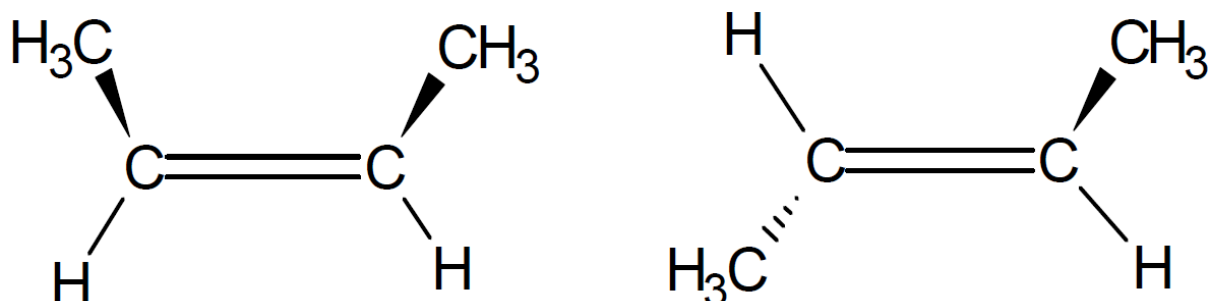
Raupp, Serrano e Moreira (2009) afirmam que a visualização na química é fundamental para possibilitar determinadas operações cognitivas espaciais, com o objetivo de internalizar as visualizações e manipulá-las mentalmente. Como exemplo de dificuldade visuoespacial, os autores citam a isomeria geométrica, no campo da química orgânica. Os isômeros geométricos são compostos que apresentam a mesma forma molecular, mas são diferenciados por sua estrutura tridimensional. Nesse campo, as propriedades das substâncias químicas não dependem unicamente de sua composição, mas também do arranjo espacial dos átomos na molécula. Os isômeros geométricos não são possíveis de serem representados pela fórmula estrutural plana, apenas a comparação entre as representações tridimensionais é capaz de revelar as diferenças. Uma maneira de fazer uma representação 3D de maneira plana é com o uso da projeção ou representação de *Fisher* (Figura 5.5), onde há símbolos com o propósito de indicar que

---

35: <https://extensions.sketchup.com/en/content/molecule-importer>

determinados átomos estão saindo ou entrando do plano do papel em que a molécula está desenhada.

Figura 5.5 – Representação de Fisher das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno.

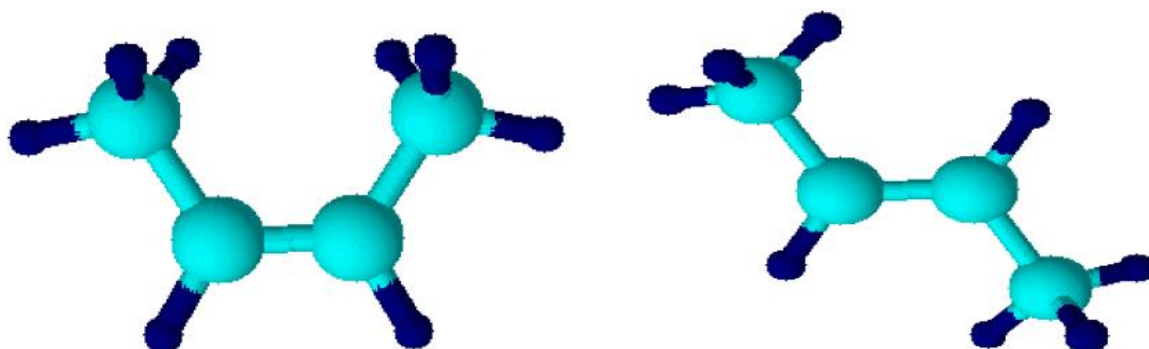


Ambas têm a fórmula molecular  $C_4H_8$ , mas apresentam estruturas tridimensionais diferentes, que podem ser indicadas pela representação de Fisher: o triângulo preenchido indica que os átomos estão saindo do papel, enquanto o triângulo hachurado indica o contrário, isto é, eles estão indo para o plano abaixo do papel. Fonte:

Raupp, Serrano e Moreira (2009).

Apesar do esforço da representação de Fisher, ainda pode haver dificuldades com a compreensão da diferença entre os isômeros. Utilizando ferramentas computacionais disponíveis atualmente, Raupp, Serrano e Moreira (2009) sugerem o uso de modelos computacionais (Figura 5.6), pois neles pode-se ver com mais clareza os átomos que compõem as moléculas, além da possibilidade de rotacioná-las, por meio de uma manipulação virtual.

Figura 5.6 – Representação 3D computacional das moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno.



Fonte: Raupp, Serrano e Moreira (2009).

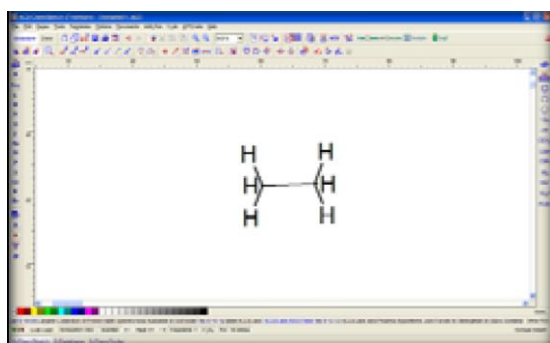
No processo de identificação de isômeros geométricos, é preciso transformar uma fórmula química em sua estrutura molecular, visualizar a possível configuração tridimensional e comparar as estruturas. Por conta dessa sequência de operações, a capacidade de compreender

e manipular mentalmente representações é um ponto crítico para os estudantes (WU; SHAH, 2004 apud RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009).

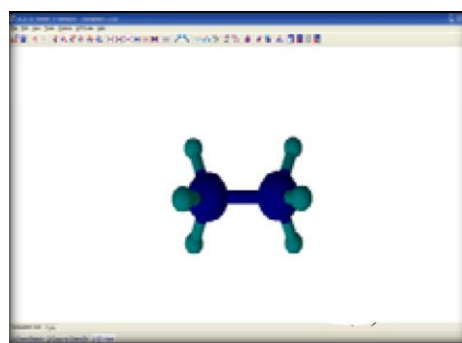
A fim de investigar como o uso de *softwares* de química influencia na compreensão dos diferentes níveis de representações bi e tridimensionais, Raupp, Serrano e Moreira (2009) realizaram um experimento com estudantes de graduação na área de química. Nesse experimento, os estudantes utilizaram o *software Chemsketch*<sup>36</sup> para desenhar os isômeros. O processo de construção da molécula iniciou-se no 2D (Figura 5.7a) e, em seguida, sua representação foi alternada para o 3D, no formato *balls-and-sticks* (Figura 5.7b). No processo de manipulação dos modelos, de acordo com os autores, é onde ocorre a internalização de lógicas inerentes às representações computacionais. Dentre os resultados obtidos com a utilização do *software* de modelagem computacional, os pesquisadores destacaram a evolução de uma aluna, sobre a qual eles afirmaram:

Após o uso do *ChemSketch*, a estudante é capaz de transladar entre diferentes representações com mais facilidade (fórmula 2D, estrutura 2D completa e estrutura 3D) e, portanto, aplicar o conceito de isomeria àquelas situações problemáticas. A estudante, portanto, adquiriu com o uso do *software*, a competência representacional necessária para que evoluísse naquele campo conceitual de forma plena [...] (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009)

Figura 5.7 – Construção da molécula  $C_2H_6$  no *software Chemsketch*.



(a) representação em 2D.



(b) Representação em 3D (*balls and sticks*)

Fonte: Raupp, Serrano e Moreira (2009)

A simulação computacional da construção da molécula proveu bons resultados. Essa atividade pode ser estendida do nível microscópico e simbólico para o nível macroscópico, onde o conhecimento é adquirido através das informações provenientes dos sentidos. Utilizando a tecnologia de impressão 3D, foi possível construir as moléculas desenhadas virtualmente, como

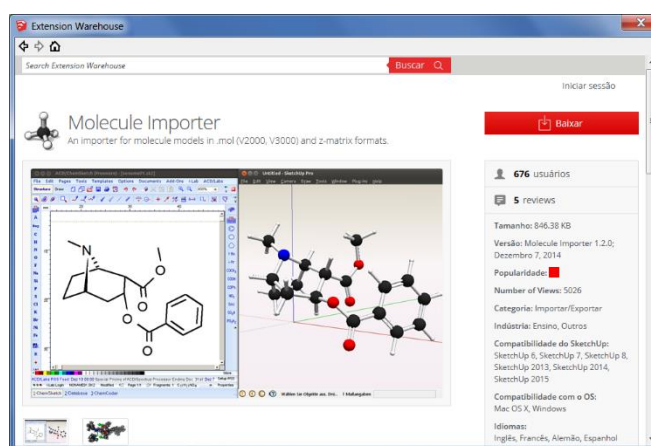
36: ACD/ChemSketch for Academic and Personal Use: <http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/>

as que os estudantes desenharam no *ChemSketch*. Além de complemento à atividade que se iniciou virtualmente, um professor munido de modelos reais de sólidos de isômeros geométricos, tem à disposição um instrumento didático para facilitar a explicação do conceito.

O *ChemSketch* tem a opção de gerar, a partir de uma molécula desenhada nele, um arquivo no formato *MDL Molfile*, sigla para *Molecular Design Limited Molfile*, que também pode ser usado em outros *softwares* de química computacional. Um arquivo *MDL molfile* contém a descrição da estrutura química da molécula; as informações contidas nele podem ser, dentre outras, os átomos constituintes da molécula, suas posições e tipos de ligações. Para gerar esse arquivo pelo *ChemSketch*, basta ao usuário desenhar a molécula, escolher a opção “Salvar como” e, dentre os formatos disponíveis para salvar o arquivo, escolher a extensão “.mol”. Para este trabalho foram gerados os *molfiles* do cis-2-butano e do trans-2-butano, após serem desenhados no *ChemSketch*.

Utilizando o *software* de modelagem 3D *SketchUp* junto à extensão *Molecule Importer*<sup>37</sup> (Figura 5.8), o arquivo “.mol” gerado pelo *ChemSketch* com as informações da molécula pode ser importado. Depois de feita a importação, a molécula é modelada automaticamente dentro do *software* de modelagem 3D.

Figura 5.8 – Extensão “*Molecule Importer*” para o *software* de modelagem 3D *SketchUp*

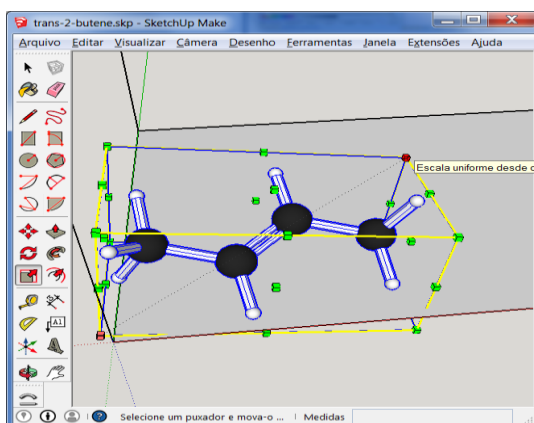


Fonte: próprio autor.

37: Molecule Importer, SketchUp Extension Warehouse: <https://extensions.sketchup.com/en/content/molecule-importer>

Depois que a molécula é criada automaticamente, o usuário pode fazer modificações, tais como mudar as posições dos átomos, incluir textos em alto-relevo e modificar o seu tamanho (Figura 5.9) a fim de deixá-la dentro dos limites do volume de impressão de uma impressora 3D. Neste trabalho, as moléculas foram dimensionadas para 10 cm de comprimento. Concluída as alterações na molécula, ela foi exportada para o formato “.STL”<sup>38</sup>.

Figura 5.9 – Molécula trans-2-buteno sendo redimensionada no *SketchUp* para caber no volume de impressão da impressora 3D.

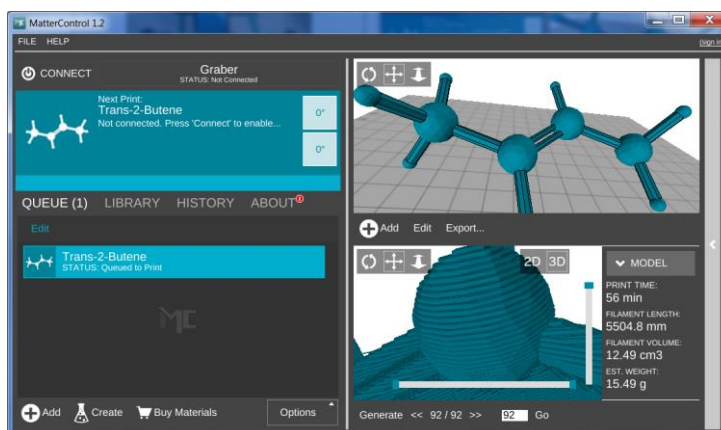


Fonte: próprio autor

Após gerar os arquivos das duas moléculas no formato STL das duas moléculas, estes foram preparados para a impressão por meio do processo de fatiamento, o qual gera arquivos com as instruções para a impressora 3D construir as moléculas. A impressora utilizada foi a *RepRap Graber i3*. O arquivo STL foi fatiado pelo *software MatterControl* (Figura 5.10). Finalizada a preparação para a impressão (o fatiamento), gerou-se um arquivo no formato *G-code*, no qual constam as instruções para a impressora 3D construir o objeto, que, neste caso, foram as moléculas.

<sup>38</sup>: Sigla para *Stereolithography* (Estereolitografia).

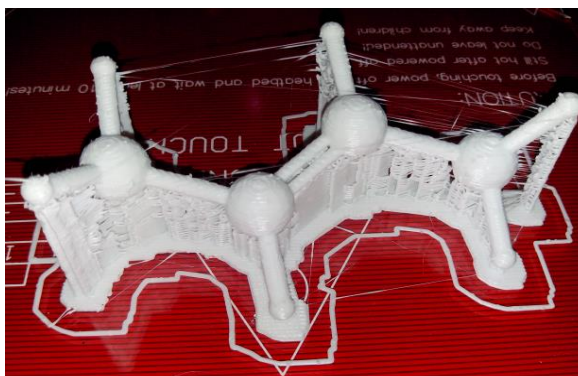
Figura 5.10– Preparação para a impressão 3D (fatiamento) da molécula trans-2-buteno no *software* MatterControl.



Fonte: próprio autor.

O passo seguinte foi colocar o arquivo com o *G-code* num cartão de memória e conectá-lo à impressora 3D para iniciar a impressão das moléculas. Concluída a impressão (Figura 5.11), é preciso fazer o acabamento das moléculas. Como podem existir partes do objeto em diferentes alturas e sem estrutura embaixo para sustentar, o *software* de fatiamento cria automaticamente suportes de impressão em baixo dessas partes. A remoção desses suportes é feita manualmente ou com o auxílio de um alicate de bico. Ao final, lixa-se as moléculas para obter um acabamento melhor.

Figura 5.11 – Molécula trans-2-buteno recém-impressa, ainda com os suportes sob a peça.



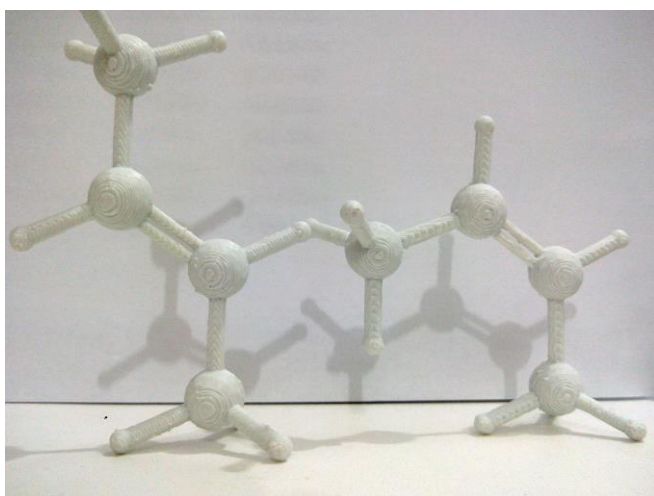
Fonte: próprio autor.

Ao construir as moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno com a impressora 3D, pôde-se obter um instrumento didático (Figura 5.12) que possibilita a diferenciação desses isômeros por



meio da manipulação de objetos reais que representam um modelo dessas duas moléculas. Apesar da simulação computacional permitir a rotação delas, a experiência de poder trabalhá-las com as mãos, de maneira natural, pode oferecer uma percepção mais intensa, proporcionando um aprendizado macroscópico melhor, já que é construído através das informações obtidas pelos sentidos. Assim, ao usar um objeto físico, são trabalhados tanto o sentido visual como o tátil.

Figura 5.12 – Moléculas cis-2-buteno e trans-2-buteno impressas e acabadas.



(a) Moléculas lado a lado. Fonte: próprio autor.



(b) Moléculas em fila para evidenciar a diferença isomérica. Fonte: próprio autor.

Além de um complemento da atividade que os estudantes fizeram no relato de Raupp, Serrano e Moreira (2009), as moléculas impressas podem ser utilizadas por um professor que vá lecionar o tema dos isômeros e não tenha acesso a simulações computacionais. Neste caso, as moléculas tornam-se um instrumento didático de demonstração para o professor conseguir apresentar melhor a diferença entre as duas. Seria interessante também pintar os átomos para melhorar a visualização, caso tenha sido impressa numa impressora 3D de uma única cor como a utilizada aqui.

### 5.3 Construindo instrumentos a partir “do zero”

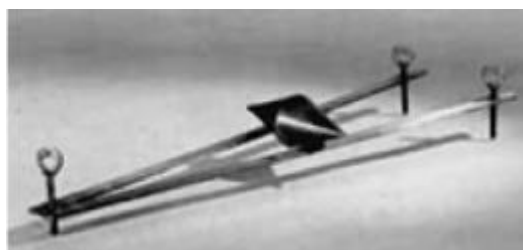
Na literatura, foram buscados trabalhos que instruísem a construção de instrumentos didáticos utilizando materiais comuns como madeira, cola, papelão e até com o reaproveitamento de objetos do dia a dia. O principal critério de seleção desses instrumentos foi a possibilidade de reconstruí-los utilizando a técnica de impressão 3D escolhida, uma vez que não seria possível tentar recriar um instrumento que dependesse de vidros, metais condutores ou semicondutores se a impressora 3D escolhida não trabalhasse com esses materiais. Contudo, é possível usar esses componentes nos objetos criados com a impressora 3D. Por exemplo: utilizar a impressora para construir a estrutura principal de um experimento e agregar itens como fios, *leds*, baterias, lentes, etc., a fim de construir um experimento de física elétrica.

Um dos objetivos de reconstruir instrumentos já existentes era comparar os instrumentos originais com os reconstruídos pela impressão 3D, analisando parâmetros como o tempo gasto na elaboração, o custo material e, principalmente, se funcionou como o original.

### 5.3.1 O experimento do duplo cone no plano inclinado

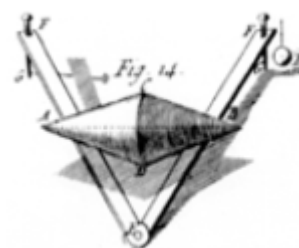
Segundo Medeiros e Medeiros (2003), a origem do “duplo cone” é incerta. Sua popularização começou no século XVIII com George Adams (Figura 5.13), um fabricante inglês de instrumentos científicos e filosóficos. Antes da ampla divulgação dada por Adams, o francês Jean Theophile Desaguliers já reivindicava para si a invenção do referido instrumento na primeira metade do século XVIII (1734), mas dúvidas têm sido levantadas sobre a autoria por Desaguliers, pois, de modo impreciso, credita-se a invenção desse instrumento aos membros da *Academia del Cimento*, a qual funcionou de 1657 a 1667, época anterior a Desaguliers (Figura 5.14).

Figura 5.13 – Duplo cone fabricado e comercializado por George Adams a partir de 1759.



Fonte: Medeiros e Medeiros (2003).

Figura 5.14 – Duplo cone de Desaguliers.

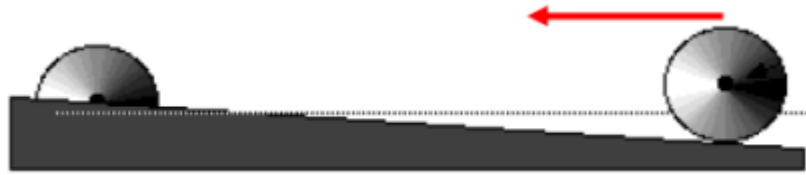


Fonte: Medeiros e Medeiros (2003).

Medeiros e Medeiros (2003) afirmam que a maior parte dos textos sobre o comportamento do duplo cone parece contentar-se apenas com a explicação da “misteriosa” subida, alegando que se trata apenas de uma mera ilusão de ótica e que, na verdade, o centro de massa do duplo cone desce quando ocorre o aparente movimento de subida. O artigo de Medeiros e Medeiros (2003) questiona o porquê de termos a ilusão da subida do cone na rampa. Com o auxílio de imagens, eles mostram que os pontos de contato do duplo cone com a rampa de fato sobem, porém não são os mesmos ao longo da trajetória. A razão do duplo cone movimentar-se contrariamente ao deslize de um cilindro na mesma rampa é a posição do centro de massa do duplo cone estar em um ponto mais alto no começo da rampa (Figuras 5.15 e 5.16):

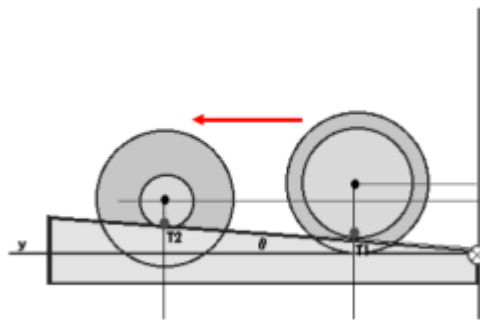
“Quando o duplo cone é colocado sobre a rampa, ele rola em direção oposta àquela que rolaria um cilindro porque, ao rolar, o seu centro de massa na verdade desce enquanto os seus pontos de contato com os lados da rampa sobem”. (CARPENTER JR, 1993 apud MEDEIROS; MEDEIROS, 2003)

Figura 5.15 – Vista lateral do cone no plano inclinado.



O eixo do duplo cone, onde se concentra seu centro de massa, na verdade desce quando há o avanço da direita para a esquerda, a aparente “subida”. Fonte: Medeiros e Medeiros (2003).

Figura 5.16 – Diferença das posições do centro de massa do cone no início da rampa (T1) e no topo (T2).



Os pontos de contato entre o cone e a rampa de fato sobem, mas o centro de massa desce. Fonte: Medeiros e Medeiros (2003).

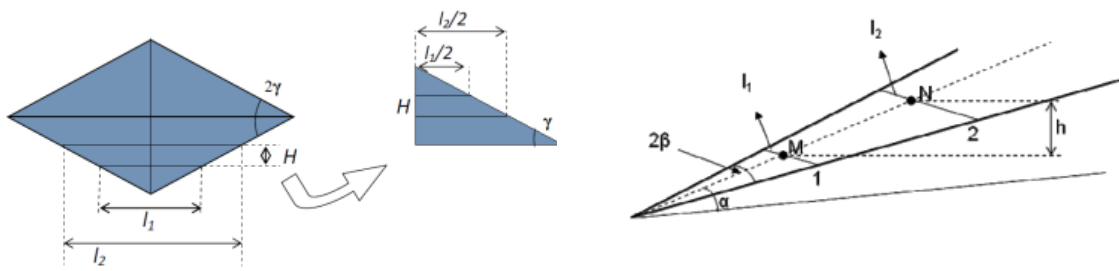
Nas seções III e IV do artigo de Medeiros e Medeiros (2003) estão as explicações e a geometrização da condição física para a produção da ilusão de subida:

A condição para a produção da ilusão de subida do duplo cone, como vimos, é que a distância que o centro de massa do duplo cone desce ao avançar pela rampa ( $H$ ) seja maior que a distância subida pelo ponto de contato entre o cone e rampa ( $h$ ). Em termos simbólicos, temos que:  $H > h$ . (MEDEIROS; MEDEIROS, 2003)

Em seguida, Medeiros e Medeiros (2003) expressaram a desigualdade  $H > h$  em termos dos três ângulos notáveis nesse instrumento (Figura 5.17):

- $\alpha$ : ângulo entre o plano das rampas do duplo cone e o plano horizontal;
- $2\beta$ : ângulo formado entre as duas hastes que formam a rampa;
- $2\gamma$ : ângulo de geração do duplo cone; formado no vértice.

Figura 5.17 – Representação da rampa do experimento do duplo cone.



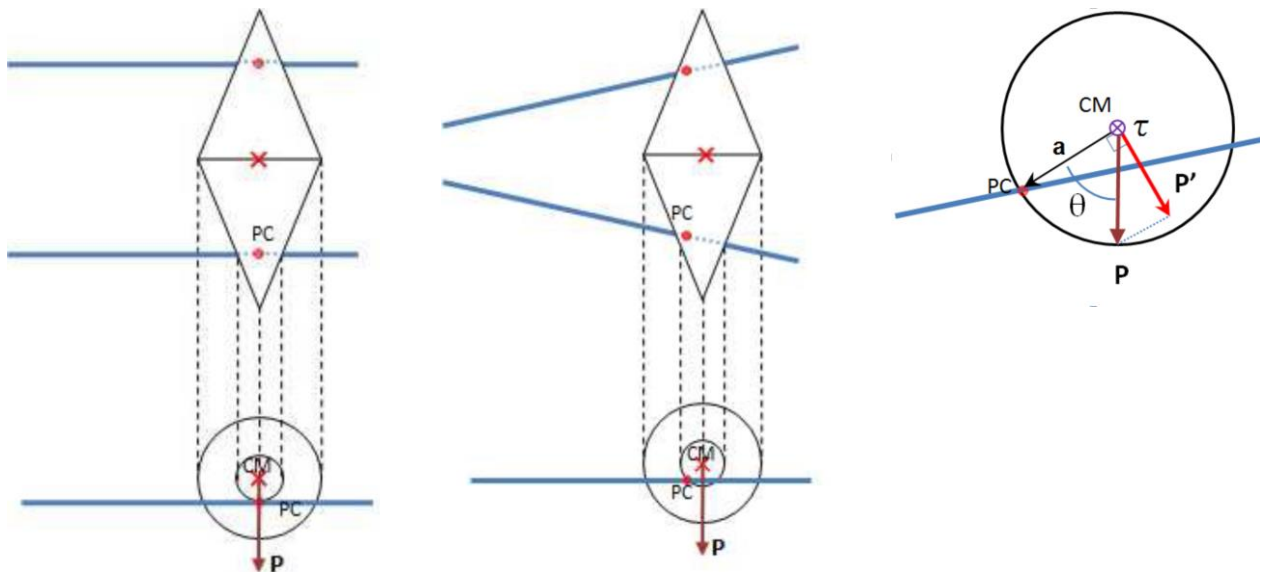
$\alpha$ : ângulo de inclinação;  $2\beta$ : ângulo de abertura entre as duas barras;  $h$ : distância percorrida pelos pontos de contato do cone com a rampa, ao deslocar-se do ponto M e ir até o N. Fonte: Ceron (2009).

Desenvolvendo a desigualdade condicional para a subida, Medeiros e Medeiros (2003) concluem que a condição a ser satisfeita pelos três ângulos a fim de que venha a ser produzida a ilusão de subida do duplo cone é:

$$\text{sen}(\alpha) < \text{tg}(\beta) * \text{tg}(\gamma) \quad (1)$$

Ceron (2009) mostra a importância que esses ângulos têm no instrumento ao fazer ilustrações (Figura 5.18) para comparar o ponto de contato dos cones com a rampa (PC), seu centro de massa (CM) e a força peso (P) em uma rampa com trilhos paralelos e em outra com os trilhos inclinados:

Figura 5.18 – Ilustração do ponto de contato (PC) com a rampa e do centro de massa (CM) dos duplos cones em rampas diferentes.



(a) Vista superior e lateral do duplo cone sobre uma rampa com trilhos paralelos. Fonte: Ceron (2009).

(b) Vista superior e lateral do duplo cone sobre uma rampa com trilhos em formato de “V”. Fonte: Ceron (2009).

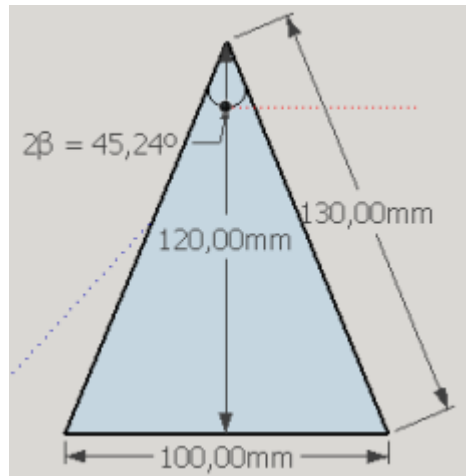
(c) Círculo do duplo cone na rampa em “V”, destacando a força peso decomposta ( $P'$ ), que exerce um torque ( $\tau$ ) sobre o ponto de contato (PC) e gera o movimento. Fonte: Ceron (2009).

Conhecendo as condições para ocorrer o movimento, foi possível projetar o instrumento do duplo cone dentro da capacidade de volume de impressão da impressora 3D.

A impressora 3D utilizada foi a *Cube 2* da *3D Systems*, que possui um volume cúbico de impressão com arestas de 140 mm. Conhecendo as restrições físicas do equipamento de impressão, foi possível estabelecer os limites de impressão do objeto (duplo cone).

Apesar do limite de impressão de 140 mm, decidiu-se que a altura do triângulo formado pela rampa seria de 120 mm, com o propósito de economizar um pouco de material na impressão. Para a base do triângulo optou-se por 100 mm, visto que assim o comprimento de cada haste da rampa seria exatamente de 130 mm. Com as medidas dos lados da rampa, foi calculado o ângulo entre as duas barras ( $2\beta$ ), cujo valor resultante foi de aproximadamente  $45,24^\circ$  (Figura 5.19).

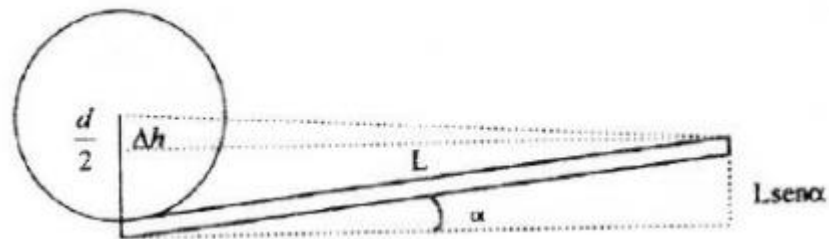
Figura 5.19 – Vista superior da rampa do experimento do duplo cone e suas medidas.



Fonte: Próprio autor.

Após o cálculo do ângulo de abertura das hastes da rampa, foi definido em  $10^\circ$  a inclinação dela para poder projetar um cone não muito grande, a fim de economizar material, pois, como deduzido no artigo de Medeiros e Medeiros (2003), deve haver um deslocamento vertical (queda) do centro de massa do cone ( $\Delta h > 0$ ) (Figura 5.20).

Figura 5.20 – Vista lateral do duplo cone com indicação do deslocamento vertical do centro de massa  $\Delta h$ .



Fonte: Medeiros e Medeiros (2003).

Em termos matemáticos:

$$\Delta h = \frac{d}{2} - L \sin(\alpha)$$

Como  $\Delta h$  deve ser maior que zero ( $\Delta h > 0$ ) para que seja constituída uma queda do centro de massa do cone, foi concluído que:

$$\frac{d}{2} > L \sin(\alpha) \quad (2)$$

(onde  $\frac{d}{2}$ , como mostrado na figura acima, é o raio da circunferência da base do cone.)

Devido à escolha da inclinação de  $10^\circ$ , o comprimento da haste (L), que era de 130 mm quando na horizontal, fica com 132,00 mm ao ser inclinada. Substituindo L e  $\alpha$  na condição (2), o raio da circunferência da base do cone deverá ser maior que 22,92 mm:

$$\frac{d}{2} > 22,92 \text{ mm} \quad (3)$$

Voltando à desigualdade (1), expressa em termos dos três ângulos notáveis nesse instrumento, foram substituídos os dois ângulos definidos até o momento para que fosse obtido o ângulo de geração do cone ( $2\gamma$ ):

- $\alpha$ , ângulo de inclinação da reta:  $10^\circ$ ;
- $2\beta$ , ângulo de abertura entre as duas hastes da rampa:  $45,24^\circ$ .

Isolando o ângulo  $\gamma$  na desigualdade (1) e, em seguida, substituindo os valores, obtêm-se:

$$\sin(\alpha) < \text{tg}(\beta) \text{tg}(\gamma) \Leftrightarrow \gamma > \text{tg}^{-1}\left(\frac{\sin(\alpha)}{\text{tg}(\beta)}\right) \Leftrightarrow \gamma > \text{tg}^{-1}\left(\frac{\sin(10^\circ)}{\text{tg}(22,62^\circ)}\right) \Leftrightarrow \gamma > 22,62^\circ \quad (4)$$

Estabelecidas as condições para que o cone suba a rampa:

- Ângulo de geração do cone:  $2\gamma > 45,24^\circ$ ;
- Raio da circunferência da base do cone:  $d/2 > 22,92 \text{ mm}$ .

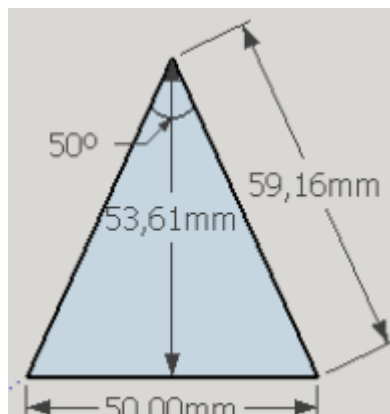
As seguintes medidas foram definidas:

- $2\gamma = 50^\circ$ ;
- $d/2 = 25,00 \text{ mm}$ , portanto  $d = 50,00 \text{ mm}$ .



A partir dessas duas medidas, foram calculadas as demais medidas conforme indicadas na Figura 5.21.

Figura 5.21 – Representação plana de um dos cones.



Fonte: Próprio autor.

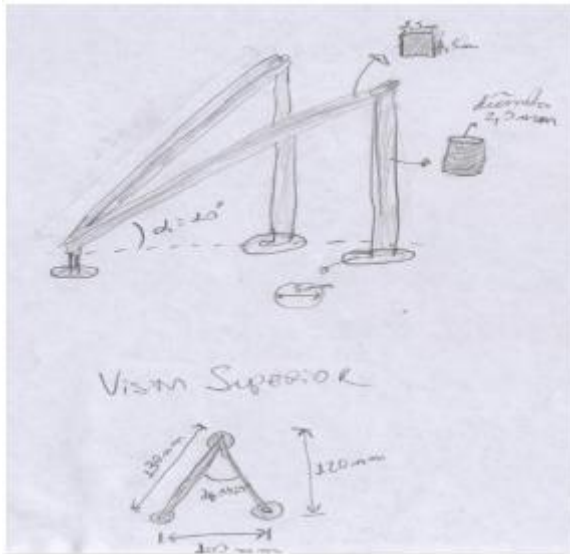
O desenho do objeto não deve começar pelo *software* de modelagem 3D, como bem exemplificado por Singh (2010):

Para evitar a frustração de mais tarde ter que redesenhar o modelo 3D devido a um erro não esperado, vamos explorar como o lápis e o papel podem economizar seu tempo e dinheiro evitando problemas. Muitos *designers* deparam-se com momentos frustrantes durante o andamento dos seus projetos ao perceber que precisam fazer tudo de novo. Eles percebem que o desenho que acabaram de criar não é exatamente o que queriam. É semelhante a escrever o primeiro rascunho de uma redação. Normalmente, o primeiro rascunho não é exatamente o que você realmente gostaria que fosse. Então, você escreve uma segunda ou terceira proposta para refinar seus pensamentos e ideias. (SINGH, 2010, p. 53, tradução nossa)

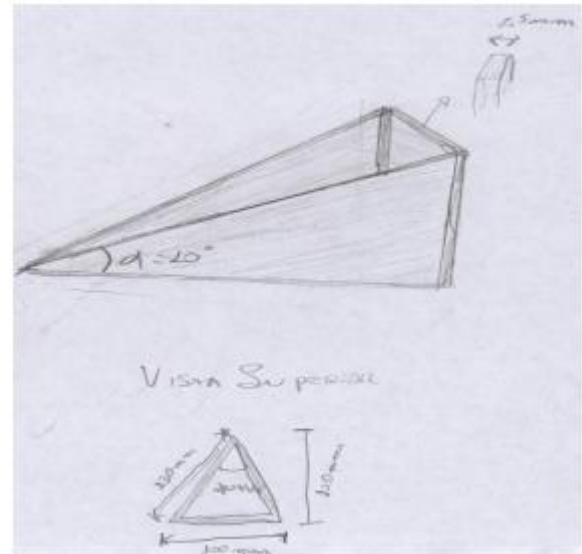
Outro inconveniente de começar diretamente em um *software* de desenho 3D está na dificuldade em se adaptar às funcionalidades da ferramenta de desenho escolhida. Isso pode gerar aversão à atividade, pois, somado ao fato de não saber o quê exatamente quer desenhar, iniciantes poderão sofrer com as dificuldades de expressar suas ideias iniciais na área de desenho do *software* devido a ainda não saber como operá-lo de maneira produtiva.

