

A UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE PROJETO DO PRODUTO:
UM ESTUDO DE CASO NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFRJ

Felipe da Silva Lopes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Francisco José de Castro Moura
Duarte
Carla Martins Cipolla

Rio de Janeiro
Julho de 2014

A UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE PROJETO DO PRODUTO:
UM ESTUDO DE CASO NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFRJ

Felipe da Silva Lopes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof.^a. Carla Martins Cipolla, D.Sc.

Prof. Roberto dos Santos Bartholo Junior, D.Sc.

Prof.^a. Liliane Iten Chaves, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
JULHO DE 2014

Lopes, Felipe da Silva

A utilização da impressão 3D no ensino de projeto do produto: Um estudo de caso no curso de engenharia de produção da UFRJ / Felipe da Silva Lopes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XIV, 129 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Francisco José de Castro Moura Duarte
Carla Martins Cipolla

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 112-115.

1. Estudo de caso. 2. Projeto do Produto. 3. Impressão 3D. 4. Design de Serviço. I. Duarte, Francisco José de Castro Moura *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus tios, que me acolheram quando era criança e me deram todas as condições e apoios necessários para a minha educação e formação para que eu pudesse chegar onde estou hoje!!

Agradecimentos

Aos meus orientadores Francisco Duarte e Carla Cipolla,

Ao professor Ricardo Wagner EBA/UFRJ,

Aos funcionários Maria de Fátima, Zui Clemente, Rogério Macedo, Dona Alice

Aos colegas de mestrado e doutorado Anael Alves, Eduardo Romero, Ighes Contreiras, Márcia Tavares, Mateus Abraçado, Marcela Martins, Flávia Lima, Fabrício Kather, Francisco Magalhães, Bárbara Passos, Beatriz Watanabe, Ado Azevedo, Patrícia Gomes e Camila Marins,

À equipe do laboratório PRO-PME Rodrigo Dantas, Daniel Onofre, Marcos Chaves, Felipe Maia, João Marcos Bittencourt, Vivian Moreno e Carolina Mesa,

Aos meus grandes amigos Felipe Ximenes, Daniel Moreira e Renata Cavalcante,

A minha família pelo apoio, especialmente a minha prima Flávia e Tia Deia,

À CAPES e a COPPETEC pelas bolsas de estudos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

A UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE PROJETO DO PRODUTO:
UM ESTUDO DE CASO NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFRJ

Felipe da Silva Lopes

Julho/2014

Orientadores: Francisco José de Castro Moura Duarte

Carla Martins Cipolla

Programa: Engenharia de Produção

As tecnologias estão revolucionando a forma como os produtos são fabricados e, segundo Bull *et al.* (2010), se o século XX foi caracterizado pela democratização da informação através do computador pessoal e pela internet, o século XXI será caracterizado pela democratização da produção pela fabricação pessoal. Hoje, através das tecnologias de fabricação digital, já é possível transformar objetos digitais em objetos físicos com uso das impressoras tridimensionais, que ao longo dos anos estão cada vez mais acessíveis, não somente às indústrias mas também ao mundo acadêmico.

Esta pesquisa de mestrado visa a apresentar o estudo de caso da utilização da impressão 3D na disciplina Projeto do Produto do curso de Engenharia de Produção para investigar como um laboratório de impressão 3D pode ser usado de modo a integrar-se na formação didática dos alunos da referida disciplina, promovendo o compartilhamento de conhecimentos sobre a prática de projeto em conjunto com a impressão 3D, a fim de capacitar os futuros profissionais com as novas tecnologias de fabricação digital.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE USE OF 3D PRINTER IN TEACHING PRODUCT DESIGN: A CASE STUDY OF
UFRJ PRODUCTION ENGINEERING

Felipe da Silva Lopes

July/2014

Advisors: Francisco José de Castro Moura Duarte

Carla Martins Cipolla

Department: Production Engineering

The technologies are revolutionizing how products are manufactured and according Bull *et al.* (2010), the twentieth century was characterized by the democratization of information through personal computer and through the internet; the twenty-first century will be characterized by the democratization of production by personal fabrication. Today, through digital fabrication technologies, it is now possible to transform digital objects into physical objects using three-dimensional printers, which are increasingly accessible over the years, not only to industry but also to the academic world.

This master's research aims to present a case study of the use of 3D printing in the program of Product Design Engineering as a laboratory to investigate if 3D printing can be used in order to integrate itself in the didactic formation of students from this discipline, promoting the sharing of knowledge about the practice of design in conjunction with the 3D printing, in order to train future professionals with new technologies for digital manufacturing.

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. JUSTIFICATIVAS.....	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
CAPÍTULO 2 – O PDP E O USO DE OBJETOS INTERMEDIÁRIOS	6
2.1. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	6
2.2. A NOÇÃO DE OBJETOS INTERMEDIÁRIOS	13
2.2.1. Objeto Aberto.....	15
2.2.2. Objeto Fechado	16
2.3. O PROTÓTIPO COMO OBJETO INTERMEDIÁRIO NO PDP	17
2.3.1. Representações iniciais	20
2.3.2. Representações finais	21
2.4. PROTOTIPAGEM RÁPIDA, IMPRESSÃO 3D, MANUFATURA ADITIVA	22
2.5. O ENSINO DE PDP.....	29
2.5.1. A impressão 3D no ensino de PDP	34
2.5.2 A experiência educacional dos Fab Labs.....	37
CAPÍTULO 3 – DESIGN DE SERVIÇO	48
3.1. DEFINIÇÃO	48
3.2. IMERSÃO EM CONTEXTO.....	50
3.3. BLUEPRINT - REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SERVIÇO	50
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO	53
4.1. METODOLOGIA	53
4.2. DEFINIÇÕES INICIAIS	55
4.3. DEFINIÇÃO DE CRONOGRAMA	56
4.4. APRESENTAÇÃO E VISITA AO LABORATÓRIO.....	57
4.5. ANÁLISE E SELEÇÃO DA ALTERNATIVA DE PRODUTO	59
4.6. ANÁLISE E FECHAMENTO DOS ARQUIVOS 3D	60
4.7. O PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D E ENTREGA DOS PROTÓTIPOS	61
CAPÍTULO 5 – ANÁLISES E RESULTADOS DOS PROTÓTIPOS	63
5.1. PROTÓTIPOS DESENVOLVIDOS	63
5.1.1. Grupo 1 – Porta cotonete.....	63
5.1.2. Grupo 2 – Porta guardanapos e sachê	65
5.1.3. Grupo 3 – Redutor e penico.....	66
5.1.4. Grupo 4 – Escorredor de talheres	68
5.1.5. Grupo 5 – Escova de lavar roupa.....	70
5.1.6. Grupo 6 – Tábua de corte	71
5.1.7. Grupo 7 – Corta sachê.....	73
5.1.8. Grupo 8 – Lixeira	75
5.1.9. Grupo 9 – Porta condimentos	76
5.2. ANÁLISE GERAL – SÍNTESE DOS PROBLEMAS OCORRIDOS E APRENDIZADO	78
5.3. CONSIDERAÇÕES ACERCA DO SUPORTE TÉCNICO.....	79
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA PEDAGÓGICA	81
6.1. A PERSPECTIVA DOCENTE	81
6.2. A PERSPECTIVA DISCENTE	84

6.3. ELABORAÇÃO DOS RESULTADOS	91
6.3.1. Resultados Docente.....	91
6.3.2. Resultados Discente	94
6.3.3. Resultados Gerais	96
CAPÍTULO 7 – PROPOSTA DE PROJETO DE SERVIÇO	98
7.1. USUÁRIOS	98
7.2. MODELO DE NEGÓCIO.....	98
7.3. O CONCEITO DO SERVIÇO	100
7.3.1. Etapa 1 - Engajamento inicial.....	100
7.3.2. Etapa 2 – Reunião e visita ao laboratório.....	103
7.3.3. Etapa 3 – Apresentação do laboratório para a turma	103
7.3.4. Etapa 4 – Visita da turma ao laboratório	104
7.3.5. Etapa 5 – Análise e seleção dos conceitos.	104
7.3.6. Etapa 6 – Análise e fechamento dos arquivos para Impressão 3D.	105
7.3.7. Etapa 7 – Organização da fila de impressão.....	105
7.3.8. Etapa 8 – Contato sobre o andamento do serviço.....	106
7.3.9. Etapa 9 – Entrega, preenchimento dos documentos e <i>feedback</i>	106
7.4. SERVICE BLUEPRINT.....	107
7.5. RECOMENDAÇÕES E RESTRIÇÕES	108
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
Anexo I: Cronograma de desenvolvimento dos projetos da disciplina Projeto do Produto 2012/1	116
Anexo II: Simulação de custos dos protótipos.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão Geral do Modelo Unificado do PDP.....	8
Figura 2: Integração entre áreas.....	10
Figura 3: Segmentos de <i>Partial Design</i>	11
Figura 4 - Estrutura Detalhada do Total Design	12
Figura 5: Esquema autor-objeto-autor	15
Figura 6: <i>Rapid Prototyping</i> no processo de projeto	19
Figura 7: Conceito básico do processo de manufatura aditiva.	23
Figura 8: Etapa completa do processo de impressão 3D	24
Figura 9: Esquema de funcionamento – Estereolitografia	25
Figura 10: Esquema Sinterização Seletiva por Laser.....	26
Figura 11: Esquema de funcionamento FDM – Fusão e deposição de material.....	27
Figura 12: Processo FDM	28
Figura 13 – Kit básico dos Fab Labs.....	40
Figura 14 – FabLab São Paulo	43
Figura 15 – Fac Lab.....	44
Figura 16 - Layout do <i>Fab Lab</i> da Universidade do Chile	45
Figura 17 - Satélite CubeSat e Foguete Amuche II	46
Figura 18 - Processo de Design Thinking	49
Figura 19: Vista panorâmica do laboratório.....	57
Figura 20: Impressora 3D Dimension Elite.....	58
Figura 21: Fechamento de arquivo para impressão 3D.....	60
Figura 22: Inspeção de funcionamento da Impressora 3D	61
Figura 23: Cartuchos de impressão	62
Figura 24: Grupo 1 - Porta cotonete.....	63
Figura 25: Grupo 2 - Porta guardanapo	65
Figura 26: Grupo 3 - Redutor e penico.....	67

Figura 27: Grupo 4 – Escorredor de talheres	69
Figura 28: Grupo 5 - Escova	70
Figura 29: Grupo 6 - Tábua de corte.....	72
Figura 30: Grupo 7 - Corta sachê	73
Figura 31: Grupo 8 - Lixeira	75
Figura 32: Grupo 9 - Porta condimentos	77
Figura 33: Cadastramento de dados.....	100
Figura 34: Simulação de custos.....	101
Figura 35: Semanas de uso.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos protótipos de acordo com o uso.....	20
Tabela 2: Síntese do projeto do produto	30
Tabela 3: Service Blueprint.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

3DP	<i>3 Dimensional Printing</i>
ABS	Acrinolitrila Butadieno Estireno
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
BMC	<i>Business Model Canvas</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CBA	<i>Center for Bits and Atoms</i>
CNC	<i>Computerized Numeric Control</i>
COPPE	Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia
DIY	<i>Do It Yourself</i>
FAPERJ	Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
HCD	<i>Human Centered Design</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
MPME's	Micro Pequena e Médias Empresas
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PEP	Programa de Engenharia de Produção
Poli	Escola Politécnica
PRO-PME	Centro de Pesquisa e Projeto para o Desenvolvimento Gerencial Tecnológico de Micro Pequenas e Médias Empresas
RP	<i>Rapid Prototyping</i>
SFF	<i>Solid Freeform Fabrication</i>

SSL	Sinterização Seletiva por Laser
SST	<i>Soluble Support Technology</i>
STL	<i>Standard Tessellation Language</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UV	Ultra violeta

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

As tecnologias estão revolucionando a forma como os produtos são fabricados. Segundo Bull *et al.* (2010, p.331), “se o século XX foi caracterizado pela democratização da informação através do computador pessoal e pela internet, o século XXI será caracterizado pela democratização da produção pela fabricação pessoal.” Essa democratização é fomentada pelas tecnologias de fabricação digital, que transformam objetos digitais em objetos físicos, na qual se incluem as impressoras tridimensionais, cada vez mais acessíveis não somente às indústrias, como também ao público em geral.

Acompanhando este contexto, esta pesquisa de mestrado visa apresentar um estudo de caso de utilização de uma impressora 3D na disciplina Projeto do Produto do curso de graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Poli/UFRJ). Tem-se como objetivo investigar como um equipamento de manufatura aditiva pode ser usado de modo a apoiar a formação dos alunos, uma vez que permite transformar um objeto virtual em físico mais rapidamente e introduzir novas práticas de projeto.

A impressão 3D é um recurso que vem sendo utilizado por empresas de diferentes portes para acelerar o processo de desenvolvimento de produtos, reduzir custos envolvidos nesse processo e antecipar problemas relativos à fabricação (NAVEIRO e ROMEIRO FILHO, 2010; BAXTER, 2000).

A ideia que originou esta dissertação foi a de apoiar o ensino de disciplinas de projeto do produto através desse tipo de tecnologia. Ao conferir maior realidade ao processo e ao se produzir uma materialização dos conceitos iniciais de um processo de projeto do produto, o objetivo é permitir reflexões dos alunos sobre as diferentes variáveis que devem ser consideradas no projeto de um produto tais como: forma, dimensão, manufaturabilidade (facilidade ou dificuldade de produção), entre outros.

Em 2010 o laboratório PRO-PME (Centro de Pesquisa e Projeto para o Desenvolvimento Gerencial Tecnológico de Micro Pequenas e Médias Empresas), vinculado à Área de Gestão e Inovação do Programa de Engenharia de Produção do Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (PEP/COPPE/UFRJ), passou por uma reformulação. Apoiado por recursos da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), foram adquiridos equipamentos de impressão 3D para apoio às atividades

acadêmicas: ensino, pesquisa e extensão (principalmente o apoio ao desenvolvimento de produtos para micro e pequenas empresas).

Os equipamentos adquiridos foram duas máquinas de impressão 3D (Roland MDX-540 e Dimension Elite¹). Essas máquinas inicialmente foram utilizadas pelos alunos de engenharia e desenho industrial da UFRJ para confecção de modelos/protótipos de seus projetos finais.

A partir dessas experiências iniciais, procurou-se estruturar um serviço de impressão 3D em apoio às disciplinas de graduação em projeto do produto. A disciplina escolhida foi a disciplina Projeto do Produto do curso de graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da UFRJ. Essa experiência foi realizada no primeiro semestre de 2012 e se constituiu na parte prática dessa dissertação.

Com base nos resultados obtidos, na interação com os alunos e nos conceitos e metodologias da área do Design de Serviços, foi desenvolvido uma proposta de serviço para os laboratórios de universidades prestarem esse tipo de apoio aos cursos de graduação em projeto do produto.

O *Service Blueprint* foi a ferramenta de Design de Serviço escolhida para representar de forma esquemática e visual todas as etapas da proposta de serviço para os cursos de projeto do produto. Nela serão apresentados os pontos de contato para a sua execução completa, desde o contato inicial até a entrega final do protótipo/modelo ao aluno.

1.1. Objetivos

O objetivo principal dessa dissertação é investigar como equipamentos de impressão 3D podem ser usados de modo a apoiar a formação dos alunos das disciplinas de projeto de produto dos cursos de graduação, promovendo o compartilhamento de conhecimentos sobre a prática de projeto.

Como objetivos específicos, podemos mencionar:

¹ Modeladora Roland Modeladora Pro MDX-540 é uma máquina modeladora 3D e fresadora 3D que trabalha pelo processo de subtração de material. A Dimension Elite é uma impressora 3D que trabalha pelo processo de deposição de material, esta última será apresentada no tópico 2.4 sobre Impressão 3D no Capítulo 2.

a) Apresentar o uso da tecnologia de impressão 3D e sua contribuição para o projeto do produto;

b) Projetar um serviço de impressão 3D a ser oferecido aos cursos de graduação da UFRJ;

c) Sistematizar uma prática, na forma de recomendações e restrições para laboratórios que utilizem impressão 3D em apoio às atividades de ensino.

1.2. Justificativas

A justificativa geral desta pesquisa de mestrado é a necessidade de qualificar os estudantes de graduação na utilização das tecnologias digitais de impressão 3D, cada vez mais utilizadas na prática do desenvolvimento de produtos.

A ausência de um laboratório ou oficina da graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da UFRJ com atividades práticas em suporte às atividades teóricas de sala de aula foi um elemento de motivação. Desta motivação surge a necessidade de integrar o laboratório PRO-PME, pertencente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, com as disciplinas da graduação em Engenharia de Produção para o compartilhamento das práticas de projeto de acordo com suas experiências internas com as empresas.

Por outro lado foi constatada a necessidade de organizar as demandas esporádicas de impressão 3D em forma de um serviço que estructure as atividades do laboratório em conjunto com as atividades pedagógicas em sala de aula das disciplinas de projeto de produto, cada vez mais exigidos pelos cursos de Engenharia, Arquitetura, Desenho Industrial e entre outros.

Como motivação pessoal a formação no curso de Desenho Industrial – Projeto de Produto na Escola de Belas Artes/UFRJ foi importante para o interesse neste tema, pois insere novas ferramentas de impressão 3D para a prática de projeto em comparação com o uso dos equipamentos e maquinários na disciplina de oficina básica na época da graduação.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em duas partes, sendo que, na primeira parte (capítulos 2 e 3) será apresentada a revisão da literatura referente aos conhecimentos

teóricos pesquisados para o melhor entendimento do tema e, na segunda parte (capítulos 4, 5, 6, 7 e 8), a prática do estudo de caso com as análises dos resultados obtidos, o conceito do serviço e, por último, a conclusão.

No capítulo 2 será apresentada a abordagem de vários autores sobre o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e sua representação como um modelo estruturado de organização das etapas de projeto do produto. Em seguida será apresentada a noção de objeto intermediário e como sua representação permite a interação entre as várias equipes de projeto. Essa representação pode ser apresentada em objeto físico de forma física e construída através dos tipos de tecnologias de impressão 3D. Por último será apresentado o ensino do PDP com uma reflexão dos autores sobre o uso das impressoras 3D no ensino do PDP e as experiências educacionais dos *Fab Labs*.

No capítulo 3 será abordado o tema Design de Serviço e sua definição geral, por ser um conjunto de métodos e ferramentas multidisciplinares para a criação de um serviço centrado na visão do usuário. Neste caso, foi priorizado o kit de ferramentas do *Human Centered Design* (HCD), que busca imergir, criar e implementar um projeto de serviço com base nas questões do usuário, neste caso o professor e os alunos. Dentre as ferramentas desse kit, foi dado foco na ferramenta do *service blueprint*, pois é uma representação esquemática do serviço fácil de ser visualizada e que será apresentada em etapas no penúltimo capítulo.

O capítulo 4 apresentará a metodologia de estudo de caso realizado com os alunos de graduação em Engenharia de Produção da disciplina Projeto do Produto Poli/UFRJ. Serão apresentadas as etapas de andamento do serviço: definições iniciais, fechamento de cronograma, apresentação e visita ao laboratório, análise e seleção da alternativa, fechamento dos arquivos 3D e o processo de impressão 3D com a entrega dos protótipos/modelos.

No capítulo 5 serão apresentadas as análises e os resultados obtidos em cada grupo. Nestes grupos serão analisadas as variáveis pertinentes ao uso e ao serviço como: consumo de material estipulado e gasto, tempo de máquina estipulado e gasto, qualidade do protótipo, qualidade do arquivo 3D, total de peças impressas e prazo de entrega estipulado e real. Em seguida é apresentada uma análise geral com uma síntese dos principais problemas encontrados, o suporte técnico aos alunos e, por último, as recomendações e restrições.

No capítulo 6 será apresentada uma análise da experiência pedagógica com base em entrevistas semi-estruturadas realizadas com a professora e com alunos da disciplina de Projeto do Produto. Foram elaboradas 5 perguntas relacionadas ao papel da impressão 3D no ensino do PDP para a professora e 5 perguntas relacionadas ao papel da impressão 3D no aprendizado para os alunos. As perguntas foram definidas de acordo com a base teórica do capítulo 2. Através da análise da entrevista com a docente e os discentes, foi possível responder sobre o papel da impressora 3D no processo de ensino/aprendizagem do PDP na experiência realizada.

No capítulo 7 será apresentada a proposta de projeto de serviço e suas etapas, na ordem como ocorrem de acordo com os pontos-chaves, baseados na ferramenta do *service blueprint*, apresentado neste capítulo. Desta forma, será apresentado o serviço desde o seu início, com a coleta de informações e contato inicial, passando pela análise e fechamento dos arquivos para impressão 3D até chegar na entrega final.

Finalmente será apresentada no capítulo 8 a conclusão dessa pesquisa de mestrado com uma reflexão sobre como foi essa experiência, o cenário promissor, a importância desse apoio à disciplina de projeto do produto e o alcance aos objetivos propostos.

CAPÍTULO 2 – O PDP E O USO DE OBJETOS INTERMEDIÁRIOS

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura referente ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e seu ensino.

O ensino de PDP aqui estudado é parte da disciplina Projeto do Produto, obrigatória no curso de graduação de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da UFRJ, o qual serviu como objeto central dessa pesquisa de mestrado.

No segundo tópico, será apresentada a noção de objetos intermediários e sua tipologia. Em seguida, é destacada a função do protótipo e suas diferentes representações no decorrer do Processo de Desenvolvimento de Produto. No quarto tópico são apresentadas as tecnologias de prototipagem rápida, impressão 3D ou manufatura aditiva. No quinto e último tópico, são apresentadas as vantagens da impressora 3D como ferramenta de apoio ao ensino do PDP e a experiência educacional dos *Fab Labs*.