Singh (2010) recomenda um início com três rascunhos do objeto, todos diferentes. No final, um dos rascunhos deve ser escolhido. No caso do duplo cone, o objeto era conhecido em termos de funcionalidade e condições geométricas. O objetivo era apenas transformá-lo em um desenho virtual. Mesmo assim, as recomendações de Singh (2010) foram seguidas e dois rascunhos foram desenvolvidos para a parte da rampa (Figura 5.22).

Figura 5.22 – Rascunhos desenvolvidos para a rampa.



(a) Primeiro rascunho. Fonte: Próprio autor.



(b) Segundo rascunho. Fonte: Próprio autor.

O software utilizado para desenhar o modelo 3D foi o *SketchUp Make* versão 14. O processo de desenho 3D envolveu, inicialmente, a procura de modelos “similares”. Utilizando o site de compartilhamento de vídeos *YouTube*, foram pesquisadas palavras-chaves como “*SketchUp*” e “cone”. Dentre os resultados encontrados, foram selecionados alguns vídeos que apresentavam técnicas de modelagem 3D de cones.

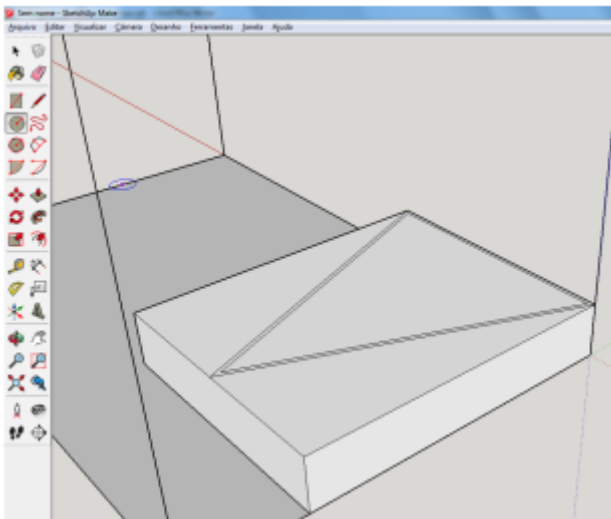
Durante a modelagem 3D, Singh (2010) sugere algumas perguntas importantes sobre o desenho que está sendo criado a fim de checar a existência de erros que poderiam gerar um resultado diferente entre a imagem desenhada e a impressa. A principal é perguntar se todas as superfícies do objeto possuem espessura, e o valor mínimo desejado. Em seguida, analisar se o material a ser utilizado na impressão suporta tais medidas.

Considerando o segundo rascunho (Figura 5.22b) e as medidas definidas e calculadas, a rampa foi projetada. O primeiro passo foi desenhar um bloco de 120 mm x 100 mm x 22,92 mm. A altura deve-se à distância entre o plano horizontal e a topo da rampa, com inclinação de 10° e hastes de 132 mm ( $132 \text{ mm} * \sin(10^\circ) = 22,92 \text{ mm}$ ). Sobre o bloco foi desenhado o triângulo com as medidas projetadas para a rampa (Figura 5.23a). Os lados do triângulo foram desenhados com 1,5 mm de espessura para proporcionar resistência ao material. A partir do triângulo desenhado no paralelepípedo, foi esculpido o bloco com a ferramenta Empurrar/Puxar para remover os volumes externo e interno do triângulo (Figura 5.23b). Para inclinar o triângulo 3D, na ponta oposta à base houve uma redução da altura até alcançar 1 mm. Arcos sob as hastes

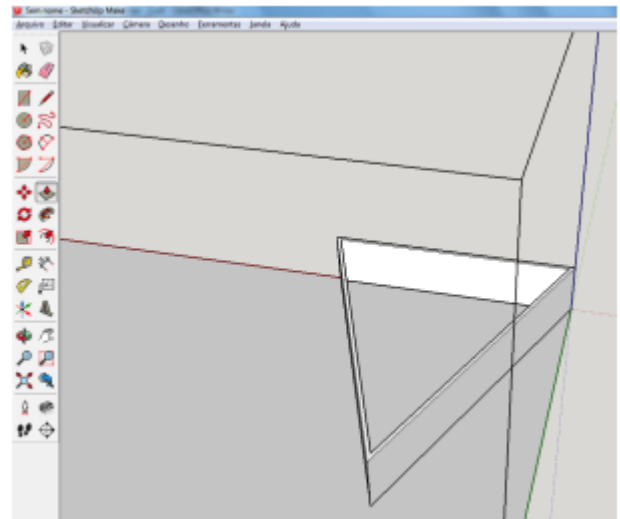
e no final da rampa foram inseridos com o objetivo de proporcionar redução de gastos com o material de impressão (Figura 5.23c).

Por ainda não haver domínio total do *software* de modelagem, no momento em que foi desenhado o arco invertido na parte mais alta da rampa, sem perceber, a altura acabou reduzida para 20,84 mm e, conseqüentemente, o ângulo de inclinação para  $9,1^\circ$ . Essas novas medidas foram lidas no próprio *software*, pois nele há ferramentas dedicadas a essas tarefas, chamadas “Fita Métrica” e “Transferidor”. É importante salientar que esse erro não interferiu no resultado final, já que na hora de projetar o duplo cone foram definidas medidas maiores do que as necessárias para satisfazer a desigualdade. Recalculando a desigualdade (4), agora com  $\alpha = 9,1^\circ$ , a condição passou a ser  $\gamma > 20,78^\circ$ , ou seja, continuou atendendo as medidas definidas no começo.

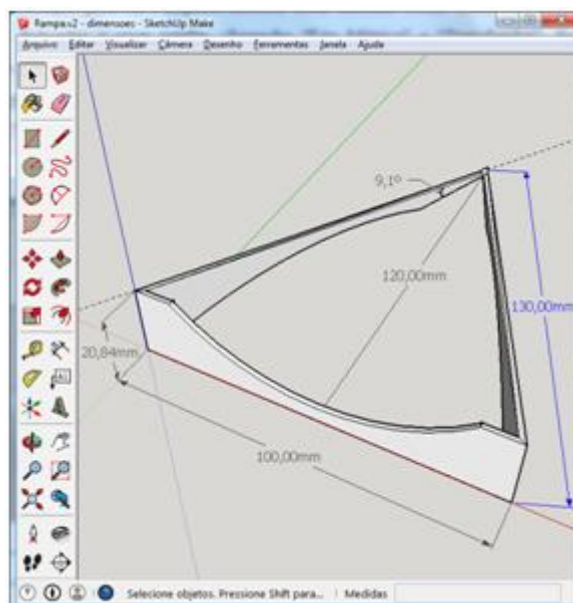
Figura 5.23 – Modelagem 3D da rampa.



(a) Bloco com a máscara do triângulo da rampa. Fonte: próprio autor.



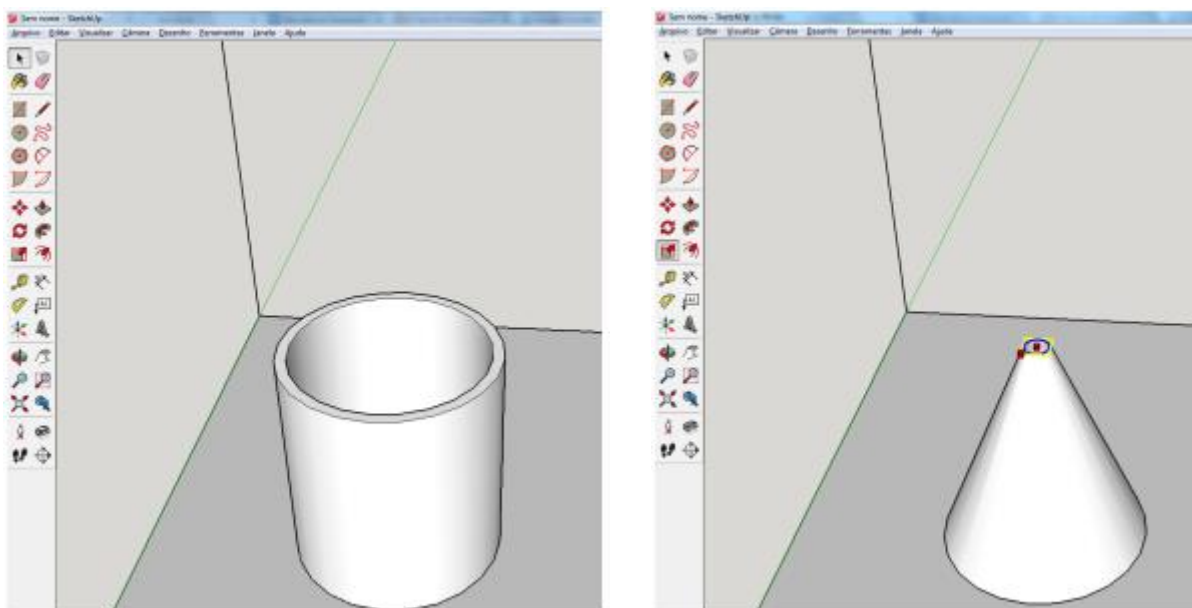
(b) Triângulo da rampa. Fonte: próprio autor.



(c) Rampa concluída. Fonte: próprio autor.

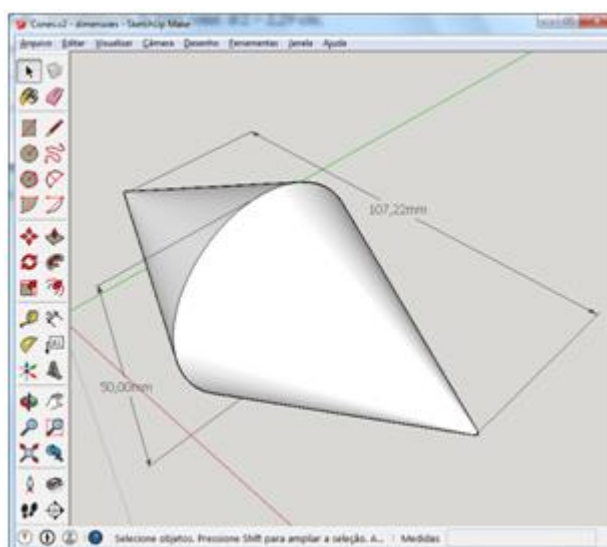
Para a modelagem 3D do cone, inicialmente foi utilizado um cilindro de 50 mm de diâmetro e 51,11 mm de altura (Figura 5.24a). O cilindro foi transformado em tubo com uma parede de 2,5 mm de espessura. Na circunferência menor (a circunferência interna) de um dos lados do tubo, reduziu-se o diâmetro para 0 mm, formado, assim, um cone no interior do tubo (Figura 5.24b). Em seguida, a altura da circunferência externa foi elevada em 2,5 mm, alcançando os 53,61 mm projetados para a altura do cone. Como resultado final, formou-se um cone sobre o outro cone com distância de 2,5 mm entre eles. Essa distância é a espessura do cone. Em vez de um cone maciço, foi gerada apenas uma “casca” do cone, com o objetivo de economizar material de impressão. Para finalizar, como o instrumento desejado era um duplo cone, o cone desenhado foi duplicado e a cópia rotacionada e unida ao outro cone, formando, dessa forma, o duplo cone (Figura 5.24c).

Figura 5.24 – Modelagem 3D do duplo cone.



(a) Cilindro para ser transformado em cone. Fonte: próprio autor.

(b) Transformação do cilindro para cone. Fonte: próprio autor.



(c) Duplo cone concluído. Fonte: próprio autor.

Concluída a modelagem, a rampa e os cones foram exportados para o formato de arquivo STL. O *SketchUp* não possui essa funcionalidade nativamente, restrição que foi contornada com a instalação da extensão *SketchUp STL*<sup>39</sup>.

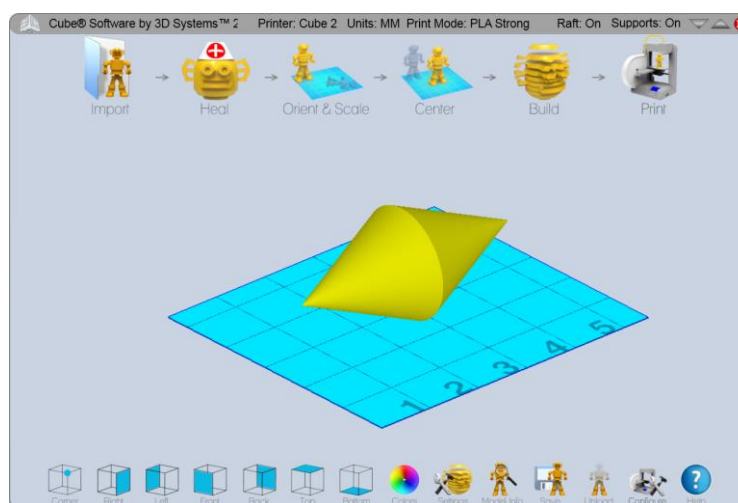
39: <http://extensions.sketchup.com/pt-BR/content/sketchup-stl>

A impressora 3D usada foi a *Cube 2*, e o filamento foi o de plástico PLA.

O processo de impressão 3D requer uma preparação: é preciso submeter o modelo 3D ao fatiamento, no qual são geradas as instruções para a impressora construir o objeto camada por camada.

Inicialmente, importa-se o arquivo no formato STL para o *software* de fatiamento fornecido junto a impressora, o *Cube Software* (Figura 5.25). O primeiro procedimento é denominado “*Heal*”, cujo objetivo é sanar pequenas falhas no desenho que podem comprometer a impressão. Em seguida é possível redimensionar a imagem e orientar a posição de impressão. Neste caso, não foi preciso realizar o redimensionamento, uma vez que o desenho havia sido projetado dentro dos limites da impressora. A penúltima etapa é denominada de “*Build*”, na qual ocorre, efetivamente, o fatiamento do modelo 3D. Após essa etapa é gerado um arquivo em um formato proprietário da impressora alvo. O arquivo final é, então, colocando em numa memória *flash USB* (*pendrive*) e plugado à impressora 3D.

Figura 5.25 – Captura da tela do *Cube Software*.

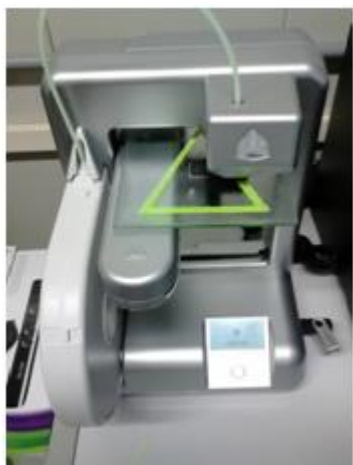


Fonte: Próprio autor.

A impressora 3D utilizada não necessita estar conectada a um computador enquanto constrói o objeto, bastando apenas plugar o *pendrive* com o arquivo contendo as instruções de impressão, ligar a impressora, verificar a distância entre o bico de impressão e a mesa de impressão, que é de, aproximadamente uma folha de papel, passar cola na mesa de impressão e acionar a impressão do arquivo no painel de operações na própria impressora. A partir deste momento o bico de impressão é aquecido para fundir o filamento. Para prover maior adesão da

peça à mesa de impressão, uma base que se assemelha a um tapete é construída antes da impressão das camadas que compõem o objeto (Figura 5.26a). As Figuras 5.26b e 5.26c mostram os objetos que compõem o duplo cone impressos.

Figura 5.26 – Impressão 3D das peças que compõem o experimento do duplo cone.



(a) Base para impressão da rampa.  
Fonte: próprio autor.



(b) Impressão da rampa. Fonte:  
próprio autor.



(c) Impressão do duplo cone. Fonte:  
próprio autor.

Após a impressão, é necessário realizar um processo de acabamento nos objetos: remover as bases e o excesso de material impresso com o uso de estilete e lixas. A Figura 5.27 ilustra alguns trabalhos executados na etapa de acabamento.

Figura 5.27–Acabamento nas peças impressas.



(a) Remoção da base de impressão.  
Fonte: Próprio autor.



(b) Remoção do excesso de material  
no duplo cone. Fonte: Próprio autor.



(c) Remoção do excesso de material  
na rampa. Fonte: Próprio autor.

O tempo gasto para desenhar esse instrumento, incluindo o rascunho em papel, foi de 3 horas. Entretanto, com o ganho de experiência nas ferramentas de modelagem 3D, este tempo deve reduzir. Além disso, uma vez que o objeto é modelado em 3D, ele pode ser disponibilizado

para outras pessoas, possibilitando a elas irem direto para a etapa de impressão, tornando praticamente nulo o tempo dedicado à modelagem.

O tempo de preparação para a impressão foi em torno de 15 minutos, incluindo tanto a fase em que o modelo 3D é submetido ao fatiamento para gerar as instruções para a impressora como a passagem de cola na mesa de impressão. A construção dos objetos consumiu um total de 4 horas e 24 minutos, sendo 1 hora e 4 minutos para a rampa e 3 horas e 20 minutos para o duplo cone, sendo que, nessa etapa, o trabalho é realizado apenas pela impressora 3D. Outros modelos de impressoras podem proporcionar um tempo de impressão menor.

O acabamento, desde o recorte do suporte de impressão até o polimento das peças, consumiu 30 minutos. O Quadro 5.1 apresenta um resumo dos tempos de cada atividade.

Quadro 5.1 – Tempo gasto para reconstruir o experimento do duplo cone com a impressora 3D.

Rascunho e modelagem 3D:	3h
Preparação para a impressão:	0h15
Impressão (nesta etapa apenas a impressora 3D trabalha)	4h24
Acabamento manual:	0h30
Total:	8h09

Fonte: próprio autor.

O peso da rampa em conjunto com o duplo cone, a base de suporte cone e pedaços de material consumido na primeira tentativa de impressão, somaram 30g (Figura 5.28). Um cartucho de impressão de aproximadamente 320g<sup>40</sup> de filamento PLA verde para o modelo de impressora utilizado, foi encontrado à venda no varejo virtual brasileiro por R\$ 200,88. Há disponível, também, o filamento de ABS, com preço em torno de R\$ 178,00. O Quadro 5.2 mostra os valores de impressão considerando os dois tipos de filamentos.

<sup>40</sup>: A massa de filamento não é especificada no cartucho. A estimativa de massa foi encontrada num fórum de discussão sobre impressão 3D, onde um usuário pesou um cartucho lacrado e comparou com o peso de um cartucho vazio, sem o filamento.



Figura 5.28 – Peso dos objetos impressos.



Fonte: Próprio autor.

Quadro 5.2 – Custo material segundo o tipo de filamento utilizado.

Custo com um cartucho de filamento PLA:	R\$ 18,83
Custo com um cartucho de filamento ABS:	R\$ 16,69

Fonte: Próprio autor.

A impressora 3D empregada neste experimento utiliza filamento fornecido em cartuchos proprietários, isto é, somente compatíveis com este modelo. Há outros modelos, como as *RepRap*, que utilizam filamentos *ABS* e *PLA* comuns, fora de cartuchos. Os filamentos não proprietários, como, por exemplo, o *PLA* verde, podem ser encontrados por R\$ 175,00. Desta forma, o custo material seria reduzido para R\$ 5,25, ou seja, quase um terço do custo da impressão com o filamento *PLA* proprietário.

Os custos e o tempo de construção utilizando a impressão 3D parecem adequados em comparação, por exemplo, com a montagem desse instrumento usando materiais disponíveis no dia a dia (Figura 5.29). Em Ceron (2009), a estudante montou o aparato com cabos de vassoura para a rampa, funis para o duplo cone, dobradiças para unir os cabos e parafusos para regular a inclinação da rampa. Apesar desses materiais do dia a dia serem acessíveis, de baixo custo e o processo de construir artesanalmente ser interessante, o trabalho executado para montar as peças pode exigir um tempo maior e algumas habilidades manuais que nem todos possuirão ou estarão dispostos a desenvolver, fato que pode desmotivar a montagem do instrumento didático.

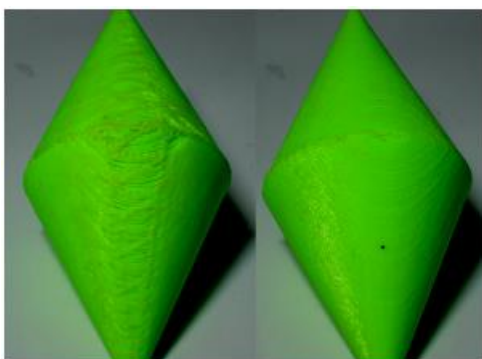
Figura 5.29 – Experimento do duplo cone criado com materiais do dia a dia.



Fonte: Ceron (2009).

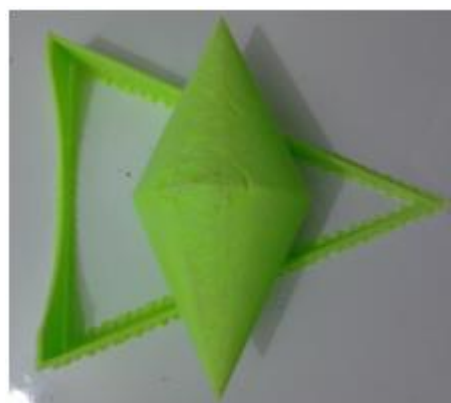
Em relação ao funcionamento, uma pequena falha causou um deslocamento do centro de massa, pois na superfície oposta àquela do suporte de impressão, ocorreu uma maior densidade de material, conforme mostra a Figura 5.30. Essa falha condicionou a colocação do duplo cone na rampa, pois, se o mesmo for colocado com a parte mais densa para baixo, o torque gerado é insuficiente para o cone iniciar o movimento (Figura 5.31).

Figura 5.30 – Comparação da densidade de material em superfícies opostas do duplo cone



Fonte: Próprio autor.

Figura 5.31 – Duplo cone parado na rampa ao ser colocado nela com a superfície mais densa voltada para baixo.



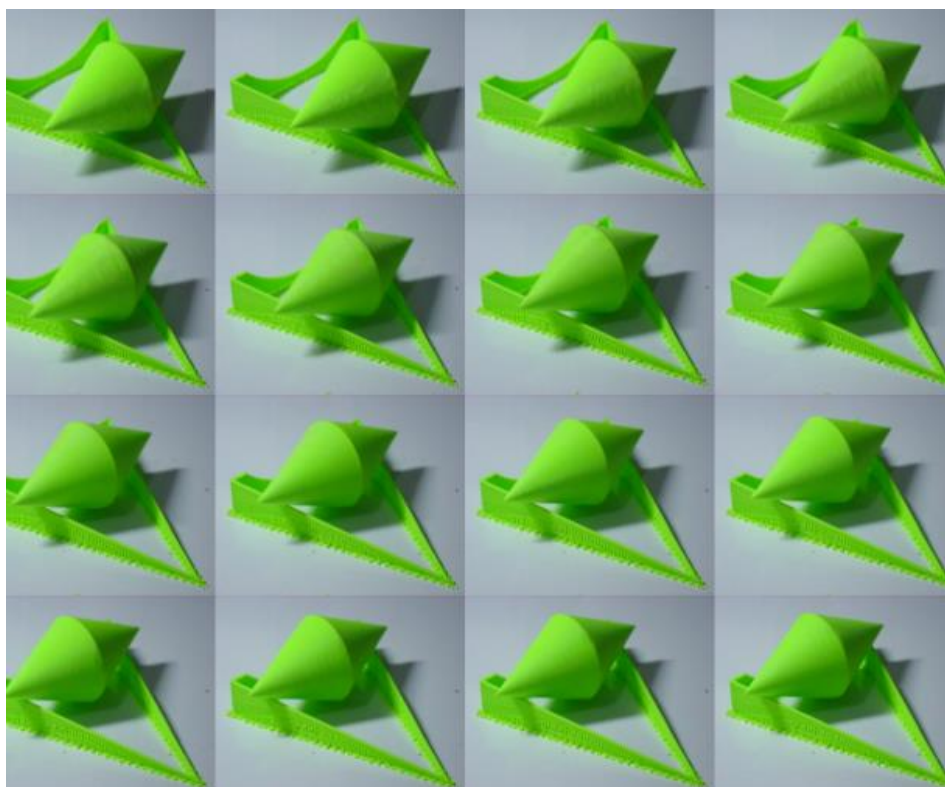
Não há torque suficiente e, por isso, o cone permanece parado na rampa. Fonte: Próprio autor.

Uma solução para essa falha seria procurar outra posição de impressão para que o suporte de impressão não cause essa diferença de densidade de material, ou aumentar a densidade de preenchimento material dele durante a preparação do arquivo STL, no *software* de fatiamento, especificando alguma opção que o tornasse maciço por dentro. Aumentando a massa do cone,

essa pequena diferença de densidade de material não deveria mais influenciar o deslocamento, pois a inércia seria suficiente para dar continuidade ao movimento.

Entretanto, ao colocar o duplo cone na rampa sem posicionar a superfície mais densa voltada para baixo, o deslocamento ocorreu normalmente (Figura 5.32), produzindo o movimento por toda a extensão da rampa, tal como o experimento original.

Figura 5.32 – Fotograma da subida do duplo cone por toda a rampa



Fonte: Próprio autor.

O modelo 3D deste instrumento didático foi compartilhado no site *GrabCad*: <<https://grabcad.com/library/duplo-cone-no-plano-inclinado-double-cone-on-ramp-1>>. Apesar de outros sites, como o *Thingiverse*, conterem mais modelos voltados à educação, o *GrabCad* também possui uma área para o ensino, mas a maioria de seus objetos são para a engenharia. O fator que motivou o compartilhamento neste site, à época em que foi realizado, em agosto de 2014, foi o *GrabCad* apresentar maior notoriedade entre as comunidades virtuais que discutem e compartilham informações sobre a construção de objetos com a impressora 3D.

### 5.3.2 A reconstrução da balestilha, um antigo instrumento de navegação que pode ser usado no ensino de matemática e astronomia

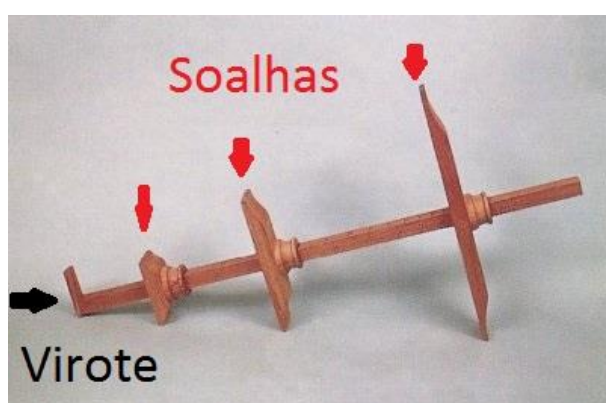
A balestilha foi um instrumento utilizado pela navegação portuguesa em princípios do século XVI até meados do XVIII, a qual era orientada pelas posições dos astros celestes. Sua técnica consistia em determinar a altura de determinados astros, ou seja, o ângulo da linha de visada do astro com o horizonte. A balestilha era construída em madeira ou marfim e composta por uma rígida vara, o virote, na qual deslizava outra menor, a soalha (Figura 5.33). Nela não há uma escala graduada, sendo os ângulos obtidos por trigonometria. Para se determinar o ângulo entre dois astros, desliza-se a soalha, afastando-a ou aproximando-a ao longo do virote, de modo que as estrelas fiquem cada qual em uma das extremidades da soalha (FERNANDES; LONGHINI; MARQUES, 2011).

Pelas medidas indicadas na Figura 5.34, o ângulo entre a estrela A e B pode ser obtido por trigonometria:

$$\alpha = 2 * \arctg(a / x), \quad (5)$$

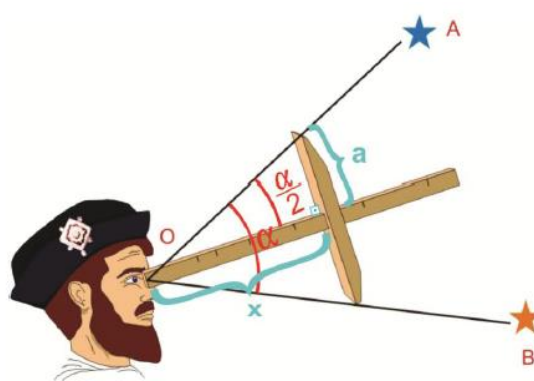
onde:  $\alpha$  é o ângulo entre as estrelas A e B;  $a$  é a metade do comprimento da soalha e  $x$  é a distância entre o início do virote e a posição da soalha nele.

Figura 5.33 – O virote e as soalhas que compõem a balestilha.



Fonte: Adaptada de Biblioteca Maria Helena Maia<sup>41</sup>.

Figura 5.34 – Determinação do ângulo entre dois astros com a balestilha.



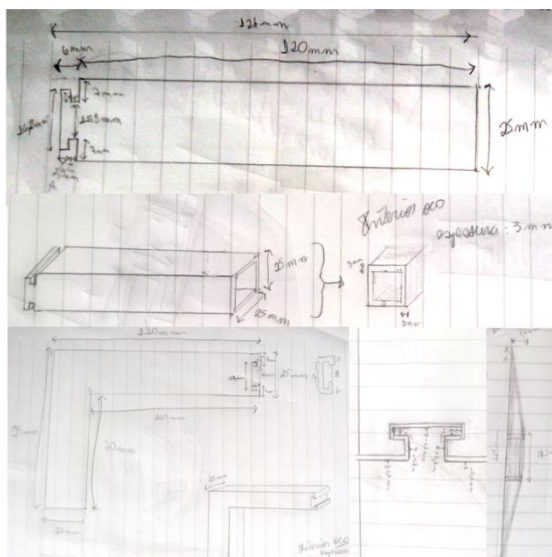
Fonte: Fernandes, Longhini e Marques (2011).

41: <http://bibliodrruydandrade.no.sapo.pt/curiosidadedomes/conteudos/agosto2006.htm>

O início da reconstrução da balestilha envolveu o seu estudo, entendendo quais são as características de funcionamento, suas medidas e as relações entre elas. Como mostrado pela Equação 5, os ângulos são obtidos levando em consideração a distância deslocada da soalha no virote e o tamanho das soalhas. Fernandes; Longhini; e Marques (2011) recomendam que as soalhas tenham  $1/2$ ,  $1/4$  e  $1/8$  do comprimento do virote.

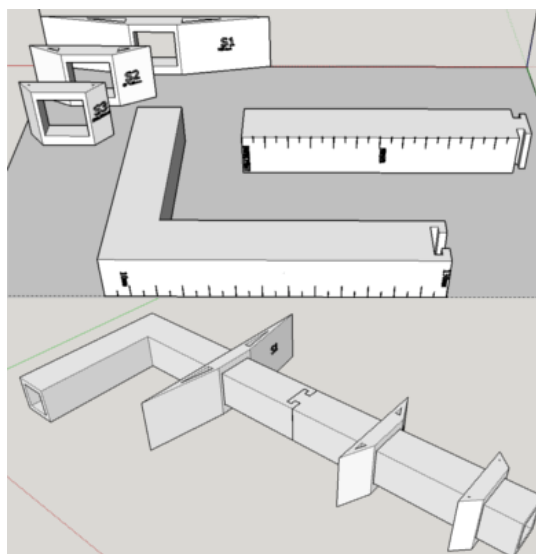
Neste trabalho foi utilizada a impressora 3D *Cube 2*, cujo volume de impressão é de 14 cm x 14 cm x 14 cm. Considerando tais restrições, e visto que o tamanho do virote é importante para oferecer uma capacidade maior de medição de ângulos, criou-se um rascunho com o virote dividido em duas peças, cada uma com 130 mm. Ranhuras semelhantes às existentes em régua foram desenhadas ao longo do virote, a cada 5 mm, para facilitar a obtenção da posição da soalha. Três soalhas foram projetadas com as seguintes dimensões: 115 mm, 57,6 mm e 38,8 mm. Após a elaboração dos rascunhos (Figura 5.35), ocorreu o processo de modelagem 3D (Figura 5.36). Para a modelagem foi utilizado o *software SketchUp Make 14*. O modelo gerado foi exportado para o formato STL e, em seguida, esse arquivo foi submetido ao processo de fatiamento no *Cube Software*. Após esse tratamento, o arquivo foi enviado para impressora 3D. O tempo total de impressão das peças da balestilha foi de 443 minutos. Os objetos impressos passaram pelo processo de acabamento, ou seja, a remoção do excesso de material, como os suportes, e polimento da superfície (Figura 5.37). O resultado final pode ser visualizado na Figura 5.38. A fim de checar os resultados e verificar a necessidade de intervenções, apenas a soalha de 115 mm foi impressa.

Figura 5.35 – Rascunhos das peças da balestilha.



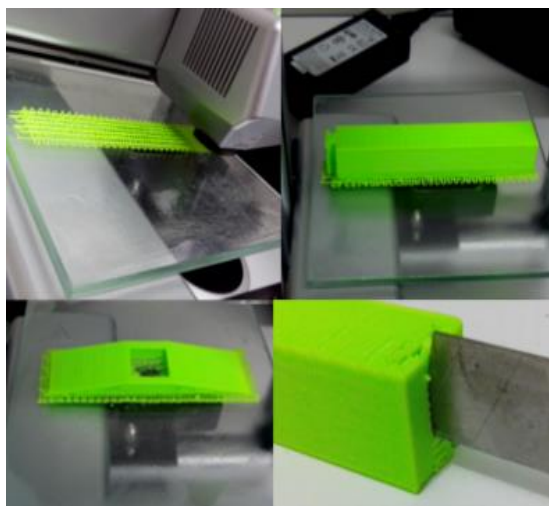
Fonte: próprio autor.

Figura 5.36 – Modelagem 3D da balestilha.



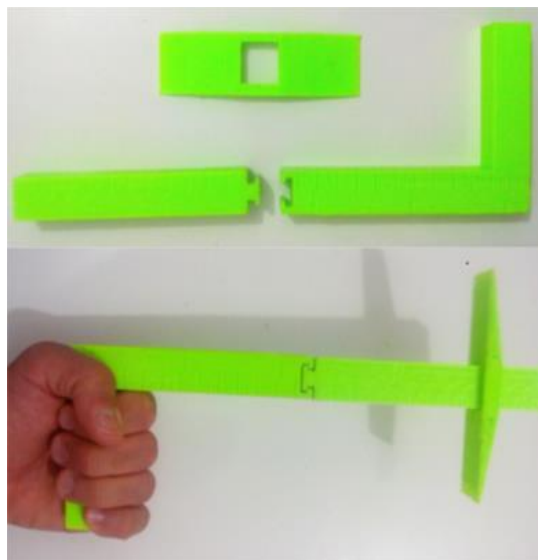
Fonte: próprio autor.

Figura 5.37 – Impressão 3D e acabamento das peças da balestilha.



Fonte: próprio autor.

Figura 5.38 – balestilha pronta.



Fonte: próprio autor.

Após a conclusão da construção do instrumento, foi possível utilizá-lo como o original, onde pode-se obter o ângulo entre dois pontos ao deslizar a soalha sobre o virote.

A impressora 3D influencia na qualidade dos objetos construídos. Impressoras de cunho pessoal, como a utilizada nesta construção, exigem mais cuidados com a preparação da

impressão, como, por exemplo, a configuração da distância adequada entre o bico de impressão e a mesa de impressão, e, conseqüentemente, há a possibilidade de pequenas falhas nessas calibrações, que geram diferenças entre as medidas estabelecidas no modelo 3D com o objeto final impresso. Apesar disso, diferenças entre as dimensões planejadas e as que foram impressas podem ser úteis no processo de ensino, uma vez que permite que os alunos reconheçam que tais processos são suscetíveis a falhas e que possam estimar possíveis erros.

Neste caso, a soalha desenhada com largura de 115 mm, depois de impressa e lixada para dar acabamento, ficou com 109,3 mm, uma diferença de 4,96%. A partir de medidas realizadas no instrumento acabado, pode-se utilizar a Equação 5 para construir o Quadro 5.3 para consultá-lo a fim de obter o ângulo obtido com a soalha 1.

Quadro 5.3 Posição da soalha 1 no virote vs. ângulo obtido

Posição da soalha 1 x (mm):	Ângulo correspondente $\alpha$ (graus)	x (mm)	$\alpha$ (graus)	x (mm)	$\alpha$ (graus)	x (mm)	$\alpha$ (graus)	x (mm)	$\alpha$ (graus)
5	169,5°	55	89,6°	105	55,0°	155	38,8°	205	29,9°
10	159,3°	60	84,7°	110	52,8°	160	37,7°	210	29,2°
15	149,3°	65	80,1°	115	50,8°	165	36,7°	215	28,5°
20	139,8°	70	76,0°	120	49,0°	170	35,6°	220	27,9°
25	130,8°	75	72,2°	125	47,2°	175	34,7°	225	27,3°
30	122,5°	80	68,7°	130	45,6°	180	33,8°	230	26,7°
35	114,7°	85	65,5°	135	44,1°	185	32,9°	235	26,2°
40	107,6°	90	62,5°	140	42,6°	190	32,1°	240	25,7°
45	101,1°	95	59,8°	145	41,3°	195	31,3°	245	25,1°
50	95,1°	100	57,3°	150	40,0°	200	30,6°	250	24,7°

Fonte: próprio autor.

A tecnologia de impressão 3D permitiu a reconstrução de um instrumento histórico de maneira mais fácil do que o método original, que era através do entalhe em madeira ou marfim. Essa situação coincide com a afirmação que Knill e Slavkovsky (2013a) fizeram ao criar objetos projetados por Arquimedes há 2300 anos: “esta tecnologia [de impressão 3D] pode levar a novas perspectivas ao olhar para a história da matemática e engenharia. A nova, e ainda de ponta, tecnologia possibilita a todos criarem modelos para a sala de aula” (KNILL; SLAVKOVSKY, 2013a, p. 12, tradução nossa).

Como atividades para professores de matemática em sala de aula, há a sugestão de Fernandes, Longhini e Marques (2011) para calcular a altura de objetos como prédios e postes. No mesmo trabalho existem instruções de como utilizar a balestilha no ensino de astronomia para determinar, a partir do Cruzeiro do Sul, a latitude local, atividade que pode ser executada com um complemento: os estudantes compararem essa latitude obtida pelo uso da balestilha com a latitude indicada por aparelho GPS (*Global Positioning System*), funcionalidade que está disponível na maioria dos *smartphones* atuais.

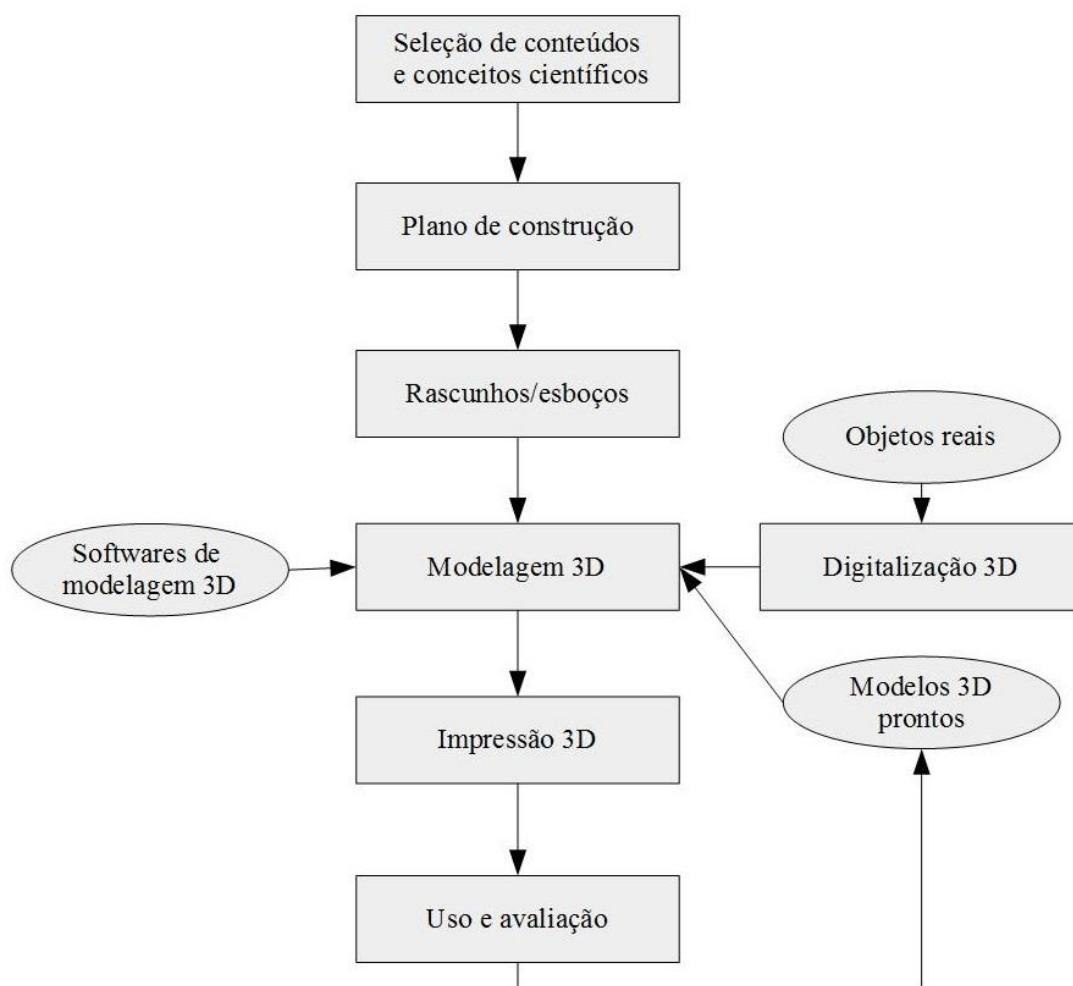


## **CAPÍTULO 6**

## 6 O processo desenvolvido pela análise das ações realizadas nas construções dos instrumentos didáticos com a impressão 3D

Após as construções, os registros das ações realizadas foram analisados. Buscou-se por ações recorrentes que poderiam ser estabelecidas como procedimentos ou etapas. Organizadas, essas etapas formam um processo (Figura 6.1) que orienta o uso da impressão 3D para a criação de novos instrumentos didáticos.

Figura 6.1 – Etapas do processo de uso da impressão 3D para construir instrumentos didáticos.



Fonte: próprio autor

A seguir, cada etapa do processo é descrita e são apresentadas algumas orientações de caráter técnico sobre alguns procedimentos.

## 6.1 Seleção de conteúdos e conceitos científicos

O processo de construção tem início com a identificação das necessidades e/ou oportunidades de aprendizagem. Define-se o que se deseja alcançar com a utilização do instrumento didático: demonstrar e facilitar a compreensão de algum conceito; causar um conflito nas concepções dos estudantes devido a um comportamento inesperado; gerar curiosidade nos estudantes; etc.

Por exemplo: o conceito físico “centro de massa” pode ser considerado como um ponto que representa toda a massa de um corpo. Esse conceito exige um alto nível de abstração. É justo um estudante não entender quando um professor, que tenta ensinar sobre este conceito, diz que toda a matéria que há num corpo pode ser representada por um único ponto desse corpo. O aprendizado pode ficar ainda mais difícil se o corpo utilizado como exemplo não possuir uma forma simétrica e nem densidade uniforme. Ou seja, há uma necessidade de ensino-aprendizagem: prover um exemplo real para o conceito de “centro de massa”.

O experimento do duplo cone pode ser utilizado como instrumento didático nesse caso, pois quando o estudante vê os cones desenvolvendo um movimento contrário ao habitual, isto é, subir uma rampa ao invés de descê-la, deverá ocorrer um conflito nas concepções do estudante sobre “objetos rolarem numa rampa”. A partir daí, o estudante pode ficar curioso com o fenômeno produzido pelo instrumento e isso possibilita que ele se motive a buscar compreensão do conceito de “centro de massa”, o qual é utilizado para explicar a curiosa subida dos cones pela rampa

Portanto, é a partir da definição dos conteúdos/conceitos científicos, para os quais existe uma necessidade de ensino-aprendizagem, que um instrumento didático é criado. Essa consideração é válida para qualquer instrumento didático, não apenas para os construídos com impressoras 3D.

## 6.2 Plano de construção levando em conta as restrições da impressora 3D

No planejamento é necessário estudar, compreender e anotar as características que o instrumento deve possuir para produzir o funcionamento esperado. Munido dos requisitos de funcionamento, é possível definir as medidas das peças que o compõem para que funcione depois de impresso em 3D.

As impressoras 3D são limitadas quanto ao volume de impressão, e as medidas limites podem ser diferentes em cada uma das três dimensões (X, Y e Z). Portanto, é preciso atenção no estabelecimento das dimensões dos instrumentos.

No experimento do duplo cone, onde a impressora 3D impunha a limitação de 14 cm em todas as direções, definiu-se que a maior medida do instrumento, o comprimento da rampa, seria de 12 cm. A partir dela, aplicando as relações matemáticas entre as medidas, foram calculadas as demais medidas. Desta forma, o objeto foi desenhado dentro dos limites da impressora 3D e obedecendo, ao mesmo tempo, os requisitos necessários para seu funcionamento. Se as dimensões necessárias ao objeto excedessem as medidas permitidas pela impressora 3D, a impressão poderia ser realizada em partes, isto é, modelando e imprimindo as partes separadamente e colando-as após impressas em 3D, como foi feito com a balestilha.

Na definição das medidas pode ser necessário levar em conta critérios que dependam da técnica e da impressora 3D utilizada. Para uma impressora que deposita filamento fundido (FDM ou FFF), deve-se levar em conta a resolução de impressão (o diâmetro do “fio de plástico derretido” expelido pelo bico de impressão) e até o tipo de filamento utilizado, pois o ABS e o PLA apresentam resistências mecânicas diferentes.

Por exemplo: se objetos ocos são necessários num experimento que estuda a conservação do momento linear em colisões, a vida útil deles pode acabar sendo inferior à desejada se a espessura da “casca” desses objetos for muito fina. Num caso como esse, onde a resistência mecânica do objeto é importante, é recomendado haver, pelo menos, três camadas de filamento depositadas nas “paredes” do objeto. Portanto, se a impressora 3D tivesse uma resolução de 0,4 mm, as espessuras das “cascas” deveriam ser planejadas com, pelo menos, 1,2mm.

Requisitos técnicos como esse podem ser importantes, pois, ao levá-los em conta, eles podem alterar as medidas planejadas para um objeto, principalmente nos pequenos. Entretanto, o cuidado com esses parâmetros não deve ser uma atividade estressante. Essas falhas podem gerar situações estimuladoras à aprendizagem por resolução de problemas. Após a avaliação da falha e um novo planejamento das medidas, basta submeter o trabalho à construção pela impressora 3D, mas sem esquecer de enviar o objeto falho para a reciclagem.

### **6.3 Rascunhos e esboços**

A elaboração de rascunhos e esboços mostrou-se uma atividade importante, pois, ao definir formas e medidas, o instrumento didático começa a ser criado.

Uma vez que esta etapa faz uso de ferramentas bastante básicas e intuitivas, como a mão, o lápis, a borracha e o papel, a tendência é uma ocorrência menor de dificuldades na criação dos desenhos. Ao traçar as formas de um objeto, dá-se formalidade à imaginação, percebendo através do sentido visual o que está sendo imaginado. Esse procedimento de “olhar o que está sendo pensando” pode levar à detecção de erros ou à afirmação daquilo a que se deseja chegar. O ato de atribuir medidas às dimensões do objeto facilita a percepção de medidas erradas, que poderiam gerar um instrumento não funcional. Um exemplo seria o pino de encaixe de uma das peças ficar com dimensões maiores que o conector que está na outra, ocasionando problemas de encaixe.

Assim, a criação de rascunhos e esboços facilita a próxima etapa: a modelagem 3D. Tendo definido as formas e as medidas, a modelagem 3D se resumirá a transpor o que está no papel para o computador.

Singh (2010) recomenda a elaboração de mais de um rascunho, com formas diferentes. Dessa maneira, ideias distintas colaboram com a definição de como o instrumento poderá ser criado.

## 6.4 A modelagem 3D

A modelagem 3D é o processo de desenvolver ou obter uma representação digital em três dimensões do objeto que se deseja construir com a impressora 3D. O modelo 3D pode ser feito a partir do zero, utilizando um *software* de modelagem 3D como o *SketchUp*, ou obtido, por exemplo, em *sites* dedicados ao compartilhamento de modelos. Outra maneira de desenvolver a modelagem é com a utilização de técnicas de digitalização 3D de objetos reais, que podem ser realizadas desde o uso de câmeras digitais, sensores de movimento de videogames e *scanners* 3D dedicados a esta operação. As opções para trabalhar com a modelagem 3D estão detalhas abaixo.

### 6.4.1 A partir de objetos reais

Objetos reais podem ser digitalizados simplesmente usando a câmera fotográfica digital de um *smartphone*, fotografando o objeto enquanto o contorna em 360° e, no final, processar as imagens utilizando aplicativos, como o *123D Catch*<sup>42</sup>, para gerar um modelo 3D.

Outra opção é a digitalização 3D utilizando *scanners* 3D como o *Sense*, fabricado pela *3D Systems*<sup>43</sup> (Figura 6.2). Nesses equipamentos, há uma câmera fotográfica digital que envia as imagens automaticamente para o computador, onde há um *software* que indica para onde o *scanner 3D* deve ser movimentado. Em tempo real, é exibida a união das imagens captadas, gerando, ao final, um modelo 3D do objeto circundado.

Além dos *scanners 3D*, que são aparelhos exclusivos para a digitalização 3D, sensores de movimento utilizados com videogames, como o *Kinect for Windows*<sup>44</sup> da *Microsoft* (Figura 6.3), também servem como mecanismo para digitalizar objetos reais. Para isso, é necessário que o sensor esteja conectado a um computador que contenha algum *software* instalado para o tratamento das imagens, como o *SCENET*<sup>45</sup>.

---

42: *123D Cath*: <http://www.123dapp.com/catch>

43: *Scanner 3D Sense* da *3D Systems*: <<http://cubify.com/en/Products/Sense>>

44: *Kinect for Windows*: < <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>>

45: *SCENECT*, software gratuito para digitalizar objetos usando sensores de movimento, como o *Kinect*: <<http://www.faro.com/scenect/scenect>>

Figura 6.2 – Digitalização com um *scanner 3D*.



Fonte: 3D Systems.

Figura 6.3 – Digitalização com um sensor de movimentos de videogames.



Fonte: SCENET.

A digitalização 3D de objetos reais pode proporcionar uma modelagem 3D mais fácil e mais fiel a um objeto que já exista e que se deseja reproduzir, principalmente aqueles com formas orgânicas, como pessoas e animais.

Ressalta-se que é preciso ficar atento a esta prática. Isso porque, apesar de ainda não haver uma regulamentação específica em leis, reproduzir objetos dessa maneira pode constituir violação de direitos autorais.

#### 6.4.2 Modelando desde o início

A criação de um modelo 3D exige o uso de algum *software* de modelagem 3D. A escolha deve levar em conta critérios técnicos, pessoais e econômicos. Do ponto de vista técnico, é preciso escolher um *software* compatível com o sistema operacional e que, preferencialmente, exporte os desenhos para o formato STL, o qual, até o momento, é o formato padrão entre as impressoras 3D. Considerando que a modelagem 3D é uma atividade que pode requerer certos conhecimentos técnicos e nem todos os professores estarão familiarizados com estes, deve-se, sempre que possível, optar por um *software* de fácil aprendizagem e utilização. Aspectos econômicos também precisam ser considerados. Vários *softwares* desta natureza requerem licença de uso. Entretanto, é possível optar pelos gratuitos.

O *software* utilizado nesta pesquisa foi o *SketchUp*. Ele oferece compatibilidade com mais de um sistema operacional, apresenta uma interface com ferramentas intuitivas, contém uma versão gratuita e dispõe de extensões que proporcionam automatização de várias tarefas durante a modelagem 3D.

Uma estratégia que se mostrou útil para auxiliar com a modelagem 3D em momentos de dificuldades, foi a busca por vídeos compartilhados na internet como os do *site YouTube*. Buscando pelo nome do *software* de modelagem 3D junto a palavras que identificam a forma que se deseja desenhar, por exemplo “*SketchUp*” + “esfera”, pode-se encontrar vários vídeos contendo o passo a passo de como fazer o desenho.

#### **6.4.3 Utilizando modelos 3D prontos**

Um importante auxílio para a modelagem 3D é a utilização de modelos 3D prontos. Foi possível encontrar inúmeros deles, inclusive instrumentos didáticos prontos, à disposição em *sites* dedicados ao compartilhamento de modelos 3D como o *Thingiverse*, o *GrabCad*, e o *MyMiniFactory*, dentre vários outros encontrados pela internet.

O uso de modelos 3D prontos reduz o tempo dispendido com as etapas antes da impressão 3D. Eles também possibilitam que pessoas que não possam, não queiram fazer ou não consigam criar os modelos 3D desde o início, imprimam objetos.

#### **6.5 Imprimindo em 3D**

Discussões que podem orientar a escolha de uma impressora 3D estão no Capítulo 4 – Preparação técnica. Nesta seção estão discutidas algumas das ações executadas nessa etapa.

Após o planejamento do instrumento, a criação dos esboços que definiram suas formas e medidas, e o desenho desse objeto em 3D (a modelagem 3D), chega o momento de transformar um objeto virtual em real.

A etapa de impressão inicia-se pela preparação do arquivo STL que contém o modelo 3D do objeto por meio de softwares dedicado a isso. As impressoras de arquitetura proprietária acompanham seus próprios *softwares*, como o *Cube Software*, que é utilizado com a *Cube 2*. Para as impressoras *RepRap* há *softwares* gratuitos como o *Slic3r* e o *MatterControl*.

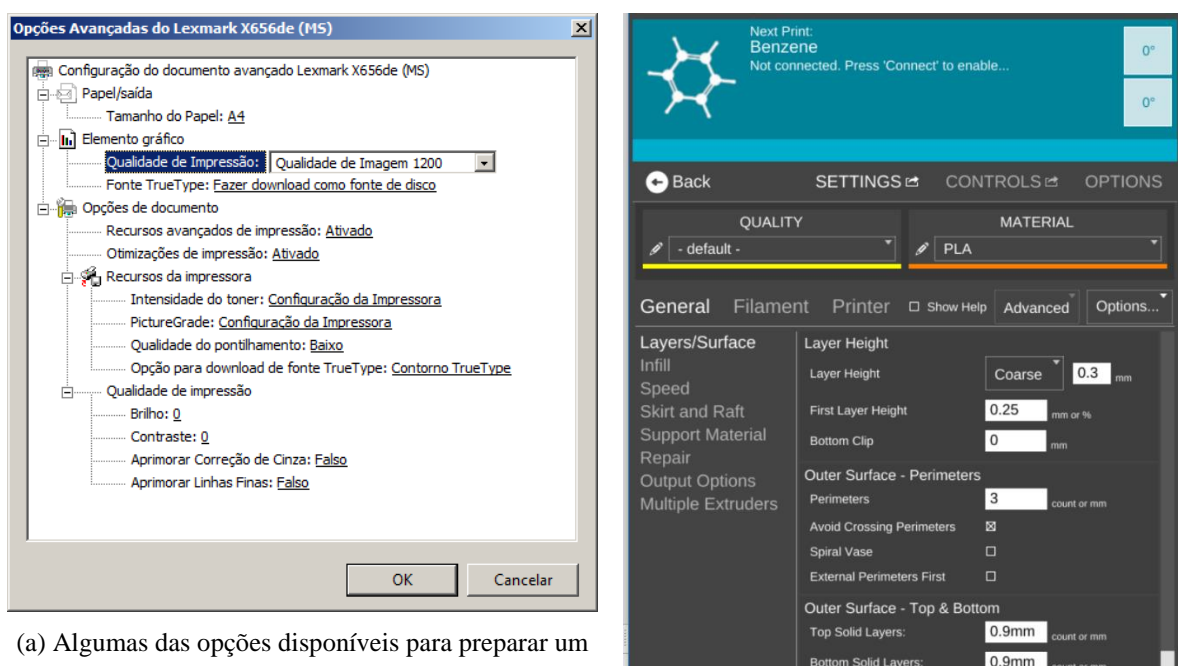
O objetivo da preparação do modelo 3D é gerar instruções para a impressora 3D construir o objeto. Esta preparação é constantemente denominada “fatiamento”, uma vez que a impressão



acontece camada por camada, ou seja, o *software* lê o arquivo que contém o modelo 3D, divide o desenho do objeto em camadas (que podem ter a altura das camadas definida), e gera um código que o processador da impressora 3D consegue interpretar para movimentar os componentes eletrônicos da impressora e realizar a construção do objeto. Para as impressoras do tipo *RepRap*, o código normalmente é gerado no formato *G-Code*, uma linguagem de programação herdada das máquinas de usinagem que também são controladas por computador. As impressoras de arquitetura proprietária utilizam uma linguagem própria. Os arquivos com as instruções para a impressora 3D *Cube 2* são criados com a extensão “.cube”.

Nesta tarefa de preparação, pode-se fazer uma analogia entre impressoras 3D e as impressoras de papel. Ao imprimir um texto, o usuário também prepara o texto para ser impresso ao escolher parâmetros como tamanho da folha, tonalidade, cores, etc. (Figura 6.4a). Já para um objeto a ser construído com a impressora 3D, essas opções referem-se desde as propriedades de um objeto tridimensional, como a densidade de preenchimento do volume, a construção de suportes em baixo de elementos sem apoio e a altura de cada camada do objeto, até parâmetros da impressora 3D, que, no caso das *RepRap*, podem ser as velocidades de impressão, temperatura da mesa de impressão e do bico da impressora, etc. (Figura 6.4b).

Figura 6.4 – Comparação das opções para preparação da impressão de um texto e de um modelo 3D.



(a) Algumas das opções disponíveis para preparar um texto para ser impresso numa impressora de papel.

Fonte: próprio autor.

(b) Alguns parâmetros disponíveis no *software MatterControl* para preparar um modelo 3D para ser construído por uma impressora 3D *RepRap*.

Fonte: próprio autor.

Ainda na preparação, ou fatiamento, dos modelos 3D, há funcionalidades que visam corrigir pequenas imperfeições que podem comprometer a impressão. Pode-se também redimensionar ou reposicionar o objeto na área de impressão. Ao término do fatiamento, é gerado um arquivo no formato adequado à impressora que estiver sendo utilizada, contendo as instruções para a impressora 3D construir o objeto.

Antes da impressão propriamente dita, podem ser necessários procedimentos que preparam a impressora 3D. Sobre a superfície, ou mesa de impressão, espalha-se uma camada de cola para que a primeira camada de filamento de impressão possa aderir ao material da mesa de impressão, o qual normalmente é vidro. Dependendo da impressora, podem ser necessárias calibrações para regular a distância entre o bico e a mesa de impressão.

Depois de preparar a impressora 3D e acionar o processo de construção, o cabeçote de impressão é aquecido até alcançar a temperatura de fusão do filamento plástico (se for uma impressora de filamento fundido) e, em seguida, a impressora 3D inicia a construção do objeto.

Quando acontecem problemas, muitos deles costumam ser observados logo nas primeiras camadas de impressão. Esses problemas vão desde falta de adesão do filamento à mesa de impressão até falhas na extrusão devido a sujeiras que aderem ao filamento e entopem o bico. Passada a construção das primeiras camadas, ou seja, a impressora 3D já demonstrou um funcionamento estável, pode-se deixá-la trabalhando sem supervisão constante.

Concluída a impressão dos objetos, pode ser preciso realizar um acabamento. Para as impressoras que constroem objetos mediante a deposição de filamento fundido, o acabamento normalmente consiste na remoção dos suportes de impressão e polimento do excesso de material.

## **6.6 Avaliação do objeto impresso**

A simples conclusão da impressão 3D das peças não é suficiente para considerar que houve uma construção plena.

Para que a construção de um instrumento didático por meio da impressão 3D seja considerada bem-sucedida, é preciso que ele funcione de acordo com o planejado, reproduzindo o experimento que trabalhará os conceitos e a necessidade de ensino-aprendizagem definidos na primeira etapa do processo.

Resultados inesperados não constituem necessariamente um problema. Um exemplo disso aconteceu durante a construção do experimento do duplo cone, em que o suporte de impressão embaixo dos cones interferiu na densidade de material da superfície onde estava conectado. Ao remover os suportes, foram formados pequenos buracos na superfície.

A diferença de densidade de material entre as superfícies dos cones gerou um deslocamento do centro de massa e condicionou a sua colocação na rampa: quando colocado com a superfície mais densa voltada para baixo, não ocorria torque suficiente para iniciar o movimento e ele permanecia estático na rampa. Já quando o duplo cone era colocado fora desse ponto de equilíbrio, a aparente subida ocorria, proporcionando curiosidade aos que o observavam.

Como o que aconteceu ao duplo cone foi um deslocamento do centro de massa e o instrumento foi construído justamente para trabalhar esse conceito, uma característica como essa pode proporcionar uma oportunidade de ensinar como as diferenças na densidade de massa ao longo de um corpo influenciam na posição do ponto que representa a massa do objeto todo, ou seja, o centro de massa.

Essa falha nos cones poderia ser resolvida, por exemplo, escolhendo outra posição de impressão para que a remoção dos suportes não afetasse a superfície em locais importantes. Outra solução seria imprimi-lo com maior densidade de preenchimento do seu interior, assim a leve falha na superfície não influenciaria no deslocamento do centro de massa, mas isso geraria um gasto maior de materiais. Seria possível também desenhar o duplo cone com um pequeno furo em alguma de suas extremidades para inserir, por exemplo, areia, nele depois de impresso, e fechar o furo com uma gota de cola. O aumento da massa pela inserção da areia tornaria desprezível a leve diferença de densidade na superfície dos cones.

Discussões sobre como solucionar um problema de um instrumento didático construído com a impressora 3D, tais como as que estão acima sobre o duplo cone, exigem raciocínios com os conceitos envolvidos no plano de construção. Por isso, um problema nessa etapa pode gerar situações que estimulem o aprendizado por resolução de problemas.

Outras avaliações, além da verificação do funcionamento, devem ser realizadas neste momento em que a tecnologia de impressão 3D ainda emerge no ambiente educacional. Estimativas de custo e tempo são úteis para ajudar a analisar em que situações o uso da impressora 3D pode ter seus resultados comprometidos devido aos custos. Para as construções realizadas na primeira fase desta pesquisa, a estimativa dos custos materiais e do tempo necessário para construí-los, comparados a uma construção artesanal, parecem aceitáveis. É preciso lembrar que o tempo de impressão e o custo material podem ser reduzidos dependendo do tipo de impressora 3D utilizada.

## **6.7 Compartilhamento do conhecimento**

Uma característica da contribuição da tecnologia de impressão 3D para a instrumentação do ensino é a possibilidade de compartilhar os instrumentos didáticos. Depois que o professor ou o estudante modelou o instrumento em 3D, imprimiu-o e avaliou seu funcionamento, o modelo 3D criado pode ser compartilhado pela internet, contribuindo para a criação de um repositório virtual de objetos imprimíveis para a educação, o que possibilita que instituições de ensino que disponham de impressoras 3D consigam construir instrumentos didáticos rapidamente a partir desse repositório.

## **CAPÍTULO 7**

## **7 A Oficina de construção de instrumentos com a impressão 3D**

A ideia da realização da oficina veio logo após o desenvolvimento do processo. Apesar das etapas que compõem o processo parecerem fazer sentido, isto é, segui-las parece levar à construção de um instrumento didático utilizando impressoras 3D, seria de bom senso verificar se outras pessoas conseguiriam o mesmo.

Organizou-se, então, a oficina em forma de um minicurso. Seu objetivo era ensinar o processo desenvolvido por meio de aulas instrutivas e atividades práticas, para que, ao final, os participantes usassem esse processo, por conta própria, na criação de um objeto que eles poderiam utilizar como instrumento didático para auxiliar o ensino de algum conteúdo de ciências. Pela observação do comportamento dos participantes, por retornos da parte deles e resultados obtidos ao longo da oficina, seria possível observar discordâncias, outros pontos de vista e confirmar se o processo desenvolvido também fazia sentido para outras pessoas.

A oficina iniciou pela introdução à impressão 3D, mostrando um pouco da sua história, diferentes técnicas de impressão e as potenciais mudanças que ela pode provocar na sociedade. Em seguida, ocorreram atividades práticas com os participantes, guiando-os pelo processo. Nessas atividades, eles reproduziram a balestilha. Por último, como projeto de conclusão da oficina, os participantes criaram um instrumento didático para auxiliar o ensino de algum conteúdo do curso em que estavam se licenciando. Os tópicos dos conteúdos apresentados em cada encontro constam no Apêndice C.

Como a oficina também tinha um propósito de complemento à formação dos participantes, foram pesquisadas perspectivas para a educação tecnológica com o objetivo de orientar a seleção de assuntos relacionados à tecnologia de impressão 3D (que estão expostas no Capítulo 3), assim como os impactos sociais advindos de um possível futuro em que ela seja usada massivamente, evitando assim que os conteúdos técnicos lecionados ficassem desvinculados de um contexto social.

A carga horária da oficina foi de 32 horas: 16 presenciais, divididas em 4 encontros, e 16 horas de atividades não presenciais. Os encontros foram realizados numa sala de aula da

Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru, aos sábados à tarde, entre os dias 20/06/2015 e 18/07/2015.

### **7.1 Participantes**

Registrada como projeto de extensão<sup>46</sup> para a difusão de conhecimento, a oficina foi divulgada para licenciandos da Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru pelos coordenadores de curso, enviando por e-mail um cartaz (Apêndice A), e para professores de escolas de ensino médio, também pelo envio de e-mails contendo um cartaz (Apêndice B). Foram disponibilizadas 16 vagas, sendo 8 para professores e 8 para licenciandos. As inscrições aconteceram entre 25 de maio e 07 de julho de 2015. Vinte licenciandos se inscreveram, contudo apenas seis compareceram à oficina e só quatro deles a concluíram. Não houve professores inscritos.

### **7.2 Procedimentos metodológicos**

O método de coleta de dados na oficina foi principalmente a observação participante. Participante, pois neste caso o pesquisador também exerceu o papel de instrutor dos conteúdos. O intuito da oficina como sendo um evento em que ocorreria uma coleta de dados foi deixado claro aos participantes desde o começo. Nessa condição, a pesquisa pôde ter acesso a uma grande quantidade de informações, pois foi pedida cooperação aos participantes no sentido de emitirem suas opiniões.

A observação foi escolhida como método de coleta, pois, segundo Lüdke e André (1986), ela possibilita ao pesquisador recorrer aos conhecimentos e experiências pessoais como auxiliares no processo de compreensão e interpretação. Permite também chegar mais perto da perspectiva dos sujeitos, isto é, entender o significado que eles atribuem às suas ações. As observações também são extremamente úteis para descobrir novos aspectos de um problema quando não há uma base teórica sólida que oriente a coleta de dados, como no caso desta pesquisa, em que a literatura sobre o assunto não é ampla. Algumas dificuldades que os participantes tiveram ao realizarem as atividades práticas também foram registradas.

---

46: Projeto de extensão registrado na Pró-Reitoria de Extensão Universitária com o formulário nº 6849.



O registro das observações deu-se por anotações próximas aos momentos em que os eventos interessantes à pesquisa aconteciam. Notas curtas iam sendo realizadas para não comprometer interações que estivessem acontecendo. Logo após o final dos encontros, as anotações eram transcritas em mais detalhes.

No último encontro ocorreram entrevistas semiestruturadas com perguntas baseadas em padrões observados nas anotações ao longo da oficina. As entrevistas foram feitas na presença de todos, o que possibilitava um ambiente de discussão entre os participantes nos momentos em que não conseguiam verbalizar uma resposta.

As respostas das entrevistas foram registradas em forma de anotações, uma vez que muitas pessoas não se sentem à vontade ao terem sua imagem ou voz gravada. Além disso, esse tipo de registro já representa um trabalho inicial de seleção e interpretação das informações emitidas, pois o entrevistador já vai percebendo o que é suficientemente importante para ser tomado nota (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 37). Ao final, um questionário foi aplicado para que os participantes registrassem sua opinião sobre a tecnologia de impressão 3D ser empregada como ferramenta para a construção de instrumentos didáticos.

### **7.3 Dados registrados sobre a oficina**

Nesta seção há um resumo dos conteúdos que foram apresentados na oficina e comentários sobre os eventos relevantes que ocorreram.

#### **7.3.1 Primeiro encontro: introdução à tecnologia de impressão 3D; início do processo: seleção de conteúdos e conceitos, planejamento e rascunho.**

Data: 20/06/2015 – 6 participantes.

##### **7.3.1.1 Conteúdo apresentado**

O primeiro conteúdo apresentado e discutido foi a definição do que são instrumentos didáticos. Em seguida, na introdução à impressão 3D, foram apresentados: os autores e imagens dos primeiros dispositivos patenteados; o projeto *RepRap*; a definição do termo impressão 3D, oriundo da manufatura aditiva; vídeos com exemplos de diferentes técnicas de impressão 3D;

as mudanças potenciais que essa tecnologia pode proporcionar na sociedade, como, por exemplo, na manufatura pessoal, na cadeia de produção, na medicina e na educação.

Depois houve a primeira atividade prática. *Notebooks* foram emprestados para os participantes e, em dupla, foram convidados a visitar os *sites* das empresas fundadas pelos primeiros autores das patentes de impressão 3D, com o objetivo de verem a quantidade de dispositivos hoje disponíveis. Eles visitaram também o *site* do projeto *RepRap* para que ficassem cientes de que lá existem instruções para a montagem de inúmeros modelos de impressoras 3D de baixo custo.

Em seguida, iniciou-se o uso do processo de construção de instrumentos didáticos com a impressão 3D. A balestilha foi utilizada como exemplo.

Para a primeira etapa, a seleção de conteúdos e conceitos, foi apresentado o artigo de Fernandes, Longhini e Marques (2011) sobre a balestilha. Foram ressaltados os principais pontos em que deveriam prestar atenção: a história do instrumento, como e em que situação era utilizado, a trigonometria envolvida na sua operação e como a construção era sugerida pelos autores.

A segunda etapa consistiu no plano de construção. Nesse momento foi apresentada a impressora 3D *Cube 2* e seus limites de volume de impressão. Numa lousa, as peças da balestilha iam sendo esboçadas com medidas que levavam em conta os limites da impressora 3D, as relações entre as medidas da soalha, virote e os detalhes importantes, como, por exemplo, as medidas do buraco da soalha que deveriam ser um pouco maiores que o diâmetro do virote para que um encaixasse no outro. Nessa explicação, esclareceu-se que se a balestilha fosse construída pequena, proporcionaria uma variedade menor de medidas, e foi sugerida a ideia de fazer o virote comprido, em duas partes que seriam coladas depois de impressas.

Após apresentar ideias de como as peças poderiam ser projetadas, foram emprestados lápis, papel e borracha para que os participantes que fizessem rascunhos (Figura 7.1) das peças da balestilha, seguindo as considerações apresentadas no plano de construção, sendo que as peças não precisariam ser iguais às exemplificadas na lousa.

Figura 7.1 – Participantes criando esboços da balestilha.



Fonte: Próprio autor.

A balestilha criada na primeira fase desta pesquisa não foi mostrada aos participantes para não motivar a cópia. Apenas o artigo de Fernandes, Longhini e Marques (2011), onde é sugerida a construção da balestilha realizando entalhe em madeira, foi provido para os participantes, juntamente a exibição de algumas fotos dos rascunhos desenhados na confecção da balestilha para exemplificar.

#### 7.4.1.2 Observações

a) Os participantes tinham a percepção de que a tecnologia de impressão 3D era recente. Conversando com eles, detectou-se que tal percepção deve-se ao fato de que apenas há pouco tempo estão sendo veiculadas notícias frequentes de casos de uso da impressão 3D;

b) O fato dos *sites* das empresas *3D Systems* e *Stratasys* e do projeto *RepRap* possuírem a maioria do seu conteúdo em inglês desmotivou uma navegação mais profunda nestes. O *site*

que despertou mais interesse foi o do projeto *RepRap*, pois continha imagens e vídeos das impressoras;

c) A maioria dos participantes alegou não saber da existência de técnicas diferentes de impressão 3D;

d) Na apresentação sobre os potenciais impactos da impressão 3D na sociedade, a parte que mais gerou discussão foi a possibilidade de manufaturar facilmente, em casa, armas que disparam munições reais, como as criadas pelo grupo *Defense Distributed*<sup>47</sup>;

e) Durante os rascunhos, os participantes tiveram dificuldades em entender porque era preciso desenhar as peças da balestilha em perspectivas diferentes de visão (vista do alto, lateral, etc.) a fim de que todas as medidas pudessem ser definidas. Foi preciso explicar-lhes detalhadamente sobre a necessidade de fazer isso. Alguns participantes relataram que tinham dificuldade de rotacionar mentalmente as peças nas posições necessárias e desenhá-las, enquanto outros fizeram isso sem precisar serem alertados;

f) As ideias sobre o formato e as medidas das peças da balestilha iam sendo definidas à medida que os participantes criavam os desenhos. Isso pode ser um indício de que o rascunho facilita a criação do instrumento, pois exigiu a definição dessas características antes da ida ao computador para fazer o desenho 3D;

g) Apesar das dificuldades que alguns tinham para desenhar, outros participantes, por conta própria, olharam o artigo original da balestilha e perceberam que era preciso definir detalhes importantes, como, por exemplo, a borda que haveria em torno do furo da soalha, pois, se ficasse muito fina, poderia quebrar durante a operação do instrumento.