2.1. O Processo de Desenvolvimento de Produto

O Processo de Desenvolvimento de Produto, segundo Romeiro Filho *et al.* (2010), é apresentado por diferentes modelos e nomenclaturas parecidas. De acordo com Borges (2006), o desenvolvimento de produto e projeto do produto são tratados como sinônimos, mas

a primeira denominação é mais abrangente e mais adequada no contexto da Engenharia de Produção, uma vez que se refere ao processo, que vai desde a identificação de necessidades ao lançamento do produto, evidentemente passando pelas etapas de projeto do produto e da produção. (MENEGON, N.; ANDRADE, R. S., 1998, p.2)

De acordo com Romeiro Filho *et al.* (2010, p.15), a maior parte da literatura dedicada ao tema encara essas etapas como um processo de desenvolvimento de produtos similar a “um processo de negócios com entradas (horas de engenharia, conhecimento, normas e padrões etc.) e saídas”. O Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) pode ser entendido na forma de um guia como as empresas e indústrias podem conduzir e planejar o projeto do produto em etapas que passam pela conceituação, desenvolvimento e produção. Este modelo é apresentado por Ulrich e Eppinger (2008) como um conjunto de atividades interdisciplinares, como verificar a oportunidade de mercado, venda e entrega de um produto, planejamento, concepção, projeto do sistema, projeto detalhado, teste, refinamento e produção-piloto para o

alcance do sucesso do produto. Para Romeiro Filho *et al.* (2010) ficará a cargo da equipe de projeto da empresa a escolha do processo “mais adequado à situação existente” não necessariamente seguindo-o como “receita de bolo”, pois “pode gerar mais problemas do que soluções caso a estrutura da empresa e o conteúdo tecnológico do produto não sejam adequados ao modelo utilizado.”

A atividade de desenvolvimento de um novo produto não é tarefa simples. Ela requer pesquisa, planejamento cuidadoso, controle meticuloso e, mais importante, o uso de métodos sistemáticos. Os métodos sistemáticos de projeto exigem uma abordagem interdisciplinar, abrangendo métodos de marketing, engenharia de métodos e a aplicação de conhecimentos sobre estética e estilo. Esse casamento entre ciências sociais, tecnologia e arte aplicada nunca é uma tarefa fácil, mas a necessidade de inovação exige que ela seja tentada. (BAXTER, 1998. p.3)

Portanto, de acordo com Macedo (2011, p.2), “o sucesso do projeto de um novo produto está vinculado à eficiência de seu processo de desenvolvimento, uma vez que a capacidade de projetar com rapidez e qualidade é fator decisivo para a sobrevivência [da empresa] no mercado”.

A abertura econômica em diversos países com subsequente unificação de mercados regionais; as rápidas mudanças tecnológicas; o aumento da facilidade e da velocidade de acesso à informações e a personalização e maior segmentação de mercados; que caracterizam a realidade sócio-econômica em nosso tempo, determinam para as empresas a necessidade da produção de produtos [...], as empresas tem adotado estratégias tecnológicas e organizacionais que buscam fundamentalmente a flexibilidade dos sistemas produtivos. (MENEGON, N.; ANDRADE, R. S, 1998, p.1)

Neste cenário as empresas/indústrias, tanto nacionais como estrangeiras, deverão repensar seus processos produtivos com base nas condições impostas pelo avanço tecnológico e pelo acesso rápido à informação. Estes induzem à busca de melhor preparo para sobrevivência a um mercado cada vez mais globalizado. A concorrência interna passou a ser global, tanto com participação de produtos nacionais no mercado estrangeiro como vice-versa. Com isso são alcançados novos consumidores, aumentando a demanda de produção de novos produtos.

De acordo com Romeiro Filho *et al.* (2010) e Rozenfeld *et al.* (2006), o PDP pode ser dividido em três fases: **pré-desenvolvimento**, **desenvolvimento** e **pós-desenvolvimento**, como mostrado na Figura 1 abaixo.

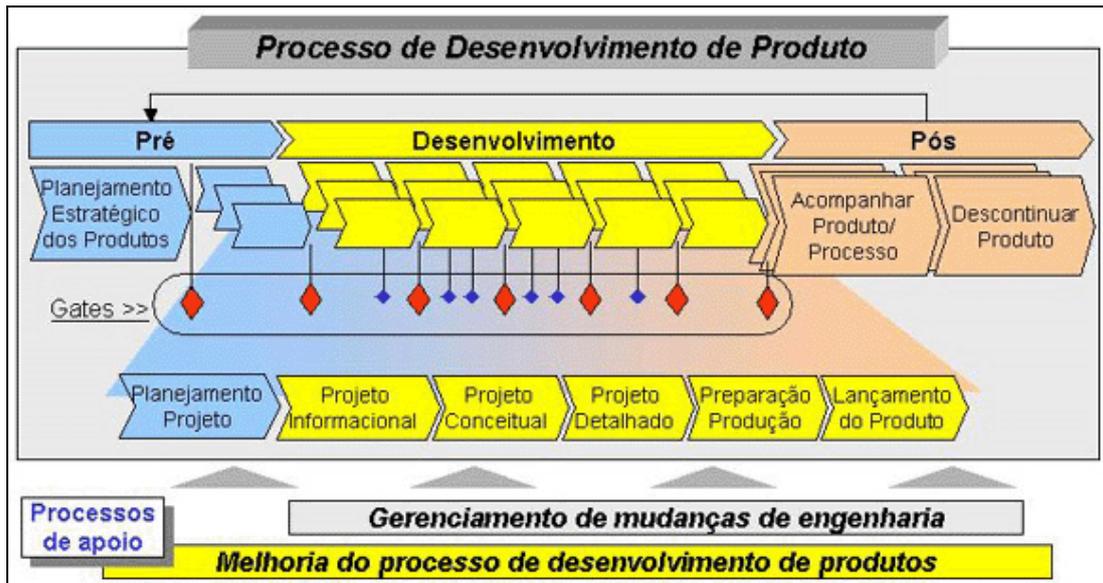


Figura 1: Visão Geral do Modelo Unificado do PDP

Fonte: Rozenfeld, Forcellini *et al.* (2006)

Na Figura 1, observa-se o modelo unificado do PDP com a separação das fases de desenvolvimento em cores distintas e logo abaixo se encontram os *Gates* nas cores em vermelho, que são os resultados apresentados após o cumprimento de cada etapa.

a) **Pré-desenvolvimento** – Esta fase estabelece o planejamento geral e estratégico tanto dos produtos como da empresa/indústria e sua posição no mercado perante a concorrência. Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), nela serão definidos o portfólio de produtos, as minutas de projeto e o plano de projeto. Já Volpato (2007) diz que nesta fase o resultado será um *briefing* do produto que se constituiu por um documento onde serão listadas as informações das necessidades dos clientes, requisitos de projeto, normas, aspectos de uso, perfil do mercado, custo alvo e qualquer outra informação pertinente ao desenvolvimento de produto.

b) **Desenvolvimento** - A equipe de projeto, após receber as informações coletadas na fase anterior, dará início nesta fase de projeto do produto, que, de acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), é composta pelo projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção e lançamento do produto.

c) **Pós-desenvolvimento** – Após o produto ser lançado no mercado é necessário acompanhá-lo por meio de análise das informações de monitoramento do produto. Dessa forma, conforme Rozenfeld *et al.* (2006), serão coletados dados na assistência técnica, em pesquisa de mercado, em serviços atrelados ao produto e na

sua produção, assim como será preciso também pensar na sua descontinuidade no mercado, ou seja, deve-se planejar e definir o fim do produto com sua retirada do mercado.

No entanto, segundo Baxter (1998), há uma divergência de opiniões entre os designers sobre a divisão do projeto em etapas. Na prática, se trata de uma definição arbitrária, devido a uma noção imprecisa de onde termina e começa a próxima etapa. Não há uma sequencialidade, logo as equipes de projeto podem retornar sempre a etapas anteriores quando for necessário e também realizar atividades simultaneamente. Na mesma vertente Vinck (2013, Cap 6 p. 167) afirma que:

O projeto não é um processo linear e sequencial. Do objetivo à realização os desvios são inúmeros. Eles se ligam ao caráter exploratório da procura de soluções, às incertezas do contexto industrial e à renovação da lista de especificações a partir das novas soluções descobertas.

Neste sentido, Pugh (1991) apresenta numa outra abordagem, o “*Total Design*”, cujo objetivo central é apresentar uma atividade sistemática que vai desde a identificação das necessidades do usuário/mercado até a venda do produto. Ele apresenta um modelo vertical para o “*Total Design*” (Figura 4) com uma visão global de todas as atividades de projeto integradas, com idas e vindas, composto por 6 *design cores* (núcleos de projeto) relacionados às áreas tecnológicas e não tecnológicas (humanas), a seguir descritas:

a) **Mercado** – baseado nas informações sobre as necessidades dos futuros usuários aos quais o produto será direcionado;

b) **Especificação** – define as principais características técnicas que deverão ser atendidas pelo projeto do produto, com base nas necessidades dos futuros usuários, norteando assim as fases subsequentes;

c) **Concepção** – estabelece as características básicas do produto, definidas de forma a atender as respectivas especificações técnicas;

d) **Detalhamento** – corresponde à fase de elaboração dos documentos e desenhos necessários a fabricação do produto, elaborados a partir da concepção básica;

e) **Fabricação** – corresponde à etapa de produção propriamente dita, a partir dos documentos elaborados na fase de detalhamento;

f) **Venda** – corresponde à fase de comercialização do produto.

A Figura 2 apresenta a estrutura esquemática do *Design Core*.

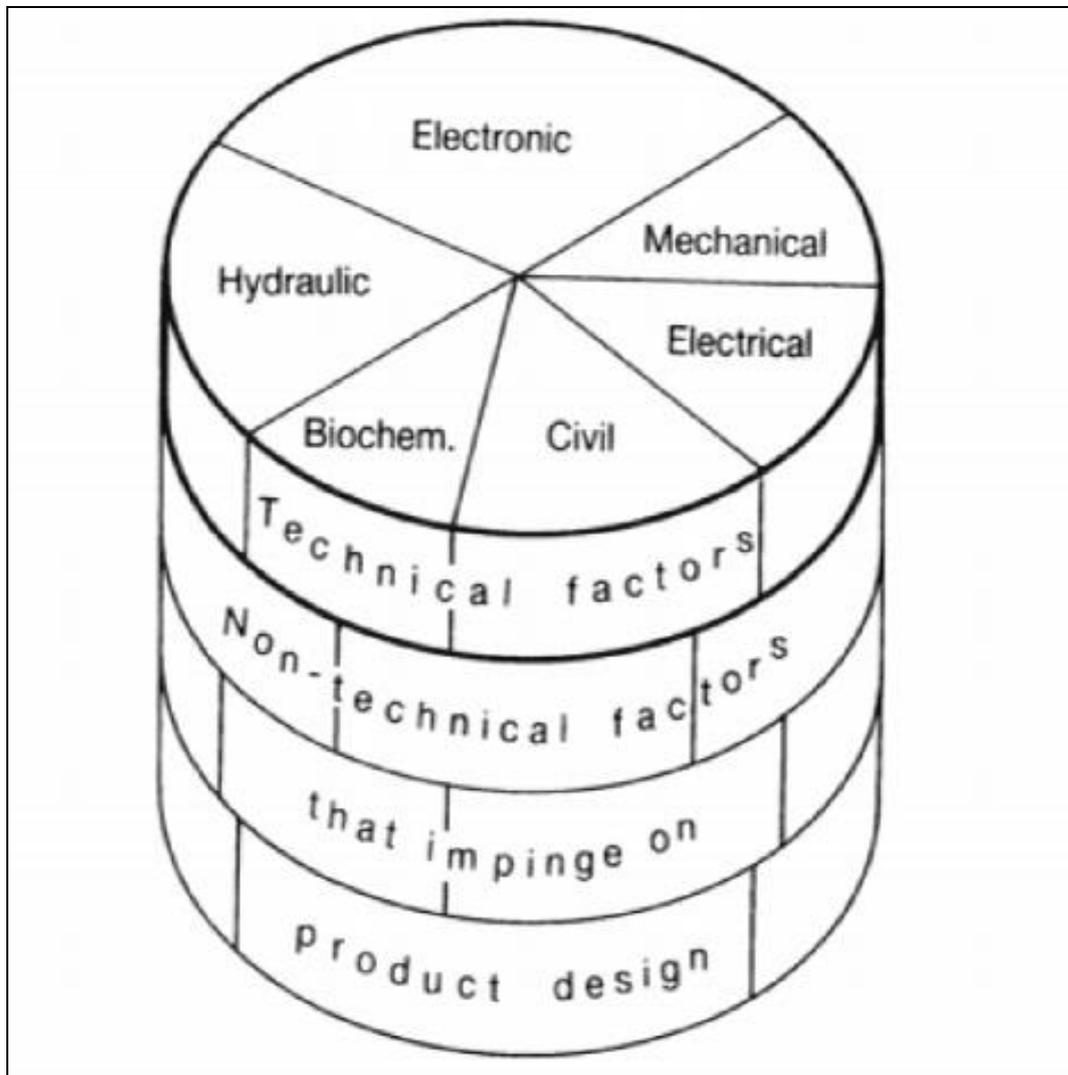


Figura 2: Integração entre áreas

Fonte: Pugh(1991)

Estas áreas, de acordo com Pugh (1991), possuem visões *partial design* (parciais do projeto) com abordagens e conceitos peculiares focados para cada formação (Figura 2). Esta é fomentada pelo ambiente educacional onde, segundo Pugh (1991), os cursos de engenharia precisam ser divididos em “pacotes” de competências específicas, face à necessidade de formação de profissionais altamente especializados e informados sobre os últimos avanços em ciência e tecnologia. Entretanto, tais “pacotes” deverão ser bem compreendidos e administráveis, tanto pelos professores como pelos alunos, dentro dos conceitos de “*partial design*” e “*total design*”.

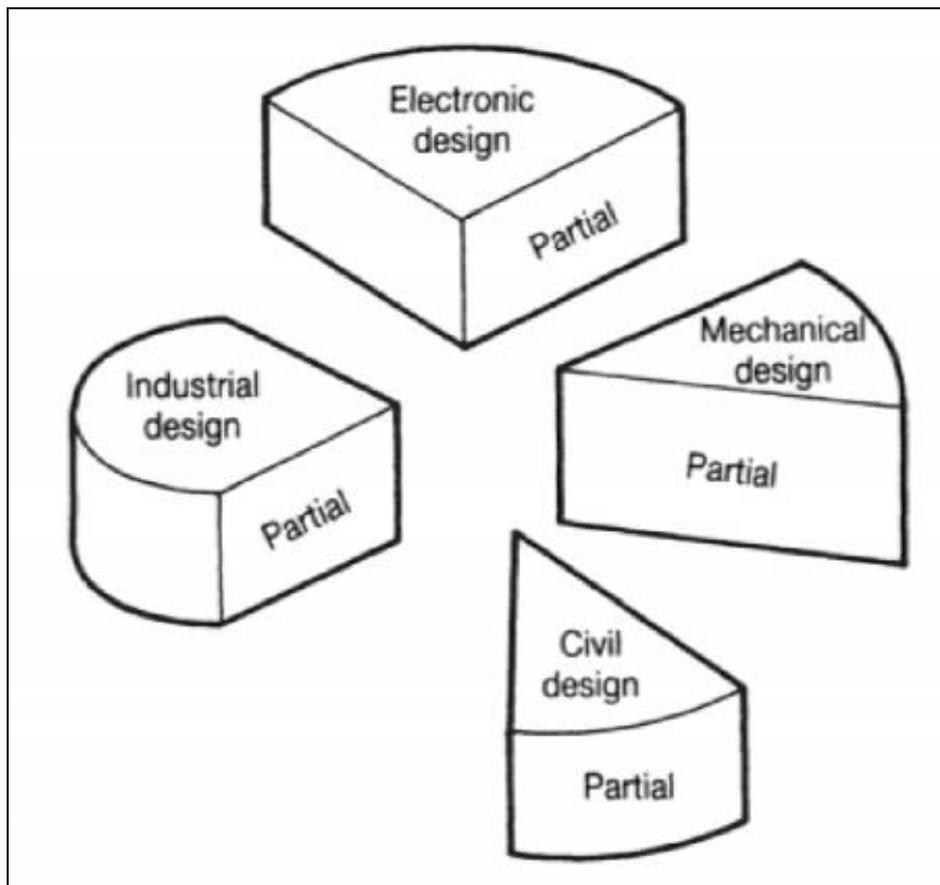


Figura 3: Segmentos de *Partial Design*

Fonte: Pugh (1991)

Desta forma, Pugh (1991) menciona o papel dos cursos de engenharia, tanto das universidades como das escolas politécnicas de formarem profissionais qualificados com competências específicas de projeto, tais como mecânica, elétrica, civil, eletrônica, etc (Figura 3). Por outro lado é necessário que os estudantes tenham uma base de conhecimento em comum e entendam a importância do trabalho em equipe e da integração com outras áreas de estudo, além daquelas nas quais eles se especializaram. Uma adequada integração entre as diferentes áreas de conhecimento aumenta significativamente a qualidade do produto final, evitando assim fracassos como os registrados na história da industrialização mundial.

Os integrantes de uma equipe de projeto devem estar aptos a observar como suas diferentes contribuições parciais se encaixam dentro do cenário global do projeto. Isto não é um objetivo desejável, isto é considerado essencial

(...)

A estrutura e o esquema do “total design” devem ter formatos que conduzam automaticamente não apenas para a integração, mas para um sentimento natural de integração entre os membros da equipe de projeto, independente da área de conhecimento. (PUGH, 1991, p.4)

Segundo Pugh (1991), a integração das diferentes visões parciais de projeto – “partial design” – constituirá o “Total Design”, que permitirá a reflexão de cada indivíduo sobre sua real contribuição (fatia de participação) em cada etapa do projeto. Isto dará forma aos 6 núcleos de projeto (*design cores*) no ambiente industrial. (Figura 4)

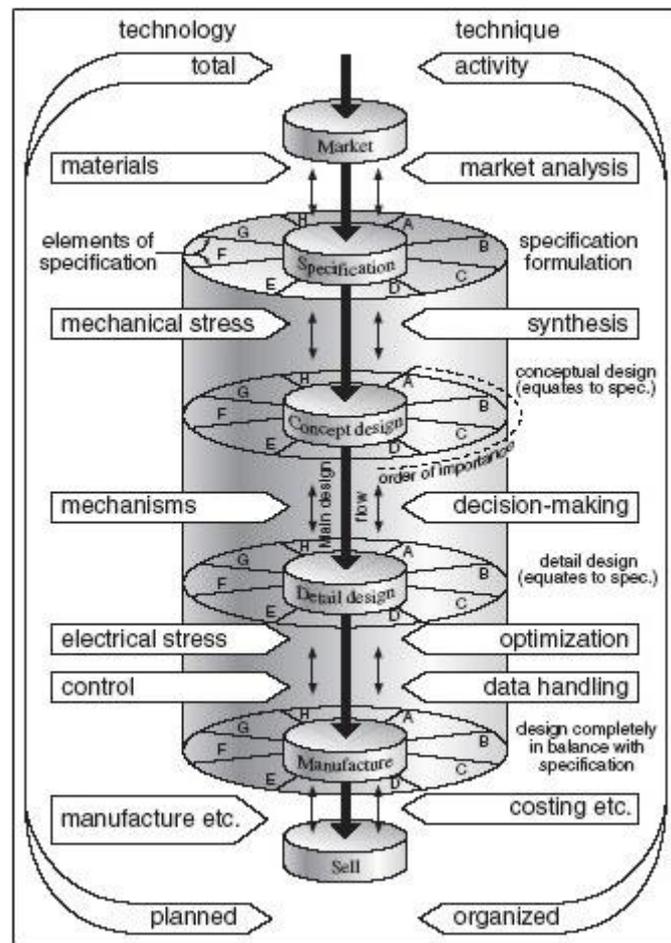


Figura 4 - Estrutura Detalhada do Total Design

Fonte: Pugh (1991)

A aplicação do modelo unificado do PDP (Figura 1) e do *Total Design* (Figura 4) para o desenvolvimento de produto ficará a critério da empresa de acordo com as suas especificidades de funcionamento interno. Esta, segundo Baxter (1998), escolherá os métodos e as ferramentas adequadas às suas necessidades internas e externas, mas não garantirá o sucesso desse produto no mercado.

A escolha da melhor forma de representar o término de uma etapa de desenvolvimento ficará a cargo dos autores envolvidos, que poderão representar suas intenções e interações de projeto por meio de objetos intermediários.

2.2. A Noção de Objetos Intermediários

Um objeto por definição segundo Japiassú (1993), é aquilo criado por um indivíduo e lançado, atirado e posto adiante e/ou em frente em relação a outro indivíduo. Ele é a representação de um pensamento transmitido de um sujeito ao outro com a intenção de estabelecer uma interação entre eles ou também com outros humanos. Desta forma o objeto segundo Simon (1996), é tudo aquilo criado, concebido e transformado pelo homem para si ou o seu próximo, logo tudo aquilo projetado na forma de coisas artificiais.

(...)o objecto de estudo próprio da humanidade é a ciência do projecto, não só como componente profissional duma educação técnica, mas também como disciplina nuclear para todos os homens liberalmente educados. (SIMON, 1996, p. 238)

A essência de projetar está presente em toda a história da humanidade e também nas diversas profissões que apesar de evoluírem com conhecimentos, nomenclatura e vocabulários próprios, possuem de acordo com Simon (1996), o ato de projetar algo como aspecto comum de todo treinamento profissional. A complexidade faz com que os indivíduos se mobilizem em busca de soluções. Segundo Simon (1996, p.251), “uma representação apropriada do problema pode ser essencial para organizar os esforços de solução e conseguir uma certa clareza sobre as maneiras de avaliar as soluções propostas.”

Nesta lógica, os objetos intermediários são as representações de uma determinada etapa do desenvolvimento do projeto a fim de permitir a interação entre os atores participantes para a solução do problema de projeto. Estas soluções vão em busca de uma simplificação da complexidade apresentada por um problema a ser resolvido por um ou mais atores. Para isso segundo Boujut (2003), devem estabelecer um meio de contato por meio do objeto intermediário afim de estabelecer a troca de conhecimentos entre os diversos indivíduos.

O objeto não faz senão concretizar suas intenções, com maior ou menor eficácia. [...] O objeto e a ação que, espera-se, ele realize refletem,então, a diversidade dos atores e seus projetos. (VINCK, 2013, Cap 3 p 72 e 73)

No percurso do projeto o objeto intermediário permite que diferentes atores de projeto se relacionem e representem suas concepções em busca da facilidade de entendimento entre eles. Estas relações, segundo Bucciarelli (1994), constituem o caráter social do ato de projetar, que reflete um saber coletivo de todos envolvidos no projeto. Portanto, de acordo com Vinck (2009), o objeto intermediário materializa suas intenções, seus hábitos de trabalho, seu conhecimento, suas perspectivas e suas relações com as pessoas.

Desta forma, o ato de projetar, por natureza, sempre buscou a intermediação entre duas ou mais pessoas de áreas diferentes ou não. O que, segundo Vinck (1999), passa pela noção de objeto intermediário e suas formas de mediação: a tradução e a representação.

(...) objetos intermediários são também estados intermediários do produto, se considerarmos os objetos como mediadores ao traduzirem e representarem o produto futuro. A partir deste ponto de vista, acho que o conceito oferece um quadro rico para analisar a natureza e o conteúdo dos vários objetos produzidos ao longo de todo o processo de projeto.(BOUJUT, 2003. P.210)

Segundo Boujut (2003), a tradução é a passagem de uma ideia para o outro de forma transitória e dinâmica por meio de uma constante negociação e discussão com o encontro de diferentes pontos de vista, conhecimentos e parâmetros. Esse encontro fica bastante enriquecido com a participação de atores heterogêneos que podem vir de várias áreas, como: engenharia, design e arquitetura. Essa transição pode ocorrer por meio de desenhos de esboço, modelos e rascunhos.

As traduções são sempre incompletas e geram, permanentemente, um resto ou uma novidade susceptível de colocar em questão os arranjos penosamente construídos e estabelecidos.(VINCK, 2013, Cap 3 p.93).

A representação é a forma como o objeto representa a conclusão de uma etapa de desenvolvimento do produto e de acordo com Bittencourt (2011), transmite as intenções e instruções de um ator para o outro sobre o projeto. Dessa forma pode ocorrer como documentos textuais (ficha de instrução comercial, instrução técnica, plano de preços, planos de operação, etc.), gráficos (plano de fabricação, gráficos, etc.) e objetos físicos (protótipos e matrizes).

A atividade de projeto é uma relação com os artefatos (objetos) que são como mensagens trocadas entre os atores do processo de desenvolvimento. Sendo uma espécie de mensagem, os artefatos desempenham um papel de mediador entre um participante do processo e outro e entre o ator e o objeto. Uma vez que os objetos

manipulados no processo de desenvolvimento de produtos são reflexos das atividades dos atores, seja na relação entre eles, seja na relação com o objeto, a sua utilização para analisar o processo se torna evidente. Esta é a base teórica do método dos Objetos Intermediários. (CAMPOS, 2002, p.47).

Nessas duas formas de mediação, de acordo com Campos (2002), o objeto intermediário estará no centro das atividades de projeto tanto na relação entre os atores como na relação ator e objeto (Figura 5).

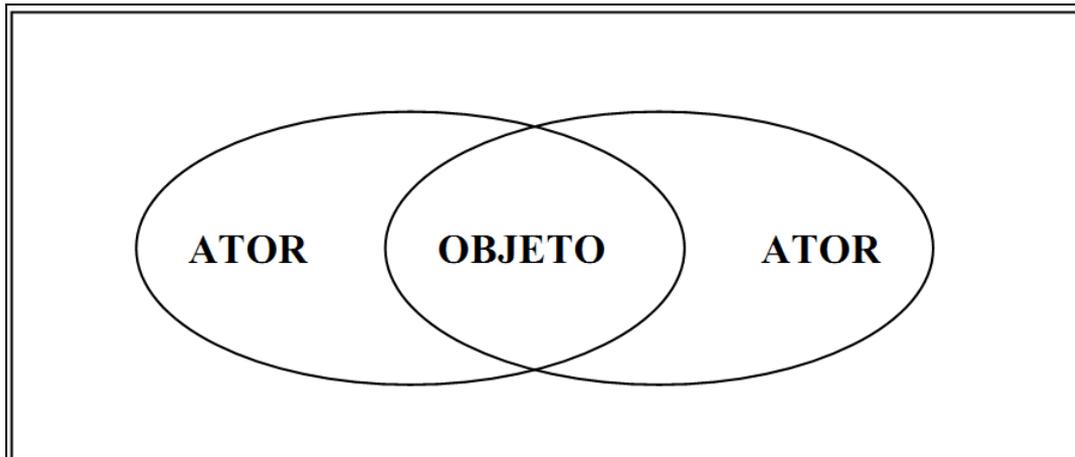


Figura 5: Esquema autor-objeto-autor

Fonte: Campos (2002)

Em suma, as formas de mediação (Figura 5) permitem apresentar o estado de tradução como uma comunicação transitória entre atores e a representação como a interpretação da ideia de um ator para o outro pelo objeto. Essa classificação nem sempre ocorre de forma bem definida, pois segundo Campos (2002 p. 48),

Os objetos intermediários possuem uma natureza híbrida: ao mesmo tempo que é a modelização do futuro produto, é vetor da cooperação ou da coordenação dos atores da concepção. Mesmo na sua forma técnica, incorporadas pelos desenhos ou modelizações, desempenham um papel de comunicação muito importante no centro do processo de concepção. Não somente como suporte de informação mas também, e sobretudo, como instrumento de coordenação entre os atores.

Desta forma, o objeto intermediário pode ser classificado também de acordo com o grau de liberdade de modificação do objeto pelos seus atores de acordo com a etapa do projeto.

2.2.1. Objeto Aberto

O objeto aberto é representado por todo objeto passível de modificação pelos seus atores no momento de interação entre eles. Segundo Vinck (1994), esses atores

possuem a liberdade de alterarem o objeto em termos de uso sem se sentirem aprisionados ao mesmo. O instrumento de trabalho utilizado para esta modificação pode ser tanto o papel e o lápis, para o desenho de esboços, como o software CAD, operado no computador, mas para isso, segundo Vinck (2013), é necessário que os atores participantes saibam operar as ferramentas e entendam seus códigos para que seja possível discutir a ideia entre si.

Embora o senso comum entenda o objeto físico na função de protótipo como algo fechado, ele pode funcionar como objeto aberto. A interação através do protótipo, segundo Vinck (1994), permite que os objetos sejam o centro de comunicação entre as pessoas, pois irão transmitir as intenções de cada uma delas. Dessa forma, os atores possuem uma flexibilidade de interpretação da mensagem transmitida pelo objeto e vice-versa.

Os objetos físicos, segundo Vinck (1994), no momento em que se apresentam como o único elemento central de assunto, podem ser considerados como objetos abertos de discussão entre os seus atores. Normalmente este caso se aplica nas etapas iniciais de projeto, quando ainda é possível retornar a alguma etapa sem perder muito tempo e dinheiro no projeto e ainda não foram moldadas as relações, comportamentos e as atitudes entre os participantes.

2.2.2. Objeto Fechado

O objeto fechado, por outro lado, segundo Vinck (1994), é representado por todo aquele que impõe um comportamento no outro indivíduo. Este por sua vez tentará entender por meio do objeto a mensagem transmitida pelo seu autor a fim de saber as ações a serem tomadas com base nas orientações transmitidas pelo objeto.

Em um extremo, os usuários do objeto (por exemplo, o técnico que está fazendo, um protótipo a partir dos desenhos técnicos recebidos) deve agir de acordo com o que o autor [projetista] pretendia. O usuário, por exemplo, descobre, compreende e age de acordo com o que o projetista pretendia. (VINCK, 1994, p.122)

Neste caso o objeto é o suporte dessa interação ao manipular as ações dos usuários com base em regras e definições pré-concebidas e de entendimento mútuo entre seus usuários e o autor do projeto. Segundo Vinck (2013), essa representação consolidada é representada por irreversibilidades, criadas pelos projetistas no decorrer do processo de desenvolvimento do produto, com base nas estratégias da empresa.

O objeto fechado pode estar sob a forma física de protótipo nas etapas finais de desenvolvimento do produto onde o grau de liberdade de alteração no projeto é bem menor devido aos altos custos envolvidos e tempo limitado. Desta forma são realizados testes de fabricação com protótipos pilotos com as características praticamente iguais ao do produto final a ser lançado no mercado.

Deste modo o protótipo pode ser um objeto aberto ou fechado, dependendo da etapa do projeto. No tópico seguinte serão apresentadas a função do protótipo como objeto intermediário e suas diversas representações no decorrer do processo de desenvolvimento do produto.

2.3. O Protótipo como Objeto Intermediário no PDP

O protótipo estabelece a função de objeto intermediário durante o processo de desenvolvimento de produto, pois sua representação física pode ser o resultado da troca de ideias e da interatividade entre vários projetistas durante o processo de desenvolvimento de produto.

O protótipo ocupa uma posição central no projeto quando o conhecimento do produto não pode ser nem formalizado nem estabilizado. A fabricação de um protótipo remete então à possibilidade de um teste. O protótipo representa a possibilidade de testar a ideia. A fabricação do protótipo é, muitas vezes, também a atividade no curso da qual surge a ideia. Os testes são momentos fundamentais no processo do projeto: qualificação e validação de soluções, produção de conhecimentos sobre os fenômenos e os produtos, avaliação do processo de fabricação. (VINCK, 2013, Cap 6 p. 168)

A intenção é permitir a busca de uma representação física e/ou visual mais próxima do produto final ou da etapa de desenvolvimento que deseja representar. A materialização desde o início do projeto permite, conforme Macedo (2011), a identificação e a resolução rápidas de problemas encontrados em um projeto de desenvolvimento de produto são importantes, pois diminuem os custos e aumentam as chances de implementação das soluções encontradas, uma vez que esse processo é menos oneroso nessa fase.

Segundo Volpato (2007), um protótipo deve ser um elemento tangível criado como aproximação do produto final. No entanto, Santos (1999, p. 34) define protótipo como “qualquer modelo físico ou não [virtual] de uma peça, componente, mecanismo ou produto que se realiza antes da sua industrialização.” Este servirá para testes de

desempenho e redesenho até apresentar um desempenho satisfatório de acordo aos requisitos impostos.

Sejam representações físicas ou analíticas [virtuais] de uma parte ou de um produto inteiro, protótipos existem para que perguntas a respeito do projeto sejam respondidas testando conceitos, funcionamento, usabilidade, estética, demarcando a conclusão de alguma fase do projeto, além de servirem como facilitadores na comunicação entre os diferentes atores do PDP. (ALVES, Anael da Silva, 2014, p.23)

Além disso, os protótipos são uma excelente forma de apresentação de um novo produto aos potenciais clientes e à equipe de projeto. Segundo Alves (2014) é preciso uma equipe de projeto composta por pessoas de áreas de conhecimentos diversos envolvidas diretamente com o PDP para a conclusão de suas inúmeras etapas.

O protótipo de um produto torna-se parte essencial no processo de desenvolvimento quando permite que a análise de sua forma e funcionalidade seja feita nas fases anteriores à fabricação do ferramental definitivo para a sua produção. No decorrer das etapas de desenvolvimento de produto os protótipos, de acordo com Deon *et al.* (2004) podem assumir várias funções, como:

- a) **Protótipos estéticos ou projetuais** – Permitem uma avaliação estética e formal do produto e normalmente;
- b) **Protótipos geométricos** – Permitem a avaliação geométrica;
- c) **Protótipos funcionais** – Permitem a avaliação de encaixes e aspectos ergonômicos de usabilidade do produto;
- d) **Protótipos técnicos** – Permitem a avaliação dos aspectos relacionados à produção.

Na prática, as fases de desenvolvimento de produto nunca são seguidas de forma linear, sempre é possível o retorno às etapas anteriores de projeto. O mesmo se aplica aos tipos de protótipos gerados, que assumem várias funções e podem ser usados em qualquer fase do desenvolvimento (Figura 6).

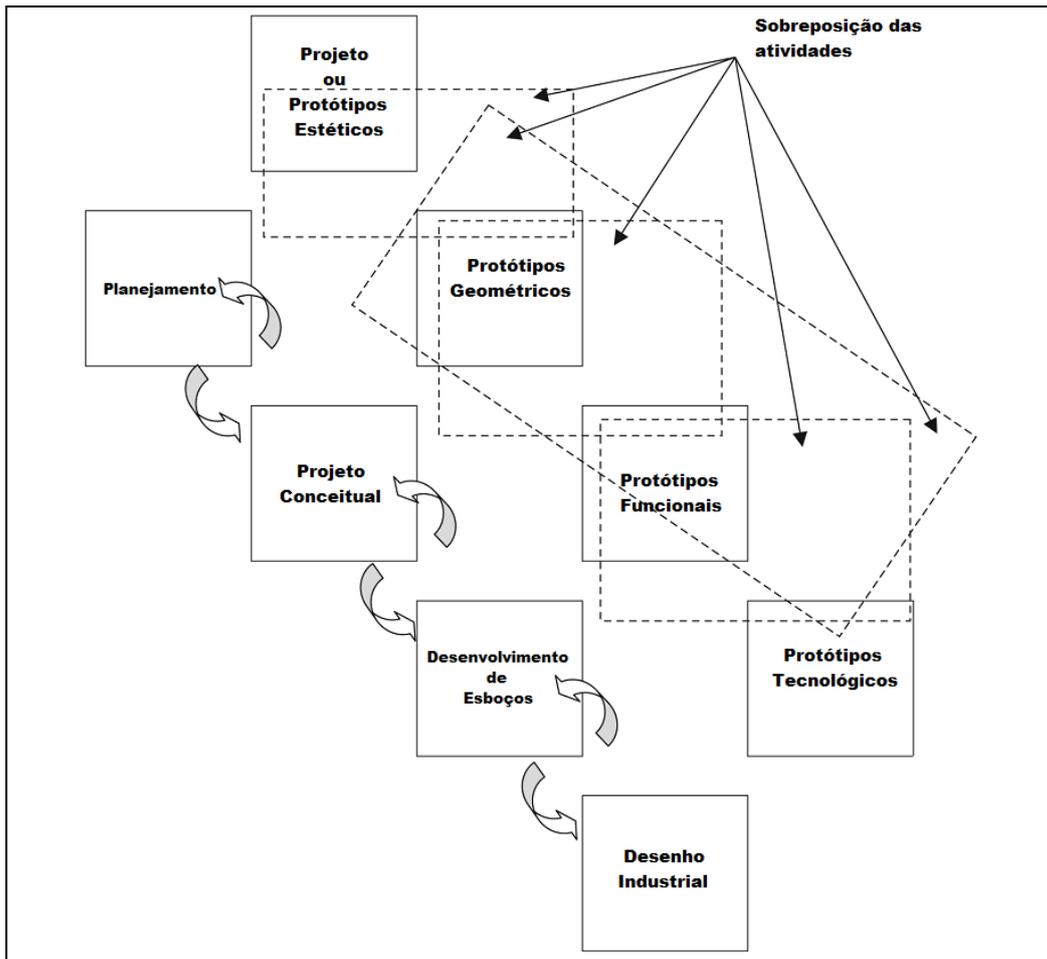


Figura 6: *Rapid Prototyping* no processo de projeto

Fonte: Traduzido de Deon J. De Beer *et al.* (2004)

Analisando o esquema da Figura 6 é possível verificar que existe uma nomenclatura para cada protótipo gerado em cada etapa do projeto, conforme sua utilização e funções distintas de avaliação de acordo com os objetivos a serem alcançados nas várias etapas do desenvolvimento do projeto.

Segundo Alves (2014), Barkan e Iansiti, (1993), Santos (1999) e Naveiro e Romeiro Filho *et al.* (2010) os protótipos podem ser classificados e assumir as seguintes funções (Tabela 2)

Tabela 1: Classificação dos protótipos de acordo com o uso

Fonte: Alves (2014) elaborado a partir de Barkan e Iansiti, (1993), Santos (1999) e Naveiro e Romeiro Filho *et al.* (2010).

Classe		Uso
Modelos preliminares	Protótipo virtual	Visualização, simulação de funcionamento, detecção de interferências entre componentes, análises CAE de partes ou do conjunto, geração de geometrias para CAM
	Maquete	Visualização em escala, avaliação geral de proporções e soluções estético-formais.
	Modelo volumétrico	Verificação de volume e formas gerais.
	Mockup	Adequação ergonômica e avaliação estética.
	Modelo de apresentação	Avaliação estética final do produto em suas medidas exatas e reação de clientes, de potenciais usuários ou da mídia.
Protótipos funcionais de subsistemas	Protótipo alfa	Seleção/ confirmação de processos, avaliação de funcionamento, de exequibilidade de componentes ou subsistemas, e de robustez ambiental.
Protótipos de sistemas completos	Protótipo beta	Avaliação de qualidade e confiabilidade, e identificação de eventuais problemas remanescentes.

Por outro lado, segundo Volpato (2007), os protótipos podem assumir as seguintes formas de representação do produto, de acordo com a etapa inicial ou final do desenvolvimento do produto.

2.3.1. Representações iniciais

Os protótipos nas fases iniciais do projeto do produto podem assumir a função de ajudar o estudo dos aspectos formais, ergonômicos, etc. A nomenclatura pode variar de empresa para empresa, ou para cada setor da indústria, de acordo com Volpato (2007), entre as seguintes possibilidades;

a) **Maquete** – Determina o modelo preliminar da cristalização material do primeiro esboço da ideia em escala reduzida e pode ser utilizada para fins

experimentais (simulações reduzidas), analógicos (analogias de fenômenos) e didáticas (para ensino de arquitetura e engenharia).

b) **Modelo Volumétrico** – Define o primeiro estudo de ocupação no espaço de um objeto em seu tamanho real, afim de avaliar sua interferência volumétrica no ambiente e delineamento de sua forma. Os materiais aplicados normalmente são poliuretano, isopor e massas sintéticas, logo não terá as propriedades físicas e químicas do produto final.

c) **Mockup** – Similar ao modelo volumétrico com relação a escala (1:1) do objeto e também com relação ao uso de material, porém deverá ser uma representação que imite o produto final pois será voltado para estudos ergonômicos mais detalhados.

d) **Modelo de apresentação** – O protótipo é gerado para apresentação em feiras e exposições, modelo fotográfico para divulgação e pesquisa de mercado com os clientes, podendo ser em tamanho real ou reduzido com acabamento e texturas mais próximas do produto final, mas sem a necessidade de ser do mesmo material final.

2.3.2. Representações finais

Nas fases mais avançadas do projeto do produto, especificamente durante o seu detalhamento, é extremamente importante uma representação mais próxima possível do produto final. No entanto, segundo Volpato (2007), esta representação dependerá do foco da avaliação da equipe de projeto. Desta forma, segundo Volpato (2007), o protótipo pode ser caracterizado como:

a) **Protótipo físico ou visual** – Consiste na representação de uma prova de conceito para testar rapidamente uma ideia e realizar experimentos de montagem com relação à forma e ao encaixe de um produto, mas sem a obrigação de aplicar o material final;

b) **Protótipo analítico ou virtual** – Representação computacional por meio de software CAD, CAE e CAM que simula a forma, as propriedades físicas e a manufatura;

c) **Protótipo parcial ou focalizado** – É a representação parcial com alguns componentes similares ao material final a fim de testar seus aspectos funcionais;

d) **Protótipo completo ou funcional** – Implementa todos os atributos de um componente ou de um produto como um todo em escala real e completamente operacional próximo do resultado final para ser confeccionado e encaminhado para a produção em série. Permite também a confecção de peças ferramentais como moldes e matrizes.

Determinada a função do protótipo em relação aos requisitos a serem alcançados em uma determinada etapa do PDP será necessário escolher o método de construção mais apropriado e apresentado adiante.

2.4. Prototipagem Rápida, Impressão 3D, Manufatura Aditiva

Os métodos tradicionais de concepção de protótipos conhecidos de acordo com Alves (2014) como manuais: escultura e a modelagem artesanal e os semi-manuais com uso de máquinas-ferramentas tais como: torno e fresadora que evoluíram para o método semiautomático pelo processo de remoção ou subtração de material por meio de máquinas automatizadas. Segundo Alves (2014), a automatização se dá por comando numérico computadorizado (CNC), cuja operação ocorre através de um operador/programador. Este receberá um arquivo de projeto auxiliado por computador – CAD, e transmitirá as informações de usinagem por meio de um software CAM – fabricação auxiliada por computador que transmitirá os dados com as coordenadas de usinagem para a máquina.

Por outro lado existe um processo de adição de material, inicialmente chamado de acordo com Beaman (2001) como Fabricação de Sólidos de Forma Livre – (SFF) que foi desenvolvido na década de 80 visando a encurtar o tempo de execução e montagem de maquetes topográficas. Atualmente denominada, segundo Volpato (2007) e Alves (2014), como Impressão 3D, Prototipagem Rápida – *Rapid Prototyping* (RP) ou Manufatura Aditiva – *Additive Manufacturing* (AM), se refere a todo processo de fabricação por adição de material em camadas. (Figura 7)

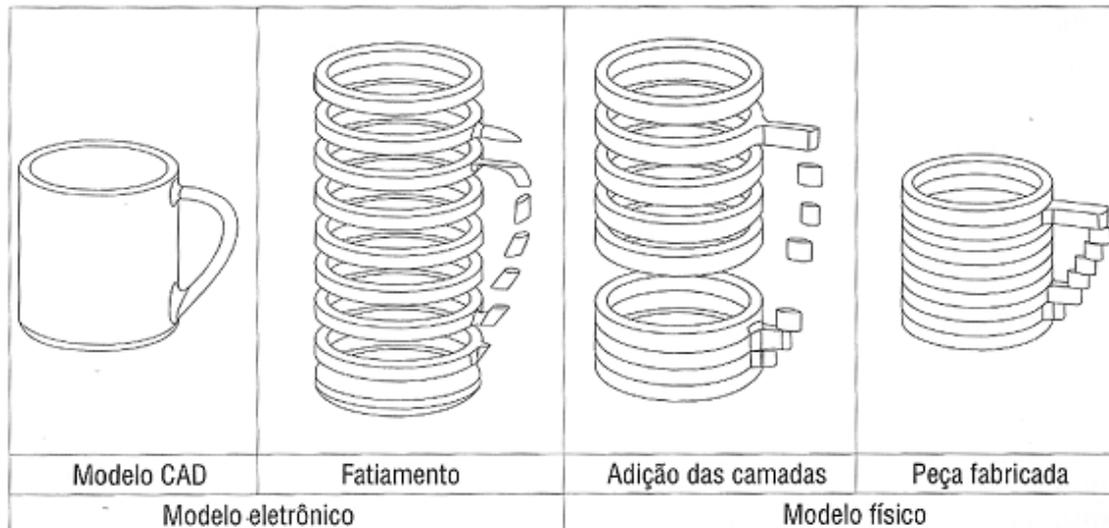


Figura 7: Conceito básico do processo de manufatura aditiva.