---

47: <https://defdist.org/>

### 7.3.2 Segundo encontro: a modelagem 3D e a impressão de modelos 3D

Data: 27/07/2015 – 4 participantes.

#### 7.3.2.1 Conteúdo apresentado

No início do encontro foi apresentada uma definição do que era o processo de modelagem 3D, segundo a computação gráfica. Depois foi explicado como os modelos 3D são formados dentro de arquivos do padrão STL. Utilizando o *Scanner 3D Sense* da *3D Systems*, foi realizada uma demonstração da digitalização de objetos reais usando objetos pequenos que estavam à volta, tal como controles remotos e celulares. Pelas características dessa técnica, que, na maioria das vezes exige a edição do modelo 3D do objeto digitalizado para fazer acertos, foi explicado que esse método seria mais produtivo quando houvesse o objetivo de modelar objetos com forma orgânica (pessoas, animais, plantas, etc.), que são mais difíceis de desenhar “a partir do zero” nos *softwares* de modelagem 3D.

Após a demonstração da digitalização 3D, foram apresentados alguns *sites* de compartilhamento de modelos 3D e notebooks emprestados para os participantes, que foram convidados a acessarem tais *sites* para procurar por termos como, por exemplo, *physics*, *biology*, *math*, *chemistry*, etc. Os termos precisaram ser buscados em inglês, pois esses *sites* ainda são carentes da participação de brasileiros e, portanto, quase não há conteúdo cadastrado utilizando a língua portuguesa.

Depois de demonstrado como trabalhar com a modelagem 3D a partir de objetos reais e utilizando modelos 3D prontos, foi introduzido o *software* de modelagem 3D *SketchUp Make 2015*, justificando sua escolha por ser ele gratuito e fácil de usar.

Com os participantes utilizando individualmente os computadores, alguns recursos e ferramentas básicas do *SketchUp* foram apresentados. Logo após, foram instruídos a como evitar falhas comuns que acontecem na modelagem 3D e que podem comprometer a impressão das peças (Apêndice D), como, por exemplo, faces dentro de objetos maciços e contínuos, as quais podem ocasionar numa divisão da peça no momento da impressão.

Para facilitar o trabalho na detecção dos erros de modelagem 3D, apresentou-se o utilitário *Solid Inspector*<sup>48</sup>, que é uma extensão para o *SketchUp*, como uma ferramenta que consegue detectar a maioria dessas falhas e já as corrige automaticamente. Outra extensão apresentada foi a *Molecule Importer*, pois ela facilita a modelagem 3D de moléculas.

Como atividade para os participantes explorarem o *SketchUp*, foi solicitado que cada um desenhasse um objeto qualquer, consultando vídeos na internet em momentos em que surgissem dificuldades. Após explorarem o *SketchUp* e desenharem um objeto como exercício, eles exportaram para o formato STL utilizando a extensão *SketchUp STL*.

Para iniciar a explicação sobre a preparação dos arquivos STL para a impressão, o fatiamento, foi dada uma introdução do que era a linguagem *G-Code*, mostrando alguns exemplos de código que servem de instruções para a impressora 3D depositar o material no local certo para construir um objeto. Três *softwares* de fatiamento foram apresentados: o *Slic3r v1.1749*, o *MatterControl v.1.250* e o *Cube Software*, este último exclusivo para a impressora 3D *Cube 2*.

Para ensinar aos participantes a fazer o fatiamento dos modelos 3D, o *software MatterControl* foi usado, pois possui uma interface que exibe uma previsão virtual de como a peça será construída pela impressora 3D. Isso possibilita alterar os parâmetros de fatiamento e verificar imediatamente quais são os resultados na previsão de impressão: a duração de tempo, o quanto de material será gasto e como o objeto deverá ficar depois de impresso. Alguns parâmetros básicos foram apresentados, tais como o redimensionamento, a densidade de preenchimento dos objetos, a quantidade de camadas maciças no topo e na superfície, velocidades de impressão, gerar suportes embaixo de elementos flutuantes, etc. Após essa introdução, solicitou-se que eles tentassem fazer o fatiamento (gerar o *G-code*) das peças modeladas como exercício, com a condição de chegarem a uma estimativa de impressão com duração de, no máximo, 30 minutos, a fim de serem impressas durante o encontro.

Após gerarem os *G-codes* com as características solicitadas, os participantes foram convidados a iniciar a preparação das impressoras 3D, a *Cube 2* e a *RepRap Graber i3*,

---

48: *Solid Inspector*<sup>2</sup>: <https://extensions.sketchup.com/en/content/solid-inspector%C2%B2>

49: *Slic3r*: <http://slic3r.org/>

50: *MatterControl*: <http://www.mattercontrol.com>

começando pela configuração da distância do bico até a mesa de impressão, passando cola na mesa de impressão e copiando os arquivos para a memória delas. Em seguida, deram início ao processo de impressão. Logo após, apresentou-se uma página<sup>51</sup> do projeto *RepRap* em que a comunidade posta fotos de problemas comuns de impressão 3D e possíveis soluções.

Ao término do encontro, foi passada a tarefa de modelar, utilizando o *SketchUp*, a balestilha, cujo rascunho os participantes já tinham criado no primeiro encontro. Eles deveriam enviar o modelo 3D no formato STL e o *G-code* em até 5 dias para que houvesse tempo de imprimir as peças fora do horário do encontro.

### 7.3.2.2 Observações

a) Na apresentação da possibilidade da digitalização 3D (utilizando um *scanner* 3D), a maioria alegou não conhecer essa técnica. Durante a demonstração da digitalização de um controle remoto, alguns participantes acharam ruim ter de contornar o objeto com o *scanner* 3D para criar a representação virtual dele. Eles alegaram parecer difícil, contudo, é possível que a falta de experiência nesse tipo de atividade possa ter prejudicado a apresentação dessa técnica;

b) A representação de um modelo 3D pela malha de triângulos em arquivos no formato STL só se tornou compreensível após os participantes fazerem seus modelos 3D, exportarem para STL e abrirem esses arquivos STL utilizando um editor de texto. O código contido no arquivo mostrava que ali existiam coordenadas cartesianas. A partir de uma explicação complementar em lousa, resultou o entendimento de que as imagens dos arquivos STL são formadas pela combinação de triângulos. Um dos participantes disse ter percebido que o que havia no código eram coordenadas cartesianas da malha de triângulos;

c) Algumas ferramentas básicas do *software* de modelagem *SketchUp* foram apresentadas e os participantes tentaram reproduzir o uso delas, contudo surgiram dificuldades e foi preciso auxílio individual para alguns deles. Depois de conseguirem usar essas ferramentas com sucesso pela primeira vez, entenderam o funcionamento delas e, a partir daí, conseguiram desenvolver um raciocínio que combinava as ferramentas e possibilitava a criação de objetos com formas mais complexas. Alguns participantes exploraram e terminaram conseguindo usar ferramentas que não tinham sido apresentadas. Ainda durante a modelagem 3D, as

---

51: Print Troubleshooting Pictorial Guide: [http://reprap.org/wiki/Print\\_Troubleshooting\\_Pictorial\\_Guide](http://reprap.org/wiki/Print_Troubleshooting_Pictorial_Guide)

recomendações a serem seguidas para evitar problemas nas impressões dos objetos pareceram não terem sido compreendidas. Os participantes diziam não entender o porquê daquelas características gerarem problemas nas peças impressas. Depois de explicações individuais, da utilização de vídeos das impressoras 3D construindo objetos, aliado a desenhos em lousa para ilustrar os problemas, todos disseram que passaram a entender as consequências que poderiam ser geradas nos objetos;

d) Os efeitos dos parâmetros de fatiamento dos modelos 3D pareceram não terem sido compreendidos até que eles operassem de fato o *software* de fatiamento, realizando alterações dos parâmetros e verificando a previsão de como o objeto ficaria impresso após cada modificação;

e) Apesar da apresentação de maneiras de controlar as dimensões do modelo 3D no *SketchUp* pelo uso de ferramentas como a “fita métrica”, por exemplo, a maioria dos participantes criou peças grandes, que não cabiam no volume de impressão. As peças tiveram que ser dimensionadas no *software* de fatiamento. Aparentemente, a importância das medidas no desenho só fez sentido após começarem a trabalhar com o fatiamento e olhar a previsão de impressão. Devido a alguns desenhos serem muito grandes, ocorreram previsões de impressão com duração de várias horas (uma delas chegou a alcançar 45 horas, além da estimativa muito grande da quantidade de material, na casa dos quilogramas);

f) A operação do *software* de fatiamento *MatterControl* não pareceu ser de grande dificuldade para os participantes. Eles conseguiram alterar as opções, como, por exemplo, densidade de preenchimento e velocidades, até conseguirem gerar uma impressão com previsão de até 30 minutos, conforme solicitado. O fato do *software* não estar disponível na língua portuguesa dificultou um pouco a exploração dos outros parâmetros, já que os participantes não conseguiam traduzir as descrições deles, o que desestimulou o uso de parâmetros desconhecidos;

g) Os participantes concordaram que a operação do *Cube Software*, exclusivo da impressora 3D *Cube 2*, é mais simples que a do *MatterControl*, que foi utilizado para trabalhar com a *RepRap*. Isso se deve ao fato do *Cube Software* dispor de poucos parâmetros de configuração de impressão. Por essa característica, a utilização desse *software* proprietário pode ser vantajoso num cenário em que haja uma maior disponibilidade de recursos financeiros (a



impressora 3D *Cube 2* e seus suprimentos são mais caros), pois a etapa de impressão 3D fica mais simples, exigindo menos conhecimento;

h) Em um dos objetos modelados para o teste de impressão 3D havia uma parte inclinada. O participante que a desenhou não acionou a opção que faz o *software* de fatiamento construir os suportes embaixo dessas superfícies. Durante a impressão desse objeto, o participante ficou receoso que seu objeto fosse impresso com problemas, justamente por estar sem suporte. Essa contradição (o participante ter consciência da existência dessa opção e não a escolher durante o fatiamento) pode ser um indício que a utilização da impressora 3D, acompanhando a construção do objeto, facilita a compreensão dos parâmetros envolvidos no fatiamento;

i) Durante a impressão dos objetos de teste, os participantes acompanharam a confecção das peças de perto, curiosos para ver como acontecia. Alguns até filmaram com a câmera do *smartphone*. Essa “empolgação” pode ser um indicativo de que não conheciam o funcionamento da impressão 3D.

### **7.3.3 Terceiro encontro: acabamentos, avaliação do instrumento impresso e instruções sobre o projeto**

Data: 04/07/2015 – 4 participantes

#### **7.3.3.1 Conteúdo apresentado**

No início do terceiro encontro, foram apresentados os problemas nas balhестilhas projetadas pelos participantes. Vídeos e fotos foram tirados durante a impressão, e exibidos no encontro, para ilustrar e facilitar a explicação dos problemas. Em seguida, as peças impressas foram entregues aos participantes para que eles as pesassem, com a finalidade de estimar o custo material, e para que realizassem o acabamento. Foram emprestados materiais como balança, limas, alicate de bico e colas.

Um formulário foi entregue aos participantes para que contabilizassem os custos, anotando a massa total de filamento utilizado e o tempo gasto em cada etapa. Como a impressão foi feita fora do horário do encontro, o tempo gasto com cada uma delas foi informado, mas o tempo dispendido com as outras etapas, como a modelagem 3D, que fizeram fora do encontro, foi estimado por eles.

Após a análise de tempo e custo e a etapa de acabamento, os participantes usaram a balestilha para medir a altura de objetos dentro da sala a fim de avaliar seu funcionamento como instrumento didático. Ao término, eles preencheram um formulário com a avaliação do funcionamento da balestilha recriada com a impressão 3D.

No final do encontro, foi passado aos participantes, como forma de projeto de conclusão do minicurso, a tarefa de criar um instrumento didático utilizando a impressora 3D para auxiliar o ensino de algum conteúdo do curso em que estavam se licenciando. O instrumento poderia ser original (modelado por eles desde o começo) ou poderiam utilizar um modelo 3D já pronto, respeitando a condição de que, caso escolhessem essa última opção, deveriam saber como utilizar didaticamente o objeto no ensino do conteúdo escolhido.

O projeto dos participantes foi dividido em 4 partes: a) definição do conteúdo para o qual eles gostariam de criar o instrumento didático; b) a criação de um rascunho do objeto; c) a

modelagem 3D do objeto e o fatiamento para que pudesse ser impresso; d) a impressão não pôde ser realizada e nem acompanhada por eles devido à dificuldade de sincronizar as agendas. Os participantes tiveram o prazo de 2 semanas para enviarem os arquivos preparados para a impressão.

### 7.3.3.2 Observações

a) Como o jornalismo tecnológico proporciona uma percepção de que a impressão 3D fornece soluções prontas e funcionais, e os participantes pareciam ter tal percepção antes da oficina, supunha-se que eles ficariam desestimulados durante a etapa de acabamento nas peças. Porém, foi observado uma boa dedicação por parte deles nessa etapa (Figura 7.2), já que dispenderam cuidados e paciência nos acabamentos. A conclusão foi que, apesar de ser uma etapa manual, o acabamento nas peças não se demonstrou um procedimento incômodo;

Figura 7.2 – Foto dos participantes realizando acabamentos nas baletilhas.



Fonte: próprio autor.

b) O custo material das balestilhas foi estimado pelos participantes pelo peso das peças, medidos por uma balança eletrônica com precisão de 1 grama, e verificando o preço do quilo do filamento na loja virtual de um fornecedor. Como as atividades de modelagem 3D e o fatiamento foram executadas fora dos encontros presenciais, o tempo nessas etapas foi estimado a partir da memória de cada um. O tempo total da construção das balestilhas pelos participantes variou entre 4 e 5 horas, incluindo a impressão, sendo que nessa última parte só a impressora 3D trabalhou e levou, em média, 2 horas. O custo material ficou entre R\$ 1,40, no caso da balestilha mais leve, e R\$ 3,70, no caso da mais pesada;

c) Os participantes foram convidados a tentarem usar suas balestilhas para fazer medidas de objetos na sala, tal como janelas e portas. Como o foco da oficina era o uso da tecnologia de impressão 3D, os cálculos dos ângulos e as alturas obtidos pelo uso da balestilha foram realizados com o auxílio de uma planilha eletrônica fornecida para que eles apenas precisassem inserir os dados obtidos experimentalmente: a posição da soalha no virote, o tamanho dela e a distância do observador até o objeto. Após a inserção desses dados, a planilha já apresentava os resultados automaticamente. Alguns obtiveram erros grandes em suas medidas, em torno de 20%, enquanto outros, que fizeram uma balestilha maior e a operaram com mais cuidado, ficaram com 10% de diferença em relação ao tamanho real dos objetos. Esses erros já eram esperados, pois próprio artigo da balestilha já afirmava que isso aconteceria (FERNANDES; LONGHINI; MARQUES, 2011, p. 66), mas foram vistos como um fato decepcionante pelos participantes. Eles alegaram que, ao levar um objeto desses numa sala de aula, isso poderia gerar desmotivação nos alunos por causa da diferença entre a medida real e a feita com a balestilha. As avaliações que os participantes fizeram sobre o uso das balestilhas construídas estão no Apêndice E.

d) A partir dos resultados obtidos com o uso da balestilha e o quanto foi dispendido na sua confecção, metade dos participantes concordou que o instrumento reconstruído com a impressora 3D funcionou como o esperado. A outra metade afirmou que funcionou parcialmente devido aos erros de medição.

### **7.3.3.3 Dificuldades e problemas observados nas construções das balestilhas pelos participantes**

Esta subseção contém algumas dificuldades observadas durante a construção das balestilhas que os participantes projetaram. No Apêndice F constam as fotos dos rascunhos, modelos 3D e as balestilhas impressas de cada participante.

#### a) Falta de suporte em elementos flutuantes;

Uma das balestilhas foi desenhada em duas peças: em uma foi desenhado um pino e na outra um conector para facilitar a montagem delas. Contudo, esse pino não ficava apoiado na mesa de impressão e o conector era oco; portanto, seria necessário, durante o fatiamento, ativar a opção de construir suportes, o que não ocorreu. Na ocasião, como não havia tempo para que o participante corrigisse essa falha, o fatiamento foi refeito, ativando a opção de gerar os suportes, e fotos foram tiradas no momento em que os suportes estavam sendo impressos para evidenciar a necessidade deles. Quando a peça impressa e as fotos foram mostradas para o participante durante o encontro, ele afirmou ter compreendido o erro, mas questionado sobre o motivo de não ter acionado a opção de construção de suportes, alegou achar que não precisava porque o pino era pequeno.

#### b) Alteração de parâmetros não arbitrários na preparação do modelo 3D para a impressão;

Durante o processo de fatiamento, na busca pela impressão com duração máxima de 2 horas (era um dos requisitos da tarefa), um participante alterou informações do filamento, especificando uma espessura um pouco menor, 1,4 mm, mas este é fornecido com a espessura de 1,7mm. O participante justificou acreditar que essa alteração poderia prover uma impressão mais rápida. No entanto, esse parâmetro não é arbitrário, sendo preciso seguir os dados do filamento utilizado.

#### c) Dificuldade em reproduzir no modelo 3D as medidas definidas no rascunho;

Um participante modelou a soalha com as dimensões do furo menor que a das medidas do virote. Como isso impossibilitaria o encaixe das peças, ele foi alertado sobre a falha e fez a correção. Entretanto, as medidas corretas estavam no rascunho que ele fez. Esse fato pode

indicar que os detalhes do rascunho foram ignorados durante a modelagem 3D, mas o participante alegou que não teve clareza das dimensões do objeto durante a modelagem 3D.

Um outro participante também projetou o furo da soalha com medidas menores que as do virote (Figura 7.3), mas esse participante não colocou em seu rascunho as medidas do furo da soalha, além de não seguir outras medidas definidas no rascunho. Esse participante alegou ser difícil entender o que fez no rascunho e transpor para o modelo 3D o que estava no papel. Antes de iniciar a modelagem 3D da peça, ele disse que fez ensaios no *software*, desenhando esboços das peças, mas sem compromisso com as medidas, pois, de acordo com o participante, essa ação seria uma maneira mais fácil de criar o rascunho, entretanto, ele gerou a soalha com medidas erradas.

Figura 7.3 – Soalha projetada com o furo contendo dimensões incompatíveis com o virote.



(a) Visão da soalha e do virote.



(b) Falta de encaixe devido as dimensões erradas da soalha.

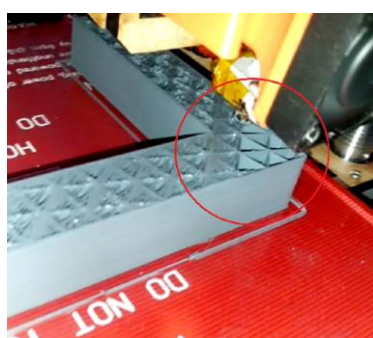
Fonte: próprio autor.

d) Falta de compreensão de como a baixa densidade de preenchimento de um objeto pode provocar problemas nas superfícies superiores;

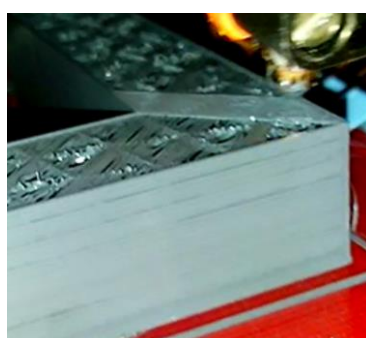
Durante o encontro, houve a explicação do que era a densidade de preenchimento dos objetos. Ensinou-se, com o auxílio da pré-visualização de impressão do *software* de fatiamento, o *MatterControl*, que um baixo preenchimento pode provocar resultados ruins nas camadas do topo, pois haveria pouco material abaixo para suportar a deposição do material da superfície. Portanto, caso eles optassem por utilizar um baixo preenchimento (a fim de economizar material e tempo), seria necessário mais de uma camada cheia no topo (pelo menos três) para evitar problemas estéticos.

Um dos participantes, na busca por um tempo de impressão menor, optou por um baixo preenchimento, de 15%, mas definiu apenas uma camada sólida no topo. O participante foi alertado de que tal configuração poderia causar esse problema: enviou-se, via *e-mail*, como exemplo, uma foto de uma superfície criada com defeito devido ao baixo preenchimento. Contudo, ele não editou o fatiamento previamente realizado. No encontro presencial, na apresentação das considerações sobre as baestilhas impressas, foram exibidos vídeos e fotos (Figura 7.4), junto de uma explicação oral, mostrando em detalhes o problema. Somente a partir desse momento, o participante disse que entendeu o que poderia acontecer.

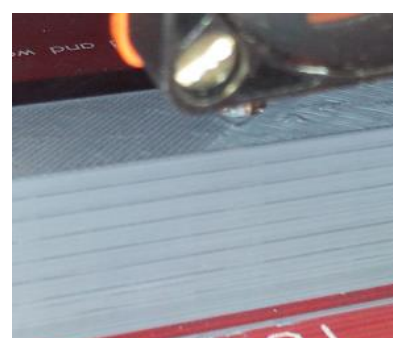
Figura 7.4 – Impressão de superfícies em objetos com baixa densidade de preenchimento.



(a) primeira camada de superfície sobre o preenchimento: resultado falho. Fonte: próprio autor.



(b) início da segunda camada de superfície. Fonte: próprio autor.



(c) terceira camada da superfície sendo depositada (à esquerda).  
Fonte: próprio autor.

e) Dificuldades em operar o *software* de modelagem 3D;

Um participante relatou que já tinha operado outro *software* de modelagem 3D, o *Solid Works*<sup>52</sup>. Ele alegou que teve um pouco de dificuldade no início da modelagem, pois o modo de planejar o desenho de um objeto num *software* é diferente do outro. Apesar desse problema inicial, ele afirmou que conseguiu adaptar-se rapidamente.

---

52: Solid Works: <http://www.solidworks.com/>



### **7.3.4 Quarto encontro: apresentação dos projetos, entrevistas e questionários**

Data: 18/07/2015 – 4 participantes

Obs.: Os projetos criados pelos participantes, as entrevistas realizadas com eles e o resumo das respostas dos questionários não foram colocados nesta subseção. Por terem um peso maior sobre a avaliação do processo desenvolvido, esses dados estão em subseções dedicadas a eles (7.4 a 7.6). Os formulários de avaliação dos instrumentos construídos como projeto e os questionários aplicados aos participantes estão, respectivamente, nos Apêndices G e H.

#### **7.3.4.1 Conteúdo apresentado**

No último encontro foram entregues impressos os instrumentos que os participantes escolheram como projeto. Eles fizeram a estimativa dos custos e realizaram o acabamento. Em seguida, foram convidados a apresentar quais os conteúdos escolhidos para criar os instrumentos e como o utilizariam numa aula ou em um experimento. Após a apresentação dos participantes, uma entrevista semiestruturada foi realizada a fim de esclarecer aspectos recorrentes observados durante a oficina. As perguntas foram feitas na presença de todos para que eles discutissem as respostas.

Ao término, um questionário foi aplicado para que eles expressassem suas opiniões sobre a utilização da tecnologia de impressão 3D com a finalidade de construir instrumentos didáticos.

## 7.4 Os projetos de instrumento didático dos participantes

Dois participantes fizeram o projeto em dupla, e os outros fizeram individualmente. Os comentários sobre os instrumentos dos participantes estão agrupados por instrumento.

### 7.4.1 Célula animal para o ensino de biologia

O participante que escolheu esse instrumento disse ter encontrado um modelo 3D pronto, intitulado *Animal Cell* no site *Thingiverse*<sup>53</sup>. Questionado do porquê de ter escolhido um modelo pronto em vez de criar, ele alegou que seria pouco provável que conseguiria criar um tão bom quanto o que já existia. Ele relatou que precisou pesquisar os modelos disponíveis no *site*, pois, segundo o participante, existiam outros que utilizavam um modelo didático incorreto. Por solicitação do participante, a célula animal foi impressa transparente e ele pintou os elementos da célula com canetas para diferenciá-los e facilitar a didática. O tempo total dispendido no projeto do objeto foi de 4h51 e os 43 g de filamentos utilizados custaram R\$ 6,45.

Figura 7.5 – Modelo de célula animal.



Fonte: próprio autor

---

53: *Animal Cell*: <http://www.thingiverse.com/thing:689381>

### 7.4.2 Roda para estudos do movimento uniformemente variado (MUV)

Em dupla, dois alunos do 1º ano de licenciatura em física relataram buscar em vários *sites* de compartilhamento de modelo 3D instrumentos que pudessem utilizar para auxiliar no ensino de física, em tópicos que envolviam movimento. Questionados do porquê de eles terem optado por um modelo pronto, alegaram que, devido à quantidade de provas que teriam na mesma semana do projeto, não haveria tempo para a criação de um bom instrumento, além de que um dos integrantes da dupla também trabalha em tempo integral simultaneamente à licenciatura. Apesar disso, eles disseram que pesquisaram bastante, e foram selecionando vários modelos até encontrar um no *site Thingiverse*<sup>54</sup>. O instrumento escolhido, segundo os participantes, proporcionaria uma utilização para vários conteúdos de física e seria o mais interessante para os estudantes.

Um fato interessante relatado por eles foi que, na busca pelo modelo 3D, encontraram um modelo que poderia ser utilizado no ensino de cálculo vetorial. Quando encontraram esse objeto, e apenas pelo simples ato de tentar entender como usá-lo, eles disseram que isso possibilitou um entendimento melhor sobre o assunto, o qual estava sendo lecionado para eles na licenciatura.

Figura 7.6 - Roda para o estudo de movimento uniformemente variado.



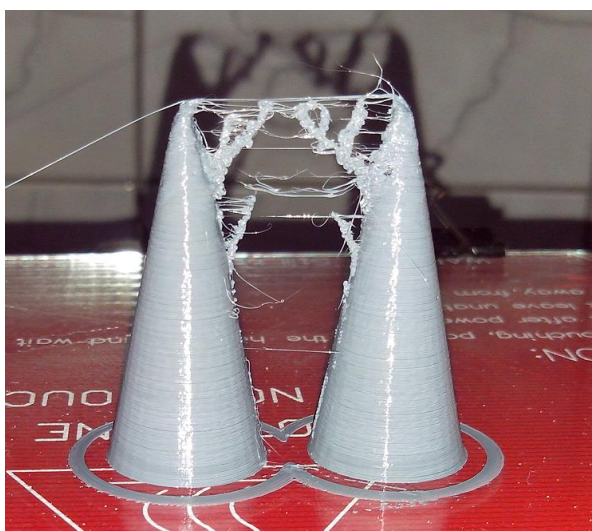
Fonte: próprio autor.

---

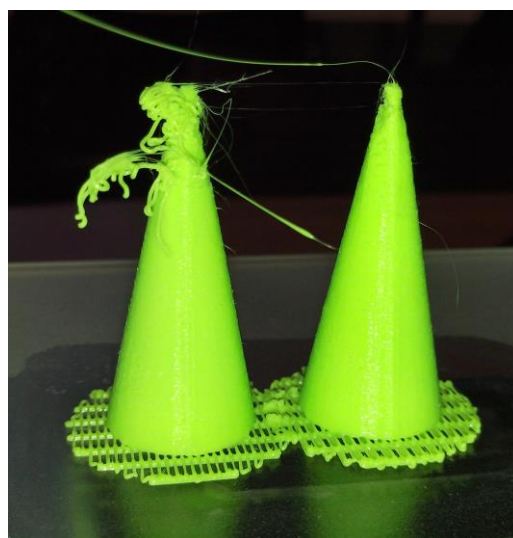
54: *Acceleration Lab*: <http://www.thingiverse.com/thing:574524>

Para o acabamento desse instrumento, foi preciso lixar os cones e em seguida colá-los na lateral da roda. A necessidade de alisar os cones ocorreu devido a respingos de filamento que ficaram nas peças durante a impressão, uma vez que o bico de impressão precisa mover-se entre uma peça e outra para ir depositando as camadas de material. Nesse movimento, respingos de filamento aderiram na borda deles. Os cones foram impressos nas duas impressoras, na *RepRap Graber i3* e na *Cube 2*, para verificar se o resultado poderia ser melhor numa ou noutra. Contudo, os resultados foram parecidos (Figura 7.7). Para que eles ficassem com uma aparência melhor e o lixamento fosse dispensado, seria preciso imprimir um cone por vez a fim de evitar o gotejamento do bico extrusor entre os deslocamentos de um cone para o outro.

Figura 7.7 – Cones impressos com respingos de filamentos.



(a) Cones impressos na *RepRap Graber i3*.



(b) Cones impressos na *Cube 2*.

Fonte: Próprio autor.

O tempo total dispendido com este instrumento foi de 6h13, pois houve a tentativa de imprimir os cones duas vezes. O custo foi de R\$ 9,74, contabilizando todos os cones que foram impressos.

### 7.4.3 Modelo de ímã com elementos táteis para auxiliar o ensino de magnetismo para deficientes visuais

Um outro participante de licenciatura em física, para o qual estava sendo lecionado conteúdos de eletromagnetismo, criou um modelo de ímã em forma de ferradura visando utilizá-lo no ensino para deficientes visuais. Neste modelo de ímã, houve a substituição das letras que identificam os polos por células em braile, e foram colocadas linhas de plástico de diferentes tamanhos entre os polos para representar as linhas de campo (Figura 7.8). Esses elementos táteis podem auxiliar no ensino de uma propriedade que normalmente é lecionada com o auxílio do sentido visual, utilizando limalhas de ferro que se alinham às linhas de campo magnético do ímã, proporcionando uma representação visível delas.

O participante projetou as linhas de campos de maneira que não ficassem fixas no ímã, elas eram encaixáveis nos polos, pois assim, relatou o participante, seria possível fazer exercícios avaliativos com os deficientes visuais, em que eles deveriam posicionar o sentido da seta da linha de campo.

Figura 7.8 – Modelo de ímã com elementos táteis para ser utilizado no ensino de magnetismo para deficientes visuais.



Fonte: próprio autor.

Neste instrumento foi preciso lixar os conectores das linhas, pois foram desenhados com um diâmetro igual ao furo conector do ímã, ou seja, o participante provavelmente ainda não tinha compreendido a necessidade de haver medidas diferentes entre objetos que se encaixam. Contudo, um polimento simples resolveu o problema.

Um pouco antes do último encontro, o ímã de plástico foi submetido à opinião de uma pessoa com baixa visão. As sugestões foram: colocar os componentes do ímã com cores diferentes para gerar contraste e auxiliar os que tem baixa visão; padronizar o tamanho dos elementos que se repetem no ímã (como a seta que indica o sentido da linha de campo) para facilitar a identificação tátil, e, por último, colocar um ímã de verdade dentro do modelo de plástico para que, além de tatear as linhas de campos e as letras em braile, o deficiente também possa sentir a atração e a repulsão magnética.

Este instrumento necessitou de 8h30 para ser concluído. A modelagem 3D levou 7 horas, devido à complexidade do objeto e pelo fato do participante nunca ter utilizado um *software* de modelagem 3D antes da oficina. Por outro lado, foi necessário apenas 8g de filamento para imprimi-lo, o que representou um custo de apenas R\$ 1,20.

## 7.5 Entrevistas

As perguntas foram elaboradas para confirmar padrões observados ao longo da oficina e para esclarecer algumas dúvidas.

1) Vocês escolheram instrumentos que parecem coincidir com o conteúdo que está sendo lecionado para vocês na graduação. É isso mesmo? Se sim, por quê?

A dupla que escolheu a roda para estudar movimento uniformemente variado afirmou que a escolha baseou-se nas dificuldades que estava tendo na disciplina do primeiro semestre de licenciatura em física. Os participantes achavam que as experiências possíveis de fazer com o instrumento ajudariam nessas dificuldades e, futuramente, em aulas que fossem lecionar sobre esse conteúdo.

O ímã com elementos táteis para o ensino de deficientes visuais foi criado porque o participante estava cursando a disciplina Metodologia e Prática do Ensino de Física III e a professora da disciplina apresentou alguns recursos do ensino de eletromagnetismo para cegos. Durante essas aulas, segundo o participante, surgiu a ideia de criar o ímã, mas os detalhes desenvolveram-se apenas na oficina.

Já o participante que escolheu a célula animal alegou que sentia a necessidade de ter algo mais prático sobre esse assunto, que estava sendo lecionado para ele, além da representação visual da célula no papel, em duas dimensões.

2) O rascunho do objeto no papel, com medidas e posições em diferentes perspectivas de visão, parece não ter sido bem observado ou, até mesmo, não utilizado. Por quê?

Alguns participantes alegaram ser mais fácil fazer o rascunho direto no *software* de modelagem 3D, pois acham mais fácil desenhar no computador do que no papel. Antes de começar a modelagem 3D da peça com os detalhes, alguns disseram que fizeram um modelo 3D sem compromisso com detalhes e medidas, objetivando apenas validar suas ideias. Em seguida, eles começaram um novo arquivo de modelagem 3D e desenharam a peça incluindo os detalhes e tomando cuidado com as medidas.

Um dos participantes, que já tivera experiência com *softwares* de modelagem 3D, afirmou que o esboço no papel foi importante e que o ajudou a fazer a modelagem da balestilha, mas que não é necessária muita precisão na criação dos rascunhos.

3) Foi observado que, ao contrário do esperado, vocês tiveram uma boa dedicação à etapa de acabamento das peças impressas. Por quê?

Um dos participantes disse que gostou de realizar os acabamentos, porque, enquanto trabalhava nesse processo, tinha ideias de como usar didaticamente o instrumento.

Outro participante disse que já era acostumado com tal atividade, pois fez um curso técnico de mecânica no qual tinha que executar atividades semelhantes.

4) É preciso haver a avaliação formal do custo material e temporal da criação dos instrumentos?

Os participantes disseram que sim, pois avaliar quanto tempo demorou e o quanto de material foi gasto pode motivar melhorias nas próximas impressões. Um deles ressaltou que a etapa de avaliação de custos faz parte de qualquer atividade em que haja planejamento.

6) É preciso ter conhecimentos pedagógicos para construir um instrumento didático ou, então, para selecionar um pronto?

Um dos participantes falou que sim, pois entre os modelos 3D disponíveis, alguns tinham erros, uma vez que não foram criados utilizando o modelo padrão para a explicação.

Outro participante respondeu que era preciso saber que existem necessidades pedagógicas, como, por exemplo, a de tocar em objetos reais para melhorar o aprendizado, e isso orienta a busca ou o desenvolvimento de um instrumento que propicie isso.

7) Antes da oficina, vocês já sabiam ou tinham imaginado como utilizar a impressão 3D no ensino?

Todos disseram que não. Eles associavam a impressão 3D a uma tecnologia para aplicações de alto custo, como, por exemplo, em soluções médicas vistas constantemente nos noticiários.

Eles também disseram que não imaginavam que era possível usar a impressão 3D para coisas simples como foi mostrado na oficina e que achavam que havia uma grande dificuldade



em utilizar essa tecnologia. Além disso, acreditavam que as impressoras 3D eram equipamentos gigantes, e desconheciam a existência de impressoras de cunho pessoal, possíveis de usar dentro de casa ou na escola.

Dentre as discussões geradas por essa pergunta, eles sugeriram que deveria existir um atrelamento entre o material ensinado na licenciatura e a impressão 3D, a fim de ensinar os futuros professores a utilizar essa ferramenta.

## 7.6 Questionário aplicado e comentários sobre as respostas

Ao terminar todas as atividades da oficina, um questionário com duas perguntas foi dado a cada participante para que respondessem individualmente.

1) Após ter participado da oficina, você achou que a impressão 3D pode ser um meio funcional para desenvolver a instrumentação no ensino, comparado aos métodos tradicionais ou à aquisição de objetos já manufaturados? Por quê?

Um dos participantes disse que a impressora 3D proporciona a facilidade de imprimir o instrumento que será necessário numa determinada aula, ou seja, é uma fabricação sob demanda controlada pelo professor. Houve também o reconhecimento de que utilizar a impressão 3D pode prover instrumentos mais acessíveis financeiramente, do ponto de vista do custo material.

Outro participante afirmou que, ao desenvolver o próprio instrumento didático, pode-se projetá-lo de forma personalizada para o conteúdo que o professor lecionará.

O participante criador do ímã tátil para cegos destacou que a impressão 3D facilitou a criação de objetos que podem melhorar o ensino para alunos com necessidades especiais.

2) Na sua opinião, quais são as principais características do uso da impressão 3D que:

a) motivam o uso dela?

- Proporcionar a criação de novos objetos;
- Repor peças e acessórios quebrados que não são vendidos separadamente, tais como miniaturas e engrenagens;
- Possibilidade de proporcionar atividades didáticas e recreativas;
- A aplicação em diversas áreas da ciência;
- Possibilidade de projetar e idealizar o conteúdo de uma disciplina, construindo objetos dedicados a essa disciplina;
- A criação de instrumentos didáticos de maneira acessível, com baixo custo de confecção;
- Possibilidade de instigar a criatividade dos alunos;
- Facilitar o aprendizado dos alunos.

b) desmotivam seu uso?