Fonte: Volpato (2007).

A construção desses objetos em forma de protótipos se dá através de um processo de impressão 3D que de acordo com Volpato (2007) e Gibson e Rosen *et al.* (2010) começa com uma modelagem CAD 3D na qual se dará forma e volume virtuais a um objeto. Este será convertido para o formato STL² – que permite a leitura do arquivo em camadas -, para então ser transferido para um software CAM da impressora 3D que será preparada e configurada antes do início da impressão. Por último o protótipo é retirado e passará por um pós-processamento de preparação para a realização do teste. (Figura 8).

² STL (Standard Tessellation Language) é o formato padrão de arquivos de geometria tridimensional nos sistemas de impressão 3D. O formato representa as superfícies através de triângulos cujos vértices são formados por coordenadas cartesianas (x, y, z) e cuja face recebe um vetor normal que indica o lado para o qual a parte externa do modelo está voltada (VOLPATO, 2007).

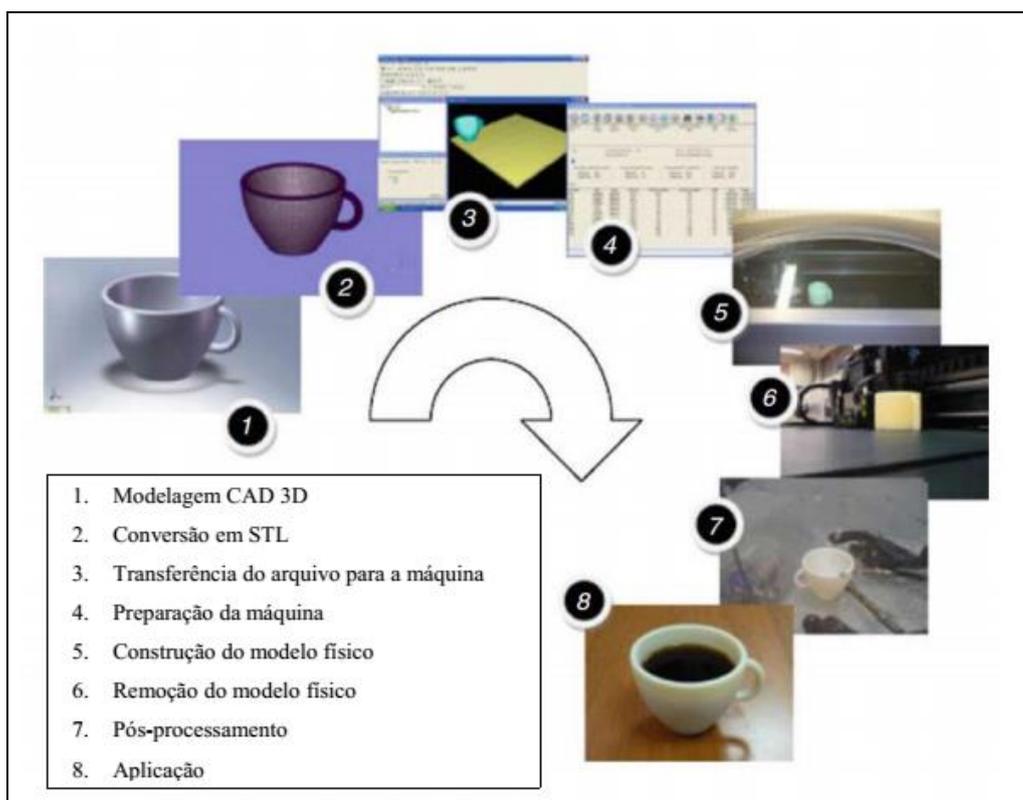


Figura 8: Etapa completa do processo de impressão 3D

Fonte: Alves (2014) adaptado de Gibson, Rosen *et al.* (2010)

A evolução das tecnologias de manufatura aditiva, ao longo dos anos, permitiu encurtar o tempo de execução das etapas de impressão (Figura 8) assim como a diminuir os custos de desenvolvimento de produtos das indústrias e empresas. Estas vantagens permitem a rápida transformação de projetos de produtos dos arquivos virtuais, conceituados e/ou capturados através das ferramentas CAD e *Scanners* 3D, para os protótipos físicos. Atualmente, segundo Volpato (2007), as variações das tecnologias de adição de material se apresentam de acordo com o estado físico inicial da matéria-prima utilizada na fabricação dos protótipos:

a) Protótipos baseados em líquidos

O material usado para a conformação do protótipo, é uma resina em estado líquido que será polimerizada. A sensibilização da resina pode ocorrer através de laser UV (Ultra-Violeta), como a Estereolitografia – *StereoLithography*, ou poderá ocorrer com o jateamento da resina sobre superfícies planas que posteriormente serão sensibilizadas por laser UV, como a Impressão a Jato de Tinta – *Ink Jet Printing* (Figura 9).

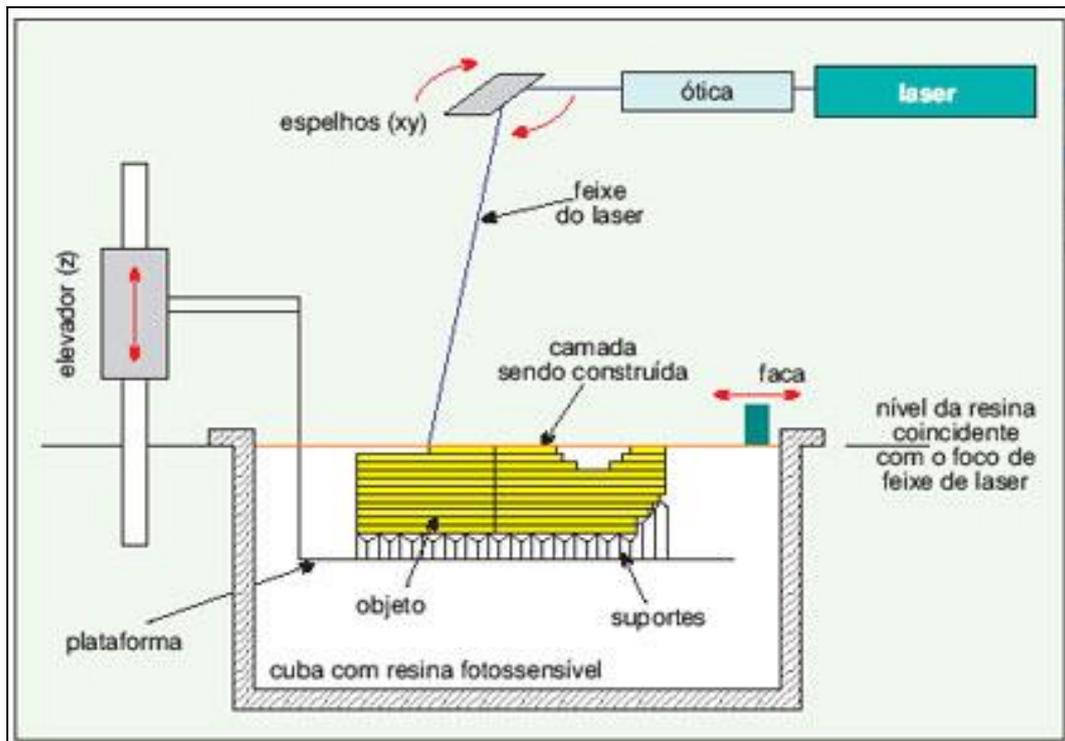


Figura 9: Esquema de funcionamento – Estereolitografia

Fonte: http://www.cimject.ufsc.br/knowledge/03_knowledge_RP_estereo.htm

b) Protótipos baseados em pó

O material usado para a conformação do protótipo encontra-se inicialmente em forma de pó ou partículas. Os processos baseados neste sistema são semelhantes aos baseados em líquidos, em que o material é sensibilizado por laser (SSL – Sinterização Seletiva por Laser – *Selective Laser Sintering*) ou por aglutinantes (3DP – Impressão Tridimensional – *3D Dimensional Printing*) (Figura 10).

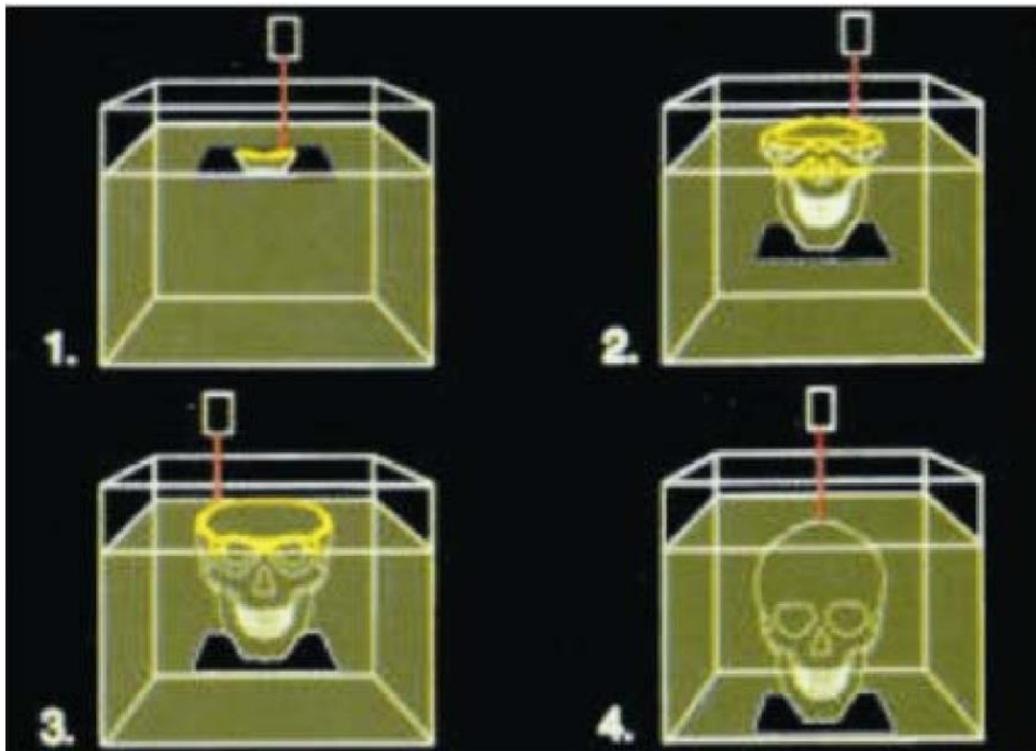


Figura 10: Esquema Sinterização Seletiva por Laser

Fonte: 3D System

As etapas de impressão de um crânio (Figura 10), na qual é possível se observar um cabeçote de movimentos horizontais em eixos X e Y, que projetará um feixe de laser aglutinador em uma área de impressão que é preenchida por sucessivas camadas de pó, a cada término de passagem do laser, por um pistão na base de impressão de movimento vertical eixo Z de cima para baixo.

c) Protótipos baseados em sólidos

O material usado para a conformação do protótipo encontra-se em estado sólido, podendo se apresentar em forma de filamento, grãos e filmes. Alguns processos vão trabalhar com o material através da fusão (por exemplo, FDM – Modelagem por Fusão e Deposição – *Fused Deposition Modeling*) e outros através do corte de lâminas sobrepostas (LOM – Manufatura Laminar de Objetos – *Laminated Object Manufacturing*)³. (Figura 11)

³ Segundo Alves (2014) esse tipo de tecnologia está em desuso no mercado.

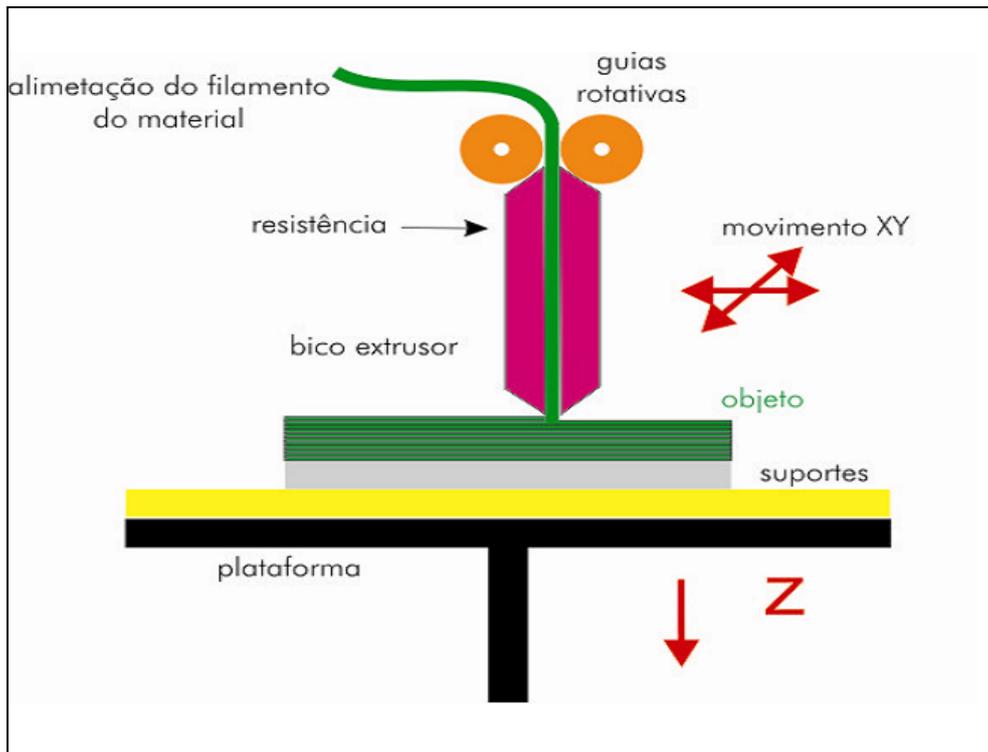


Figura 11: Esquema de funcionamento FDM – Fusão e deposição de material
 Fonte: Stratasys

O equipamento de Impressão 3D, atualmente presente no laboratório PRO-PME e foco desta pesquisa, é uma Dimension Elite, cujo processo consiste na deposição de dois materiais fundidos – no caso ABSplus para o material do modelo e SST (Soluble Support Technology) para o material do suporte – em uma bandeja de plástico própria para receber ambos os materiais em temperaturas elevadas. (Figura 11)

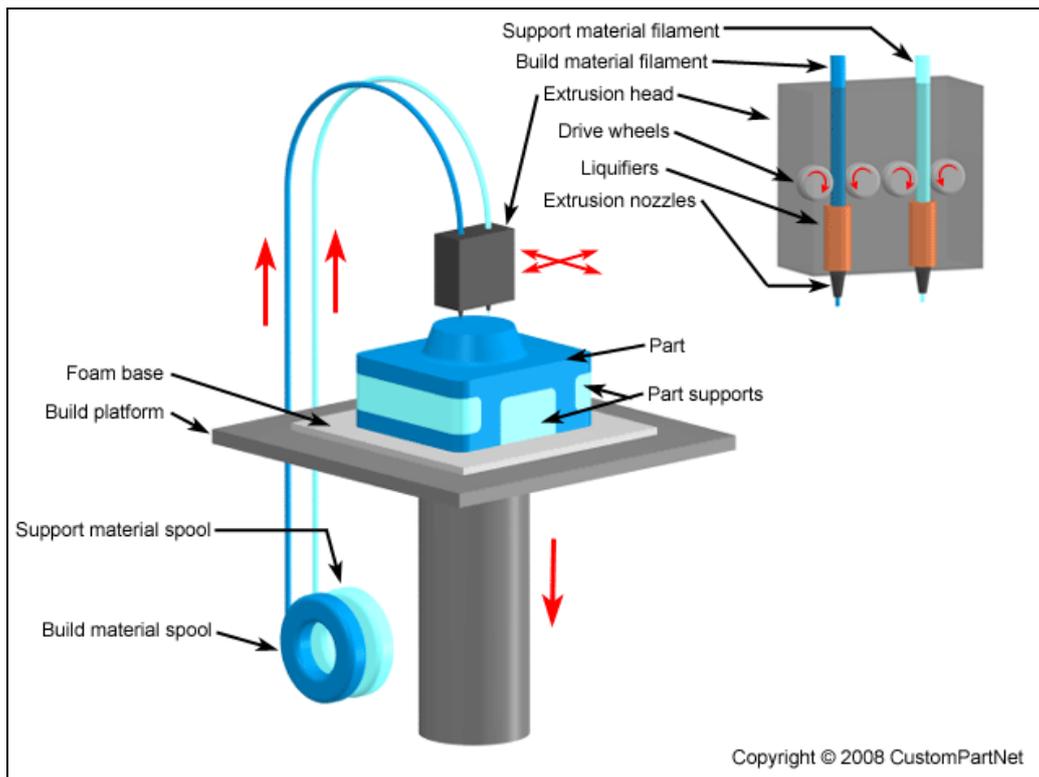


Figura 12: Processo FDM

Fonte: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-de> 1

Os materiais são armazenados em forma de filamento enrolado em um carretel no interior do cartucho que, ao contato com a máquina de Impressão 3D, é puxado por roldanas no interior do cabeçote. Este cabeçote irá aquecer o material a uma determinada temperatura, para ser extrudado por dois orifícios, um para cada material, que diminuirão a espessura do filamento de acordo com as configurações pré-ajustadas no software de impressão 3D. (Figura 12)

As máquinas de manufatura aditiva cada vez mais acessíveis e presentes no mercado permitem a impressão em vários tipos de material em diferentes estados físicos, líquido, pó ou sólido. Segundo Selhorst *et al.* (2007), estes equipamentos têm a possibilidade de construção de geometrias complexas, sem a necessidade da utilização de qualquer tipo de ferramenta de construção do tipo moldes, ou seja, constrói-se os objetos de forma livre.

Essas tecnologias vêm sendo utilizadas para fins educacionais nos laboratórios das universidades e para isso é necessário apresentar as perspectivas educacionais de ensino de projeto de produto. Em seguida as vantagens de uso da impressão 3D no ensino de projeto do produto, conforme apresentados adiante.

2.5. O ensino de PDP

Sobre os objetivos do ensino de PDP, Menegon e Andrade (1998, p.4) afirmam que o ensino deste na engenharia de produção deve buscar:

- a) integração de estruturas funcionais verticais a processos horizontais e tendo como características a integração de clientes, produtos e fluxo de trabalho; explicitação do trabalho transpondo fronteiras funcionais; e relacionamentos entre cliente e fornecedor, por meio dos quais são gerados produtos/serviços;
- b) [preparação do aluno] para compreender a natureza das atividades que possa a vir gerenciar;
- c) o trabalho em grupo, trabalho cooperativo ou problemas não estruturados, [que] constituem o dia a dia de uma equipe de projeto;
- d) atividades de Pesquisa & Desenvolvimento e Projeto do Produto, aspectos intangíveis, com comportamentos imprevisíveis, que reforçam a importância da cultura de desenvolvimento de produtos. São fundamentais para afirmação desta cultura nas empresas, atividades pragmáticas de laboratório que resultem em saber fazer.

Segundo, Borges (2006, p.1644), “existem diversos aspectos que devem ser trabalhados no sentido de melhorar o processo de ensino/aprendizagem na disciplina.” Muitos destes aspectos são relacionados à falta de uma melhor infraestrutura de laboratórios no curso. Entretanto, o lado positivo da questão é enfatizado quando os estudantes trazem estas dificuldades para dentro do processo de projeto e buscam soluções com o uso dos recursos disponíveis, cujos resultados são significativos na construção do conhecimento por parte dos alunos e, além disso, podem atuar como meio de disseminação de novas abordagens para os processos de ensino/aprendizagem em engenharia.

Borges (1998) analisando diversas metodologias de PDP voltadas para indústrias e empresas, tais como as apresentadas anteriormente nesta dissertação, propõe a seguinte síntese metodológica, a ser aplicada para o ensino/aprendizagem do PDP conforme o seguinte esquema (Tabela 1).

Tabela 2: Síntese do projeto do produto

Fonte: Adaptado de Borges (1998)

Fase	Etapa	Atividade	Descrição
Concepção	Projeto Informacional	Especificação do Problema	Verificação das necessidades de usuários. Exame das possibilidades de realização.
		Estruturação do Problema	Decomposição do problema global em subproblemas.
Desenvolvimento	Projeto Conceitual / Projeto Preliminar	Geração de alternativas	Proposição de soluções globais para o problema proposto inicialmente. Proposição de soluções para os subproblemas identificados anteriormente.
		Seleção de alternativa	Uso de metodologias para escolha da alternativa de solução mais adequada para os problemas identificados.
Detalhamento	Projeto Detalhado	Detalhamento do projeto	Elaboração da documentação final, detalhamento dos componentes, planejamento da produção, entre outros aspectos.

a) **Concepção – Pesquisa de mercado e especificações** – neste ponto, Borges (1998), tendo como referência Baxter (1998), recomenda que os alunos realizem uma pesquisa de mercado antes de desenvolver o produto por meio de instrumentos de pesquisas diretas e indiretas a fim de obter respostas sobre as preferências e preconceitos do cliente em relação a algum produto da concorrência.

b) **Desenvolvimento – Geração de ideias e seleção da ideia** – ainda citando Baxter (1998), Borges (1998) recomenda nesta etapa os alunos gerem as ideias em separado para não sofrerem influências nas suas criações, além de terem como objetivo a geração de múltiplos conceitos (o conhecido “*brainstorming*”). De acordo com o mesmo autor, os conceitos gerados devem ser comparados um ao outro em esquema de uma matriz de acordo com os critérios de avaliação. Esses critérios irão filtrar a melhor solução, de acordo com o pensamento da equipe de projeto, que tomará a decisão de escolher pelo conceito mais forte, mas, enquanto houver mais de uma opção, o processo deverá ser repetido até sobrar somente um conceito.

Depois de ter gerado estas ideias para atender os objetivos dessas fases, o próximo passo é manifestá-las. É preciso expressar as ideias graficamente, esquematicamente e através de modelagem, utilizando o que se define como Objetos Intermediários: Esboço de modelagem 3D, Diagramas (*diagrams*), Diagrama de

circuito (*circuit diagram*), Diagrama de blocos (*block diagram*), Descrição palavra (*word description*), etc.

c) **Detalhamento – Forma e representação** – O produto cria forma e representação nesta etapa por meio de ferramentas CAD⁴ que permitirão o detalhamento de todos os componentes, dimensionamento, simulação virtual, elaboração de desenhos técnicos. Nesta etapa todas as especificações e requisitos do projeto já foram definidos nas etapas anteriores.

A demanda para solução adequada de problemas e as implicações dos produtos e serviços neste mundo de intenso comércio está aumentando. Projetistas têm grande responsabilidade neste cenário. Compreender o que é para ser feito é sensato. Descobrir o que é realmente necessário é imprescindível. (ANDRADE, 1991, p.4)

Segundo Borges (2006, p.1637), os tópicos trabalhados na disciplina são focados, principalmente, nos conceitos básicos de metodologias de projeto, trabalho em equipe e Impressão 3D de produtos, entre outros. Suas principais etapas, mencionadas por Borges (2006) e Ulrich e Eppinger (2008), podem ser mescladas para relacionarem a parte teórica da sala de aula com a parte prática no uso dos laboratórios universitários. Neste caso, se aplica a utilização de equipamentos de impressão 3D para confecção de protótipos físicos que nem sempre são possíveis de serem feitos, devido à pouca estrutura apresentada em alguns laboratórios universitários.

Barbalho *et al.* (2006), abrindo a exploração de outra possibilidade metodológica para o ensino de PDP, apresentam uma técnica chamada cenários de integração (CI).

Segundo os autores a base da proposta dos cenários de integração (CI) é uma estrutura de conceitos e elementos que suportam o planejamento e a execução dos cursos de PDP, fazendo um processo reverso que parte do produto já desenvolvido para propor aos alunos a elaboração de uma estória fictícia sobre o contexto institucional e instrumentos que deram origem a este, permitindo aos estudantes definir diversos elementos do desenvolvimento de produto a partir de hipóteses. Citando literalmente nos tópicos a seguir os próprios autores Barbalho *et al.* (2006 p. 2), isto inclui:

⁴ CAD(*Computer Aided Design*) ou Projeto Assistido por Computador: São programas de computador que possuem um conjunto de ferramentas para execução, desenvolvimento e análise de desenhos virtuais, bi-dimensionais e/ou tri-dimensionais, de projetos de produtos. Normalmente são manipulados por *designers*, engenheiros, arquitetos e profissões correlatas ao projeto.

a) Modelo de referência: representação da sequência de atividades ou fases do PDP;

b) Produto exemplo: é um produto real que será empregado como exemplo para o qual são desenvolvidos vários artefatos relacionados a este que poderiam ser encontrados em uma empresa real, tais como desenhos, esquemas, módulos etc.;

c) Empresa modelo: caracterização de recursos necessários à descrição das interações realizadas por uma empresa fictícia no desenvolvimento de um novo produto. Um desses recursos é a descrição da estrutura organizacional, com funções ocupadas por personagens fictícios;

d) Estória: relato fictício do desenvolvimento do produto exemplo, que, nas aplicações de ensino, são acompanhadas pelos alunos. É representada em dois formatos: painel e script. O Script descreve a estória de desenvolvimento do produto por meio de um conjunto de cenas, tal qual uma peça teatral. Em cada cena os personagens interagem realizando ações de desenvolvimento e resolvendo problemas. Já o painel é um grande cartaz contendo quadros, similares ao de uma revista em quadrinhos, que serve de apoio aos instrutores durante a narração da estória.

e) Base de conhecimento: consiste na sistematização dos conhecimentos sobre ferramentas, técnicas e melhores práticas para a gestão do desenvolvimento de produto.

Ressalta-se que a proposta acima, visa trazer o ambiente profissional para o ambiente acadêmico. Segundo Barbalho *et al.* (2006) nesta técnica pedagógica os indivíduos participantes do projeto passam a interagir e a vivenciar situações reais de uma empresa de manufatura. Esta perspectiva de integração entre o ensino de PDP e desafios reais de projeto é também possível na síntese metodológica proposta por Borges (1998) e em outras abordagens. Acentua-se que, no estudo de caso descrito na presente dissertação, esta integração ocorreu como tema de projeto proposto aos alunos e apresentado por um diretor de uma empresa orientada à produção de produtos em termoplástico.

Importante ressaltar que o Ensino do Processo de Desenvolvimento de Produto é apresentada, segundo Menegon e Andrade (1998) em acordo com Pugh (1991), como

uma atividade não exata e em constante evolução, pois não possui sentido ser igual a matemática e a física como ciências exatas. Dessa forma há vários caminhos possíveis para se alcançar um mesmo resultado, logo não é um processo linear com ordem definida.

Borges, (2006, p.1637) relata que “suas experiências [com os alunos] têm sido aplicadas há dois anos e estão sendo revistas e reestruturadas a cada semestre, com o intuito de aprimoramento do processo de ensino/aprendizagem.” Ele relata de uma transformação constante de sua disciplina.

No processo de ensino/aprendizagem em PDP segundo Menegon e Andrade (1998, p.6), os projetos não são feitos a partir de regras e fases rígidas, mas deve-se atentar para:

O aprendizado de projeto do produto deve passar pela prática com o processo do estudo da necessidade até a materialização do produto.

Utilização de um modelo formal de processo de projeto como arcabouço de relacionamentos a ser seguido [que] objetiva [à] orientar as atividades, compor grupos, dividir tarefas, enfim, fornece a estrutura para o projeto.

Introdução de métodos e técnicas diversas, sem se amarrar a metodologias específicas. O escopo de cada projeto pode orientar na escolha do repertório metodológico adequado.

Buscar a aproximação das equipes aprendizes em projeto à atividade de projetistas. Esta aproximação envolve tanto a execução das atividades de projeto, como a busca de relacionamentos com projetistas que podem ajudar nas tomadas de decisões e possibilita compreender como eles fazem as coisas.

Nas disciplinas de projeto do produto, de acordo com Borges (2006, p.1637), é fundamental que os estudantes construam a habilidade de projetar artefatos e processos técnicos a partir de uma abordagem que articule, além dos aspectos sociais e de gestão, também os conteúdos técnicos de engenharia a partir dos conceitos básicos das disciplinas correlatas que devem ser integrados. Cita como exemplo a aplicação de conceitos relacionados à eletrônica, mecânica, estruturas e engenharia dos materiais. Ainda segundo Borges (2006, p.1637), assim como Ulrich e Eppinger (2008), as principais etapas no processo de desenvolvimento de produto no ensino superior de Engenharia são:

- a) a identificação das necessidades do usuário;
- b) o estabelecimento do escopo do projeto;

- c) a listagem das especificações básicas a partir das necessidades identificadas;
- d) decomposição do problema e geração de conceitos para cada subproblema;
- e) seleção de um conceito a ser desenvolvido;
- f) refinamento das especificações e detalhamento do produto.

Segundo Romeiro filho *et al.* (2011) e Volpato (2007) estas metodologias não devem ser entendidas como formas rígidas de se nortear o processo de projeto, mas como uma maneira didática de orientação para os estudantes ou iniciantes em design. Até que eles consigam desenvolver um método próprio de concepção orientado, muitas vezes mesclando diversos pontos das várias metodologias criadas pelos mestres.

2.5.1. A impressão 3D no ensino de PDP

Diegelo *et al.* (2005) tratam da utilização de tecnologias em Impressão 3D em cursos de graduação nas disciplinas de projeto do produto como uma oportunidade importante para a aplicação de conhecimentos adquiridos em outras disciplinas. Citam como exemplo o desenvolvimento de um mini refrigerador de bolso para diabéticos. Os alunos tiveram a oportunidade de comprar alguns componentes relacionados à parte mecânica e eletrônica do produto. Eles, ao realizarem testes de funcionamento, montagem e usabilidade, se depararam com problemas técnicos e ergonômicos que deram origem a dois ciclos de desenvolvimento de protótipo. O resultado foi um produto simples e com tecnologia menos complexa em um curto período de três meses, tempo suficiente para o desenvolvimento para produção e comercialização por uma empresa.

A integração da universidade com a empresa, segundo Menegon e Andrade (1998), é fomentada por este novo contexto apresentado por Diegelo *et al.* (2005) de acordo com as novas condições de concorrência entre as empresas de lançarem seus produtos em menor tempo e custo possíveis. Isso indica novos caminhos a serem seguidos na abordagem do tema de projeto no ensino de engenharia de produção. O resultado é a necessidade de reformulação em termos tecnológicos, com a implementação das ferramentas de impressão 3D, tanto nas empresas como nas universidades.

Nas décadas de 80 e 90 segundo Bull *et al.* (2010), as impressoras 3D ocupavam grande espaço e tinham alto valor de compra, sendo somente acessíveis para as indústrias e empresas. Este cenário vem mudando após a quebra de patente do processo de impressão 3D por manufatura aditiva (FDM), registrada de acordo com CASTLE ISLAND (2013) em 1992 por Scott Crump. Neste sentido, Alves (2014) apresenta a liberdade “*open source*”⁶ de construir sua própria impressora 3D “em casa” por meio do financiamento de *crowdfunding*⁷.

As tecnologias de impressão 3D têm se mostrado dinâmicas ao possibilitarem o surgimento de novas formas de abordagem aproveitando o barateamento dos equipamentos domésticos por um lado e a crescente cultura das redes e do compartilhamento por outro.(ALVES, 2014, p. 31)

As impressoras 3D de manufatura aditiva tornaram-se acessíveis e de baixo custo tanto para as pessoas como para as universidades. A introdução desta tecnologia no ensino das universidades, de acordo com Flowers e Moniz (2002, p.11), permitem uma oportunidade “única aos estudantes de universidades de trazerem suas ideias para a realidade.” Segundo Flowers e Moniz (2002, p.11), “essas tecnologias estão revolucionando a forma de ensinamento de projeto de produto nas universidades e tem um potencial único de capacitar estudantes do ensino superior”.

Tradicionalmente, segundo Flowers e Moniz (2002), é importante que os alunos saibam executar os princípios básicos de criação dos conceitos do produto nos desenhos em papel e como fazer seus modelos em madeira, papelão, plástico e outros materiais. A noção do manuseio permite um melhor esclarecimento das ideias até chegarem na etapa de impressão 3D mais consolidadas.

Nos estudos de caso divulgados pela Stratasys (2014), uma fabricante de impressoras, a impressão 3D permite deixar a equipe mais focada com os aspectos de engenharia, design e científicos do processo, aumenta a complexidade do design do produto e causador de espanto.

Tempo. O cronograma para conclusão é apertado e a capacidade de produzir rapidamente os diversos modelos em escalas diferentes com

⁶ Termo utilizado para quando um objeto se torna público e passível de alterações sem proteção de patentes ou qualquer direito autoral

⁷ Mecanismo de financiamento coletivo de projetos apresentados online, onde uma pessoa posta um projeto a ser executado e estipula uma meta de dinheiro a ser arrecadado por um período de tempo.

o sistema de produção 3D Fortus liberou a equipe para se concentrar em aspectos de engenharia, design e científicos do processo.

Complexidade do design. O design da carga deste ano é uma atualização contemporânea da cápsula espacial Gemini desenvolvida para servir como um possível veículo de tripulação privado. A equipe está executando testes aerodinâmicos de características de voo de algumas alterações e adições ao design original. O modelo deve apresentar uma precisão que não é possível com métodos de fabricação de modelos de foguetes tradicionais, como a moldagem por injeção. Além disso, a equipe está desenvolvendo aletas em ABS criadas pelo Fortus com inserções metálicas para sustentar uma carga muito maior do que a maioria dos foguetes.

Fator de espanto. Em um lançamento secundário recente, vários participantes e espectadores ficaram impressionados com os modelos dos alunos, chamando seus trabalhos de revolucionários em relação a maneira como foram realizados. (Stratasys, 2014, p. 1)

Os modelos tridimensionais, na sua representação física, permitem um aumento da aprendizagem dos estudantes e dão suporte à tomada de decisões com maior fundamento. Os problemas não percebidos na modelagem virtual tornam-se mais evidentes e reais quando são materializados pelas impressoras 3D. Isso permite influenciar no andamento do projeto do produto e no aumento da realização de testes com o protótipo ou modelo, simulando as condições reais.

Na área de Engenharia de Produção, por exemplo, a impressão tridimensional se faz muito importante, pois, ao trazer à realidade o desenho desenvolvido, proporciona uma melhor visão e suas aplicações finais. (Robtec, 2014, p.1)

Segundo Barkan e Lansiti (1993), quanto maior o número de prototipagens durante o processo de desenvolvimento do produto, menor será o número de erros ao final e, por consequência, mais imediato será o aprendizado. Por outro lado, se tivesse uma limitação de impressões 3D, o estudo seria demorado e o projeto não evoluiria tão rápido.

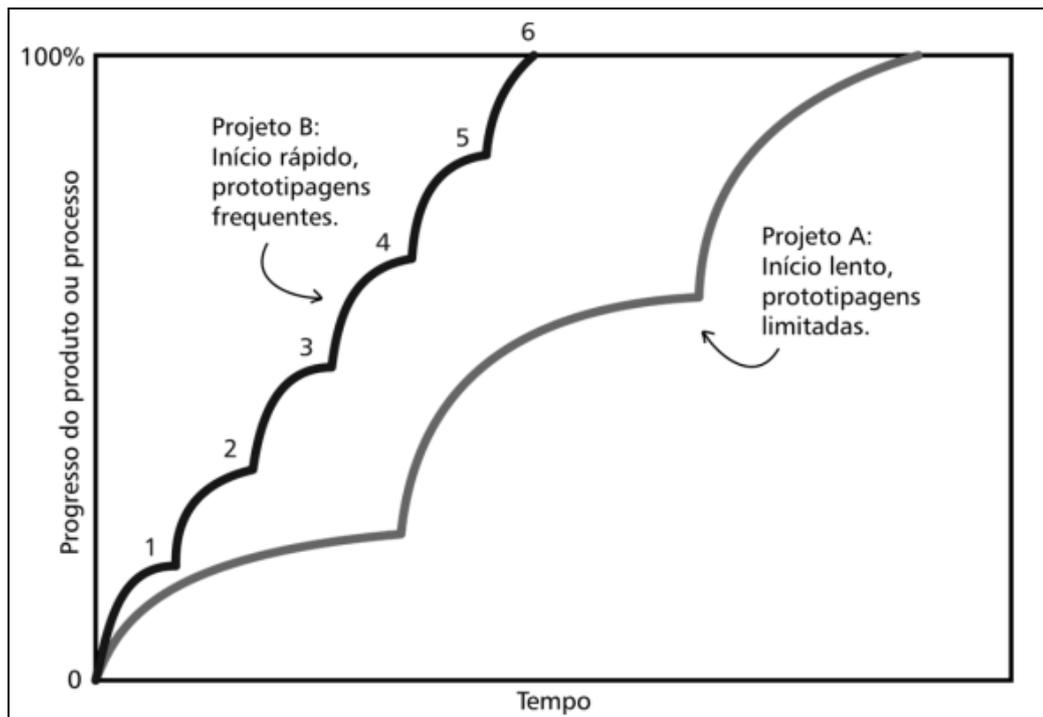


Gráfico 1: Aceleração do aprendizado com uso da impressão 3D

Fonte: Alves (2014) adaptado de Barkan e Lansiti (1993)

A execução de testes desde o início do projeto por meio da simulação segundo Andrade (1988), assim como representado no Gráfico 1, possibilitam reduzir as incertezas do desenvolvimento, aumentar a integração da execução das atividades de projeto posteriores e por último aumentar o aprendizado do PDP de forma mais dinâmica.

O processo de desenvolvimento de um produto, a atividade de projeto basicamente consiste da combinação de informações em relações físicas ou abstratas de forma a suprir necessidades de maneira eficiente. (ANDRADE, 1988. P.6).

O uso da impressora 3D e suas aplicações, dentro e fora do meio acadêmico, aumenta a interação entre os estudantes que saem mais qualificados para atender a demanda das empresas por profissionais mais envolvidos com as tecnologias da atualidade.

2.5.2 A experiência educacional dos Fab Labs

Segundo o idealizador Gershenfeld (2012), Fab Lab é a abreviação de Fabrication Laboratory ou “Laboratório de Fabricação” que são basicamente pequenas oficinas ou

espaços equipados com tecnologias de fabricação digital¹⁰ e manipuladas por *Makers*¹¹. O conceito de *Fab Lab*, de acordo com Gershenfeld (2012), foi idealizado em 2002 após a bem sucedida aula intitulada como “*How to make (almost) anything*”, Como fazer quase tudo, realizada no Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Essa disciplina foi idealizada, de acordo com Eychenne e Neves (2013), pelo professor Neil Gershenfeld e os seus colegas pesquisadores com intuito de proporcionar aos alunos a oportunidade de aprenderem como utilizar as ferramentas de produção avançadas do campus do MIT.

O objetivo é permitir aos alunos o domínio de diversas máquinas de controle de comando numérico no laboratório do “*Center for Bits and Atoms*” (CBA) e incentivá-los a serem autores de todas as suas criações desde a conceituação e inclusive de sua fabricação.

Essa prática é um método pedagógico utilizado que, segundo Eychenne e Neves (2013), chama-se “*Do It Yourself*” (DIY) ou Faça Você Mesmo. Este procedimento, de acordo com Gershenfeld (2012), origina soluções de projetos acadêmicos com aspectos pessoais, específicos e originais.

No decorrer da disciplina, segundo Gershenfeld (2012), os alunos aprendiam as técnicas, sem interferências externas, e ensinavam uns aos outros. Com isso, os docentes eram liberados para executar outras tarefas.

Atualmente, segundo Eychenne e Neves (2013), o curso é utilizado pela rede mundial de *Fab Labs* com a intenção de compartilhar e democratizar as experiências e desafios de projeto para os outros laboratórios da rede e avaliar os diversos resultados obtidos nos mais diversos cantos do mundo.

Inspirados pelos resultados surpreendentes (projetos pessoais, auto-organização dos estudantes, capacidade dos não especialistas), a equipe do MIT criou os primeiros

¹⁰ A fabricação digital, de acordo com Gershenfeld (2012), consiste no método de fabricação com uso de máquinas que transcrevem as informações dos arquivos digitais em objetos físicos e vice-versa com uso do computador. A origem desse método de fabricação teve origem em 1950 no desenvolvimento das primeiras máquinas controladas por Comando Numérico Computadorizado (CNC), ver tópico 2.4.

¹¹ Os Makers, segundo Anderson (2012), são pessoas interessadas em criar qualquer coisa sozinhas como “faça você mesmo” ou *Do it yourself* (DIY) ou em grupos. Estes são indivíduos interessados em idealizar e fazer na prática suas vontades como consertar o carro, montar ou criar qualquer coisa, seja um produto, uma comida e etc.

Fab Labs fora da Universidade para que todos tivessem acesso a eles. A premissa básica é de que se alguns alunos conseguem chegar a várias ideias totalmente inesperadas e inovadoras, uma fatia maior da população chegará a mais ideias e resultados.

Os primeiros *Fab Labs* se apoiaram sobre as competências dos estudantes do MIT e estes são considerados os primeiros Fab Managers. Eles, inicialmente, iam até os diferentes países, passavam alguns meses ali e treinavam a equipe local para que esta pudesse continuar a função independentemente. (EYCHENNE E NEVES, 2013, p. 39)

A abertura dos *Fab Labs* para diferentes áreas acadêmicas e também para o público em geral, permitiu a sua expansão para outros países. Segundo Carrilho *et al.* (2006), no ano de 2006 um levantamento apontava para 115 *Fab Labs*, sendo 12 nos Estados Unidos, 8 na África do Sul e 4 na Índia, dentre outros espalhados pelo mundo.

Esta abertura, chave do sucesso e da popularidade dos *Fab Labs*, facilita os encontros, o acaso e o desenvolvimento de métodos inovadores para o cruzamento de competências. Estes espaços abertos a todos e acessível (tarifas baixas ou mesmo o acesso livre) favorece a redução de barreiras à inovação e à constituição de um terreno fértil à inovação. (EYCHENNE E NEVES, 2013, p. 10)

Esta expansão de acordo com Eychenne e Neves (2013) e Carrilho *et al.* (2006) permitiu a criação de sua rede mundial, atualmente composta por duas centenas de *Fab Labs*. Para isto foi necessário criar uma carta, chamada de *FabCharter*, com diretrizes para enquadrar todos da rede e também os futuros interessados. Esta carta é apresentada por Eychenne e Neves (2013) e visa manter principalmente os métodos educacionais de compartilhamento de ideias por meio da troca de experiências pela documentação dos projetos realizados. Além disso, deve permitir acesso livre às ferramentas de fabricação digital, assistência aos seus usuários, dar liberdade para a criatividade e invenção e valorizar a acessibilidade dos projetos para qualquer pessoa.

De acordo com Eychenne e Neves (2013), o modelo atual de *Fab Labs* deve seguir um kit básico (Figura 13) onde consta, no mínimo, os seguintes equipamentos: uma cortadora a laser, uma cortadora de vinil, uma fresadora grande e pequena e uma impressora 3D.