- Escassa divulgação e informação sobre a tecnologia de impressão 3D;
- Falta do conhecimento da tecnologia (experiências práticas);
- Os custos das impressoras 3D de arquitetura proprietária e seus suprimentos;
- O tempo para a confecção das peças, mas não é um grande desincentivo.

## CAPÍTULO 8

## **8 Resultados e discussões**

O processo proporcionou um caminho organizado para os participantes da oficina criarem seus instrumentos didáticos utilizando a impressão 3D. Contudo, surgiu uma alteração na representação do fluxo das etapas, pois ao decidir não criar um modelo 3D, mas sim utilizar um já pronto, como os disponibilizados em *sites* da internet dedicados ao compartilhamento deles, duas etapas tornaram-se desnecessárias: o planejamento da construção e a criação de esboços/rascunhos. Isso ficou claro após analisar as observações e as entrevistas com os participantes.

Além da verificação do processo, neste capítulo há discussões sobre: a funcionalidade da tecnologia de impressão 3D quando utilizada como ferramenta para construir instrumentos didáticos; os custos estimados e o tempo de trabalho; contribuições ao aprendizado que ocorrem ao realizar construções com impressoras 3D.

### **8.1 Verificação do processo**

Nesta seção discutem-se as etapas do processo, levando em conta as observações, entrevistas e respostas dos questionários coletadas na oficina.

O principal objetivo desta análise é verificar se as etapas do processo estabelecido na primeira fase desta pesquisa são ou não adequadas. Além disso, não se poderia deixar de expor discussões sobre as dificuldades e comportamentos dos participantes e a comparação de alguns resultados com a literatura revisada para esta pesquisa, pois esses fatos identificam e formam as características de cada etapa.

#### **8.1.1 A Seleção de conteúdos e conceitos**

Partir de uma necessidade de ensino-aprendizagem e selecionar conteúdos e conceitos científicos mostrou-se como o ponto inicial da criação de qualquer instrumento didático. Caso contrário, cria-se apenas um objeto de enfeite, um brinquedo ou uma obra de arte. Essa consideração deve ser válida para qualquer técnica de construção, não apenas com o uso de impressão 3D.

Isso fica claro pelas respostas dos participantes na primeira pergunta das entrevistas. Quando questionados se eles tinham escolhido criar um instrumento didático que envolvia conceitos coincidentes com os conteúdos que estavam sendo lecionados para eles na licenciatura, as respostas indicaram que a escolha dos instrumentos partiu de uma necessidade de aprendizagem dos próprios participantes ou de alguma que eles sabiam que existia.

Pode-se tomar como exemplo o participante que escolheu um modelo de célula animal. Ele alegou que precisava de uma representação física que fosse além das ilustrações de células nas páginas dos livros. Já a dupla que decidiu pela roda para o estudo de movimento justificou a escolha dizendo que ela proporcionaria mais opções de experimentos para ajudar a trabalhar as dificuldades com os conteúdos que lhe estavam sendo lecionados. O criador do modelo ímã para cegos sabia da necessidade de elementos táteis para que os deficientes visuais pudessem aprender, em vez de utilizar modelos explicativos que utilizam o sentido visual.

Percebendo a necessidade de ensino-aprendizagem, os participantes fizeram a seleção de conteúdos e conceitos científicos. O participante que escolheu a célula animal disse que foi preciso escolher, dentre os modelos 3D que estavam disponíveis nos *sites* em que fez buscas, aquele que continha os elementos do modelo explicativo padrão. Para a criação do modelo de ímã com elementos táteis foram necessários, por exemplo, os conceitos de linhas do campo magnético e de sentido de campo, pois só com a definição desses é que se poderia inserir os elementos representativos no instrumento e, assim, torná-lo um modelo representativo válido com os recursos para auxiliar o aprendizado dos deficientes visuais.

### **8.1.2 O plano de construção e a criação de rascunhos e esboços**

Foram observadas dificuldades na criação de rascunhos das peças da balestilha no primeiro encontro da oficina. Os problemas surgiram no momento de rotacionar mentalmente as peças de forma a desenhá-las em posições diferentes e definir todas as medidas importantes. Apesar disso, os participantes conseguiram definir as formas e as medidas durante a confecção do rascunho.

Na segunda pergunta da entrevista, alguns participantes relataram dificuldades de desenhar no papel e depois fazer a transposição para o computador. Eles disseram que, em vez de usar um rascunho de papel, preferiam fazer um “rascunho digital”. Essa atividade consiste em

utilizar o *software* de modelagem 3D para fazer desenhos sem compromissos com medidas, buscando validar ideias. No “rascunho digital”, o plano de construção vai mudando à medida que o desenho vai se desenvolvendo no *software* de modelagem 3D: alteram-se as formas, as combinações delas e suas medidas até alcançar um resultado considerado satisfatório. A iteração que ocorre entre o plano de construção e os esboços digitais, dá a impressão de união das etapas de planejamento da construção, da criação de rascunhos e da modelagem 3D em uma só.

Ainda que o “rascunho digital” funcione em alguns casos, em instrumentos didáticos mais complexos, como o experimento do duplo cone, é imprescindível um planejamento antes do rascunho, pois é preciso estudar como são as relações matemáticas entre as suas medidas para saber como as peças devem ser criadas. Para confeccionar a balestilha também foi preciso estudá-la antes, o que motivou o planejamento da construção do virote em duas partes para atender às exigências do instrumento (de não ser muito pequeno) e às restrições das dimensões do volume de impressão 3D.

O planejamento também é observado na literatura, em alguns trabalhos que investigaram o uso da impressão 3D no ensino, como no estudo de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014). Nele, o estudante que criou um modelo 3D do sistema solar em escala precisou, antes, fazer cálculos para dimensionar os planetas dentro dos limites da impressora 3D. Entretanto, as atividades (os cálculos) executadas primeiramente não são classificadas, pelos autores, como uma etapa do planejamento da construção.

Na literatura revisada também não foi encontrada menção sobre a etapa de rascunhos em papel ser uma atividade costumeiramente realizada antes da modelagem 3D, e nem que essa fosse uma atividade buscada como forma de ajuda. Em vez disso, há relatos de uma etapa em que os “estudantes se engajavam no processo de impressão 3D no qual eles tinham a chance de ver falhas do seu modelo 3D e fazer os ajustes necessários para ficarem imprimíveis”. (KOSTAKIS; NIAROS; GIOTITSAS, 2014, p. 4, tradução nossa)

A ausência de um planejamento e do rascunho, cujo objetivo é fornecer subsídios para a criação de um modelo 3D possível de ser impresso em 3D e, principalmente, funcional depois de impresso, não deve ser considerada uma falha ou desorganização. Segundo Tesconi (2015)

um possível fracasso ao final é tido como algo positivo, pois aciona novos processos de aprendizagem.

Fazer “esboços digitais” num *software* de modelagem 3D até alcançar um modelo final parece ser suficiente para criar instrumentos didáticos compostos por objetos com geometria simples. Já para os mais complexos, é preciso estudar sua geometria, fazer cálculos levando em conta as restrições da impressora 3D e criar rascunhos para “evitar a frustração de mais tarde ter que redesenhar o modelo 3D devido a um erro não esperado”. (SINGH, 2010, p. 53)

Portanto, o planejamento e a criação de rascunhos devem ser considerados como etapas distintas.

### 8.1.3 A modelagem 3D

No último encontro, durante a apresentação dos projetos, os participantes que optaram por modelos 3D prontos foram questionados sobre o porquê dessa escolha. A dupla que decidiu pela roda para o estudo de movimentos justificou estar em semana de provas, além de um dos integrantes da dupla exercer atividade profissional em tempo integral paralelamente à licenciatura.

O problema da falta de tempo, fato comum no cotidiano de muitos professores, pôde ser amenizado com a escolha de um modelo 3D pronto, pois dispensou o plano de construção, os rascunhos, e a etapa de modelagem 3D foi reduzida de “modelar um instrumento didático desde o início” para “buscar um pronto”.

O participante que escolheu o modelo 3D pronto de célula animal justificou que não conseguiria fazer algo com qualidade. Nesse caso, além da supressão das etapas de planejamento e criação de rascunhos, ocorreu uma amenização do fato do participante não ter profundos conhecimentos e habilidades com a operação do *software* de modelagem 3D, segundo a opinião do participante.

Já a possibilidade de fazer a modelagem 3D a partir de objetos reais (usando um *scanner 3D*) não pareceu despertar interesse nos participantes. Um dos motivos pode ter sido a falta de um exemplo com resultados úteis para a criação de instrumentos didáticos. Entretanto, a



digitalização de objetos reais deve ser mantida no processo como opção na modelagem 3D, pois ela existe e, inclusive, vários modelos 3D compartilhados na internet são criados dessa maneira.

Utilizar um software de modelagem 3D para criar um modelo 3D desde o início não se mostrou uma atividade de complexidade técnica, restrita a profissionais com conhecimentos de computação gráfica. No segundo encontro, onde a modelagem 3D foi introduzida, após instruções básicas sobre algumas ferramentas do *software SketchUp*, os participantes conseguiram, por conta própria, explorar o software, desenhar peças para testes, criar as balestilhas e um participante optou por criar o modelo do ímã tátil como projeto. A aprendizagem da modelagem 3D por intermédio da experimentação também foi observada por Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), onde 80% dos estudantes optaram por aprender a operar o *software* sem seguir lições, apenas experimentando-o.

A principal dificuldade na criação dos modelos, observada durante a oficina, esteve relacionada à definição correta das dimensões dos desenhos. Os participantes que melhor se saíram na atribuição das medidas foram os que fizeram os rascunhos mais detalhados em várias posições e com todas as medidas definidas no papel. Porém, não é possível afirmar que o rascunho foi o que os ajudou ou se o raciocínio espacial desses participantes era mais desenvolvido e, por isso, fizeram de maneira mais precisa tanto os rascunhos como os modelos 3D.

Analisando as observações relativas à etapa de modelagem 3D e as entrevistas dos participantes, ficou claro que a escolha de um modelo 3D pronto suprimiu duas etapas: a do plano de construção e a criação de rascunhos. Portanto, é pertinente alterar o fluxo das etapas do processo, adicionando uma ligação direta entre a seleção de conteúdos e conceitos científicos com a etapa de modelagem 3D, caso o interessado em criar um instrumento didático com a impressora 3D decida por não criar um modelo.

### 8.1.4 Imprimindo em 3D

Esta etapa não é alvo de discussões sobre estar ou não colaborando com a criação dos instrumentos didáticos, afinal, é nela que os objetos são construídos. Entretanto, foram feitas discussões sobre algumas dificuldades e fatos observados.

Toda impressão 3D inicia-se pela preparação do modelo 3D para a impressão, utilizando *softwares* específicos para isso. As influências que os parâmetros disponíveis nessa preparação têm sobre os objetos pareceram ser compreendidas pelos participantes somente após verem como as impressoras 3D constroem os objetos ou, pelo menos, assistirem vídeos que focavam nas impressoras 3D trabalhando, mostrando-as depositando o material e construindo os objetos.

As dificuldades advindas da operação técnica das impressoras 3D não puderam ser analisadas, uma vez que parte dessas operações foi realizada sob tutoria do instrutor, indicando cada passo, e a outra parte não foi desenvolvida pelos participantes, pois foram executadas fora do horário dos encontros presenciais.

A atividade de acabamento nas peças construídas pela impressora 3D é opcional, pois depende das características dos objetos impressos. Diferentemente do esperado, os participantes demonstraram dedicação a esta atividade. Eles lixaram e pintaram buscando qualidade estética para, assim, melhorar o aspecto didático dos objetos. Para isso, por exemplo, utilizaram canetas de colorir para pintar os componentes da célula animal a fim de facilitar a identificação deles. Da mesma forma, os polos do ímã foram pintados, buscando proporcionar contraste entre eles para facilitar a diferenciação dessas partes por portadores de baixa visão.

Sobre o porquê da dedicação dos participantes durante o acabamento, o licenciando que criou o modelo de ímã para cegos declarou que, durante a produção dos acabamentos, surgiam ideias de como utilizar o instrumento didático.

Considerando as observações e o relato dos participantes, é possível afirmar que a tarefa de realizar acabamento nos objetos proporcionou um envolvimento pessoal dos participantes com os objetos cuja construção estavam concluindo.

### 8.1.5 O uso e avaliação

As características de um experimento podem influenciar a opinião sobre a avaliação dele. Esse fato ocorreu na avaliação das balestilhas criadas pelos participantes. Medidas realizadas com elas no terceiro encontro da oficina tiveram uma margem de erro em torno de 10% a 20%. Embora a balestilha não seja considerada um instrumento de precisão (FERNANDES; LONGHINI; MARQUES, 2011, p. 66), alguns participantes consideraram que houve um sucesso parcial na criação daquele instrumento didático com a impressora 3D. Teria sido necessário deixar claro aos participantes a baixa precisão da balestilha, independente da sua fabricação por uma impressora 3D, para não comprometer a etapa de avaliação com a interpretação de que houve um sucesso parcial. A matemática envolvida poderia ser destacada, mostrando que, apesar do erro, foi possível obter medidas próximas às reais dos objetos, mas sem medi-los diretamente, graças a aplicação da trigonometria.

Diferente de objetos construídos desde o início, como a balestilha, a avaliação de instrumentos didáticos construídos a partir de modelos 3D prontos é mais simples. O duplo cone, a balestilha e o modelo de ímã, criados como projetos na oficina, precisaram ter o seu funcionamento avaliado, desde a checagem do encaixe das peças até a verificação dos efeitos produzidos. Para a célula animal e a roda para estudos de movimento, instrumentos construídos a partir de modelos 3D prontos, a avaliação pareceu estar submetida a critérios pessoais, tal como a satisfação em usar o instrumento, similar à experimentação de um produto à venda numa loja.

Essa simplificação da avaliação pode ter acontecido porque, antes do compartilhamento do modelo 3D, o objeto e seu projeto de construção já tinham sido submetidos a verificações por quem o criou. Esse fato pôde ser inferido, uma vez que pessoas que criam e compartilham modelos 3D na internet têm características iguais às aquelas apontadas por Tesconi (2015) como sendo dos adeptos da cultura *maker*. Como faz parte dessa cultura encarar um problema como um aprendizado, num processo de iteração os *makers* vão criando novas versões até que alcancem o estado desejado e, então, compartilham sua criação.

Sobre as ações que são realizadas durante a avaliação, antes da oficina havia o receio de que a estimativa de custo do instrumento fosse encarada pelos participantes como uma etapa burocrática, chata e desnecessária. No entanto, os participantes informaram durante as

entrevistas que isso faz parte do planejamento da construção de um instrumento didático e que pode provocar reflexões sobre como estão sendo construídos: se o custo está muito alto ou se demora muito para ser criado.

## 8.2 O processo finalizado

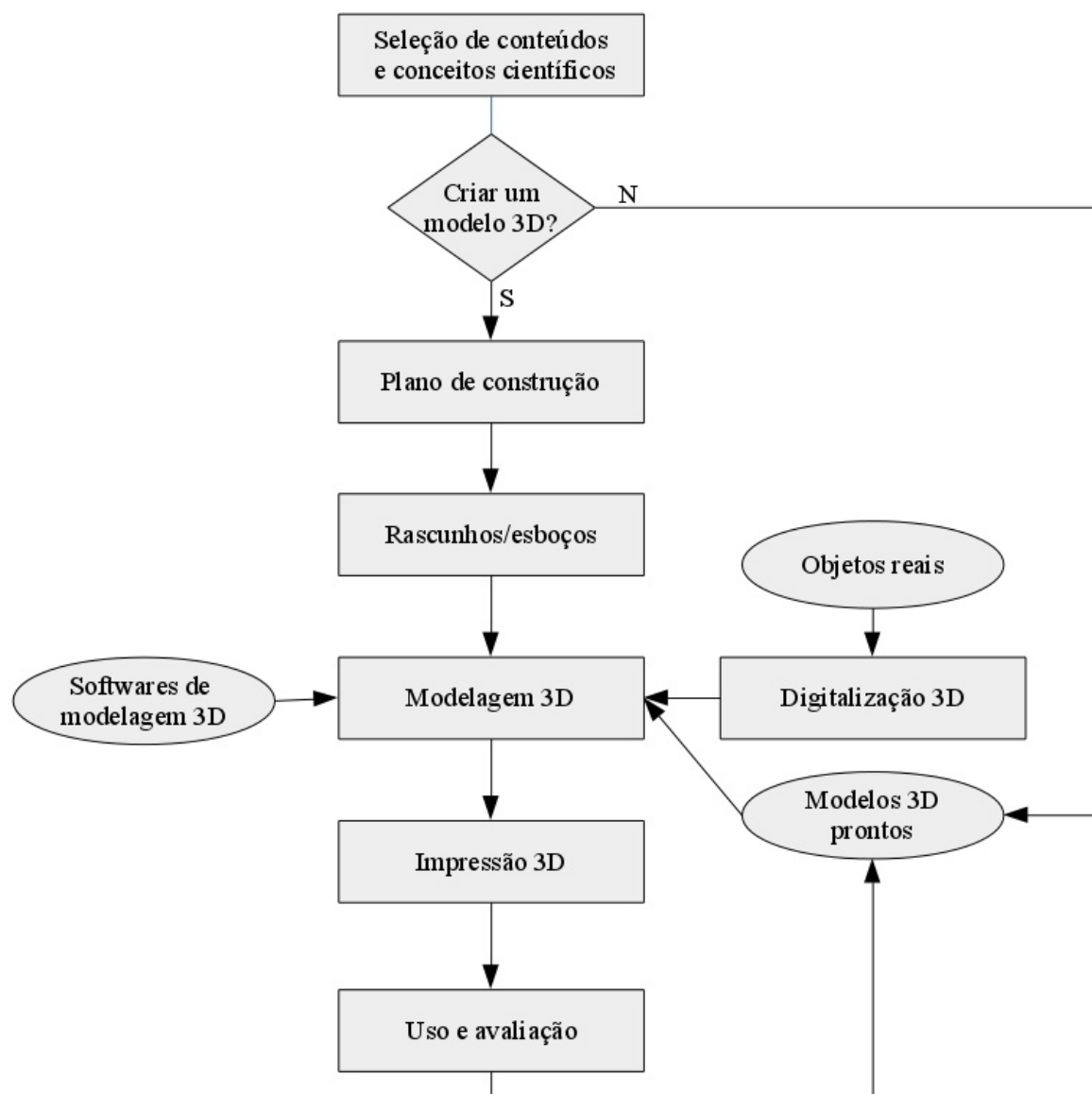
Pelas discussões desenvolvidas sobre o uso de modelos 3D prontos, pode-se notar, na etapa de modelagem 3D, uma ligação entre o início do processo e os modelos 3D prontos. No início do processo surge a pergunta: “Criar um modelo 3D ou utilizar um modelo 3D já pronto?”. Ou seja, essa ligação consiste em uma decisão. Portanto, após a primeira etapa, “Seleção de conteúdos e conceitos”, incluiu-se o indicador de decisão: “Criar um modelo 3D?”.

Na oficina, essa decisão foi tomada levando em conta critérios como o tempo disponível para a criação de um modelo 3D e a opinião de um dos participantes sobre suas habilidades para conseguir desenhar um modelo 3D com tantas características quanto às existentes no que já estava pronto.

Semelhante a essa alteração que houve no processo, motivada pela utilização dos modelos 3D prontos, o uso da técnica da digitalização 3D de objetos reais pode, dependendo do que será construído e de quem a realizará, dispensar a etapa da criação de rascunhos, por exemplo. A etapa de planejamento também deverá mudar, deixando de ser uma organização sobre quais medidas o objeto a ser construído deverá ter, para uma sistematização sobre como e quais objetos deverão ser digitalizados. Entretanto, em virtude dessa técnica não ter sido explorada adequadamente nesta pesquisa, optou-se por mantê-la apenas como uma opção disponível durante a etapa de modelagem 3D.

O processo finalizado, contendo a representação gráfica do fluxo das etapas, está representado na figura 8.1.

Figura 8.1 – Processo finalizado



Fonte: próprio autor.

### **8.3 A utilidade da tecnologia de impressão 3D como ferramenta para construir instrumentos didáticos**

Nessa seção é discutida a funcionalidade da impressão 3D sob três aspectos: a possibilidade de usar essa tecnologia em múltiplas aplicações, os custos estimados e o tempo necessário envolvidos na sua utilização. Para isso, levam-se em conta as observações e os dados coletados nas duas fases da pesquisa, alguns resultados da literatura e as respostas dos participantes no questionário e nas entrevistas realizados na oficina.

#### **8.3.1 Um mesmo conjunto de ferramentas, várias aplicações**

O experimento do duplo cone foi criado por Ceron (2009) utilizando funis, dobradiças, cabos de vassoura, uma furadeira e outros itens. Para construir uma balestilha, Fernandes, Longhini e Marques (2011) sugerem o entalhe em madeira, um trabalho quase artístico, e, para isso, os autores sugerem requisitar o auxílio de um serviço especializado de marcenaria, mas é claro que se poderia buscar um improvisado com materiais disponíveis no dia a dia como Ceron (2009) fez com o duplo cone.

Tanto o duplo cone como a balestilha foram reconstruídos na primeira fase desta pesquisa utilizando um mesmo conjunto de ferramentas e materiais: lápis e papel para o rascunho, computador, *software* de modelagem 3D, impressora 3D e filamento plástico para construir os objetos e, por último, alicate e lixas para fazer o acabamento.

Utilizando o mesmo conjunto de ferramentas e materiais da primeira fase desta pesquisa, os participantes da oficina puderam construir três diferentes projetos de instrumentos didáticos, além das balestilhas que criaram nos primeiros encontros como exercício. Apesar de que nos projetos houve a inclusão de canetas de colorir para fazer o acabamento da célula animal e do modelo de ímã para cegos, pois as impressoras 3D utilizadas só imprimem com um único filamento (uma única cor).

A multiplicidade de aplicações e a automatização da construção foram apontadas pelos participantes da oficina, quando responderam os questionários, como motivos para considerar a impressão 3D uma ferramenta funcional para a construção de instrumentos didáticos. Esses

apontamentos estão em consonância com os argumentos que a literatura sobre a investigação da impressão 3D no ensino apresenta para também considerá-la como útil.

Dentre os apontamentos dos participantes, consta que é possível construir experimentos sob demanda para o ensino à medida que um professor precisa, além da possibilidade de personalizações de experimentos e da aplicação em várias disciplinas das ciências.

Uma das possíveis personalizações apontadas por Lipson (2007), e que os estudantes de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) realizaram, é a inclusão de recursos para deficientes visuais. Essa personalização também foi aplicada por um participante da oficina na criação do modelo de ímã com elementos táteis para auxiliar no ensino de eletromagnetismo para deficientes visuais.

Em razão desses resultados, é possível afirmar que um mesmo conjunto de ferramentas e materiais, no qual está envolvido a impressora 3D, pode ser utilizado em várias situações, possibilitando a construção de instrumentos didáticos sem a necessidade de recorrer a materiais e ferramentas diferentes para cada um.

### **8.3.2 Custos materiais**

Os custos materiais variaram. A impressora 3D *Cube 2*, que utiliza filamento fornecido em cartucho proprietário, proveu custos maiores. O experimento do duplo cone foi estimado em R\$ 18,83. Já a criação do modelo de ímã com elementos táteis gerou um custo estimado em apenas R\$ 1,20, pois era leve e foi impresso na *RepRap Graber i3*, que faz o uso de filamentos fornecidos por qualquer fabricante.

É claro que nessas estimativas não estão inclusos o gasto de energia elétrica e nem o valor da impressora 3D. Numa estimativa rápida e simplificada, se a impressora 3D *RepRap Graber i3*, para a qual o kit de peças para montá-la foi adquirido por R\$ 2.000,00 (dois mil reais), conseguir imprimir 500 (quinhentos) objetos até o final da sua vida útil ou antes de necessitar de alguma manutenção, isso seria equivalente a somar R\$ 4,00 às estimativas de custo de cada objeto impresso. Essa é uma divisão igualitária, que não leva em conta se um objeto usou alguns minutos ou várias horas da vida útil da impressora.



Na oficina, durante o questionário de opinião dos participantes sobre as características da impressão 3D que motivam o seu uso, houve a afirmação de que ela possibilita a produção de objetos a um custo material mais acessível. Já outro participante destacou o custo elevado ao utilizar impressora de arquitetura proprietária (que ele chamou de “original”) e citou isso como um desincentivo ao seu uso na educação.

Ainda envolvendo o assunto custos, uma resposta inesperada dada no questionário de opinião foi o apontamento da possibilidade de usar a impressão 3D para repor peças e acessórios quebrados ou que não são vendidos separadamente, tais como miniaturas e engrenagens. Essa possibilidade de aplicação ajuda a tratar um dos problemas argumentados por Lipson (2007): os modelos físicos vão envelhecendo e requerem manutenção.

Os valores estimados nesta pesquisa parecem se assemelhar ou, pelo menos, não ultrapassar excessivamente os custos para se construir um instrumento didático utilizando as formas tradicionais. E, apesar de não haver a comparação com experimentos manufaturados industrialmente, é possível utilizar os custos aqui relatados para fazer comparações.

### **8.3.3 O tempo de trabalho**

O tempo dedicado à criação dos instrumentos didáticos com a impressora 3D variou consideravelmente. Para criar a partir de modelos 3D prontos, a principal carga de trabalho ficou com a impressora 3D. Já os que exigiram uma modelagem 3D complexa, como o modelo do ímã, das 8h30 necessárias à criação, 7 horas foram apenas para o desenho dele. Apesar da grande quantidade de tempo dedicada pelo participante, isso não foi um problema para ele, pois aparentou estar envolvido pessoalmente na criação do projeto.

Opinião contrária ao comportamento do participante que criou o modelo de ímã, outro participante respondeu ao questionário dizendo que o tempo necessário para as impressoras 3D criarem as peças desestimulava um pouco o seu uso.

Por esses fatos, o tempo dispendido com a criação de um instrumento didático, seja de maneira convencional ou com a impressão 3D, não parece ser um empecilho quando há tempo disponível. Se esse não for o caso, imprimir instrumentos a partir de modelos 3D prontos pode ajudar, pois é a impressora quem fica responsável pela maior carga de trabalho.

## 8.4 Contribuições à aprendizagem

Para esta pesquisa, foram revisadas literaturas que investigaram a aplicação da tecnologia de impressão 3D no ensino. Algumas delas relatam fatos que podem ser considerados situações que estimulam a aprendizagem, pois, segundo Gagné (1971), a situação estimuladora é a soma dos fatores que estimulam os sentidos de um aprendiz.

Exemplos dessas situações relatadas, são:

a) Sparks et al. (2004) organizaram um *workshop* sobre a prototipagem rápida, técnica que hoje também está sob o termo “impressão 3D”, para alunos e professores de ensino médio; professores e alunos relataram ver conexões e aplicações dos tópicos do *workshop* com conteúdos de matemática trabalhados na escola;

b) para analisar o papel desempenhado pelo *design* e pela impressão 3D, Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) organizaram um curso, utilizando a teoria do Construcionismo, para estudantes de ensino médio aprenderem sobre essa tecnologia e criarem artefatos que envolvem conhecimentos no seu projeto. Os autores relataram que, ao criar esses artefatos, os estudantes acionavam processos como aprender a desenhar e a pensar em 3D e aplicavam diferentes disciplinas como geometria, física, arquitetura e artes;

c) estudantes das escolas que participaram do projeto-piloto do Department for Education (2013), que investigou o uso de impressoras 3D em escolas, criaram modelos como rodas de Pelton para estudar turbinas geradores de energia. Para conseguir criar os modelos 3D dessas rodas, é necessário aplicar conceitos como os de física e geometria.

Assim como nesses relatos da literatura, as construções dos instrumentos didáticos com a impressora 3D durante esta pesquisa também exigiram trabalhar com conceitos científicos e matemáticos. Essa seção foi desenvolvida para discutir e descrever algumas das situações que ocorreram ao longo das duas fases, tanto na construção dos primeiros instrumentos como na oficina, e que propiciaram condições para a ocorrência de aprendizados.

Nas subseções seguintes estão expostas discussões sobre alguns momentos nos quais foram necessários trabalhar, por exemplo, conteúdos de ciências e matemática para criar os instrumentos didáticos, além de outras situações que podem gerar aprendizados como os relatados pela literatura. Com o objetivo de alcançar uma análise mais fundamentada, em alguns momentos utilizou-se como referencial teórico os tipos de aprendizagens relatados pelo psicólogo Robert Gagné (1971) em seu livro “Como se realiza a aprendizagem”.

Gagné (1971) afirma que seu trabalho não consiste em uma teoria de aprendizagem, mas sim em referências às condições que geram aprendizados de tipos diferentes. Por não ser uma metodologia, mas sim um método sistemático para apontar as situações estimuladoras à aprendizagem, foi possível discutir algumas contribuições à aprendizagem advindas das atividades realizadas com a tecnologia de impressão 3D, tanto nas etapas dos processos como em outros momentos.

#### **8.4.1 Durante a preparação técnica**

Apesar de não fazer parte do processo de criar um instrumento didático, pois a preparação técnica não se repete a cada nova criação, é possível identificar uma situação estimuladora ao aprendizado nesse momento.

A técnica de impressão 3D escolhida para desenvolver os trabalhos dessa pesquisa foi a FFF - Fabricação por Filamento Fundido. A fusão do filamento ocorre em diferentes temperaturas para os diferentes materiais: em torno de 180 °C para o PLA e 245 °C para o ABS.

A transformação do estado físico dos materiais encadeia causa e consequência entre, pelo menos, dois conceitos físicos, o de “temperatura” e “fusão”:

À 180 °C o filamento PLA é fundido.

À 245 °C o filamento ABS é fundido.

Para as escolhas das impressoras 3D utilizadas nessa pesquisa, foi preciso entender como elas funcionavam e de que maneira construía os objetos. Para isso, era preciso ter os conceitos de “temperatura” e “fusão” bem definidos, diferenciados das outras transformações físicas como, por exemplo, a sublimação ou a solidificação.

Portanto, devido à necessidade de saber sobre os conceitos físicos envolvidos no funcionamento das impressoras 3D para a tomada de decisões adequadas sobre a aquisição de uma impressora 3D ou seus suprimentos, ocorre uma situação estimuladora ao aprendizado de conceitos e princípios.

A aprendizagem de princípios, segundo Gagné (1971), é a aprendizagem da relação entre dois ou mais conceitos. O princípio que pode ser aprendido nesta situação é o da transformação do estado físico dos materiais, do estado sólido para o líquido, pois ele relaciona causa e consequência entre os conceitos físicos de “temperatura” e “fusão”.

Contudo, à medida que as impressoras 3D vão se desenvolvendo e novos modelos e versões são lançadas, aplicar conceitos, como os de física citados acima, deverá ser cada vez menos necessário. Por exemplo: a impressora 3D Cube 2, uma das utilizadas nesta pesquisa, já contém um microchip que identifica o cartucho de filamento quando ele é conectado. Isso possibilita a impressora ler qual o tipo de material que está sendo utilizado e automaticamente escolher a temperatura que deverá trabalhar.

#### **8.4.2 Aprendizado de conceitos e princípios durante o plano de construção**

Nessas etapas é necessário entender quais são as relações matemáticas entre as medidas dos objetos que serão construídos pela impressora 3D. Para trabalhar essas relações, é preciso que os conceitos envolvidos estejam bem definidos.

Por exemplo, no caso do planejamento da construção do experimento do duplo cone, foi preciso estudar relações matemáticas que envolviam conceitos como “ângulo de inclinação”, “ângulo de abertura”, “ângulo de geração do cone”, “raio”, etc.

Uma das condições a serem atendidas para que o experimento do duplo cone produza o efeito de subida na rampa, como consta na Equação (2) do capítulo 5, é a que relaciona os conceitos “raio da circunferência”, “comprimento”, “ângulo de inclinação” e a função trigonométrica “seno”. Se escrita por extenso, ela seria:

“Para o duplo cone produzir o efeito de subida na rampa, o raio da base do cone deve ser maior que o comprimento da rampa multiplicado pelo seno do ângulo de inclinação da rampa. ”

Essa relação encadeia conceitos matemáticos para condicionar a ocorrência da aparente subida dos cones, e, por isso, pode ser considerada como um princípio, pois, segundo Gagné (1971), um princípio encadeia e representa relações possíveis entre conceitos.

Na verdade, este “princípio da subida do duplo cone” pode ser considerado de ordem superior, pois não encadeia apenas conceitos, mas também um princípio, que, neste caso, é a função trigonométrica seno. Essa função, dependendo da definição utilizada, já encadeia os conceitos “cateto oposto” e “hipotenusa”.

No plano de construção da balestilha também foi observado o uso de relações matemáticas, porém mais simples. Uma delas era que as soalhas deveriam ser projetadas com alturas proporcionais ao tamanho do virote: “a altura da soalha maior deve ser metade do comprimento do virote”. Trabalhar com essa relação exige saber os conceitos “altura”, “comprimento” e “metade”.

Dentre os projetos de instrumentos didáticos construídos na oficina, o participante que criou o modelo de ímã para cegos deliberou que iria construir linhas de campo táteis, ligando os polos com setas para indicar o sentido do campo magnético. Portanto, ele precisou ter bem definida a representação de conceitos como: a existência de polos diferentes, o norte e o sul, em materiais magnéticos; o modelo representacional de campos magnéticos por meio de linhas entre os polos; e em qual sentido o campo ocorre entre os polos.

Pelos exemplos expostos, é possível afirmar que há uma necessidade da compreensão de conceitos e princípios envolvidos num instrumento didático para que seja planejada a sua construção. Portanto, situações estimuladoras à aprendizagem de conceitos e princípios podem ocorrer nas etapas de “Seleção de conteúdos e conceitos científicos” e “Plano de construção”.

Um envolvimento superficial nessa etapa não deverá ser suficiente para conseguir planejar a construção de um instrumento didático. A simples memorização de uma equação matemática,

por exemplo, não é suficiente para transformar os símbolos matemáticos em conceitos envolvidos em um objeto, tal como suas medidas, ângulos, etc.

É claro que é possível tentar construir ignorando o cumprimento das relações matemáticas envolvidas, mas isso deverá gerar um resultado falho e na última etapa, a de avaliação do instrumento, poderá ocorrer uma outra situação estimulante ao aprendiz: um problema a ser resolvido, pois o instrumento didático criado sem planejamento poderá não funcionar.

Cabe aqui um comentário sobre a etapa do plano de construção. Aparentemente, os conceitos e princípios matemáticos são os mais beneficiados com as situações estimuladoras ao aprendiz. Os conceitos físicos envolvidos nos instrumentos, como o “centro de massa” no experimento do duplo cone ou a “latitude” que pode ser medida usando a balestilha, pareceram não ser necessários para estudar as relações dos instrumentos.

Entretanto, Gagné (1971) constantemente comenta em seu trabalho que para a aprendizagem se realizar, é necessário que tenha ocorrido os aprendizados precedentes. Com isso, a aprendizagem matemática durante o plano de construção deverá contribuir com o aprendiz dos conceitos físicos que serão explorados durante a realização de experimentos com os instrumentos didáticos.

#### **8.4.3 O aprendizado de estratégias para resolver problemas durante a modelagem 3D**

Uma das aprendizagens que pode ocorrer devido às dificuldades durante a modelagem 3D é como se deve buscar soluções para resolver tais dificuldades.

Para desenhar os instrumentos didáticos no *software* de modelagem 3D, foi preciso aprender a operar suas ferramentas. As dificuldades que ocorreram nesse momento motivaram a busca por ajuda.

A primeira ajuda encontrada foi no livro de Singh (2010), o qual sugere a criação de esboços e rascunhos no papel antes de operar o *software* de modelagem 3D, pois assim o processo de modelagem 3D se resumirá a transpor as ideias do papel para o computador.

No entanto, ainda ocorreram outras dificuldades para utilizar as funcionalidades do *software* de modelagem 3D, o que motivou a busca por mais ajuda. As ferramentas que se mostraram eficientes foram vídeos contendo a narração dos passos a serem percorridos para conseguir criar formas que compõem o objeto (não o objeto inteiro, mas apenas parte dele). Por exemplo, para desenhar o duplo cone foram feitas buscas por vídeos na internet contendo as palavras chaves “*SketchUp*” (o nome do *software* de modelagem 3D) e “cone”, a forma básica que compõe o duplo cone, em vez de buscar diretamente por “duplo cone”.

Apesar de soar como óbvio, o uso dessas ferramentas foi indicado como uma das habilidades que os estudantes deveriam aprender no projeto organizado por Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), onde se avaliou o papel da impressão 3D no desenvolvimento de novas ideias educacionais: “Outra habilidade [a ser ensinada] era que os estudantes deveriam ser capazes de usar as ferramentas da *web* eficientemente para apresentar e dar suporte ao que eles tinham aprendido [...]” (KOSTAKIS; NIAROS; GIOTITSAS, 2014, p. 3, tradução nossa).