Figura 13 – Kit básico dos Fab Labs

Fonte: Associação Fab Lab Brasil

O modelo do *Fab Lab* permite o uso dos equipamentos por uma comunidade composta por usuários do meio acadêmico, empresarial e também o público em geral. Esses espaços devem seguir uma estratégia de negócio, de acordo com Eychenne e Neves (2013) e Carrilho *et al.* (2006), podem ser divididas em 3, tais como: *Fab Lab* Acadêmico, Profissional e Público.

Nesta pesquisa deu-se foco nos *Fab Labs* Acadêmicos, pois apresentam o compromisso educacional e pedagógico, de acordo com Eychenne e Neves (2013), em desenvolver a cultura de aprendizagem por meio da prática em que os estudantes fazem o projeto colocando a “mão na massa” e, assim, aplicam seus conhecimentos teóricos das salas de aula.

Educação dentro de *Fab Lab* é algo tratado com a mesma estratégia das outras áreas: horizontalmente e baseado no conceito de “hands on” (mão na massa). A explicação, em termos mais formais, é que a educação em *Fab Lab*, em qualquer um dos seus cursos e workshops é baseada em “peer-to-peer learning, ou seja, uma prática educacional onde os estudantes interagem com outros estudantes para atingir os objetivos do aprendizado. A figura do professor não existe, mas sim a de Gurus que auxiliam os alunos a atingir sua metas e a compreender esta nova forma de educação. (EYCHENNE E NEVES, 2013, p. 55)

Segundo Eychenne e Neves (2013), esse modelo é encontrado em universidades ou centros de ensino nos mais diversos países ao redor do mundo e normalmente são

financiados pelas próprias instituições ou por financiadoras. Esses laboratórios devem possuir uma equipe técnica de pessoas composta por um Diretor (professor responsável pelo espaço e projeto), um *Fab Manager* (profissional contratado ou bolsista de pós-doutorado), dois *Gurus* (instrutores competentes na área de tecnologia) e dois ou três bolsistas de graduação que devem auxiliar nas atividades do laboratório.

Os *Fab Managers* e *Gurus*, antes de começarem suas atividades em um *Fab Lab*, devem ser capacitados pelo curso chamado *Fab Academy*. Ele, de acordo com Gershenfeld (2012), é oferecido pelo CBA-MIT e lecionado pelo professor Neil Gershenfeld a longa distância por vídeo conferência para todos os laboratórios cadastrados na rede mundial de *Fab Labs*. É ministrado anualmente no primeiro semestre e tem como foco a qualificação e formação de seus alunos nos temas relacionados à impressão 3D, prototipagem rápida, eletrônica, computação, mecânica e etc. Segundo Eychenne e Neves (2013, p. 59-60), as aulas abordam os seguintes assuntos:

Princípios e Práticas – Introdução aos ideais da rede *Fab Lab*, explicação sobre o projeto final de curso, explanação sobre o uso correto e responsável do laboratório.

Gerenciamento de Projeto – Sistemas de sincronização de arquivos, sistemas version control, desenvolvimento web, sistema de gestão de conteúdos (blog-wikis), sistema de vídeo conferência, desktop remoto, programas de gestão de projetos, princípios da gestão de projetos.

Desenho Assistido por Computador – Desenho 2D, desenho 3D, softwares de áudio e vídeo, softwares de modelagem.

Corte assistido por computador – Princípios dos processos CAD (computer aided design), exemplos de processos de corte, funcionamento da cortadora de vinil, funcionamento da cortadora a laser, *Fab Modules* software.

Produção de Eletrônicos – Fabricação de placas de circuito impressa (PCB), tipos de materiais utilizados para fabricação de uma PCB, fabricantes de PCB, componentes eletrônicos, breadboards, montagem de placas, sistema CAM (computer aided manufacturing).

Máquina Controlada por Computador – Exemplos de máquinas, materiais empregados em cada modelo, fornecedores de materiais, ferramentas utilizadas pelas máquinas, detalhes técnicos de funcionamentos das máquinas, formatos de arquivo.

Desenho de Eletrônicos – Componentes eletrônicos, tipos de circuitos, desenho de circuitos.

Moldagem e Fundição – Tipos de moldes, materiais, aditivos, processos, segurança, máquinas digitais utilizadas no processo, softwares.

Programação de Dispositivos – Arquitetura de computadores, memória, periféricos, famílias de micro controladores, fornecedores, tipos de processadores, data sheets, programadores, assembly language, linguagem C, IDE (Integrated Development Environment), interpretes, debugging.

Escaneamento e impressão 3D – Processos aditivos x processos subtrativos, restrições da impressão 3D, materiais, processos, máquinas, formatos de arquivo, softwares, tipos de escaneamento.

Dispositivos de Entrada – Exemplos de processos de inputs (interruptor, luz, temperatura, step response, som, vibração, campo magnético, aceleração, orientação, movimento, carregamento, imagem)

Interface e Programação de Aplicativos – Linguagens de programação, interface de dispositivos, interfaces de uso, interfaces gráficas, web, multimídia, matemática.

Dispositivos de Saída – Segurança elétrica, componentes e processos (LED RGB, matriz de LED, LCD, vídeo, alto-falante, servo, motor DC, motor de passo, memória da forma.

Desenho Mecânico – Fabricantes de peças, princípios teóricos, peças mecânicas.

Redes e Comunicações – Interligação de sistema via bus, interconexão de sistemas abertos, física da tecnologia da informação, tipos de modulação, canais de compartilhamento de redes, possíveis erros, princípios técnicos de rede.

Compósitos – Técnicas de composição de materiais, processos inovadores, uso de diferentes materiais.

Aplicações e Implicações – Exemplos de aplicações de produtos fabricados em Fab Labs, no Center for bits and Atoms-MIT ou em outras versões do Fab Academy (eletrônicos, instrumentos musicais, brinquedos, jogos, arte, moveis, barcos, carros, veículo aéreo não tripulado, casas, energia, redes, computação, agricultura, comida, biologia, máquinas, educação, serviço social.

Invenção, Propriedade Intelectual e Rendimentos – Princípios teóricos da invenção, propriedade intelectual, copyrights, marca registrada, formas de empreender e obter rendimentos,

Projeto Final – O projeto final consiste na fabricação de um objeto ou sistema, utilizando o maior número de processos aprendidos durante o curso. É indispensável que o projeto final considere a utilização de eletrônicos e que a programação dos mesmos esteja incluída no processo.

O *Fab Academy*, como apresentado acima, permite uma formação completa no uso de todos os equipamentos e máquinas do laboratório. Ao final do curso cada aluno

receberá um diploma, certificando sua capacidade de atuar como um *Fab Manager* ou *Guru*. Esse curso além de habilitar os membros de um *Fab Lab*, também segundo Gershenfeld (2012), está aberto para os usuários do laboratório, pois todos os vídeos das aulas estão disponíveis na internet para consulta.

Segundo Eychenne e Neves (2013), as atividades educacionais podem ser realizadas por meio de *workshops* e cursos, normalmente cobradas uma quantia menor para os estudantes internos e maior para usuários externos. Geralmente as despesas são maiores que as receitas, logo o laboratório não consegue se sustentar e necessita de apoio da universidade ou de uma instituição financiadora de ensino.

No Brasil, o *Fab Lab* SP (Figura 14), localizado na Universidade de São Paulo (USP), é um exemplo de *Fab Lab* Acadêmico criado pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU USP) e participante ativo da rede mundial de *Fab Labs*.



Figura 14 – FabLab São Paulo

Fonte: <http://fablabsp.org/>

Segundo Eychenne e Neves (2013), o laboratório atualmente trabalha em uma plataforma de ensino e pesquisa direcionados aos alunos de graduação e pós-graduação de áreas como Arquitetura, *Design*, Artes, Física e Engenharia. Os projetos desta forma apresentam um caráter interdisciplinar, tanto de pequena como de grande escala, sendo então concebidos e apresentados por meio de atividades de extensão, cursos, exposição e *open days*.

No início os usuários do *Fab Lab* USP, de acordo com Eychenne e Neves (2013), eram compostos por alunos da graduação, pós graduação, realizando pesquisas práticas, e os próprios professores, para lecionarem suas disciplinas. No primeiro ano recebeu muitos estudantes com *workshops* gratuitos, por meio de projetos de extensão, e agora está abrindo aos poucos suas portas para o público em geral. A livre acessibilidade tem como contrapartida a disponibilidade e vontade colaborativa de seus usuários, tanto nas atividades internas como nos *workshops*, ao apresentarem e documentarem seus projetos realizados neste espaço.

Por outro lado, na França segundo o jornal *Le Monde* (2013), o movimento de criação do *Fab Lab* da Universidade *Cergy-Pontoise (Vald'Oise)*, chamado de *Fac Lab*, conta com a combinação de startups inovadoras, amadores e pequenas oficinas (Figura 15). Desta forma, apresenta desde o seu início um modelo de negócio híbrido, de funcionamento voltado tanto para a educação como para o empresariado local.



Figura 15 – Fac Lab

Fonte: <http://www.faclab.org/>

No Chile, segundo Zagal *et al.* (2013), foi criado um *Fab Lab* acadêmico na Universidade do Chile com base na metodologia pedagógica do CDIO (C – *Conceive*, D – *Design*, I – *Implement*, O – *Operate*). Esta é composta por 4 atividades de projeto

que buscam introduzir aos alunos em situações reais de projeto do dia a dia profissional e basicamente consiste em criar produtos factíveis de serem produzidos e introduzidos no mercado.

A iniciativa CDIO incide sobre o ensino de engenharia, incentivando o aprendizado prático de construção de produtos e sistemas. Estudantes enfrentam problemas reais de engenharia que exigem uma combinação de soluções tangíveis teóricas e práticas. A ideia é expor os alunos a situações desafiadoras que exigem tanto, o conhecimento disciplinar e aprendizagem social. (ZAGAL *et al.* 2013, p. 1)

As atividades deste laboratório atendem no máximo 50 usuários simultaneamente em um ambiente de 500m² de área. A sua organização e disponibilidade, segundo Zagal *et al.* (2013), são fundamentais para afinidade dos estudantes com as máquinas e também para as relações interpessoais. O espaço deste *Fab Lab* (Figura 16) é composto por: 1 – Sala de vídeo conferência; 2 – Estúdio de design e reunião; 3 – Sala de impressão 3D; 4 – Sala de scaneamento 3D; 5 – Sala de informática; 6 – Oficina de montagem; 7 – Laboratório de química; 8 – Laboratório de eletrônica; 9 – Oficina de máquinas CNC e 10 – Oficina de corte.



Figura 16 - Layout do *Fab Lab* da Universidade do Chile

Fonte: Zagal *et al.* (2013)

Os equipamentos e máquinas desses diferentes espaços apresentados são operados por monitores e coordenadores do laboratório, além dos próprios estudantes. O manuseio correto dessas máquinas e equipamentos por diferentes

engenharias participantes do mesmo projeto tais como eletrônica, química, mecânica e etc em simultâneo, permite uma aceleração do desenvolvimento do projeto do produto ou sistema.

Normalmente, segundo Zagal *et al.* (2013), os alunos são divididos em grupos de pelo menos 5 estudantes, de diferentes disciplinas ou não, onde ao final todos os trabalhos executados e concluídos passam por documentação. Este processo é fundamental para que os projetos sejam, de acordo com Zagal *et al.* (2013), consultados e compartilhados com os alunos dos próximos períodos e também para a comunidade acadêmica, mas muitas vezes fica aquém do esperado por seu processo longo e demorado ser inconveniente para os alunos.

Dentre os trabalhos desenvolvidos, Zagal *et al.* (2013) apresenta duas experiências educacionais de metodologia CDIO ocorridas na Universidade do Chile para o projeto do protótipo de um foguete e um satélite, ambos com auxílio das ferramentas de um *Fab Lab* por meio do uso dos equipamentos de fabricação digital. (Figura 17)

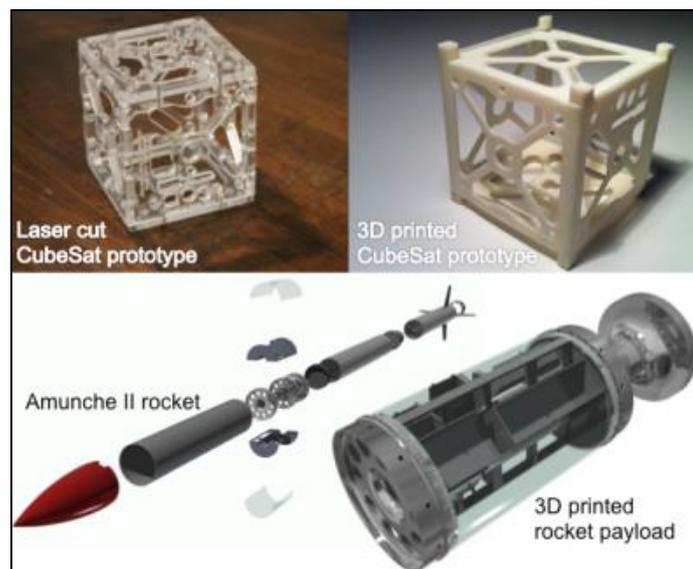


Figura 17 - Satélite CubeSat e Foguete Amunche II

Fonte: Zagal *et al.* (2013)

Segundo Zagal *et al.* (2013), o projeto educacional, chamado de Satélite da Universidade do Chile para Investigação na Indústria Aeroespacial (SUCHAI), abrange as seguintes etapas projetuais: desenvolvimento, construção, integração, lançamento e operação de um satélite nomeado 1UCubeSat. Foi possível refletir sobre como diferentes tecnologias de fabricação digital poderiam influenciar e auxiliar no início e

no final do projeto do produto. Desta maneira, as máquinas de corte à laser e as impressoras 3D foram importantes, inicialmente, para uma reflexão sobre a montagem das peças em função do processo de fabricação. Ao final do projeto foi compreendido também o importante papel das ferramentas CAD para a rápida concepção de ideias e soluções digitais do projeto com foco na otimização do volume e peso do produto.

Usando idéias e rascunhos, os alunos são capazes de gerar modelos CAD de peças mecânicas, que são fabricados usando uma cortadora à laser. Em seguida, as equipes se reúnem para montar seus projetos. Os alunos geralmente não têm tempo suficiente para construir mais de dois protótipos por curso. (ZAGAL *et al.* 2013, p. 9)

O projeto do foguete *Amunche II*, desenvolvido e construído pelos estudantes de Engenharia Mecânica, é, segundo Zagal *et al.* (2013), uma evolução do *Amunche I* que alcançou 1 km de altura. Neste projeto as ferramentas de fabricação permitiram aperfeiçoar alguns componentes internos de carga (Figura 17) assim como aprimorar os sensores de reconhecimento de altura alcançada.

As experiências educacionais dos *Fab Labs* contam com aspectos projetuais diferentes, porém os projetos geralmente desenvolvidos não têm restrição do campo de atuação. Na prática cada laboratório acaba sendo especializado na área de estudo referente ao programa de graduação e ou pós graduação de origem, a qual tenha maior interesse em alguma proposta mais específica. Porém, é necessário estimular a receber os projetos de outras áreas de estudo.

Neste caso, os *Fab Labs Acadêmicos* apresentam uma agenda, que permite a abertura em um ou mais dias da semana para o público de outras áreas acadêmicas. Nos outros dias o maquinário e a estrutura do laboratório podem estar reservados para as atividades internas. Além disso, cursos e workshops podem também ser oferecidos durante a semana.

Por fim, os serviços oferecidos pelos *Fab Labs Acadêmicos* buscam democratizar a prática de projeto do produto, em grupos de pessoas ou individualmente, por meio da conceituação e fabricação dos protótipos (objetos intermediários) com auxílio das ferramentas de impressão 3D. Desta forma, é necessário entender seus usuários, alunos e professores por meio do Design de serviço.

CAPÍTULO 3 – DESIGN DE SERVIÇO

Neste capítulo serão apresentados a definição de Design de Serviço e a ferramenta do *service blueprint*, que serviu para a conceituação/representação do serviço de impressão 3D voltado para os estudantes da disciplina Projeto do Produto do curso de Engenharia de Produção, da Escola Politécnica da UFRJ. O Design de Serviço com o uso do kit de ferramentas do HCD (*Human Centered Design*) serviu como método de observação co-participativa para avaliação e por fim criação do serviço de impressão 3D voltado para os alunos.

3.1. Definição

O Design de Serviço de acordo com Kimbell (2009) é uma das novas vertentes de atuação do profissional de Design com origem no início deste século XXI com o desenvolvimento das novas tecnologias da informação e comunicação.

O surgimento do design de serviço acompanha dois desenvolvimentos. A primeira é a maneira em que as tecnologias de mídia em rede mudaram as saídas tradicionais do Design, que agora incluem produtos eletrônicos, mas também arranjos de interfaces para dispositivos distribuídos por meio do qual os serviços podem ser entregues. (KIMBELL, 2009. p. 157)

Por outro lado a atividade de projetar serviços segundo Shostack (1982) é a mais tempo conhecida, pois já faz parte do currículo nos cursos de marketing e administração. Desta forma possui uma característica multidisciplinar que segundo Moritz (2005) define como um campo de estudo holístico com uso de métodos e ferramentas multidisciplinares que buscam a partir do usuário as soluções adequadas para o desenvolvimento ou criação de um serviço a fim de melhorar sua interação com o prestador. Segundo Mager (2008 p. 355), o Design de Serviço “procura a funcionalidade e a forma de um serviço pela perspectiva de seu usuário para garantir que seja proveitoso, utilizável e desejável pela visão do cliente. ”

Essa atividade conta com a ajuda de um conjunto de métodos e ferramentas multidisciplinares, como BMC (*Bussines Model Canvas*), Jornada, *Storyboard*, *Blueprint* e etc.

As ferramentas permitem a visualização, formulação e simulação pelos Designers de serviço dos problemas ainda inexistentes no presente, mas para isso “é necessário observar e interpretar requisitos e padrões de comportamento [dos usuários] para transformá-los em possíveis serviços futuros.” (MAGER, 2008 p.355) O foco a partir do

usuário possibilitará tanto a descoberta de soluções adequadas para o desenvolvimento ou criação de um serviço como a melhoria da sua interação com o prestador.

Segundo IDEO (2012), o *Human Centered Design* (HCD) é um processo que “começa por examinar as necessidades, desejos e comportamentos das pessoas cujas vidas queremos influenciar com nossas soluções” e também um kit de ferramentas que têm como objetivo gerar soluções novas, incluindo produtos, serviços, ambientes, organizações e modos de interação. Portanto para alcançar o devido entendimento do comportamento humano é necessário entender e/ou vivenciar o serviço ao qual se deseja projetar e para isso deve-se inicialmente imergir no seu contexto.

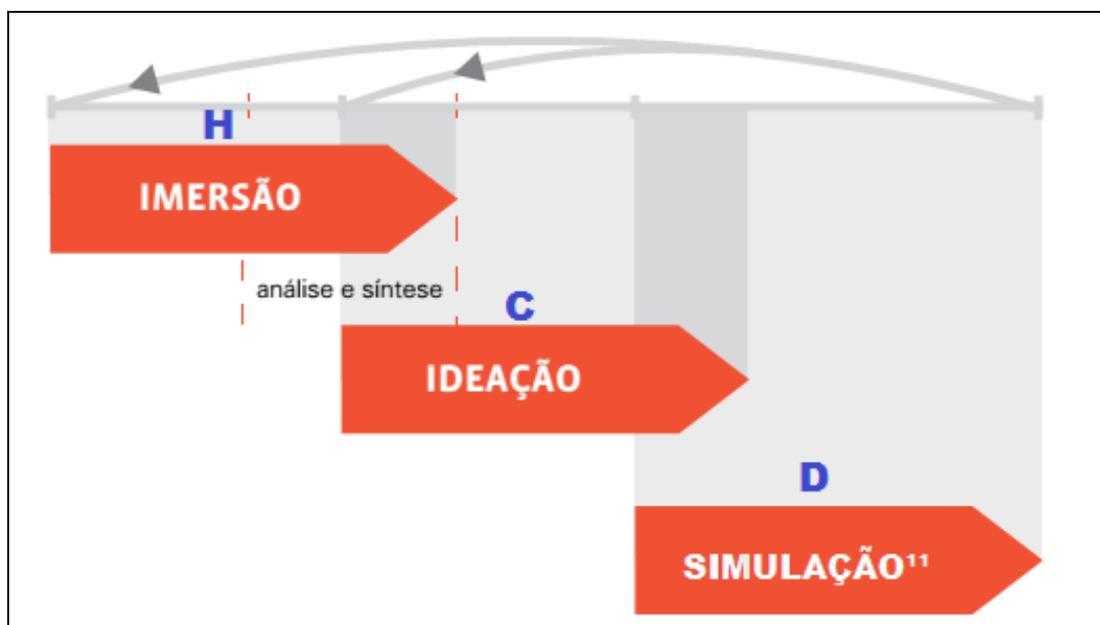


Figura 18 - Processo de Design Thinking

Fonte: adaptado de Vianna *et al.* (2012)

O processo (Figura 18) conforme a sigla HCD se divide em três fases que podem ser seguidas linearmente e/ou em simultâneo:

- **H / Fase ouvir (*hear*)** – Nesta fase é feita a imersão no contexto da pesquisa com intuito de entender o(s) usuário(s) participante(s) do serviço.

- **C / Fase criar (*create*)** – Nesta fase deve-se idealizar/criar o serviço para passar o pensamento concreto para o abstrato com base em estruturas, oportunidades, soluções e simulações¹².
- **D / Fase implementar(*deliver*)** – Nesta fase deve-se implementar/concretizar com base na conceituação da fase anterior.

Nesta pesquisa foram realizadas somente as etapas H e C de imersão e criação do serviço os quais serão abordados adiante.

3.2. Imersão em contexto

A melhor forma de entender o contexto do serviço é se inserir/imersão para compreendê-lo tanto na visão do usuário como na visão do prestador de serviço. Segundo Vianna *et al.* (2012), nesta etapa é feita de início uma imersão preliminar para conhecimento geral dos perfis dos usuários e dos aspectos de contato com o serviço. O passo seguinte é a imersão em profundidade, em que, de acordo com Vianna *et al.* (2012), são conhecidas as necessidades dos usuários do serviço e os problemas. Ao término desta imersão, com a coleta dos dados e as análises de seus resultados, será iniciada a conceituação do serviço por meio da ferramenta do *service blueprint*.

3.3. Blueprint - Representação visual do serviço

A ferramenta escolhida para a representação do serviço nesta dissertação foi o *blueprint*.

uma matriz que representa visualmente de forma esquemática e simples o complexo sistema de interações que caracterizam uma prestação de serviço. Nele são mapeados os diferentes pontos de contato do serviço, ou seja, os elementos visíveis e/ou físicos com os quais o cliente interage; as ações do cliente e de toda a interação com a empresa desde as operações visíveis até aquelas que ocorrem na retaguarda. (VIANNA *et al.* 2012. p.87)

Na criação de um serviço, segundo Meroni e Sangiorgi (2011), é importante o designer lidar com os pontos de contato de interatividade com a intenção de sempre transformar as performances ocultas e intangíveis em visíveis e tangíveis através de uma representação visual. Dessa forma poderá elaborar um esquema do serviço a fim

¹² As palavras protótipo e prototipação foram substituídas por simulação para não ter confusão com a palavra protótipo no sentido de representar fisicamente um objeto.

de estruturá-lo globalmente em relação às ações das pessoas envolvidas, os elementos físicos e os ambientes onde ocorreram essas interações.

No projeto para serviços esta capacidade se mostrou importante na concepção das evidências de serviço (também conhecidos como pontos de contato) ou interface de serviço para melhor orientar o processo de interação (usabilidade) , antecipar as saídas de serviço e regras (transparência) e criar uma identidade de serviço coerente. (MERONI, A., & SANGIORGI, D. 2011).

Segundo Simon (1981), uma representação apropriada do problema pode ser essencial para organizar os esforços de solução e conseguir uma certa clareza sobre as maneiras de avaliar as soluções propostas. A representação visual dessa ferramenta em forma de matriz (Tabela 3) passa pela decisão, de acordo com Bitner *et al.* (2007) e Vianna *et al.* (2012), da intenção de representar globalmente todos os aspectos do serviço. Esses aspectos, conforme o mesmo são as evidências físicas, os diferentes atores, suas ações e interdependências ao longo da jornada.

Tabela 3: Service Blueprint

Fonte: Bitner *et al.*(2007)

Service Blueprint Components	
Physical Evidence	
Customer Actions	Line of Interaction
Onstage/ Visible/ Contact Employee Actions	Line of Visibility
Backstage/ Invisible/ Contact Employee Actions	Line of Internal Interaction
Support Processes	

Segundo Vianna *et al.* (2012), no início é preciso definir as etapas/pontos de contato que caracterizam o serviço para então compor as colunas da matriz e em seguida preencher os seguintes elementos das linhas com:

Evidência física (*Physical Evidence*) - Os elementos aos quais o cliente se depara e fica exposto também evidenciam a qualidade de percepção do serviço.

Ações do Cliente (*Customer Actions*) – Neste tópico são consideradas todas as ações, passo-a-passo, em ordem cronológica, feitas pelo cliente antes, durante e depois do serviço.

Ações visíveis de Vanguarda e invisíveis de Retaguarda da equipe de serviço (*Onstage/Visible Contact and Backstage/invisible Contact*) – As ações diretas de contato físico e indiretas, invisíveis ao cliente, das pessoas responsáveis em oferecer o serviço.

Processos de Apoio (*Support Process*) – São processos que auxiliam na execução do serviço e com os quais os usuários não interagem diretamente.

O design de serviços tem início, aplicando metodologias que aumentam a capacidade de compreender profundamente (empatia com) os usuários e as necessidades dos participantes e avaliar serviços existentes ou imaginar futuras interações (MERONI, A., & SANGIORGI, D. 2011).

O resultado disso segundo Vianna *et al.* (2012) permitirá identificar os pontos falhos e superposições desnecessárias, facilitando, assim, inovações estratégicas e táticas com a localização de pontos de melhoria e novas oportunidades. A atividade de antecipar os comportamentos dos usuários do serviço é bastante complicada devido as situações de imprevisibilidade ou não observação de um acontecimento, mas para isso Meroni e Sangiorgi (2011) afirmam que o designer de um serviço é o elemento-chave, com a capacidade de prever e tornar os acontecimentos visíveis. Dessa forma, segundo Pacenti (1998), os designers de serviço são descritos como os responsáveis que gerenciam e coordenam a integração e a coerência projetual de todos os elementos que determinam a qualidade de interação.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a metodologia de estudo de caso e as etapas com os fatos ocorridos durante este estudo, na interação com os estudantes e a professora da turma.

O estudo, em questão, foi realizado em um laboratório do Programa de Engenharia de Produção COPPE/UFRJ chamado PRO-PME que desde o ano de 2003 tem como missão a prestação de serviço para MPME's, discentes da graduação, pesquisadores acadêmicos, docentes e inventores. O laboratório, durante o ano de 2010, passou por reformulações de modificação do *layout* interno e compra de novos equipamentos. Esta transformação teve como objetivo oferecer um ambiente favorável para as pesquisas acadêmicas, desenvolvimento de serviços para as MPME's e principalmente para ofertar um ensino em desenvolvimento de produtos de melhor qualidade com uso das novas máquinas de impressão 3D.

Concluída a reforma do laboratório, após alguns anos foi possível realizar a primeira experiência planejada com um dos novos equipamentos, a impressora 3D Dimension Elite na disciplina Projeto do Produto do curso de Engenharia de Produção, da Escola Politécnica da UFRJ.

4.1. Metodologia

A pesquisa seguiu uma investigação, por meio do estudo de caso, acima citado, com o intuito de apresentar uma narrativa do andamento do serviço, ocorridos da seguinte forma:

- I. Definições iniciais
- II. Definição de cronograma
- III. Apresentação e visita ao laboratório
- IV. Análise e seleção da alternativa de produto
- V. Análise e fechamento dos arquivos 3D
- VI. O processo de impressão 3D e entrega dos protótipos

Os resultados obtidos com o uso da tecnologia de impressão 3D são apresentados no capítulo 5, que inclui uma análise dos protótipos realizados assim como uma análise geral.

Segundo Cauchick (2010. p.133), a adoção de estudo de caso deve estar vinculada a literatura, atendendo as questões e objetivos da pesquisa no sentido de proporcionar um caminho para a contribuição investigativa almejada, seja de natureza teórica ou empírica. Ainda em (CAUCHICK, 2010. p.131) menciona que:

O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos). Essa análise possibilita amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno, possibilitando, inclusive, a geração de teoria.

Desta forma, a metodologia aplicada foi de estudo de caso de uso de uma máquina de Impressão 3D, no laboratório PRO-PME, na disciplina Projeto do Produto da graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da UFRJ.

A natureza, em questão, é de caráter empírico, pois proporcionou a vivência e uma imersão em campo no contexto do estudo e co-participação em todo o processo de serviço. Segundo Cauchick (2010. p.139), o estudo de caso “deve ser produzido em forma de narrativa geral do caso”, mas que não implique em incluir tudo o que foi coletado. Esta narrativa se deu em uma imersão preliminar no serviço de Impressão 3D oferecido na disciplina Projeto do Produto.

ao fim da fase de imersão os dados das Pesquisas Preliminares e em Profundidade são compilados, seus achados principais são capturados em Cartões de insights e traduzidos em ferramentas como Personas, Blueprint, Mapas Conceituais etc.(VIANNA *et al.* 2012, p.13)

A análise e tradução desses dados teve também como resultado uma proposta de Projeto do Serviço (Capítulo 7) com base na ferramenta do *Service Blueprint* utilizada para o registro geral de cada passo-chave. Esta, segundo Vianna *et al.* (2012. p.88), “é composta pelas evidências físicas daquele momento, ações dos atores envolvidos (usuário, funcionário e equipe de retaguarda), possíveis barreiras de interação entre eles e na percepção do cliente em cada momento da jornada.” Estes elementos relacionados ao serviço assim como os relacionados com o uso da impressora 3D foram necessários para o alcance dos resultados almejados por esta pesquisa. Este processo teve também como base a coparticipação do autor neste estudo deste caso e o contato com professora e os alunos da disciplina Projeto do Produto.

A finalidade disso foi sistematizar uma prática na forma de recomendações e restrições para laboratórios que utilizem a Impressão 3D em apoio às atividades de ensino de graduação.

4.2. Definições iniciais

Inicialmente foi estabelecido o contato, por meio de correio eletrônico, entre a professora da disciplina Projeto do Produto da graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da UFRJ e o laboratório PRO-PME. O objetivo foi esclarecer como seriam realizadas as aulas da disciplina em conjunto com o uso de algum equipamento de Impressão 3D do laboratório. As dúvidas apresentadas pela docente foram relacionadas aos seguintes tópicos:

a) Discussão sobre possíveis temas de projeto para a disciplina relacionados ao potencial de impressão da máquina (por exemplo: menor possibilidade de impressão em escala ou que pudessem ser impressos por inteiro e não em partes para posterior montagem);

b) Limite em termos de dimensões máximas da área de trabalho permitidas para os equipamentos de Impressão 3D;

c) Disponibilidade dos responsáveis pelas máquinas na orientação de 9 grupos de alunos;

d) Complexidade do produto x dificuldade de orientação;

e) Software CAD apropriado para impressão 3D;

f) Custo e pagamento pelo material utilizado.

Os tópicos apresentados foram analisados e discutidos com os outros integrantes do laboratório, ficando acertados todos os pontos propostos. O laboratório daria total apoio a produtos inteiros e liberdade na escolha do tipo de produto, pois seria interessante para todos por se tratar de uma nova experiência em prototipar produtos nunca antes feitos na impressora 3D. Neste caso, o maior interesse seria em priorizar os produtos em tamanho real compatível com os limites da máquina que permite a impressão de peças/objetos de até 210mm de comprimento por 210 mm de largura por 300mm de altura. As informações técnicas foram repassadas à Professora da disciplina. Com relação a disponibilidade de orientação, inicialmente ficou acertado

entre o autor e o bolsista do laboratório, mas de fato somente o autor desenvolveu as duas funções, as de apoio e orientação aos estudantes da disciplina.

Os alunos não precisariam necessariamente ter experiência em um software CAD específico, podendo usar outros softwares que possam converter para o formato .STL.

No requisito de complexidade do produto, e como isso afetaria a orientação do grupo, foi decidido com a Professora da disciplina que haveria uma pré-seleção do produto a ser impresso, pois haveria a liberdade na escolha do tipo de produto.

Por último com relação aos custos e aos equipamentos, as cobranças usualmente são calculadas pela quantidade de matéria prima utilizada. No presente estudo, não houve cobrança de uso do equipamento, por ser uma primeira experiência de uso da impressora 3D para os alunos da Escola Politécnica da UFRJ da Engenharia de Produção, sendo utilizada somente a impressora 3D Dimension Elite de processo FDM.

Finalmente, após os esclarecimentos das dúvidas e os acertos dos horários foi criado um plano de aula onde foi definido um cronograma das semanas de aula (Anexo I).

4.3. Definição de cronograma

O cronograma de trabalho de cada grupo foi definido em conjunto com a professora com a finalidade de organizar as atividades, as entregas parciais e definir a participação do laboratório na orientação para finalização dos arquivos CAD. Estes arquivos deveriam ser entregues pelos alunos em condições adequadas para a impressão 3D. Foram planejadas as semanas de aula em conjunto com o laboratório, conforme citados a seguir:

- a) Semana 1 – Apresentação e visita ao laboratório;
- b) Semana 2 – Análise e seleção da alternativa imprimível;
- c) Semana 3 e 4 - Análise e fechamento dos arquivos 3D;
- d) Semanas 5 e 6 – Impressão 3D e entrega dos protótipos.

Definido o cronograma de projeto da disciplina (Anexo I) foi estipulado, em conjunto com a professora, o tempo necessário para entrega dos protótipos. Estes só

poderiam ser entregues após uma análise prévia das condições do arquivo 3D. Esta análise considerava os eventuais problemas, para estipular um prazo máximo de 2 semanas, após a semana 5, para todos os protótipos/modelos estarem finalizados.

Definidos o programa e o cronograma as aulas tiveram início com a turma sendo dividida em 9 grupos compostos por 5 pessoas cada, onde os membros dos grupos ficariam encarregados em desenvolver uma linha de produtos em termo plásticos. Somente um produto, porém seria escolhido após uma análise em conjunto com a professora para a impressão 3D.

4.4. Apresentação e visita ao laboratório

Nesta primeira semana foi realizada uma apresentação na sala de aula com recomendações para preparação dos arquivos para a impressão 3D e em seguida os alunos foram convidados a visitarem o laboratório, para terem o primeiro contato com a máquina de Impressão 3D. (Figura 19)



Figura 19: Vista panorâmica do laboratório
Fonte: Autor

O equipamento apresentado foi a Dimension Elite (Figura 20), com tecnologia FDM (*Fused deposition modeling*), ou Modelagem por fusão e deposição, produzido pela empresa norte-americana Stratasys, que por meio de um cabeçote móvel - em dois eixos x e y - alimentado por dois filamentos de plástico ABS - um suporte e outro o material do protótipo/modelo – e uma base plana móvel em eixo z com uma bandeja de apoio a impressão.



Figura 20: Impressora 3D Dimension Elite

Fonte: Autor

No decorrer da apresentação vários alunos que nunca tiveram contato de perto com alguma impressora 3D se mostraram interessados e assim foi possível registrar algumas perguntas com relação ao uso e o serviço, conforme abaixo:

- 1 - “Quanto custa a impressão?”
- 2 - “Quanto tempo para imprimir?”
- 3 - “Para que serve o material de suporte?”.
- 4 - “Qual o tamanho máximo que a peça deve ter para imprimir?”
- 5 - “Que tipo de material utilizado?”
- 6 - “Qual software devo utilizar?”
- 7 - “O material é resistente?”

8 - “Qual o formato de arquivo para imprimir?”

Durante o registro foi possível observar que as duas primeiras perguntas são as mais frequentes entre os alunos interessados em utilizar o serviço de Impressão 3D. Apresentando assim uma preocupação imediata do aluno/cliente com relação ao custo e ao tempo de impressão, pelo motivo de ser uma tecnologia pouco conhecida por eles, mas que aos poucos vem se tornando acessível à todos e por ser considerado como um serviço de alto investimento.

4.5. Análise e seleção da alternativa de produto

Nesta etapa cada grupo apresentou e entregou um relatório impresso, contendo a descrição do material e processo de fabricação de cada alternativa de produto junto com seus respectivos desenhos técnicos, vistas isométricas e arquivo da modelagem 3D.

Terminada a apresentação/entrega de cada um dos 9 grupos foram analisadas em conjunto com a professora as 27 alternativas entregues, sendo divididas em 3 para cada grupo. Nas análises foram levados em consideração os aspectos gerais de cada produto tais como: complexidade, volumetria (dimensões gerais), encaixes e o interesse em prototipar. Desta forma os produtos selecionados por cada grupo foram:

- a) Grupo 1 – Porta Cotonete
- b) Grupo 2 – Porta Guardanapo
- c) Grupo 3 – Redutor e Penico
- d) Grupo 4 – Escorredor de talheres
- e) Grupo 5 – Escova de lavar roupas
- f) Grupo 6 – Tábua de corte
- g) Grupo 7 – Corta Sachê
- h) Grupo 8 – Lixeira
- i) Grupo 9 – Porta Condimentos

Os grupos foram avisados sobre as escolhas e tiveram mais uma semana para detalharem o arquivos 3D do produto escolhido, em software CAD equivalente ao usado pelo laboratório. Na semana seguinte deveriam levar os arquivos 3D praticamente prontos para facilitar a análise e a recomendação das correções necessárias ao fechamento dos arquivos de cada produto a ser prototipado.

4.6. Análise e fechamento dos arquivos 3D

Na terceira semana cada grupo teve um tempo de quinze minutos para mostrar o arquivo 3D completo do produto a ser impresso. A maioria dos modelos virtuais apresentaram as irregularidades de falta de tolerância adequada para peças com encaixes, abertura na modelagem 3D, baixa qualidade de resolução (quantidade de polígonos baixa) e dimensionamento inadequado. (Figura 21)



Figura 21: Fechamento de arquivo para impressão 3D

Fonte: Autor

Os grupos, cujos modelos apresentaram erros foram orientados de acordo com os aspectos analisados em cada produto e tiveram mais uma semana para os ajustes finais. Enquanto isso os outros grupos, sem erros significativos, tiveram seus arquivos

corrigidos no mesmo dia no laboratório e já puderam dar continuidade às próximas etapas de impressão.

Desta forma, na quarta semana os grupos que ficaram encarregados de retornar apresentaram a versão corrigida de seus produtos, conforme a orientação dada na semana anterior e, por fim seus arquivos se apresentaram adequadamente modelados.

4.7. O processo de impressão 3D e entrega dos protótipos

Terminada a etapa anterior teve início a preparação dos arquivos para a impressão 3D, para o qual não havia necessidade a princípio de nenhum acompanhamento dos alunos, uma vez que o processo é automatizado e relativamente demorado. Alguns grupos interessados puderam acompanhar uma parte do processo de Impressão 3D dos seus produtos.



Figura 22: Inspeção de funcionamento da Impressora 3D

Fonte: Autor

Os grupos interessados puderam acompanhar a preparação do arquivo tridimensional no *software* da impressora 3D desde a preparação do arquivo passando pelo desentupimento da impressora até o início da impressão. (Figura 22)

Na preparação do arquivo foi mostrado a utilidade do *software* da impressora em conseguir simular de antemão a quantidade de material necessária, neste caso como não havia material suficiente os alunos acompanharam a troca dos cartuchos de impressão.



Figura 23: Cartuchos de impressão

Fonte: Autor

A recomendação feita aos alunos foi que uma checagem do funcionamento adequado da máquina, assim como do estado de sua matéria-prima, é extremamente necessária para evitar problemas frequentes como, o entupimento e o descolamento da peça por presença de umidade no cartucho (Figura 23) e ou mal posicionamento da bandeja de impressão.

Terminada a visita dos estudantes no acompanhamento da impressão de alguns protótipos/modelos foi combinado por e-mail os dias para suas retiradas e entregas, sendo que alguns puderam ser entregues em tempo hábil, mas outros sofreram com problemas no processo de impressão.

No geral, apesar dos atrasos, os protótipos foram entregues aos alunos representantes de cada grupo em tempo hábil para a apresentação final na disciplina. Os alunos assinaram uma lista, onde se comprometiam a devolver o protótipo em troca de não pagarem pelo uso de material da impressora 3D. Os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5 – ANÁLISES E RESULTADOS DOS PROTÓTIPOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos neste estudo de caso com base nas variáveis correspondentes ao uso da máquina de impressão 3D e do serviço de Impressão 3D. Em seguida serão apresentadas a análise geral dos resultados alcançados, o suporte técnico do laboratório e as restrições e recomendações para o aprimoramento do uso da Impressão 3D e do aprendizado dos alunos.

5.1. Protótipos desenvolvidos

De uma forma geral, os protótipos podem ser utilizados para várias finalidades, entre as quais se insere a aprendizagem, comunicação e integração entre os autores do projeto. Os protótipos desenvolvidos para cada grupo, no total de nove, e citados no capítulo 4, foram selecionados em conjunto com a professora e impressos de acordo com os critérios apresentados no capítulo anterior.

5.1.1. Grupo 1 – Porta cotonete

O porta cotonete foi escolhido por ser um objeto de geometria simples, composto por duas peças retangulares (caixa e a tampa) com dimensões gerais de 80mm de comprimento x 60mm de largura x 60mm de altura com paredes de espessura de 2mm. O interesse do grupo é prototipá-lo em tamanho real para testar a sua funcionalidade, colocando cotonetes e também o encaixe da tampa com a caixa. (Figura 24)



Figura 24: Grupo 1 - Porta cotonete

Fonte: autor

a) Variáveis da impressão

A escala de impressão 1:1 foi escolhida com base no tamanho real do produto e por estar dentro das limitações da impressora 3D e, também por ser uma peça simples de impressão.

- **Consumo Material - estipulado x gasto** O consumo de matéria prima foi **estipulado em 55,86 cm³ de material de ABS e 25,50 cm³ de material de suporte**, mas devido aos erros ocorridos foram consumidos **72,94 cm³ de ABS e 30,46 cm³ de suporte**.
- **Tempo máquina – estipulado x gasto** - Com relação ao tempo de máquina foi **estipulado um tempo 5 horas e 56 minutos**, mas ao final este tempo foi aumentado para **6 horas e 58 minutos**.
- **Qualidade do protótipo** – O preenchimento interno de material foi na qualidade de alta densidade. A qualidade externa ficou afetada pelo empenamento da peça.
- **Qualidade do arquivo 3D** – Quanto à qualidade, o arquivo 3D não estava em condições de ser impresso por um erro de tolerância nos encaixes das peças. Por isso foi dedicada uma maior atenção na etapa de análise e fechamento do arquivo 3D para impressão. Nesta etapa, o grupo 1 foi aconselhado a colocar uma folga com tolerância de 0,1mm na tampa, a fim de tornar possível o encaixe entre as peças.
- **Total de peças impressas** – Foram impressas 4 peças, sendo 1 caixa e 3 tampas.
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O **prazo** de entrega estipulado de **3 dias foi cumprido**.

b) Problemas e soluções

As peças teoricamente deveriam se encaixar conforme as recomendações com base nas limitações de resolução da impressora 3D, porém na prática durante o processo de impressão da tampa houve uma falha que fazia com que a peça descolasse, deixando-a empenada. Por isso foram realizados vários testes de impressão em posições e sentidos diferentes, mas mesmo assim o erro persistia mesmo com a troca da bandeja de impressão. O produto foi entregue com a tampa empenada, pois não comprometia o encaixe das peças, comprometendo apenas o acabamento final do produto. O problema de empenamento era causado por umidade

do cartucho da impressora. Desta forma, sugere-se que antes da impressão, seja testada a umidade do cartucho, coletando uma amostra.