Portanto, a modelagem 3D pode gerar situações de resolução de problemas que culminam no aprendizado de estratégias para resolvê-los:

“Dentre outras coisas a serem aprendidas pela pessoa que tenta a solução de um problema, está “como dar instruções a si mesmo para resolver problema”. Tal capacidade é basicamente composta de princípios de ordem superior que são habitualmente denominados de estratégias.” (GAGNÉ, 1971, p. 152)

#### **8.4.4 Aprendizagem de geometria e do pensamento em 3D**

Dentre os resultados apresentados por Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), está que processos que estimularam o aprendizado do desenho e pensamento 3D são acionados durante a criação de artefatos com a impressora 3D. Já professor que participou do *workshop* de Sparks et al. (2004) sobre prototipagem, relatou ver conexões matemáticas e geométricas na elaboração e produção dos protótipos.

Os estímulos ao aprendizado de conceitos geométricos e ao pensamento 3D também foram observados nesta pesquisa. Alguns deles estão exemplificados a seguir.

#### 8.4.4.1 Durante a modelagem 3D

O *software* utilizado para fazer os modelos 3D nesta pesquisa, o *SketchUp*, requer que os objetos sejam desenhados pela combinação de formas geométricas básicas como “retângulos”, “linhas” e “círculos”, dentre outros. Dependendo das formas escolhidas para fazer os desenhos, pode-se fazer necessário o uso de mais conceitos geométricos como “sentido”, “orientação” e “ângulo”.

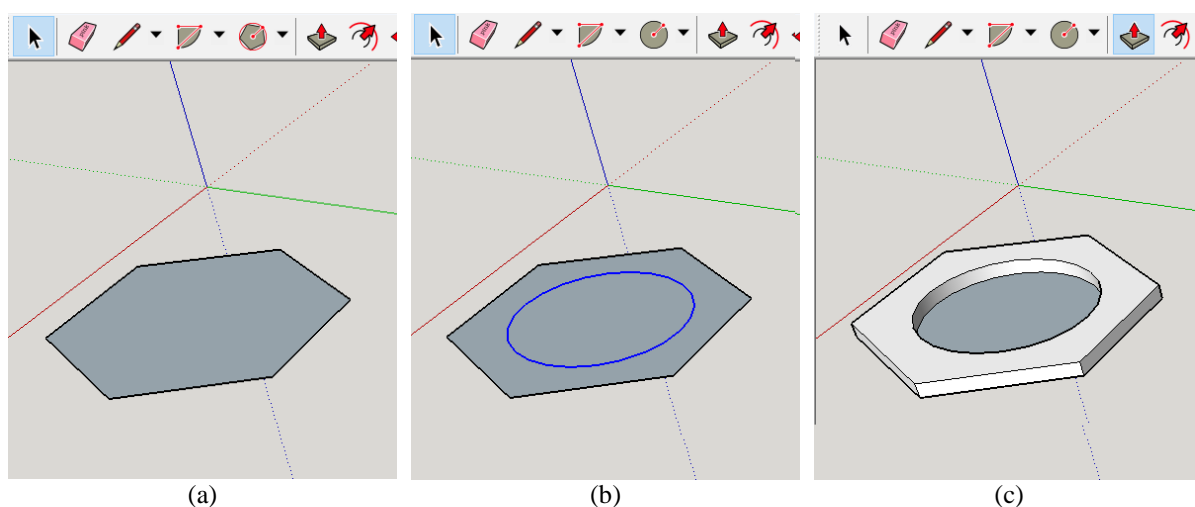
Os conceitos geométricos que são utilizados pelas funcionalidades do *software* devem ser conhecidos por alguém que objetiva fazer uma modelagem 3D. Caso contrário, as dificuldades que surgem ao operar essas funcionalidades tornam-se situações de estímulo à aprendizagem, pois será preciso compreender o que é cada conceito em cada funcionalidade para que elas sejam operadas com sucesso e o objetivo alcançado.

O aprendizado, isto é, a compreensão dos conceitos, pode acontecer pela própria operação do *software*. Como num laboratório virtual, o aprendiz pode tentar utilizar as funcionalidades como, por exemplo, a criação do desenho de “círculo” e inserir números aleatórios quando solicitado que informe qual será o “raio”. Em um dado momento, o aprendiz pode entender que quanto maior o número que ele digita para o conceito “raio”, o círculo desenhado na tela fica cada vez maior, podendo obter uma compreensão da relação entre os conceitos geométricos “círculo” e “raio” (essa situação hipotética só faz sentido se o aprendiz já souber o conceito “maior” e conseguir identificá-lo dentro de um conjunto de números).

Aprendizados de conceito geométricos foram observados no segundo encontro da oficina, quando houve a introdução da modelagem 3D. Após a exemplificação de algumas funcionalidades básicas do *software*, e após sanar algumas dúvidas individualmente, os participantes conseguiram criar, como testes para a impressão, modelos 3D com formas complexas utilizando a combinação de formas geométricas simples. Um exemplo dessa combinação de formas é um modelo 3D de porca de parafuso, o qual pode ser obtido pela combinação entre um polígono (Figura 8.2a), um círculo no seu centro (Figura 8.2b) e depois a atribuição de volume à área entre essas duas figuras (Figura 8.2c).



Figura 8.2 - Porca de parafuso modelada em 3D pela combinação de um polígono e um círculo.



Fonte: próprio autor.

O aprendizado sobre como a combinação de formas básicas pode constituir um objeto mais complexo pode fazer com que esse raciocínio se generalize para outras ocasiões em que seja preciso entender “como um objeto é formado”. Ou seja, surge uma colaboração com desenvolvimento do pensamento em 3D.

É importante frisar que os conceitos e princípios envolvidos podem variar conforme o modo de operação dos *softwares* de modelagem 3D. Alguns, como o *SketchUp*, lançam mão de conceitos comuns à maioria das pessoas, enquanto outros poderão ter um funcionamento especial, a ponto de que a maneira de raciocinar para conseguir criar os desenhos seja aplicada somente a ele. Portanto, pode não ser possível estender o modo de pensar às situações reais.

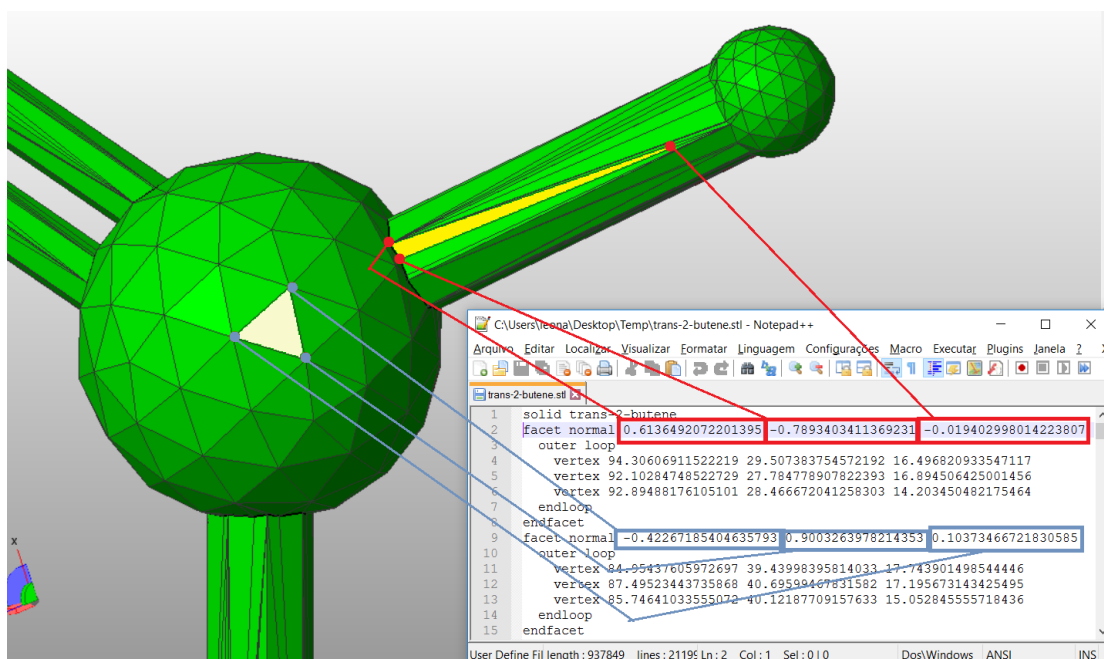
#### 8.4.4.2 Na compreensão do código dos arquivos STL

Após criar um modelo 3D, é necessário gerar um arquivo que contenha o desenho 3D e esteja num formato compatível com a maioria dos *softwares* que preparam os modelos 3D para a impressão 3D. O formato STL tornou-se o mais comum, um padrão, entre as impressoras 3D.

No formato de arquivo STL, o objeto desenhado em 3D é representado por uma malha de pequenos triângulos (Figura 8.3). Não é necessário saber sobre isso para trabalhar com o

arquivo, mas se houver a curiosidade de verificar o seu conteúdo<sup>55</sup>, isto é, tentar ler seu código, será notado que há milhares ou milhões de linhas com números, que são as coordenadas que formam cada triângulo que compõe a imagem 3D.

Figura 8.3 - Malha de triângulos que compõem um modelo 3D no formato STL.



Simulação do destaque de dois triângulos dentre os milhares que estão compondo o modelo 3D, no formato STL, de uma molécula. A malha de triângulos pode ser visualizada com a ajuda de *softwares* como o *Netfabb*<sup>56</sup>. Fonte: próprio autor.

Durante a oficina foi demonstrada essa característica dos arquivos STL. Utilizando um editor de texto simples, os participantes abriram os arquivos STL gerados a partir do modelo 3D de teste que eles criaram. Nesse primeiro não fez sentido para eles o fato de que aqueles milhares de linhas com números poderiam constituir o objeto 3D que eles tinham desenhado. Após uma explicação verbal auxiliada de desenhos na lousa e da projeção de imagens onde estavam destacados os triângulos que, combinados, formavam os modelos 3D, os participantes abriram novamente os arquivos STL e afirmaram reconhecer o conteúdo do arquivo.

Na ocasião, um dos participantes, que antes olhava para o código do arquivo e não compreendia o que havia ali, abriu novamente o arquivo STL depois da explicação, e, ao ver as

55: Para que um arquivo STL tenha seu conteúdo legível por pessoas, ele deve ser salvo no formato ASCII (conjunto de caracteres do alfabeto americano), em vez do binário, que não contém um código legível, contudo necessita de menos espaço de armazenamento.

56: <http://www.netfabb.com/>

linhas com os números, afirmou: “Ah! Então tem coordenadas cartesianas nesse arquivo? São as coordenadas dos triângulos que formam o modelo 3D!”. Ou seja, houve uma modificação da resposta apresentada pelo participante ao se deparar com um código de arquivo STL. Essa alteração na resposta do aprendiz ao ser exposto a uma situação estimuladora do aprendizado (a busca pela interpretação do código dos arquivos STL) é a indicação de que ocorreu uma aprendizagem, segundo Gagné (1971).

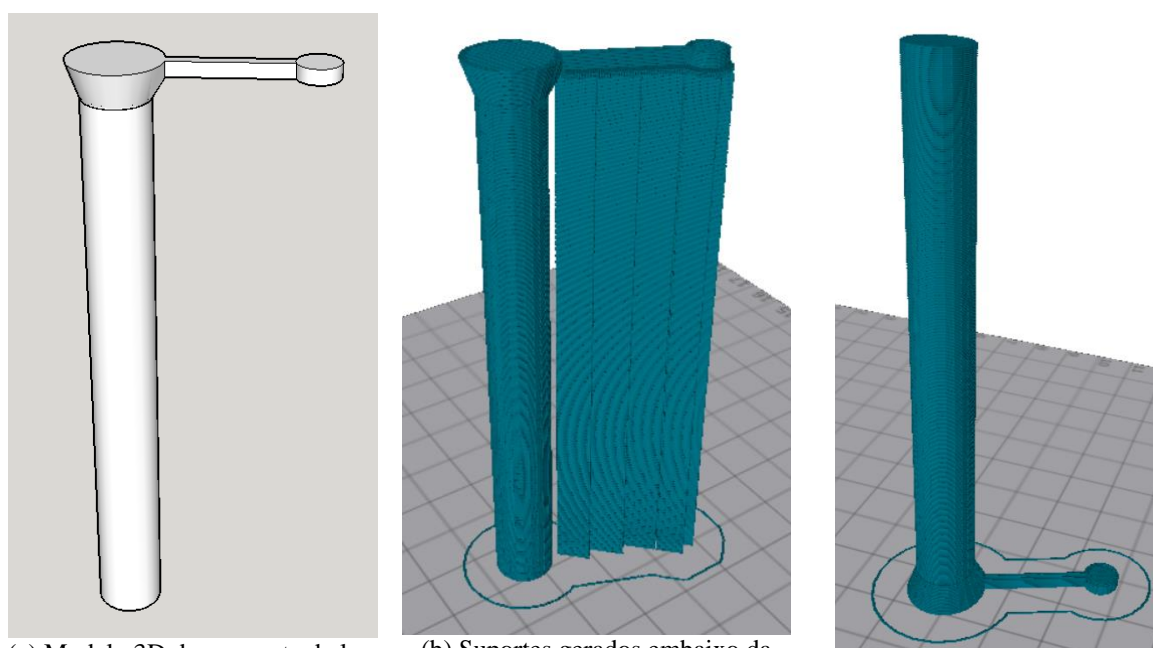
Portanto, trabalhar a compreensão de como um modelo 3D é representado num arquivo STL pode ser considerado uma situação estimulante ao aprendizado do pensamento 3D e da geometria, pois o aprendiz pode estender para outras situações a ideia de como é possível combinar uma única forma geométrica para formar outras completamente diferentes.

#### **8.4.4.3 Durante a preparação dos modelos 3D para a impressão**

Antes de efetivamente imprimir um modelo 3D é necessário prepará-lo para ser construído pela impressora 3D. Dependendo da técnica de impressão 3D e da impressora utilizada, pode ser necessário acionar funcionalidades como a construção de suporte embaixo de elementos sem apoio.

Para preparar o modelo 3D de um poste de luz (Figura 8.4a) para uma impressora 3D de filamento, por exemplo, deve-se acionar a opção de gerar suportes, pois a haste que fica no topo não tem apoio embaixo dela (Figura 8.4b). Alternativamente, o modelo 3D pode ser rotacionado para escolher outra posição de construção (Figura 8.4c), tornando desnecessária a criação dos suportes, o que proporciona economia de material e tempo.

Figura 8.4 – Exemplo da preparação da impressão de um modelo 3D de um poste, com e sem os suportes embaixo dos elementos em apoio.



(a) Modelo 3D de um poste de luz.

Fonte: próprio autor.

(b) Suportes gerados embaixo da haste na preparação para a impressão 3D.

Fonte: próprio autor.

(c) Poste rotacionado para ser construído de maneira invertida e assim não necessitar dos suportes.

Fonte: próprio autor.

Portanto, durante a preparação do modelo 3D podem ocorrer situações estimuladoras à aprendizagem do pensamento 3D, pois essa ação requer raciocínio sobre a geometria do objeto, como pensar sobre qual seria a melhor maneira de posicioná-lo para que a impressora 3D efetue sua construção.

Caso não ocorra essa análise na preparação do objeto, ignorando se necessita ou não de suportes embaixo de elementos sem apoio, ele pode ser criado com defeito. No exemplo do poste, se este fosse construído em sua posição normal, mas sem os suportes embaixo da haste, o filamento expelido para criar a haste não teria onde aderir, impossibilitando, portanto, a construção desse modelo.

Outra maneira de trabalhar a preparação de um modelo 3D para a impressão, é desenhando os objetos separadamente para que o modelo seja construído por partes. Ao buscar uma solução como essa, também pode ocorrer o aprendizado dessa estratégia, o qual poderá ser aplicado em vários outros casos.

#### **8.4.5 Aprendizado de conteúdos de física durante a preparação do modelo 3D para a impressão**

As opções disponíveis nos *softwares* que preparam os modelos 3D para a impressão exigem que sejam trabalhados conceitos e princípios da física.

Dentre os conceitos necessários para se trabalhar com esses *softwares*, estão: os ângulos que são utilizados em várias opções como, por exemplo, a partir de qual ângulo de inclinação deve acontecer a construção dos suportes sob as superfícies inclinadas; as temperaturas que devem ser selecionadas conforme o tipo de filamento usado; e a forma geométrica que a impressora 3D deverá utilizar para depositar o filamento dentro do volume dos objetos, que pode ser desde simples linhas cruzadas até hexágonos, que geram objetos mais resistentes.

Um dos princípios de física trabalhados nas opções é a densidade. Essa opção define o quanto de material será depositado dentro do volume dos objetos. Nos *softwares*, essas opções costumam ser rotuladas como “densidade de preenchimento”.

Como a densidade de um objeto define a sua massa, a operação dessa opção pode influenciar no funcionamento de um instrumento didático após sua construção pela impressora 3D. Um exemplo aconteceu com o experimento do duplo cone. Visando economia de material, ele foi construído com baixa densidade no seu preenchimento, obtendo um duplo cone com uma massa pequena o suficiente para que as falhas geradas em um lado da superfície, após o corte dos suportes, causassem uma mudança no seu centro de massa. Esse fato condicionou a posição em que os cones devem ser colocados na rampa para que aconteça a subida; caso contrário, o movimento não se inicia e o duplo cone fica parado num ponto de equilíbrio.

O aumento da densidade de um objeto tem como consequência o aumento do tempo de impressão, já que é necessário que a impressora deposite mais material. A relação “aumento da densidade ocasiona um aumento do tempo de impressão” motiva a trabalhar outro conteúdo de física durante a preparação do modelo 3D para a impressão: as velocidades de impressão.

Alterando a velocidade com que a impressora 3D deposita o material, pode-se recuperar o tempo adicional para construir um objeto de maior densidade. Contudo, falhas de impressão

poderão ser observadas, pois o tempo de contato entre o filamento expelido e a camada logo abaixo dele pode não ser suficiente para haver a adesão.

Um objeto que passa a ser construído com falhas representa um problema a ser resolvido. É necessário pensar em como combinar os vários conceitos e princípios existentes nas opções dos *softwares* que preparam o modelo 3D, até alcançar um conjunto de configurações adequadas.

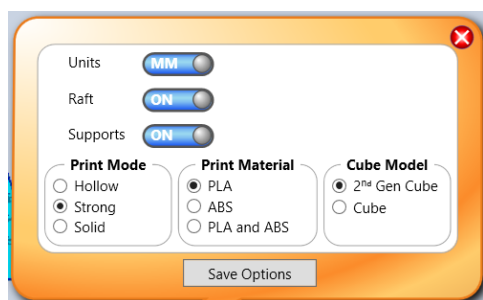
Por ser necessário trabalhar com opções como as exemplificadas acima, além de várias outras que envolvem conceitos e princípios na preparação da impressão de cada objeto a ser construído com a impressora 3D, podem surgir durante essa atividade as situações estimuladoras ao aprendizado desses conteúdos.

Os conceitos podem ser aprendidos devido ao uso repetitivo em cada preparação. Essa situação caracteriza a condição que Gagné (1971) descreve como de situação de estímulo ao aprendizado de conceitos, pois um mesmo conceito deve ser trabalhado em situações diferentes para que possa ter sua representação interna bem discriminada.

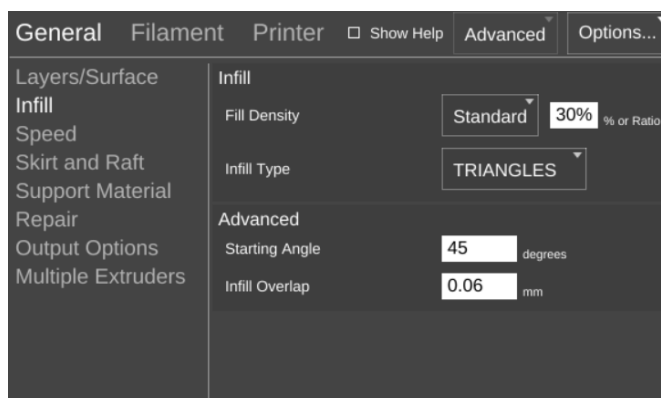
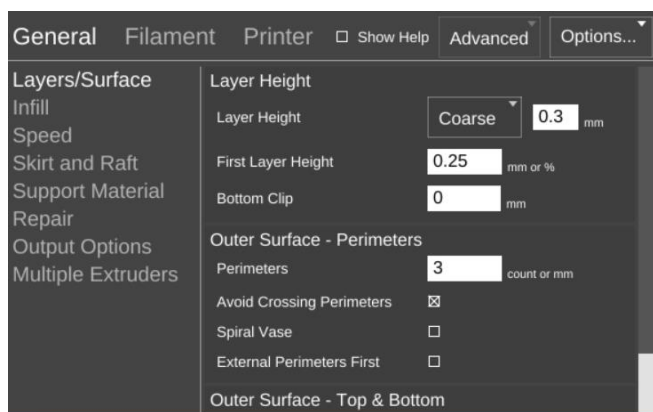
Já o aprendizado de princípios, que, segundo Gagné (1971), se dá com o encadeamento de conceitos e/ou princípios primários, pode acontecer devido à operação dos parâmetros durante a preparação gerar um efeito possível de ser constatado depois que o objeto é construído pela impressora 3D. Ou seja, é uma relação de causa e efeito, como no exemplo dado sobre a opção da densidade de preenchimento de um objeto, que culmina na definição da massa dele.

É importante destacar que as situações estimuladoras à aprendizagem parecem ocorrer menos em *softwares* que tem sua interface simplificada, como o *Cube Software* da impressora 3D *Cube 2* (Figura 8.5a). Nas interfaces simplificadas há um número significativamente menor de opções a serem escolhidas do que as existentes em *softwares* que preparam modelos 3D para serem impressos nas impressoras *RepRap*, tal como o *MatterControl* (Figura 8.5b). Por haver poucas opções nas interfaces simples, não é necessário pensar sobre como trabalhar com um conceito ou outro para obter a impressão desejada. O *software* já contém algoritmos que definem a combinação dos parâmetros.

Figura 8.5 – Capturas de telas com as opções disponíveis nos softwares *Cube Software* e no *MatterControl* que preparam os modelos 3D para a impressão.



(a) Poucas configurações necessárias à operação do *Cube Software* na preparação do modelo 3D a ser impresso na *Cube 2*.



(b) Algumas das dezenas de opções no software *MatterControl* que podem ser necessárias na preparação de um modelo 3D para a impressão numa impressora 3D *RepRap*.

Fonte: próprio autor.

#### **8.4.6 Aprendizado por resolução de problemas durante o uso e avaliação do instrumento didático construído com a impressão 3D**

A resolução de problemas pode ser necessária em todas as etapas do processo, mas é na avaliação do instrumento que ocorre a validação de todo o conteúdo, dos conceitos e dos princípios utilizados para criar um instrumento didático com a impressora 3D.

Ao concluir a construção de um instrumento didático e ele não apresentar o resultado esperado, o processo de construção poderá ser reiniciado a partir desse problema: um instrumento não funcional. Provavelmente, será a primeira vez que a pessoa irá se deparar com esse problema a ser resolvido. Essa característica, segundo Gagné (1971), constitui uma situação estimulante ao aprendizado por resolução de problemas.

Um processo de construção que se reinicia para resolver o problema do objeto que não apresentou o resultado esperado motiva a revisão de todas as etapas, desde o plano de construção até a impressão 3D. Por tudo isso, a resolução de um problema demanda uma quantidade maior de esforço, fato que, segundo Gagné (1971), faz com que os aprendizados sejam mais resistentes ao esquecimento.

Um exemplo de um problema detectado na etapa de avaliação do instrumento didático ocorreu com a balestilha de um dos participantes da oficina. Ela não funcionava devido às dimensões do furo da soalha terem ficado menores do que a espessura do virote, impossibilitando o encaixe das peças e, portanto, o funcionamento adequado. Apesar desse caso ter sido um problema de fácil diagnóstico, pois o projeto da balestilha não envolveu relações matemáticas complexas, o participante que tentou construí-la buscou resolver o problema reiniciando o processo de construção, avaliando o que tinha feito em cada etapa até chegar na modelagem 3D, em que comparou as medidas definidas no rascunho e as que ele colocou no modelo 3D. Nesse momento, ele percebeu que rascunhou as peças da balestilha sem especificar corretamente as dimensões do furo do soalha, falha que foi herdada à modelagem 3D e, conseqüentemente, ao objeto impresso.

Como reiniciar a construção a partir de um problema que ocorreu no final pode exigir uma investigação longa, é possível que ocorra um desestímulo ao aprendiz. Portanto, torna-se necessário ajudá-lo, mas não com o fornecimento da solução, pois Gagné (1971) afirma que



essa é uma maneira ineficiente de ensino. Deve-se, por exemplo, fornecer instruções verbais que canalizem o pensamento do aprendiz à solução.

Outro fato que pode ocorrer na etapa de avaliação e ser interpretado como uma situação problemática é a constatação de um custo material muito alto na construção de um instrumento didático. Isso pode motivar um novo desenvolvimento do instrumento de outras formas, trabalhando suas características geométricas na modelagem 3D ou pela escolha de outros valores nos parâmetros durante a preparação para a impressão 3D.

## **CAPÍTULO 9**

## 9 Considerações finais

Antes desta pesquisa, havia o problema da ausência de uma orientação para utilizar a tecnologia de impressão 3D para construir instrumentos didáticos para o ensino de ciências. O problema foi resolvido em duas fases. Na primeira, de maneira experimental, aprendeu-se a utilizar a impressão 3D para construir instrumentos didáticos. Analisando o registro das ações recorrentes durante esta fase empírica, foi possível desenvolver um processo com etapas que podem guiar novas construções. Na segunda fase, o processo desenvolvido foi submetido a uma verificação. Licenciandos o utilizaram na oficina de construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D. Ao final, os dados coletados e os resultados foram analisados e o processo pôde ser aprimorado.

O processo desenvolvido nesta pesquisa contribui com o Ensino de Ciências. Uma das contribuições é, claramente, orientar como fazer uso de uma tecnologia que se demonstrou como uma ferramenta potencializadora da construção de experimentos.

Essa afirmação de que a tecnologia de impressão 3D colabora com a construção de instrumentos didáticos também pode ser encontrada na literatura que investiga seu uso no ensino: “A nova e ainda tecnologia de ponta [a impressão 3D] possibilita a todos construir modelos para a sala de aula.” (KNILL; SLAVKOVSKY, 2013a, p. 12, tradução nossa) e ainda que a impressão 3D “possibilita a fabricação de formas tridimensionais complexas sem a necessidade de habilidades especiais de manufatura, ferramental e recursos; portanto, possibilita educadores a desenhar facilmente e tornar real qualquer modelo” (LIPSON, 2007, p. 1, tradução nossa).

Contudo, as afirmações de que usar uma impressora 3D “possibilita a qualquer um construir qualquer objeto” ou que para utilizá-la “não são necessárias habilidades especiais”, se forem apresentadas de maneira isolada, sem outras informações para um leitor refletir, podem levar a uma concepção equivocada: a concepção de que uma pessoa pode criar qualquer coisa sem necessitar saber sobre conteúdos específicos para utilizar a tecnologia de impressão 3D.

Nesta pesquisa ficou bem evidente que as impressoras 3D também são ferramentas e, portanto, faz-se necessário desenvolver habilidades para operá-las com sucesso. O mesmo acontece também com outros ferramentais e recursos envolvidos na construção de um

instrumento didático: rascunhos em papel, *softwares* de modelagem 3D, *sites* que compartilham modelos 3D, *software* que prepara o modelo 3D para a impressão e, inclusive, ferramentas manuais que podem ser necessárias no acabamento dos objetos impressos.

A constatação da necessidade do desenvolvimento de habilidades para se trabalhar com a impressão 3D no ensino é consonante com alguns trabalhos da literatura: “Muitos dos professores do projeto relataram que demoraram alguns meses para se familiarizarem com a impressora 3D e o seu *software* associado, e assim conseguiram usá-los com sucesso e confiança no ensino.” (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 16, tradução nossa).

Outro equívoco é a afirmação de que as impressoras 3D podem construir qualquer tipo de objeto para ser utilizado no ensino. Se um estudante de física precisar realizar experimentos para estudar conteúdos da física elétrica, ele não poderá utilizar a impressora 3D para criar componentes eletrônicos como transístores, capacitores ou circuitos impressos.

É verdade que já existem impressoras 3D que confeccionam objetos em metal. Elas são utilizadas frequentemente na medicina e na odontologia. Também é possível encontrar à venda filamentos plásticos com propriedades condutoras de eletricidade. Esses filamentos podem ser utilizados por impressoras de custo reduzido como as *RepRap*. Entretanto, dependendo do experimento que se deseja construir, como algum que inclua o uso de fontes e *leds*, ainda é necessário agregar componentes que são fabricados sem o uso de impressoras 3D.

Por todas essas considerações, o uso da tecnologia de impressão 3D para construir instrumentos didáticos, em vez de um método artesanal, ocasiona, na verdade, uma mudança das habilidades necessárias e dos materiais utilizados, e não na dispensa de novas habilidades e nem que os materiais possibilitam construir qualquer coisa.

Uma das vantagens em desenvolver as habilidades e fazer o uso de recursos e do ferramental para trabalhar com a impressão 3D é a multiplicidade de realizações que um único conjunto de habilidades e ferramentas pode prover. Isso foi constatado nos resultados desta pesquisa, onde houve a construção de diferentes instrumentos didáticos utilizando os mesmos recursos.

Outro resultado que se mostrou como um ponto positivo para aprender a utilizar a impressão 3D é a facilidade do compartilhamento do conhecimento. Alguém que desenvolva um modelo

3D de um instrumento didático, pode torná-lo disponível para o mundo todo, em poucos segundos, nos repositórios virtuais de objetos imprimíveis para a educação. Isso facilita a experimentação no Ensino de Ciências.

O impulso à manufatura pessoal e o compartilhamento de conhecimento pode motivar a entrada das impressoras 3D nas casas das pessoas. Se isso acontecer e passar a fazer parte do conjunto de tecnologias que moldam o comportamento e os hábitos de crianças, adolescentes e adultos, os professores possivelmente irão se deparar com estudantes que fazem criações por conta própria utilizando a impressão 3D. Esses estudantes deverão ter as características que Tesconi (2015) indica como sendo de adeptos da cultura *maker*, pessoas que praticam o *Do-It-Yourself* (faça-você-mesmo) tanto em casa como em locais onde se compartilham ferramentas digitais de construção, como as impressoras 3D.

As criações feitas por conta própria iniciam-se arbitrariamente, motivadas por fatores pessoais. Ou seja, os criadores deverão estar envolvidos intelectualmente e emocionalmente. Em tais situações, de acordo com Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014), a teoria de ensino-aprendizagem do construcionismo prevê aprendizados durante essas construções.

Um estudante que busca por conta própria aprender conteúdos, como os ensinados na escola, de forma a conseguir criar objetos com a impressora 3D, não é apenas um construtor, um *maker*, ele também é um aprendiz. O ato de construir esses objetos deixa de ser simplesmente uma situação do tipo “*Do-It-Yourself*” (faça-você-mesmo) para se tornar uma situação “*Learn-It-Yourself*” (aprenda-você-mesmo).

Para que as metodologias de ensino não fiquem ainda mais divergentes frente aos novos hábitos de um cenário onde aprender por conta própria parece ser mais prazeroso e eficiente, integrar as TIC no ensino, inclusive a impressão 3D, será cada vez mais necessário para que se obtenham resultados como os relatados por uma escola no Reino Unido:

“Com a impressora realizando a construção dos objetos, mais tempo pôde ser dedicado à matemática e à ciência envolvidas no projeto. Uma aluna afirmou que a impressora 3D tem aumentado seu interesse em matemática e melhorado seu desejo de aprender; posteriormente, ela comentou que isso melhorou seu nível de realização.”  
(DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2013, p. 18, tradução nossa)

Entretanto, para que os alunos possam aprender na escola utilizando a impressão 3D, é necessário que antes os professores sejam preparados. Condição que Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014, p. 9) destacam ao afirmar que o uso da impressão 3D “exigiu primeiro a familiarização dos professores com a impressora 3D e cuidado extra na explicação de conceitos e princípios fundamentais, de modo que todos os alunos pudessem prosseguir sem se frustrarem”.

O processo desenvolvido nesta pesquisa ajuda a compreender quais são as etapas a serem percorridas para construir um instrumento didático para o ensino de ciências utilizando a impressão 3D. O ato de construir esses objetos, que envolvem o estudo de conteúdos de ciências durante o projeto, propicia situações estimulantes ao aprendizado para quem os constrói.

Portanto, a contribuição desta pesquisa ao Ensino de Ciências vai além do desenvolvimento de um processo que guia a utilização de uma tecnologia que colabora na superação de dificuldades materiais para a realização de experimentos.

Professores e licenciandos que se guiarem por esse processo e aprenderem como se aprende ao realizar essas construções estarão se tornando mais aptos a integrarem essa TIC em suas práticas pedagógicas. Ou seja, há uma contribuição à formação dos professores em novas tecnologias, que, segundo Mercado (2002, p. 27), “permite que cada professor perceba, dentro de sua própria realidade, interesses e expectativa, como as tecnologias podem ser úteis a ele”.

O processo não apenas guia o uso de uma tecnologia. Ele próprio pode ser considerado uma tecnologia, não no seu sentido mais familiar como os dispositivos físicos (*hardware*), mas como uma ferramenta que pode ajudar pessoas a atingir seus objetivos. E isto, segundo Vicente (2005), é tecnologia.

## 9.1 Sugestões para novos trabalhos

Os instrumentos didáticos construídos na primeira fase da pesquisa foram experimentos para serem trabalhados, principalmente, com conteúdos de física e matemática. Houve também o exemplo da criação de moléculas para o estudo da isomeria na química. Na oficina, três dos quatro participantes que realizaram o projeto eram licenciandos em física, e apenas um participante não frequentava um curso de exatas, ele cursava biologia.

Os 33 estudantes do ensino médio que participaram do projeto de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) tinham como disciplinas favoritas a física e a matemática. Eles responderam questionários sobre gostos e comportamentos, e mais da metade deles, 55%, disseram já ter decidido por carreiras na área de tecnologia.

Department for Education (2013) relatou resultados interessantes em escolas do Reino Unido, onde o currículo opcional compõe-se principalmente de disciplinas das ciências de humanas. Contudo, mesmo nessas escolas, os resultados são sobre o uso da impressão 3D em disciplinas como matemática e física.

Por esses fatos, as investigações sobre impressão 3D no ensino parecem estar concentradas nas ciências exatas. Isso pode ser motivado pela grande quantidade de abstrações necessárias para trabalhar conteúdos de disciplinas como matemática e física. A impressão 3D tem sido explorada para dar vida a esses conteúdos. Essa hipótese condiz com um resultado de Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014). Dos 33 estudantes que participaram do projeto e tinham como disciplinas favoritas matemática e física, 100% deles afirmaram em questionário que preferiam as atividades práticas.

Entretanto, as investigações das contribuições da tecnologia de impressão 3D podem ir além das ciências exatas. Nesta pesquisa, na oficina, o participante que cursava licenciatura em biologia escolheu como instrumento didático para seu projeto um modelo de célula animal. Era um conceito que ele tinha a necessidade de aprendizagem de ter um modelo físico, em três dimensões.

Observando a dificuldade expressada pelo participante da oficina com o conceito de célula animal, para o qual ele necessitava ir além da representação em duas dimensões no papel, é possível desenvolver, como exemplo, uma proposta para um conteúdo de geografia.

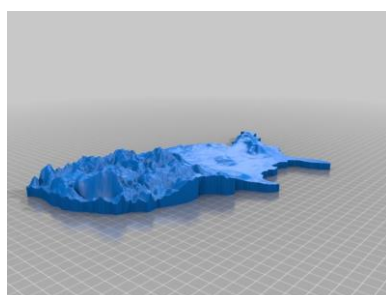
Mapas da topografia de superfícies têm as alturas dos relevos representadas por cores (Figura 9.1a), dentre outros modelos que existem para fazer essa representação em duas dimensões. Um professor de geografia poderia instrumentar o ensino desses conteúdos ao fazer o uso de modelos topológicos em três dimensões, construídos por impressoras 3D (Figura 9.1c). Alguns modelos, inclusive, já podem ser encontrados compartilhados, como o modelo 3D da topografia dos Estados Unidos no *Thingiverse*<sup>57</sup> (figura 9.1b). Neste caso, o uso do modelo em três dimensões pode contribuir com o aprendizado do significado das cores de um mapa topográfico. Ou seja, o modelo físico poderia facilitar o uso e a compreensão dos mapas utilizados em livros.

Figura 9.1 – Comparação entre mapas da topografia dos Estados Unidos: modelo utilizado em livros e o modelo físico construído com impressoras 3D.



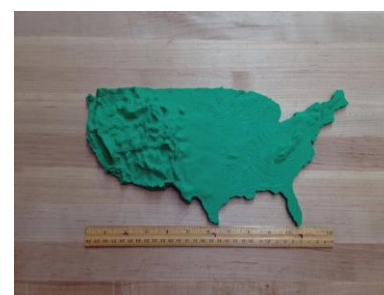
(a) Mapa da topografia dos EUA em duas dimensões, onde as alturas dos relevos são representadas por cores.

Fonte: *Wikimedia*



(b) Modelo 3D do mapa da topografia dos EUA.

Fonte: *Thingiverse*



(c) Modelo físico da topografia dos EUA, construído com impressoras 3D.

Fonte: *Thingiverse*

Além da necessidade de se obter resultados da tecnologia de impressão 3D em outras ciências, um problema constatado nesta pesquisa, mas que não se refere exatamente a um problema que precise ser investigado academicamente, é a necessidade de difundir o conhecimento sobre como criar instrumentos didáticos com a tecnologia de impressão 3D.

57 : <http://www.thingiverse.com/thing:634007>



Dentre as perguntas do questionário aplicado na oficina, havia a questão sobre quais fatores desfavoreciam o uso da impressão 3D no ensino. A esta pergunta, eram esperadas argumentações de caráter técnico. Contudo, os participantes apontaram que um desses fatores era a ausência do conhecimento sobre a possibilidade de utilizar a impressão 3D para construir instrumentos didáticos. Todos os participantes afirmaram não saber que era possível criar objetos simples como os que eles estavam construindo na oficina. Eles acreditavam que essa tecnologia era restrita a aplicações de alto custo e alta complexidade. Ainda durante essa discussão, alguns participantes sugeriram até mesmo uma sincronia entre o conteúdo lecionado na licenciatura com o uso da impressão 3D, com o intuito de aprender a construir instrumentos didáticos para aqueles conteúdos.

Para facilitar a difusão desse conhecimento, poderia ser utilizada uma ferramenta que auxiliou na busca de soluções para as dificuldades na modelagem 3D durante a primeira fase dessa pesquisa: vídeos compartilhados na internet.

O processo desenvolvido nesta pesquisa poderia ser apresentado por meio de vídeos contendo as ações realizadas na criação dos instrumentos didáticos construídos na primeira fase. Em vez dos relatos textuais, existiriam registros audiovisuais narrando as ações realizadas em cada etapa do processo.

Além dos vídeos, minicursos com formato semelhante ao da oficina realizada nesta pesquisa poderiam se tornar atividades recorrentes em cursos de licenciaturas.

## 9.2 Considerações para novas Oficinas

A oficina realizada nesta pesquisa contou apenas com professores em formação, isto é, alunos de cursos de licenciatura. É importante que novas oficinas sejam realizadas com a participação de professores em serviço. Isso pode fornecer informações que permitem ligar o conhecimento de suas práticas de ensino com elementos teóricos trabalhados no processo aqui descrito.

Analisando a literatura, já é possível criar hipóteses sobre como integrar os professores em serviço às oficinas. O projeto-piloto do Department for Education (2013) coletou os dados levando as impressoras 3D até as escolas, possibilitando que os estudantes e professores trabalhassem com elas à medida que viam uma oportunidade para torná-las úteis no seu cotidiano.

Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) também executaram seu projeto nas escolas. Eles contaram com a cooperação de professores voluntários. Nesse projeto houve uma sincronização das atividades executadas pelos estudantes com alguns conteúdos que estavam sendo lecionados pelos professores.

Provavelmente, a melhor solução seja levar a oficina até a escola e incluir na grade de atividades as necessidades dos professores.

Em novas oficinas, pode ser pertinente alterar a organização dos conteúdos que serão lecionados. Nesta pesquisa, as observações realizadas durante a oficina mostraram que as principais dificuldades dos participantes concentraram-se no rascunho, na modelagem 3D e na preparação dos modelos 3D para a impressão. Algumas exigências técnicas que ocorrem, por exemplo, na preparação do modelo 3D para impressão pareceram ser compreendidas somente após os participantes assistirem vídeos ou verem a impressora 3D construindo um objeto.

Assim, em futuras oficinas, iniciar com a demonstração de uma impressora 3D construindo objetos que contenham detalhes que chamem a atenção, (por exemplo, elementos sem apoio que necessitem da construção de suportes embaixo) poderia ser interessante para avaliar se essa antecipação de visualização facilita a compreensão dos conteúdos técnicos exigidos ao longo do curso. Também é importante observar se isso motiva a criação de estratégias durante a

modelagem 3D ou se os participantes conseguem tomar melhores decisões sobre os parâmetros na preparação dos modelos 3D para a impressão. Para essa demonstração inicial, é importante utilizar um objeto que não seja grande para que o tempo de impressão não comprometa o tempo das atividades seguintes.

A ocorrência da criação de diferentes estratégias de construção por parte dos participantes é importante para compará-las com as etapas que compõem o processo desenvolvido nesta pesquisa. Outra característica que fomenta a geração de resultados que possibilitariam essa comparação seria desenvolver situações de resolução de problemas para serem trabalhados em grupos.

Kostakis, Niaros e Giotitsas (2014) organizaram a metodologia de projeto sob as considerações do construcionismo, o que fez com que os estudantes criassem os artefatos de forma colaborativa. Eles observaram que o fato dos estudantes estarem trabalhando em grupo potencializava as discussões. O trabalho em conjunto, quando bem conduzido, não apenas estimula a aquisição de novos conhecimentos, mas também proporciona aos estudantes os meios convenientes de avaliação crítica e discriminação de ideias (Gagné, 1971, p. 23).

Organizar futuras oficinas com uma metodologia menos instrucionalista poderia estimular o surgimento de situações de resolução de problemas para que os participantes, em grupo, resolvessem por conta própria e colaborativamente.

Utilizar uma teoria de ensino-aprendizagem também poderia ser útil para auxiliar no desenvolvimento de hipóteses a priori, além de ser uma ferramenta que possibilite uma indução teórica do aprendizado ocorrido. A teoria PBL – *Problem Based Learning* (Aprendizagem baseada em problemas) vem sendo utilizada para auxiliar a inclusão das TIC no ensino. Ela tem características que coincidem com a finalidade de uma oficina, pois, segundo Berbel (1998, p. 152), a PBL é utilizada com o objetivo de “ensinar alunos aprenderem a aprender e se prepararem para resolver problemas relativos à sua futura profissão”. O uso da PBL também ajuda na realização de atividades em cooperação, pois, com o uso dessa metodologia, de acordo com Bridges (1992 apud SOUSA 2011), são os estudantes que devem, de forma individual e coletiva, assumir uma maior responsabilidade na sua própria instrução e aprendizagem, e a maior parte do aprendizado deve ocorrer no contexto de pequenos grupos.

Entretanto, desenvolver um curso menos instrucionalista para gerar situações de resolução de problemas não significa ausência total de instruções. Segundo Gagné (1971, p. 143), os aspectos dignos de nota sobre situações de resolução de problemas, do ponto de vista do aluno, são: primeiro, dar instruções sobre o que ele deve realizar; segundo, o participante deve ser capaz de evocar determinados princípios já aprendidos. Devido à necessidade de evocar aprendizados já realizados, não há problemas em utilizar métodos instrutivos para ensinar os princípios básicos envolvidos na criação de instrumentos didáticos com a impressão 3D, principalmente os conceitos técnicos.

O desenvolvimento de uma nova oficina de construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D, que não indique tão claramente os caminhos que devem ser percorridos, potencializará a criação de novas estratégias para a resolução de problemas.

O conjunto das estratégias que serão desenvolvidas pelos participantes para conseguir criar os instrumentos didáticos pode ser utilizado para fazer comparações com as etapas do processo desenvolvido nesta pesquisa e até aprimorá-lo.

O processo aqui desenvolvido não deve ser visto como um resultado imutável, nem como o procedimento ideal que deve ser percorrido. Esta pesquisa buscou respostas relacionadas à criação de instrumentos didáticos com tecnologia de impressão 3D para o Ensino de Ciências. Segundo Gagné (1971), a resolução de problemas é um método de aprendizagem que exige a descoberta de um princípio de ordem superior. **O indivíduo que resolve o problema constrói, assim, um novo princípio à sua maneira pessoal e pode ou não ser capaz de verbalizá-lo após tê-lo elaborado.**

Portanto, o processo desenvolvido e os resultados deste trabalho representam uma forma pessoal de resolver o problema. Assim, o processo proposto é um método sistemático para construção de instrumentos didáticos com a tecnologia de impressão 3D.

## Referências

- BASTOS, J. A. S. L. A. Educação e Tecnologia. **Revista Educação e Tecnologia**, v. 1, n.1,p.5-29, 1997.
- BERBEL, N. A. N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos?. **Interface – Comunic, Saúde, Educ.** n.2 p. 139-154. 1998.
- BLOOMBERG NEWS. How 3-D Printing Could Disrupt the Economy of the Future. **Bloomberg**. 14 mai. 2013. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-05-14/how-3-d-printing-could-disrupt-the-economy-of-the-future>>. Acesso em: 08/03/2015
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis. v. 19, n. 3, 2002, p. 291-313.
- CARVALHO, M. G. Tecnologia, Desenvolvimento Social e Educação Tecnológica. **Revista Educação & Tecnologia**. v. 1 n. 1. p.70-87, 1997.
- CERON, S. V. **Relatório final: duplo cone**. F609 A – Tópicos de Ensino de Física I. Universidade Estadual De Campinas Instituto De Física "Gleb Wataghin". 2009. Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2009/SarahV\\_David\\_RF1.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2009/SarahV_David_RF1.pdf)>. Acessado em: 01/2016.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 296 p. ISBN: 978-85-3632-300-8.
- CRUMP, S. S. **Apparatus and method for creating three-dimensional objects**. U.S. Patent n. US 5121329 A, 30 out 1989, 9 jun. 1992.
- DEPARTMENT FOR EDUCATION. **3D printers in schools: uses in the curriculum. Enriching the teaching of STEM and design subjects**. United Kingdon. 2013, 24p. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/3d-printers-in-schools-uses-in-the-curriculum>> Acesso em: 11 ago. 2014.
- DIMITROV, D.; SCHREVE, K.; BEER, N. Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives. **Rapid Prototyping Journal**. v. 12, n.3, p. 136-147, nov. 2006.
- ESTEVES, S. A.; MOURA, D. G. Percepções acerca da ciência e da tecnologia de alunos de licenciatura em ciências biológicas tendo em vista os estudos ciência-tecnologia-sociedade (cts) In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2009.
- EVANS, B. **Practical 3D printers: The science and art of 3D printing**. New York: Apress, 2012. 332 p. ISBN13: 978-1-4302-4392-2
- Fernandes, T. C. D.; Longhini, M. D.; Marques, D. M. A construção de um antigo instrumento para navegação marítima e seu emprego em aulas de Astronomia e Matemática. **História da Ciência e Ensino**. v.4, p. 62-79, 2011.

FLOWERS, J; MONIZ, M. Rapid prototyping in technology education. **Technology Teacher**, v. 62, n. 3, p. 7-25, 2002.

FREITAS, F. H. A. Algumas reflexões acerca de um curso de instrumentação para o ensino de física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVIII, 2007, São Luís - Maranhão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

GAGNÉ, R. M. **Como se realiza a aprendizagem**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Tradução: Therezinha Maria Ramos Tovar. 1 ed., 270 p. 1971.

HULL, C. W. **Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography**. U.S. Patent n. US4575330 A, 8 ago 1984, 11 mar 1986.

JONES, R.; HAUFE, P.; SELLS, E.; IRAVANI, P.; OLLIVER, V.; PALMER, C.; BOWYER, A. RepRap—the replicating rapid prototyper. **Robotica**, v. 29, n. 01, p. 177-191, 2011.

KNILL, O.; SLAVKOVSKY, E. Thinking like Archimedes with a 3D printer. **arXiv**, arXiv:1301.5027, 2013a, 16 p.

KNILL, O.; SLAVKOVSKY, E. Illustrating mathematics using 3D printers. **ArXiv**, arXiv:1306.5599, 2013b, 22 p.

KODAMA, H. Automatic method for fabricating a three dimensional plastic model with photohardening polymer. **Review of Scientific Instruments**, v. 52, n. 11, p. 1770-1773, 1981.

KOSTAKIS, V.; NIAROS, V.; GIOTITSAS, C. Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. **Telematics and informatics**, v. 32, n. 1, p. 118-128, 2014.

LIMA FILHO, D. L.; QUELUZ, G. L. A tecnologia e a educação tecnológica: elementos para uma sistematização conceitual. **Revista Educação & Tecnologia**. Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 19-28, 2005.

LIPSON, H. Printable 3D models for customized hands-on education. In: MASS CUSTOMIZATION AND PERSONALIZATION (MCPC), October 2007, Cambridge, MA. **Proceedings...** 2007, Cambridge, MA.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Desvendando o mistério do duplo cone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 333-339, set/2003.

MERCADO, L. P. L. **Novas tecnologias na educação: reflexões sobre a prática**. UFAL, 2002.

POETER, D. Could a 'Printable Gun' Change the World? **PC Magazine**. Reviews. Printers & Scanners. 24 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2408899,00.asp>>. Acesso em 08/03/2015.

PONSFORD, M.; GLASS, N. The night I invented 3D printing. **CNN**, 14 fev. 2014. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/>>. Acessado em: 11/09/2015.

PONTE, J. P. Tecnologias de informação e comunicação na formação de professores: que desafios?, **Revista Iberoamericana de educación**, Madrid, n. 24, p. 63-90, 2000.

POSTMAN, N. **Tecnopólio: A rendição da cultura à tecnologia**. São Paulo: Nobel, 1994. 224 p.

PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. *Revista Eletrônica PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 1, n. 3. 2008. 19 p.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. Desenvolvendo habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. **Experiências em Ensino de Ciências** (UFRGS), v. 4, n. 1, p. 65-78, 2009.

RIFKIN, J. The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing are Ushering in a Sustainable Era of Distributed Capitalism. **The World Financial Review**. 03 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.worldfinancialreview.com/?p=2271>>. Acesso em 08/03/2015.

RUTKOWSKI, J.V.; LEVIN, B. C. Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymers (ABS): Pyrolysis and Combustion Products and their Toxicity-A Review of the Literature. **Fire And Materials**, v.12, n. 10 p. 93-105, 1986.

SANTOS, E. I.; PIASSI, L. P. C.; FERREIRA, N. C. Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física: uma experiência em formação continuada. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 9, 2004, Jaboticatubas. **Anais...** São Paulo: SBF, 2004.

SINGH, S. **Beginning Google Sketchup for 3D Printing**. Apress, 2010. 328 p.

SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. Ciência, tecnologia e suas relações sociais: a percepção de geradores de tecnologia e suas implicações na educação tecnológica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 681-694, 2009.

SOUSA, S. O. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL – problem-based learning): estratégia para o ensino e aprendizagem de algoritmos e conteúdos computacionais**. 2011. 270 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente. 2011.

SPARKS, T. E.; KADEKAR, V.; THAKAR, Y. D.; LIOU, F. W.; AGARWAL, A. K. Educating high school students and teachers in rapid prototyping and manufacturing technologies. In: American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, 111, 2004, Salt Lake City, Utah. **Proceedings...** Washington DC: ASEE, 2004.

TESCONI, S. Crear artefactos para generar conocimiento compartido: el modelo de aprendizaje del movimiento "maker" como herramienta de formación del profesorado. **Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos**, n. 283, p. 40-47, 2015.

VICENTE, K. **Homens e máquinas**. Rio de Janeiro: Ediouro Publicações, 2005. 376 p.



## Glossário

ABS: polímero (plástico), composto pela combinação de acrilonitrila, butadieno e estireno, que apesar de ser reciclável e ter um custo menor em relação ao PLA, seu vapor apresenta toxicidade.

Impressão 3D (3D printing): técnica conhecida, também, como manufatura aditiva, em que objetos tridimensionais são construídos pela adição de material, computacionalmente controlada, camada por camada.

Fatiamento (slicing): processo que prepara um modelo 3D para a impressão, o qual consiste em transformar um modelo 3D em instruções para a impressora 3D construir o objeto por camadas.

FDM (Fused deposition modeling) ou FFF (fused filament fabrication): tecnologia que permite a impressão 3D de objetos (ou manufatura aditiva) utilizando filamentos plásticos que são fundidos e depositados pela impressora 3D. O termo FFF é de uso livre.

Modelagem 3D: processo de desenvolver a representação tridimensional digital de um objeto utilizando um software dedicado a esta tarefa.

MatterControl: software para realizar a preparação (fatiamento ou *slicing*) de um modelo 3D para a impressão 3D.

PLA: polímero (plástico) constituído por moléculas de ácido láctico, proveniente de matérias primas renováveis como a mandioca e o amido de milho. Ele é biodegradável.

Prototipagem rápida: conjunto de técnicas, dentre as quais está a impressão 3D, que possibilitam a construção rápida de objetos tridimensionais para serem testados em situações como o design de produtos.

SketchUp: software para a modelagem 3D que possui versões pagas e gratuitas.

Stereolithography: tecnologia utilizada para a impressão 3D de objetos que necessitam altos níveis de detalhe. Fotopolímeros são utilizados como matéria prima, o qual é curado (solidificado) utilizando raios ultravioleta. Os custos para construir com essa tecnologia são superiores aos da FDM ou FFF.

RepRap (The Replicating Rapid Prototyper): projeto de impressoras 3D de especificações (arquitetura) aberta, que auxilia pessoas a montarem, por conta própria, impressoras 3D de cunho pessoal a um custo inferior às vendidas prontas.

## Apêndices

### Apêndice A – Cartaz de divulgação da oficina enviado aos professores



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



### Oficina de construção de instrumentos didáticos através da impressão 3D para o ensino de ciências



Olá professor,

Você já conhece a tecnologia de impressão 3D e como a utilizar na escola para auxiliar no ensino de ciências?

Estamos oferecendo a professores e licenciandos uma oficina para conhecer e avaliar a utilização da tecnologia de impressão 3D na criação de materiais didáticos para o ensino de ciências. A oficina se dará de forma prática. Os participantes executarão atividades que envolverão desde o processo de concepção do instrumento até a impressão em 3D.



**Vagas:** 16 (8 para professores do ensino médio e 8 para licenciandos (serão preenchidas pela ordem de pagamento da inscrição)).

**Carga horária:** 32h, sendo 16h presenciais e 16h de atividades não presenciais. Será fornecido certificado de participação aos que tiverem, pelo menos, 70% de presença e participação no projeto do instrumento didático a ser desenvolvido.

**Inscrições:** de 25 de maio a 07 de junho

**Formulário para inscrição:** <http://goo.gl/forms/OkFmde9Zs6>



**Taxa de inscrição:** R\$ 35, deverá ser paga na Seção de Finanças da Faculdade de Ciências do Campus da Unesp de Bauru (horário de atendimento: das 08h às 12h e 13h30 às 17h) ou através de depósito/transfêrencia bancária no Banco do Brasil, agência 1963-1, c.c.: 5049-0 (envie os dados do comprovante para um dos contatos abaixo). O pagamento deverá ser até o dia 08 de junho. O não pagamento até 08 de junho implicará no cancelamento da inscrição.

#### Local, datas e horários

Atividades presenciais serão realizadas no **Campus da Unesp de Bauru (Sala 49)** aos **sábados, das 13h30 às 17h30**, entre os dias **20 de junho e 18 de julho**.

#### Calendário

MAIO						
D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

JUNHO						
D	S	T	Q	Q	S	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

JULHO						
D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

AGOSTO						
D	S	T	Q	Q	S	S
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

- De 25 de maio a 07 de junho: inscrições e pagamento da inscrição;
- Dia 08 de junho: último para o pagamento da inscrição;
- 20 de junho: 1º Encontro presencial;
- 27 de junho: 2º Encontro presencial;
- 04 de julho: 3º Encontro presencial;
- 11 de julho: desenvolvimento do projeto de instrumento didático (à distância);
- 18 de julho: 4º e último encontro;
- 25 de julho e 08 de agosto: datas disponíveis para extensão ou adiamentos.

#### Contatos:

Leonardo De Conti D. Aguiar, mestrando em Educação para a Ciência, [leonardodeconti@gmail.com](mailto:leonardodeconti@gmail.com) (14) 997-930-733  
Prof. Dr. Wilson M. Yonezawa, Depto. de Computação, [yonezawa@fc.unesp.br](mailto:yonezawa@fc.unesp.br)

## Apêndice B – Cartaz de divulgação da oficina enviado aos licenciandos



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



### Oficina de construção de instrumentos didáticos através da impressão 3D para o ensino de ciências



Olá Futuro Professor,

Você já conhece a tecnologia de impressão 3D e como a utilizar na escola para auxiliar no ensino de ciências?

Estamos oferecendo a professores e licenciandos uma oficina para conhecer e avaliar a utilização da tecnologia de impressão 3D na criação de materiais didáticos para o ensino de ciências. A oficina se dará de forma prática. Os participantes executarão atividades que envolverão desde o processo de concepção do instrumento até a impressão em 3D.



**Vagas:** 16 (8 para professores do ensino médio e 8 para licenciandos (serão preenchidas por ordem de inscrição)).

**Carga horária:** 32h, sendo 16h presenciais e 16h de atividades não presenciais. Será fornecido certificado de participação aos que tiverem, pelo menos, 70% de presença e participação no projeto do instrumento didático a ser desenvolvido.

**Inscrições:** de 25 de maio a 07 de junho



**Formulário para inscrição:** <http://goo.gl/forms/ChqMz8XxD8>

**Taxa de inscrição:** Gratuita para os licenciandos. Professores: R\$ 35.

#### Local, datas e horários

Atividades presenciais serão realizadas no **Campus da Unesp de Bauru** (Sala 49) aos **sábados, das 13h30 às 17h30**, entre os dias **20 de junho e 18 de julho**.

#### Calendário

MAIO						
D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

JUNHO						
D	S	T	Q	Q	S	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

JULHO						
D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

AGOSTO						
D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

- De 25 de maio a 07 de junho: inscrições e pagamento da inscrição;
- Dia 08 de junho: último para o pagamento da inscrição (apenas professores);
- 20 de junho: 1º Encontro presencial;
- 27 de junho: 2º Encontro presencial;
- 04 de julho: 3º Encontro presencial;
- 11 de julho: desenvolvimento do projeto de instrumento didático (à distância);
- 18 de julho: 4º e último encontro;
- 25 de julho e 08 de agosto: datas disponíveis para extensão ou adiamentos.

#### Contatos:

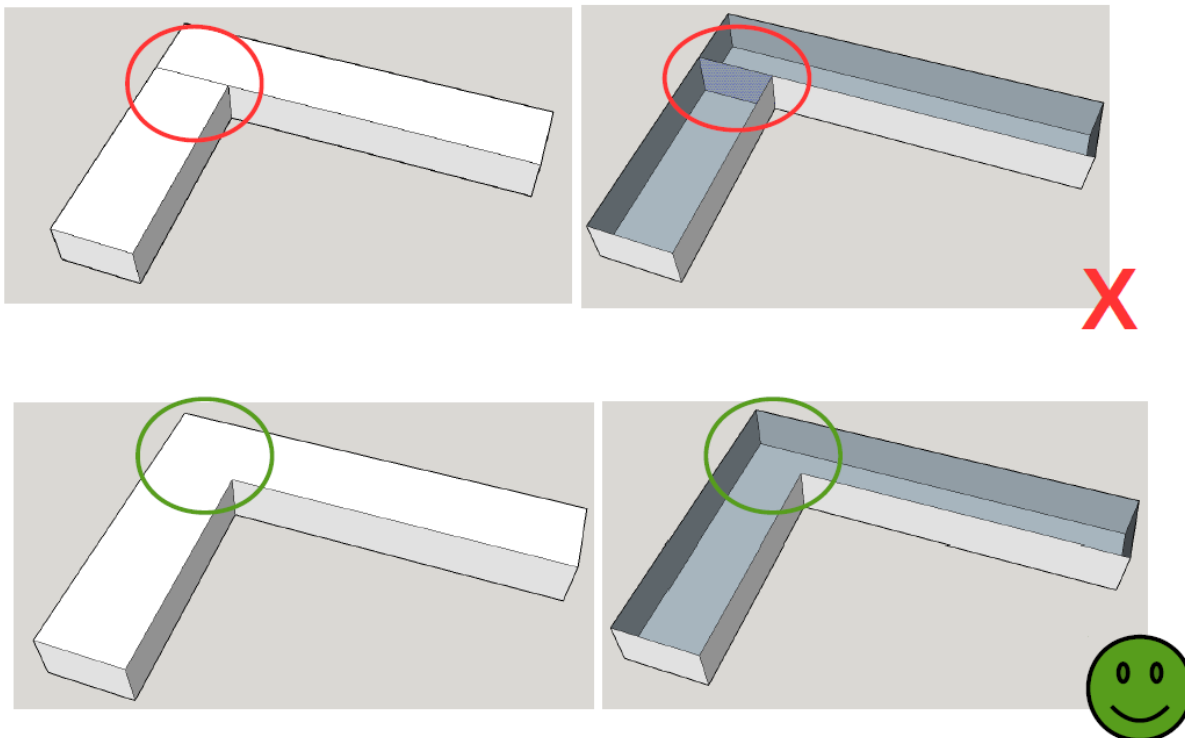
Leonardo De Conti D. Aguiar, mestrando em Educação para a Ciência, [leonardodeconti@gmail.com](mailto:leonardodeconti@gmail.com)  (14) 997-930-733  
Prof. Dr. Wilson M. Yonezawa, Depto. de Computação, [yonezawa@fc.unesp.br](mailto:yonezawa@fc.unesp.br)

### Apêndice C - Calendário e conteúdo da oficina

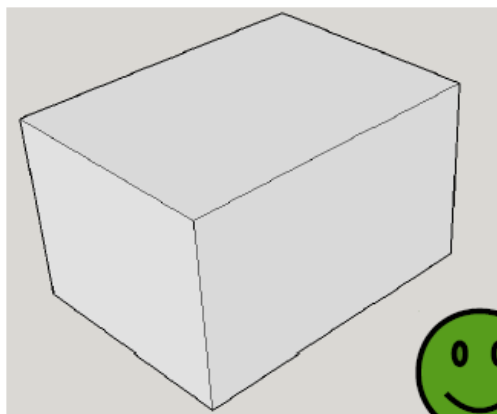
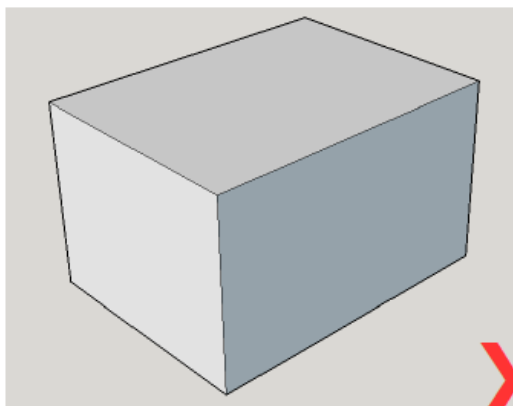
Ante 1º Encontro	1º Encontro – 20/06/2015
• Inscrições (de 25/05/2015 a 15/06/2015);	Definição do que são instrumentos didáticos; O que é a Tecnologia de impressão 3D; História da Impressão 3D; Primeiras patentes; O projeto RepRap; Tipos de impressão 3D e impressoras 3D; Potenciais impactos da impressão 3D na sociedade; Como utilizar a impressão 3D para construir instrumentos didáticos; Seleção de conteúdos e conceitos científicos; Esboços e rascunhos;
Ante 2º Encontro	2º Encontro – 27/06/2015
Tarefa I: criar o rascunho da Balestilha contendo esboços das peças e suas medidas;	A Modelagem 3D: O que é; O formato de arquivo STL; Modelagem 3D a partir de Scanners 3D; Utilizando modelos 3D prontos; Modelando 3D a partir "do zero"; Escolhendo um software de modelagem 3D; Conceitos básicos do software de modelagem 3D SketchUp; Atividade: modelar uma peça de teste no SketchUp; Preparação para a impressão 3D: Preparando o arquivo STL para a impressão: o fatiamento; A linguagem G-Code utilizada pelas impressoras 3D RepRap; Softwares para fazer o fatiamento e gerar o G-Code; Atividade: Fatiamento da peça de teste; Imprimindo em 3D: Preparações da impressora 3D; Atividade: Imprimindo uma peça de teste numa impressora de arquitetura proprietária e numa RepRap;
Ante 3º Encontro	3º Encontro – 04/07/2015
Tarefa II: modelar a balestilha em 3D, fazer o fatiamento (gerar o G-Code) e enviar os para a impressão 3D;	Apresentação de erros cometidos na modelagem 3D e no fatiamento da balestilha. Acabamento nas peças impressas; Atividade: fazer o acabamento nas peças da balestilha; Avaliação do instrumento didático criado com a impressora 3D: Funcionamento; Custo temporal; Custo material;
Ante 4ª Encontro	4º Encontro – 18/07/2015
Tarefa III: Projeto de criação de instrumento didático dos participantes do curso seguindo as etapas apresentadas ao longo do curso;	Estimativa de custos e acabamento nos objetos impressos para o projeto de instrumento didático; Apresentação das teorias e dos instrumentos projetados; Avaliação da oficina pelo uso de entrevistas e de formulário para obter opiniões;

**Apêndice D – Erros comuns na modelagem 3D com o SketchUp e que podem provocar falhas na impressão dos objetos**

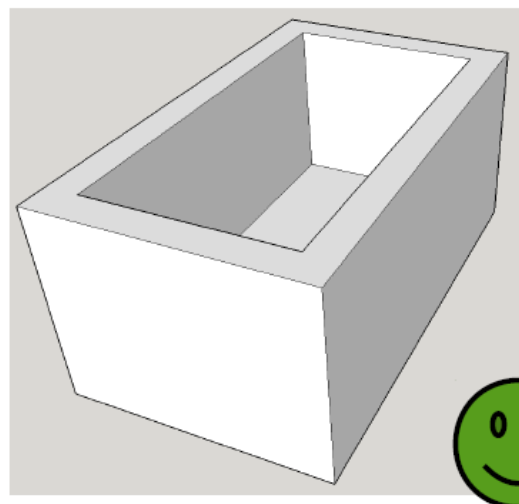
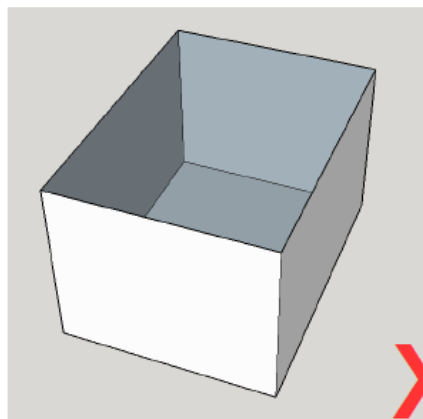
Faces de intersecção em objetos que deveriam ser contínuos.



Faces com orientação errada (as faces cinzas devem estar voltadas para o lado de dentro dos objetos).



“Paredes” dos objetos sem espessuras.



Apêndice E – Formulários de avaliação das balestilhas

**Participante 01**

RA: \_\_\_\_\_

Avaliação do funcionamento do instrumento

Método de avaliação: utilizá-lo para estimar a altura de um objeto mensurável manualmente depois (porta, parede, etc.).

Obs.: Os cálculos utilizando os valores coletados com a balestilha, poderão ser feitos com o uso da planilha eletrônica.

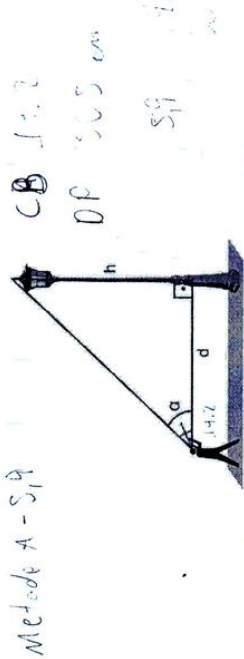


Figura 15: Triângulo retângulo formado na junção das linhas que unem o observador ao poste

O objeto construído com a impressora 3D funcionou como o esperado?  Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Comentários:

A aplicação resultou no esperado, a ferramenta confeccionada na impressora 3D obteve o resultado com pouco erro.

**Participante 01**

RA: \_\_\_\_\_

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	25 min
Modelagem 3D:	1h 40 min
Impressão:	1h 16 min
Acabamento	30 min
<b>TOTAL:</b>	<b>3h 51 min</b>

Contabilização do custo financeiro\*

\*apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: \_\_\_\_\_

	Massa (g)
Vírote	5
Soalha	9
<b>Total(g):</b>	<b>14</b>

=> Custo do material utilizado na impressão 3D da balestilha(R\$):

~~11,40~~ 1,14



RA: 1 Participante 02

Avaliação do funcionamento do instrumento

Método de avaliação: utilizá-lo para estimar a altura de um objeto mensurável manualmente depois (porta, parede, etc.).

Obs.: Os cálculos utilizando os valores coletados com a ballestilha, poderão ser feitos com o uso da planilha eletrônica.

$\tan(\alpha) = \frac{h}{d}$   
 $\alpha = 34,3^\circ$   
 $\tan(\alpha) = 0,62$   
 $d = 2,1153$   
 $h = 1,315$   
 $d = 2,1153$

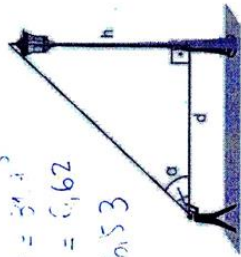


Figura 15: Triângulo retângulo formado na junção das linhas que unem o observador ao poste

O objeto construído com a impressora 3D funcionou como o esperado ?  
 Sim  Não  Parcialmente

Comentários:

A impressora funcionou bem, mas não conseguiu imprimir o objeto devido a uma falha no fio da impressora.

RA: 1 Participante 02

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	0:30
Modelagem 3D:	0:30
Impressão:	0:20
Acabamento:	0:20h
<b>TOTAL:</b>	<b>1:40</b>

Contabilização do custo financeiro\*

\*apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: 1,00

	Massa (g)
Vírote	20g
Soalha	2g
<b>Total(g):</b>	<b>22g</b>

=> Custo do material utilizado na impressão 3D da ballestilha(R\$):

R\$ 0,44

RA: 1 **Participante 03**

Avaliação do funcionamento do instrumento

Método de avaliação: utilizá-lo para estimar a altura de um objeto mensurável manualmente depois (porta, parede, etc.).

Obs.: Os cálculos utilizando os valores coletados com a balestilha, poderão ser feitos com o uso da planilha eletrônica.

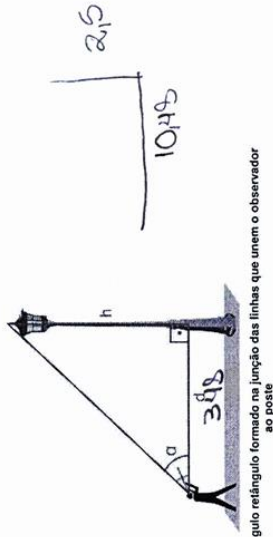


Figura 15: Triângulo retângulo formado na junção das linhas que unem o observador ao poste

O objeto construído com a impressora 3D funcionou como o esperado ?

Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Comentários:

O objeto construído funcionou como esperado  
Se poderá ser melhor utilizado para medir  
grandes alturas (paredes, árvores etc.).

RA: 1 **Participante 03**

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	30 min
Modelagem 3D:	70 min
Impressão:	120 min
Acabamento:	5 min
<b>TOTAL:</b>	<b>3:54</b>

Contabilização do custo financeiro\*

\* apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: ~~100 R\$~~ 103

	Massa (g)
Virote	24
Soalha	7
<b>Total(g):</b>	<b>31</b>

=> Custo do material utilizado na impressão 3D da balestilha (R\$):

R\$ 3,10

Nome: RA: Participante 04

Avaliação do funcionamento do instrumento

Método de avaliação: utilizá-lo para estimar a altura de um objeto mensurável manualmente depois (porta, parede, etc.).

Obs.: Os cálculos utilizando os valores coletados com a balestilha, poderão ser feitos com o uso da planilha eletrônica.

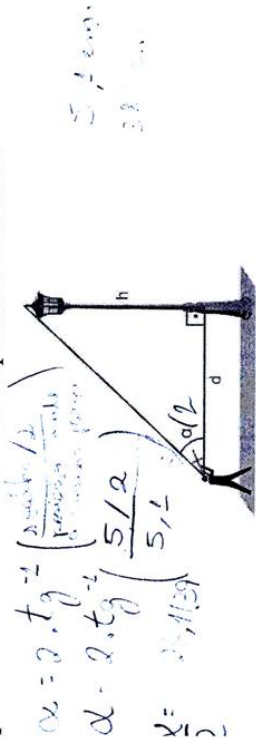


Figura 15: Triângulo retângulo formado na junção das linhas que unem o observador ao poste

O objeto construído com a impressora 3D funcionou como o esperado ?

( ) Sim ( ) Não (X) Parcialmente

Comentários:

Base de dados sobre parâmetros, mas  
 é um objeto 3D impresso com uma balestilha de  
 base eletrônica.

Nome: RA: Participante 04

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	30 min
Modelagem 3D:	1:30
Impressão:	1:33 (1:30 + 3s)
Acabamento:	5 min
<b>TOTAL:</b>	<b>4:27 min</b>

Contabilização do custo financeiro\*

\* apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: \_\_\_\_\_

	Massa (g)
Vírote	23
Soalha	3 + 5
<b>Total(g):</b>	<b>32</b>

=> Custo do material utilizado na impressão 3D da balestilha(R\$):

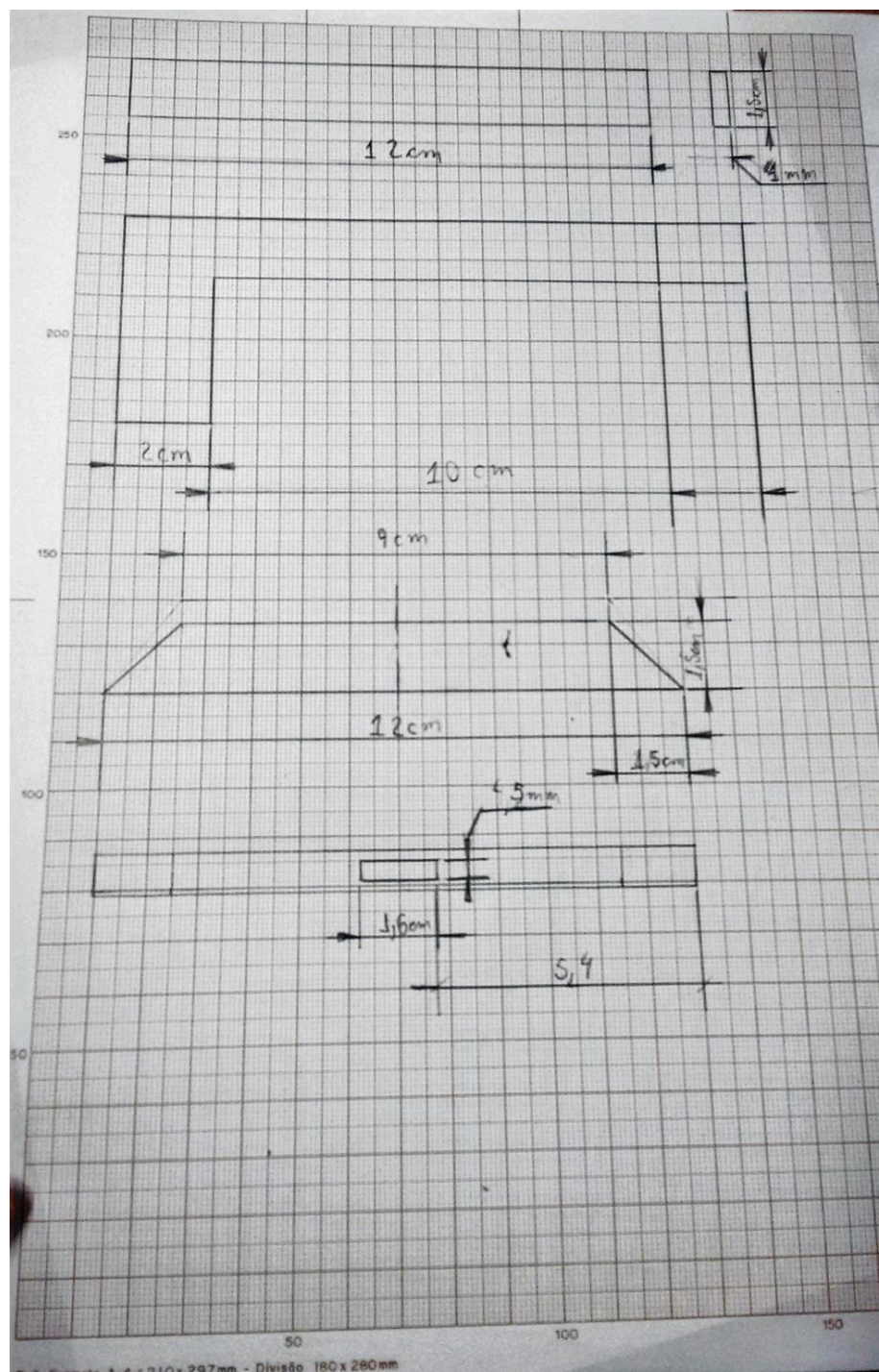
R\$ 3,20  
 100 R\$/kg      32g      3,20

## Apêndice F - Fotos das construções das balestilhas pelos participantes da oficina

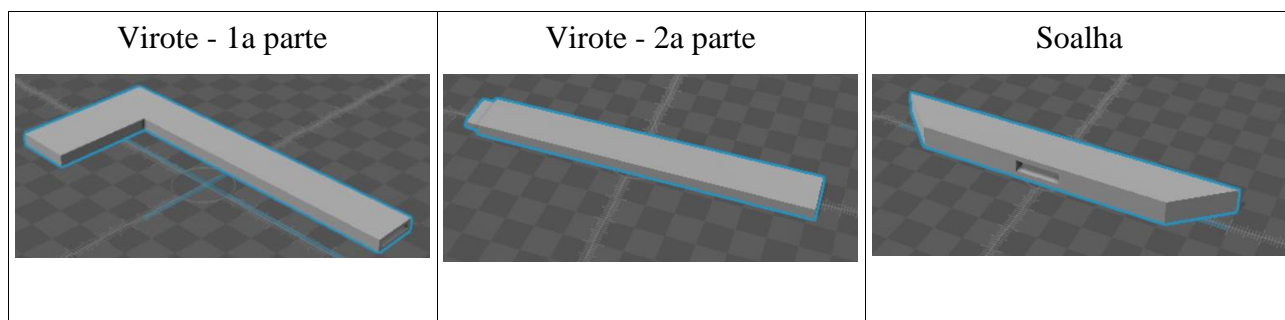
### Balestilha do Participante 01

Esta balestilha foi construída com o virote em duas partes. A fotografia dela pronta foi tirada após o acabamento.

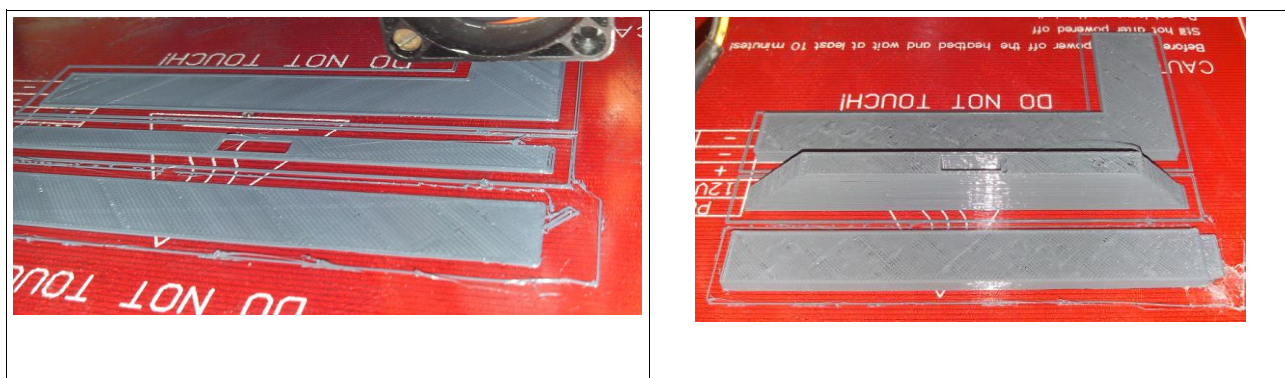
#### Rascunho



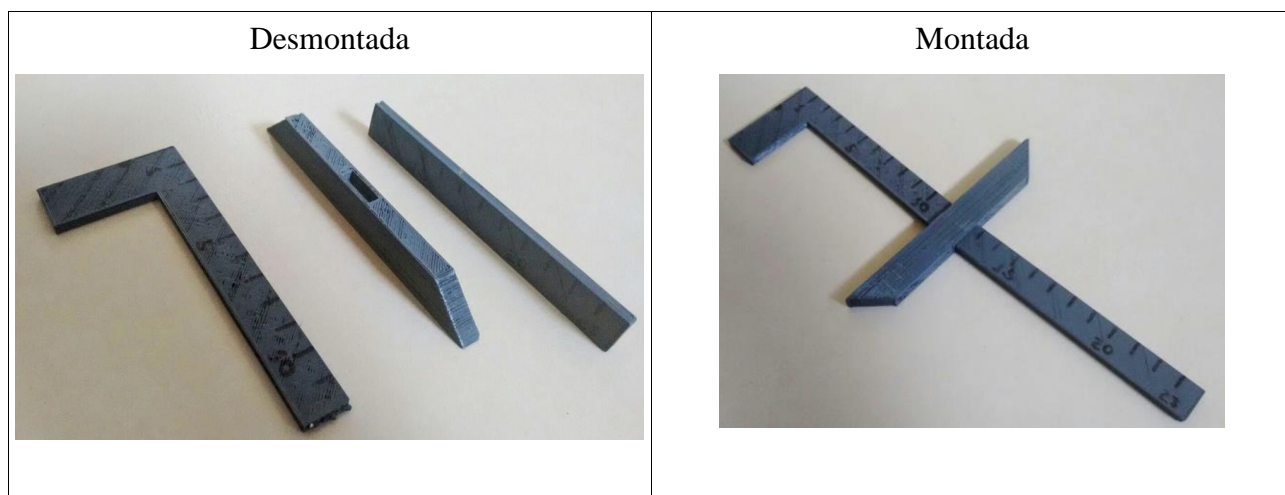
## Modelo 3D.



## Impressão.

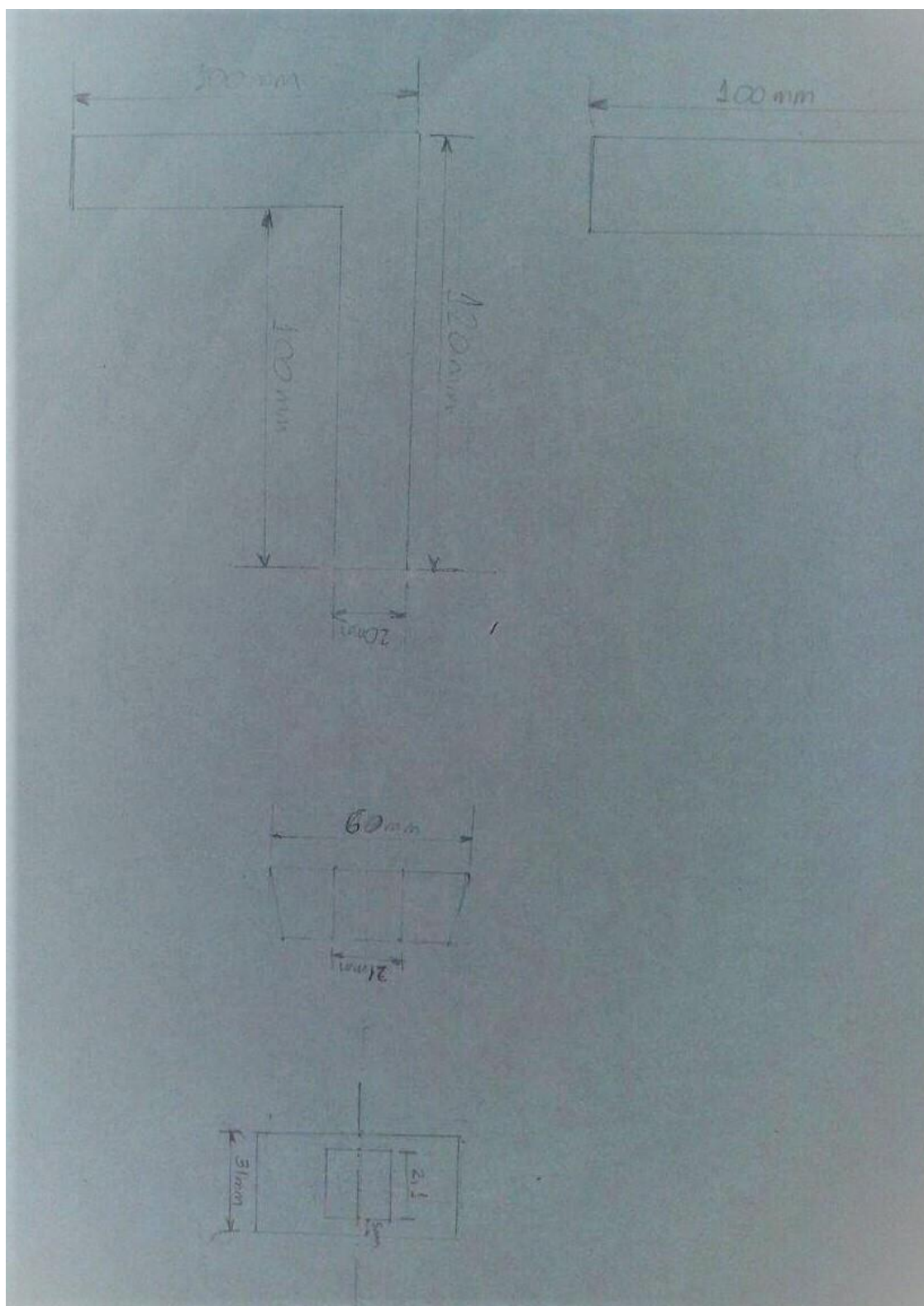


## Balestilha após o acabamento.



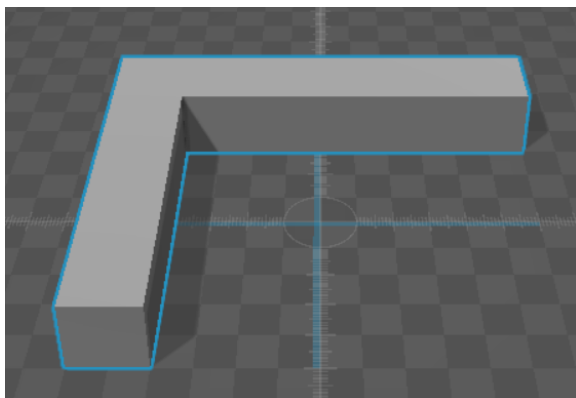
Balestilha do Participante 02

Rascunho

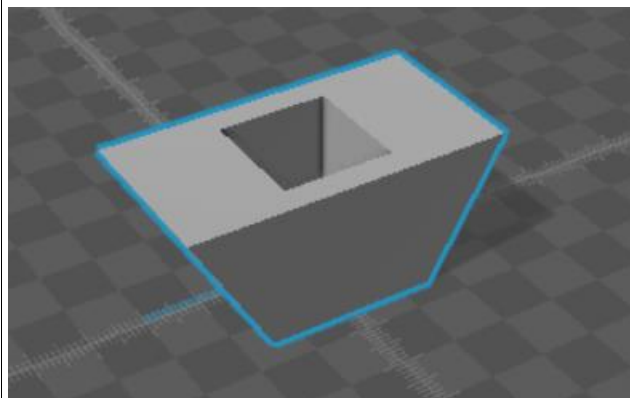


## Modelo 3D

Virote

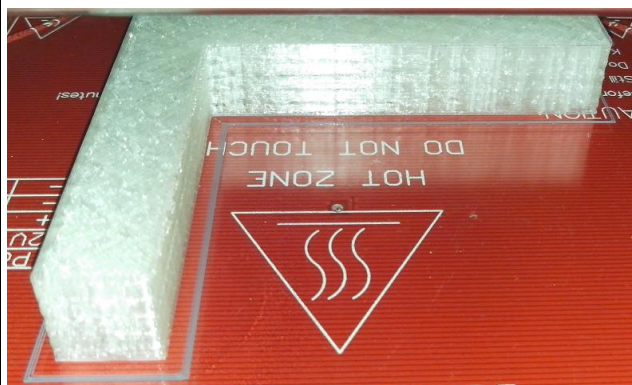


Soalha

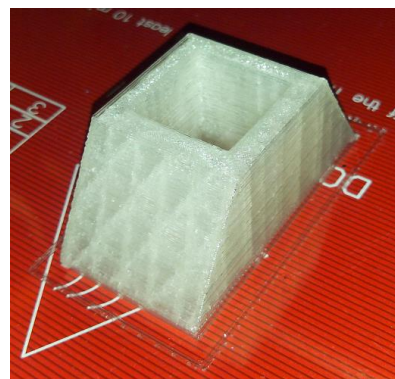


## Impressão

Virote



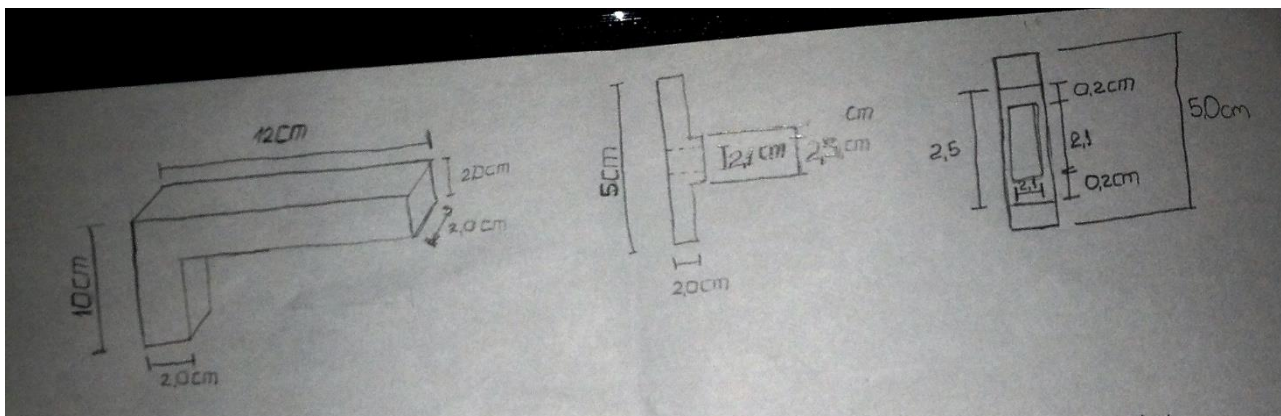
Soalha



(Obs.: não foram produzidas fotos desta balestilha após a impressão.)

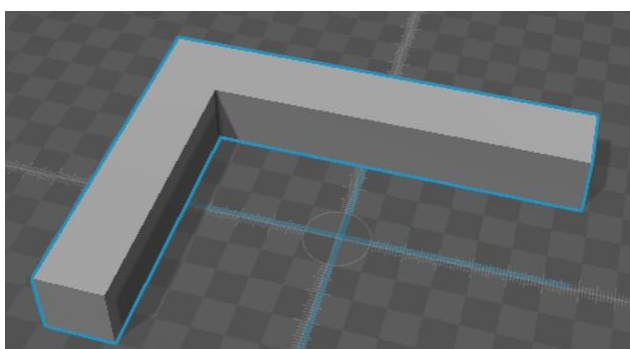
## Balestilha do Participante 03

### Rascunho

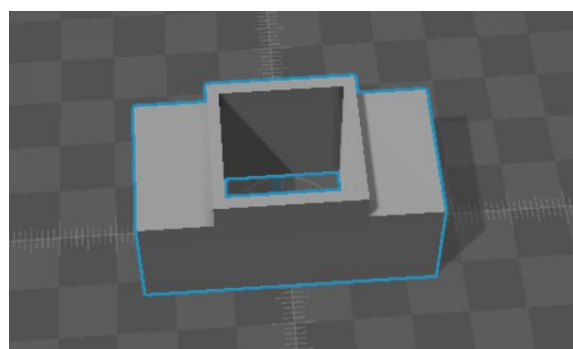


### Modelo 3D

Virote

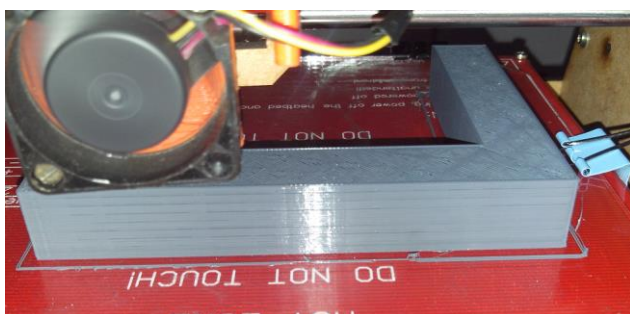


Soalha

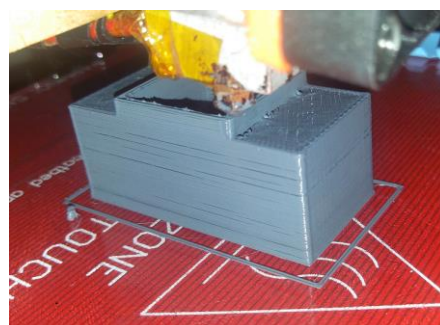


### Impressão

Virote



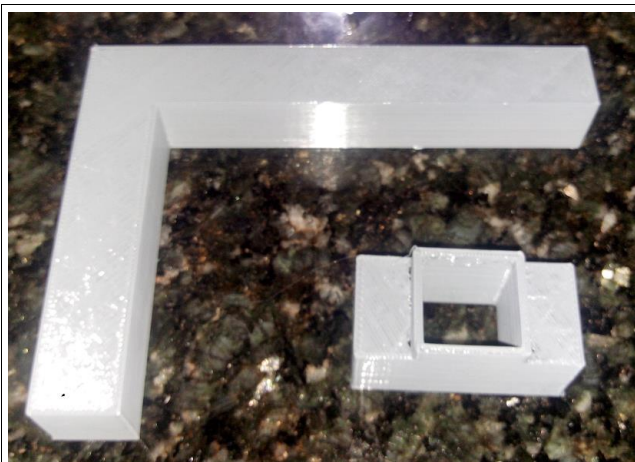
Soalha





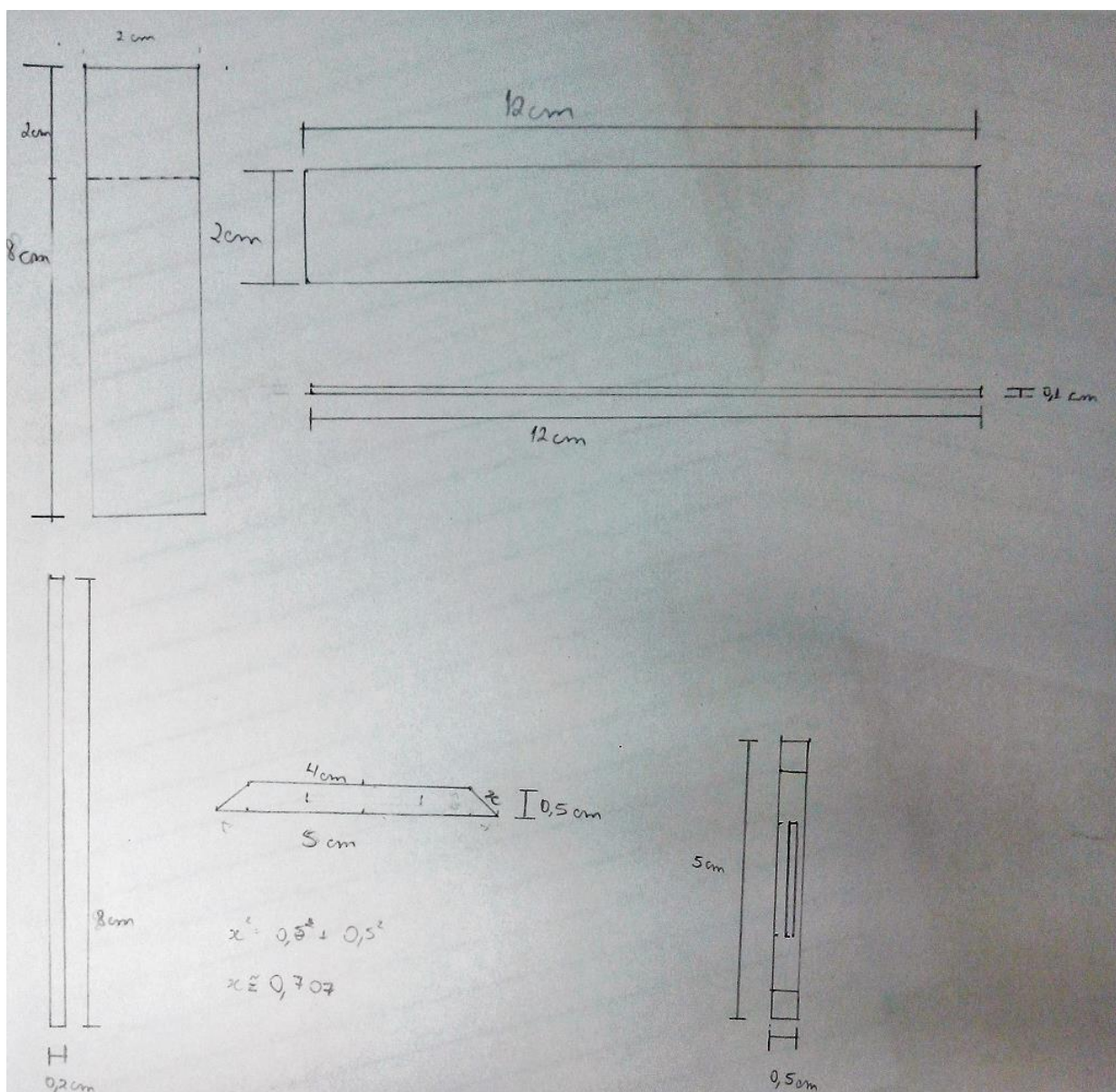
## Balestilha concluída

(Obs.: fotos tiradas antes do acabamento)

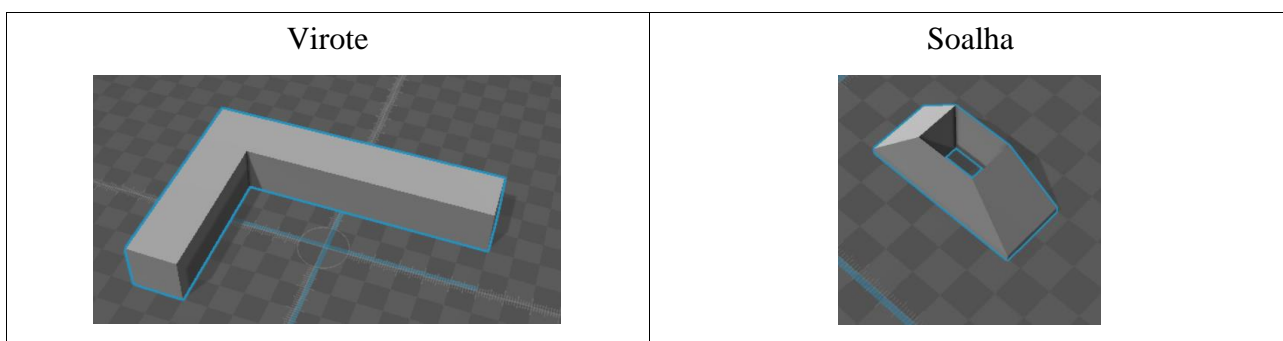


Balestilha do Participante 04

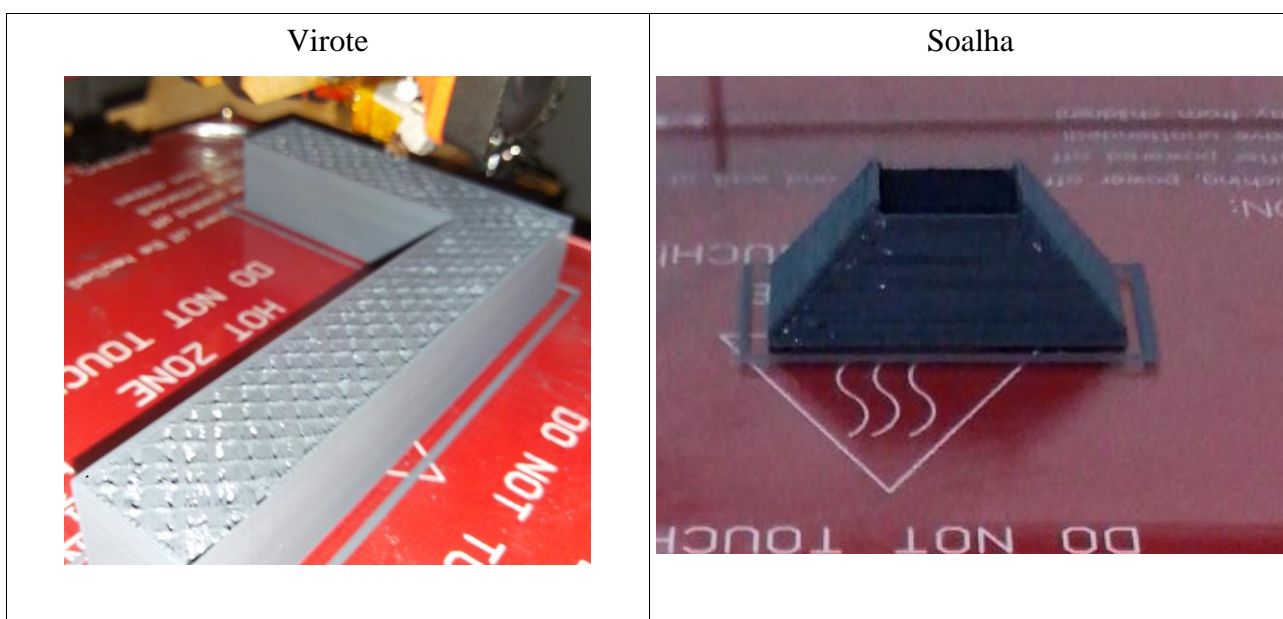
Rascunho



Modelo 3D



## Impressão



## Balestilha concluída



(Obs.: Nesta construção, o participante definiu as dimensões durante a modelagem 3D em desacordo com o estabelecido no rascunho. Ao final, o virote não se encaixou no furo da soalha.)

Apêndice G – Formulários de avaliação dos instrumentos criados como projeto

Nome: Participante 01

Avaliação do objeto impresso em 3D como um instrumento didático

Método de avaliação: utilizá-lo, imaginando estar lecionando o conteúdo com o qual ele está relacionado.

Assunto(s)/ conceito(s) relacionados ao objeto:

Estrutura Celula Animal;  
Modelo didático para apresentar de  
forma clara a estrutura e dispo  
sicão das organelas em uma  
célula animal

Na sua opinião, esse objeto construído através da impressão 3D pôde ser considerado uma ferramenta útil para auxiliar o ensino do assunto/conceito escolhido?

Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Comentários:

O objeto palpavel possibilita maior  
~~maior~~ entendimento e interesse  
na busca de conhecimento do aluno  
retirando uma visão as vezes  
distorcida.

Nome: Participante 01

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	<u>—</u>
Modelagem 3D:	<u>5 min</u>
Impressão:	<u>4h21 min</u>
Acabamento:	<u>25 min</u>
<b>TOTAL:</b>	<b><u>4h 51 min</u></b>

Contabilização do custo financeiro\*

\*apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: 150 R\$

Massa Total(g): 93g

=> Custo do material utilizado na impressão 3D (R\$): 6,45

Nome: Participantes 02 e 04

Avaliação do objeto impresso em 3D como um instrumento didático

Método de avaliação: utilizá-lo, imaginando estar lecionando o conteúdo com o qual ele está relacionado.

Assunto(s) / conceito(s) relacionados ao objeto:

Movimento Uniforme Variado

Na sua opinião, esse objeto construído através da impressão 3D pôde ser considerado uma ferramenta útil para auxiliar o ensino do assunto/conceito escolhido?

(X) Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Comentários:

O objeto imprimido torna real e visual o conceito de aceleração o qual é constantemente imposto a ser aceito e imaginado apenas

Nome: Participantes 02 e 04

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	0
Modelagem 3D:	15
Impressão:	$\frac{139 \text{ min} \cdot 1,75 \text{ mm}}{12 \cdot 15} / 3^3 \cdot 39 = 26,8 \text{ min}$
Acabamento:	90 min
TOTAL:	373 min

Contabilização do custo financeiro\*

\*apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza/Verde

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: 316 (verde/PLA), 150 (cinza/PLA)

Massa Total(g): 32

=> Custo do material utilizado na impressão 3D (R\$): 174 R\$

Laterais impressas 70 cubos: 58

$$\begin{array}{r} R\$ \quad 2 \\ 316 - 320 \\ \times \quad 5 \\ \hline 1580 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1580 : 200 > \\ \hline x = 4,94 R\$ \end{array}$$

Nome: **Participante 03**

Avaliação do objeto impresso em 3D como um instrumento didático

Método de avaliação: utilizá-lo, imaginando estar lecionando o conteúdo com o qual ele está relacionado.

Assunto(s) / conceito(s) relacionados ao objeto:

Magnético; linhas de campo; sentido de força. Usado para alunos com necessidades educacionais especiais (cegos)

Na sua opinião, esse objeto construído através da impressão 3D pode ser considerado uma ferramenta útil para auxiliar o ensino do assunto/conceito escolhido?

Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Comentários:

Foi desenvolvido um instrumento didático multi-sensorial p/ todos os alunos, focalizando inclusão social dos alunos cegos dentro das salas de aula.

Nome: **Participante 03**

Contabilização do custo temporal

Rascunho:	30 min
Modelagem 3D:	7 horas
Impressão:	46 min
Acabamento:	15 min
TOTAL:	81 30 min

Contabilização do custo financeiro\*

\*apenas do filamento, não serão incluídos fretes, colas, energia elétrica e etc.

Material: PLA

Diâmetro do filamento: 1,75mm

Cor: Cinza

Fornecedor: Filamentos 3D Brasil (<http://filamentos3dbrasil.com.br>)

Preço por Kg: 150,00 (100)

Massa Total(g): 8g

=> Custo do material utilizado na impressão 3D (R\$): 1,20

## Apêndice H – Formulários com perguntas sobre a opinião dos participantes sobre o uso da impressão 3D como ferramenta para a instrumentação do ensino

Nome: **Participante 01**

1) Após ter participado da oficina, você achou que a impressão 3D pode ser um meio funcional para desenvolver a instrumentação no ensino, comparado aos métodos manuais ou a aquisição de objetos já manufaturados? **Por que?**

Sim, pois ao desenvolver o próprio objeto didático pode-se evidenciar o objeto de estudo e projetá-lo de melhor forma para a disciplina.

2) Na sua opinião, qual(is) é(são) a(s) principal(is) característica(s) do uso da impressão 3D que:

a) Motivam o uso dela?

- A possibilidade de projetar e idealizar uma disciplina e incentivar a busca de conteúdo
- Aplicabilidade em diversas áreas da Ciência
- Interesse pelo funcionamento de impressoras
- Garantia de fazer um objeto 100% útil a disciplina.

b) Desincentivam seu uso?

- O preço de uma impressora original.
- Valor de material.

Nome: **Participante 02**

1) Após ter participado da oficina, você achou que a impressão 3D pode ser um meio funcional para desenvolver a instrumentação no ensino, comparado aos métodos manuais ou a aquisição de objetos já manufaturados? **Por que?**

A criação de objetos que comprovem conceitos tornam reais aquilo apenas antes imaginado, fato ao meu ver que auxilia na absorção do conhecimento passado.

2) Na sua opinião, qual(is) é(são) a(s) principal(is) característica(s) do uso da impressão 3D que:

a) Motivam o uso dela ?

- criação de objetos didáticos e pedagógicos de maneira acessível
- baixo custo de confecção

b) Desincentivam seu uso?

- Alto custo das impressoras
- Pouca divulgação de todo potencial de impressão 3D
- Conhecimento específico e técnico



Nome: **Participante 03**

1) Após ter participado da oficina, você achou que a impressão 3D pode ser um meio funcional para desenvolver a instrumentação no ensino, comparado aos métodos manuais ou a aquisição de objetos já manufaturados? **Por que?**

Sim, pois aqui no Brasil objetos de instrumentação didáticas são muito caros, e utilização de Impressora 3D barateia os custos. Outro fator muito importante é a criação de novos objetos que facilitem o aprendizado de determinados assuntos e possibilitem a inclusão social de alunos com necessidades educacionais especiais.

2) Na sua opinião, qual(is) é(são) a(s) principal(is) característica(s) do uso da impressão 3D que:

a) Motivam o uso dela ?

- \* Criação de novos objetos
- \* Reposição de peças / acessórios que não são fabricados / vendidos separadamente (engrenagens plásticas, miniaturas, etc).
- \* Aplicações didáticas ou recreativas.

b) Desincentivam seu uso?

- ↳ A pouca divulgação / <sup>informação</sup> do assunto
- ↳ Falta de conhecimento direto com a tecnologia / experiências com o uso.

Nome: **Participante 04**

1) Após ter participado da oficina, você achou que a impressão 3D pode ser um meio funcional para desenvolver a instrumentação no ensino, comparado aos métodos manuais ou a aquisição de objetos já manufaturados? **Por que?**

sim, pois você tem a facilidade de imprimir e que você precisa para determina aula.

2) Na sua opinião, qual(is) é(são) a(s) principal(is) característica(s) do uso da impressão 3D que:

a) Motivam o uso dela ?

Facilidade com o desenvolvimento de objetos que possam vir a ser úteis em sala.

Pode instigar a criatividade dos alunos.

Facilita o aprendizado dos alunos.

b) Desincentivam seu uso?

O tempo para a produção das peças, mas isso não seria um desincentivo muito grande