5.1.2. Grupo 2 – Porta guardanapos e sachê

O porta guardanapo é um objeto composto de superfícies com diferentes espessuras e bordas arredondadas, possui dimensões gerais de 150mm de comprimento x 140mm de largura e 110mm de altura. O produto possui um compartimento com capacidade de armazenamento de cerca de 50 unidades de guardanapos e um porta sachê com compartimento para 3 tipos de sachês com capacidade de 15 sachês em cada. (Figura 25).



Figura 25: Grupo 2 - Porta guardanapo

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo de material foi de 196,19 cm³ de material ABS e 16,70 cm³ de material de suporte.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - tempo de impressão entorno de **14 horas e 37 minutos**.
- **Qualidade do protótipo** – A qualidade interna foi de preenchimento de material em **alta densidade** e a externa ficou com acabamento bem liso

conforme o esperado apesar de um leve empenamento em uma das extremidades do produto.

- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo 3D não apresentou problema de modelagem como aberturas na malha tridimensional, mas foi necessário o arredondamento das bordas para simular o acabamento do produto ao ser fabricado.
- **Total peças impressas** – 1 peça
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega de 2 dias foi cumprido conforme estipulado.

b) Problemas e soluções

Durante o processo de impressão houve uma falha que fazia com que a peça descolasse, deixando-a empenada, mas não comprometia o resultado final com relação a sua funcionalidade, onde foi possível testar os compartimentos de guardanapos e sachês, conforme (Figura 20).

5.1.3. Grupo 3 – Redutor e penico

O produto consiste em um “troninho” para crianças composto por 2 peças; um penico em formato circular de 370mm de diâmetro e 250mm de altura e um redutor de assento de vaso sanitário em formato oval de 320mm x 280mm. Este produto foi escolhido por ser um produto interessante de geometria complexa de formato arredondado e de grandes dimensões. (Figura 26)



Figura 26: Grupo 3 - Redutor e penico

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo de material estipulado foi de $39,10\text{cm}^3$ de material ABS e $26,33\text{cm}^3$ de material de suporte. No final foram gastos $74,68\text{ cm}^3$ de material ABS e $42,44\text{ cm}^3$ de material de suporte.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado entorn de 04 horas e 17 minutos e o tempo gasto foi de 07 horas e 35 minutos.
- **Qualidade do protótipo** – O acabamento interno foi de preenchimento sólido e o externo ficou prejudicado devido aos erros de impressão causados pela modelagem.
- **Qualidade do arquivo 3D** – no início não foi percebido que o arquivo estava com alguns componentes da peça soltos e com problemas de modelagem com superfícies abertas e baixa resolução com a pouca quantidade de polígonos.
- **Total peças impressas** – Foram impressas **4 peças** devido aos erros de modelagem não constatados no início, sendo duas peças do assento e duas do penico

- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega foi estipulado em 2 dias, pois era necessário colocar a peça na banheira de limpeza para a retirada do material de suporte. O prazo se estendeu para uma semana devido aos erros no arquivo 3D não constatados no início.

b) Problemas e soluções

A demanda inicial do grupo foi imprimi-lo em escala 1:1, mas o dimensionamento ultrapassou os limites de trabalho da máquina, não foram percebidos os erros na modelagem e, por último o tempo de entrega foi subdimensionado.

Foi decidido mudar a escala de impressão para 1:5 afim de tornar possível a impressão do produto por inteiro e também para prevenir o desperdício de material causado com os modelos anteriores

Na fase de análise não foram percebidos erros na modelagem 3D pois o modelo no software em que foi concebido estava em perfeitas condições. Por algum problema de conversão entre os softwares de modelagem e da impressora, o penico foi impresso com a geometria toda preenchida de material. Na segunda tentativa teve o erro de não imprimir o fundo do penico.

O resultado final não foi satisfatório devido a sequência de erros e ao curto tempo de entrega. Estes fatores influenciaram na qualidade final do modelo.

5.1.4. Grupo 4 – Escorredor de talheres

O escorredor de talheres é composto por duas peças, cilíndricas ovaladas, sendo uma base, coletora de água, e a outra o corpo do escorredor. A dimensão geral desse conjunto montado é de 110 mm de comprimento x 100 mm de largura x 120 mm de altura na escala 1:1, mas foi impresso na escala 1:2. Este produto foi escolhido por ser um objeto grande e complexo com superfícies orgânicas e curvas, peças de encaixe e uma grade na base para escorrer a água. (Figura 27)



Figura 27: Grupo 4 – Escorredor de talheres

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo estipulado de material foi de **37,91cm³ de material ABS** e **24,14cm³ de material de suporte**. No final foram **gastos 44,86 cm³ de material ABS** e **27,41 cm³ de material de suporte**.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado entorno de **07 horas e 20 minutos** e o **tempo gasto foi de 07 horas e 40 minutos**, pois a base teve que ser reimpressa por problemas de empenamento.
- **Qualidade do protótipo** – preenchimento interno de material em sólido por ser uma peça com espessura fina e detalhes delicados da grade.
- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo inicial apresentava algumas peças sem as tolerâncias de encaixe recomendadas e foi aconselhado ao grupo a refazê-lo com tolerâncias de 0,1mm. A quantidade de polígonos na peça era baixa e foi aconselhado a salvarem com uma quantidade maior de alta resolução.
- **Total peças impressas** – Foram impressas **3 peças** devido ao erro de impressão por umidade causando empenamento. Desta forma foram impressas **1 peça** do corpo do escorredor e **2 de sua base**.

- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega foi estipulado em 2 dias, pois era necessário colocar a peça na banheira de limpeza para a retirada do material de suporte. O prazo se estendeu para 1 semana devido aos erros no arquivo 3D não constatados no início.

b) Problemas e soluções

Inicialmente havia sido combinado que o produto seria impresso em tamanho real, escala 1:1, porém durante as análises do arquivo 3D foi constatado que suas dimensões ultrapassavam o limite de impressão. Desta forma foi solicitado ao grupo uma remodelagem e um redimensionamento para a escala 1:2.

No último momento, devido ao desperdício de material com outros modelos anteriormente impressos e ao curto tempo restante no cronograma foi necessário diminuir a escala do modelo para 1:2.

5.1.5. Grupo 5 – Escova de lavar roupa

A escova de lavar roupas é um produto inteiriço com superfícies onduladas em todas as suas faces para facilitar na pega e na lavagem de roupa. As dimensões gerais são de 140 mm de comprimento x 70 mm de largura e 25 mm de altura. Nestas medidas foi possível imprimir na escala 1:1. (Figura 28)



Figura 28: Grupo 5 - Escova

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo de material foi de 200,04cm³ de material ABS e 23,64cm³ de material de suporte. Não foram gastos materiais além do estipulado.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado entorno de 10 horas e 05 minutos foi cumprido.
- **Qualidade do protótipo** – O preenchimento interno de material em sólido, mas poderia ter sido impresso em baixa densidade, pois sua forma não apresentava qualquer detalhe frágil.
- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo 3D estava nas condições adequadas para impressão, mas poderia ter uma quantidade de polígonos maior para um melhor resultado superficial da peça.
- **Total peças impressas** – Foi impressa 1 peça
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega foi estipulado em 2 dias e foi cumprido.

b) Problemas e soluções

A geometria da peça permitiu uma rápida retirada do material de suporte em relação aos protótipos dos outros grupos e por esse motivo a entrega foi realizada no dia seguinte do término do serviço e com a aprovação do grupo no ato da entrega. O problema superficial provocado pela pouca quantidade de polígonos no arquivo 3D, não constatado no início, foi contornado com o acabamento usando uma lixa para retirar as pequenas imperfeições. Ao final da impressão percebeu-se um excessivo gasto de material da impressora, pois foi escolhido o preenchimento sólido, ao invés do preenchimento em baixa densidade.

5.1.6. Grupo 6 – Tábua de corte

A tábua de corte é um produto, em peça única, retangular com arestas arredondadas e entradas para 3 facas para o corte de alimentos de diferentes tamanhos. As dimensões gerais são de 200 mm de comprimento e largura x 100 mm de altura. O produto foi escolhido por possuir superfícies com diferentes espessuras e acabamentos arredondados e pode ser impresso na escala 1:1. (Figura 29)

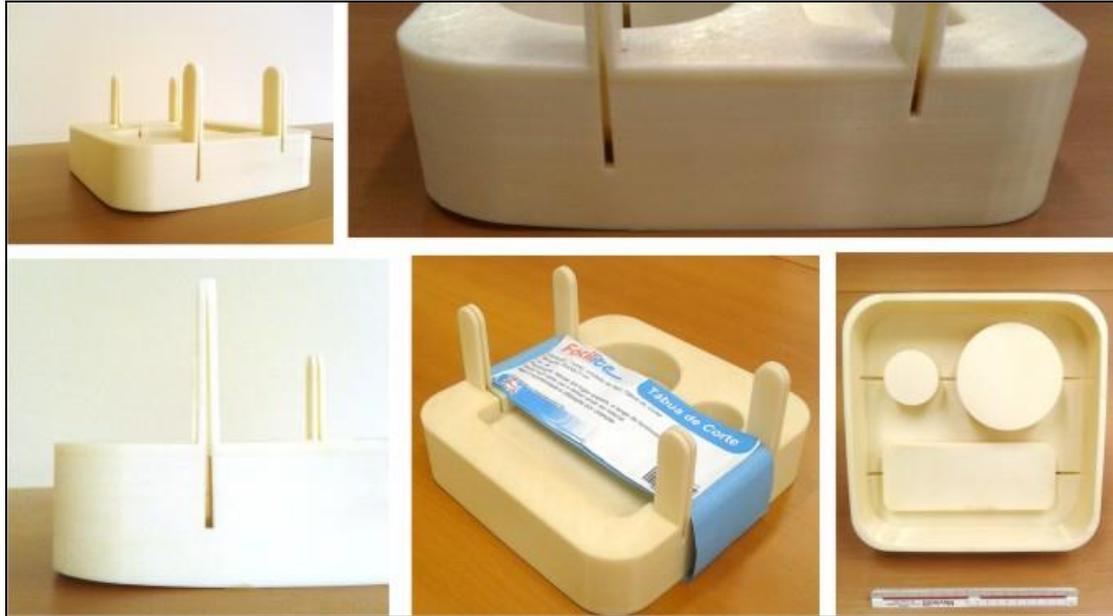


Figura 29: Grupo 6 - Tábua de corte

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo de material foi de 395,97cm³ de material ABS e 151,79cm³ de material de suporte. Não foram gastos materiais além do estipulado.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado entorno de 07 horas e 08 minutos foi cumprido.
- **Qualidade do protótipo** – preenchimento interno de material em sólido, mas poderia ter sido impresso em baixa densidade pois sua forma não apresentava nenhum detalhe delicado.
- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo 3D estava nas condições adequadas para impressão, mas poderia ter uma quantidade de polígonos maior para um melhor resultado superficial da peça.
- **Total peças impressas** – Foi impressa 1 peça
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega estipulado de 3 dias foi cumprido.

b) Problemas e soluções

O protótipo foi impresso na escala 1:1 com as dimensões gerais preservadas. Alguns detalhes dimensionais foram comprometidos devido ao empenamento da peça, mas não prejudicaram na sua usabilidade e funcionalidade.

Apresentou descolamento da peça durante o processo de impressão, a causa disso foi a umidade do cartucho da impressora.

5.1.7. Grupo 7 – Corta sachê

O corta sachê é um produto de formato retangular e bordas arredondadas composto por 2 peças que se encaixam sendo uma o compartimento de sachê e a outra o suporte da lâmina do cortador de sachê. As dimensões gerais do produto são de 200 mm de comprimento x 150 mm de largura x 120 mm de altura. Este produto foi escolhido, por causa da geometria simples e pelo interesse de testar o encaixe da lâmina de corte. (Figura 30)



Figura 30: Grupo 7 - Corta sachê

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto – O consumo estipulado de material ABS foi de 76,56cm³ e 19,39 cm³ de suporte. Foram gastos 577,62 cm³ de material ABS e 191,30 cm³ de material de suporte.**

- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado entorno de **07 horas e 34 minutos**, mas foram **gastos 50 horas e 29 minutos**.
- **Qualidade do protótipo** – preenchimento interno de material em **alta densidade**, mas poderia ter sido impresso em baixa densidade pois sua forma não apresentava nenhum detalhe frágil.
- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo 3D estava em condições de ser impresso e somente houve alteração com relação à tolerância de 0,1mm para o encaixes.
- **Total peças impressas** – Foram impressas 3 peças. Sendo 1 da peça do suporte da lâmina do corta-sachê na escala 1:1, uma do corpo do corta-sachê em escala 1:1 e uma do corpo do corta-sachê em escala 1:5.
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega estipulado foi de 1 dia, mas foi entregue após 5 dias por erros na impressão.

b) Problemas e soluções

O protótipo foi ajustado de acordo com as limitações de tolerância, para o encaixe das peças, e dimensionais dentro do limite da área de trabalho do equipamento de Impressão 3D.

Após o término, constatou-se um erro de impressão. Na análise da peça foi possível observar que o bico de extrusão do material de suporte havia entupido no meio do processo e impedido a impressão das divisórias internas do porta-sachê. No momento a solução encontrada foi desentupir o cabeçote e mandar imprimir de novo em escala reduzida para assim evitar desperdício de material e economia de tempo, pois o prazo de entrega estava chegando ao fim.

Enfim, mesmo com o resultado final aquém do esperado e também com desperdício de material, a peça mais importante no caso, o suporte do corta-sachê foi impresso com sucesso em tamanho real, sendo possível fazer o encaixe da lâmina de corte e testar o cortador de sachês na prática.

5.1.8. Grupo 8 – Lixeira

O produto impresso é uma lixeira de forma cilíndrica de coleta seletiva composta por 3 compartimentos unidos por 1 peça central. As dimensões gerais são de 200mm de diâmetro x 200mm de altura. Nestas dimensões foi possível imprimi-la no tamanho real (escala 1:1).

Os compartimentos da lixeira foram impressos na vertical para o menor consumo de material de suporte possível. Eles foram impressos no mesmo arquivo, separadas entre si para que não saíssem coladas umas nas outras. A peça central foi impressa em separado para evitar problemas das peças saírem coladas. (Figura 31)



Figura 31: Grupo 8 - Lixeira

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo de material foi de **809,79cm³ de material ABS e 28,14cm³ de material de suporte**. Não foram gastos materiais além do estipulado.

- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão estipulado foi igual ao gasto entorno de **63 horas e 24 minutos**.
- **Qualidade do protótipo** – O preenchimento interno foi de material em alta densidade, mas poderia ter sido impresso em baixa densidade, pois sua forma não apresentava nenhum detalhe frágil.
- **Qualidade do arquivo 3D** – O arquivo 3D foi alterado com a tolerância de 0,1mm para o encaixe das peças.
- **Total peças impressas** – Foram impressas 4 peças. Sendo 3 módulos de lixeira e 1 conector central.
- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega estipulado de 3 dias foi cumprido.

b) Problemas e soluções

O protótipo foi o maior impresso até o momento pelo laboratório e o único, entre os grupos sem qualquer problema durante o processo de Impressão 3D em relação aos outros grupos.

O resultado final foi o mais satisfatório em comparação com os outros protótipos/modelos, pois não existiram erros durante o processo de impressão.

5.1.9. Grupo 9 – Porta condimentos

O porta condimentos ou “marmiteira” é composto por 1 caixa, 1 tampa e 2 divisórias internas para a separação de alimentos. As dimensões gerais do produto são de 210 mm comprimento x 70 mm de largura x 50 mm de altura. O produto foi escolhido com interesse de testar os encaixes das divisórias internas para separação dos alimentos. (Figura 32)



Figura 32: Grupo 9 - Porta condimentos

Fonte: Autor

a) Variáveis da impressão

- **Consumo Material - estipulado x gasto** – O consumo estipulado de material ABS foi de **46,72 cm³** e **72 cm³** de suporte. Foram gastos **67,81,cm³** de material ABS e **120,62 cm³** de material de suporte.
- **Tempo máquina – Estipulado x gasto** - Tempo de impressão **estipulado** foi de **02 horas e 55 minutos** sendo que foram **gastas 06 horas**.
- **Qualidade do protótipo** – O **preenchimento interno** de material foi na **qualidade sólida**. Essa escolha foi para dar mais rigidez nas partes mais finas e delicadas do protótipo.
- **Qualidade do arquivo 3D** – A primeira versão do arquivo 3D estava incompleta, pois faltavam elementos de fixação para as divisórias internas, além de não possuir tolerância para os encaixes das peças.
- **Total peças impressas** – Foram impressas 12 peças. Sendo 6 divisórias internas, 3 caixas e 3 tampas. Deveriam ser impressos somente 2 divisórias, 1 caixa e 1 tampa.

- **Prazo de entrega – estipulado x real** – O prazo de entrega estipulado de 3 dias foi cumprido. A demanda inicial de imprimir em escala 1:1 não foi cumprida devido ao prazo curto de entrega e, assim ficou decidido imprimir em escala 1:2.

b) Problemas e soluções

Dentre os modelos impressos e com defeito, este foi o que apresentou mais problemas de empenamento. As paredes e divisórias por serem finas prejudicaram a rigidez do produto. A alteração na escala de 1:1 para 1:2 deixou o produto mais frágil e modificou as tolerâncias de encaixe, comprometendo a funcionalidade do protótipo, conservando somente a estética.

5.2. Análise geral – Síntese dos Problemas ocorridos e aprendizado

Os principais problemas levantados a partir deste estudo foram:

- a) Inexperiência na análise dos arquivos;
- b) Demora na percepção do erro de impressão;
- c) Falta de experiência em diagnosticar problemas de umidade dos cartuchos;
- d) Hiperdimensionamento dos produtos a serem impressos.

Enfim, estes fatores afetaram a programação inicial, sendo necessários ajustes no decorrer do serviço de impressão. O hiperdimensionamento, não percebido no início, gerou a necessidade de alteração, em alguns, na escala do produto, sendo impressos menores do que as dimensões reais. A qualidade de acabamento superficial das peças foi afetada devido à presença de umidade nos cartuchos de impressão, que só foi detectada no decorrer do uso da impressora. Alguns encaixes foram prejudicados pelo empenamento das peças, afetando a funcionalidade do produto.

Como pontos positivos do presente estudo foi o cumprimento do prazo de entrega estipulado na maioria dos casos; o estabelecimento de um contato contínuo entre a professora, os alunos e o laboratório; o cumprimento dos dias e horários estabelecidos para contato entre os alunos e o laboratório. Estes fatores permitiram aprendizagem sobre processo de impressão 3D e suas peculiaridades, ensinamentos aos alunos da disciplina, criando situações de aprendizagem para o autor e para o laboratório. Os

erros serviram como situações de aprendizagem para próximos serviços de impressão.

5.3. Considerações acerca do suporte técnico

O suporte técnico disponibilizado aos alunos e à professora foi extremamente necessário para o andamento do serviço de impressão 3D na disciplina Projeto do Produto. Essa cooperação tanto entre o autor e a professora quanto entre o autor e alunos permitiu a organização do *Design* do serviço de impressão 3D e o ensinamento e aprendizado do processo de desenvolvimento do produto com o uso da impressora. O autor desta dissertação atuou dando suporte a todo o processo. Desta forma, será apresentada a relevância do suporte técnico em cada momento deste estudo de caso.

a) Definições Iniciais

- Esclarecimento de dúvidas da professora a respeito do serviço e as limitações de trabalho da máquina.
- Disponibilidade para montar um plano de aula em cooperação com a professora para a inclusão da impressão 3D no processo da disciplina.
- Orientação sobre o tema de projeto para a seleção dos produtos a serem impressos.

b) Definição de cronograma

- Organização das atividades práticas em conjunto com a teórica
- Definição de datas de entrega dos protótipos pelo laboratório

c) Apresentação e visita ao laboratório

- Esclarecimento de dúvidas dos alunos e professor.
- Apresentação do processo de impressão 3D e dos recursos necessários para imprimir.

d) Análise e seleção da alternativa

- Definição dos requisitos relevantes para seleção das alternativas

- Escolha em conjunto com a professora das alternativas mais interessantes a serem impressas.
- Julgamento da qualidade dos desenhos técnicos

e) Análise e fechamento dos arquivos 3D

- Orientação de cada grupo sobre a qualidade do arquivo CAD 3D.
- Ensino do processo de envio dos arquivos 3D para impressora.
- Correção de erros de conversão de arquivos para diferentes softwares.

f) Processo de impressão 3D e entrega dos protótipos

- Preparação do arquivo para a impressão.
- Preparação da impressora e dos cartuchos de impressão.
- Definição da fila de impressão.
- Supervisão do andamento da impressão.
- Ensino do processo de impressão para alguns dos grupos interessados em acompanhar.

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA PEDAGÓGICA

Neste capítulo será apresentada a análise da experiência pedagógica desta pesquisa de mestrado na perspectiva docente e discente. A realização dessa análise foi realizada através de entrevistas semi-estruturadas com os usuários do serviço de impressão 3D.

As entrevistas semi-estruturadas apresentadas adiante foram feitas com base em 4 perguntas, relacionadas ao papel da impressão 3D no ensino do PDP, para a professora e 5 perguntas, relacionadas ao papel da impressão 3D no aprendizado, para os alunos.

As perguntas foram definidas de acordo com a base teórica apresentada no tópico de ensino de PDP no capítulo 2 e ao final deste capítulo será apresentado o resultado individual e geral das análises das respostas da professora e dos alunos.

6.1. A Perspectiva Docente

Através da análise da entrevista com a docente, foi possível responder sobre o papel da impressora 3D no processo de ensino do PDP na experiência realizada. Nas tabelas abaixo serão apresentadas as perguntas e trechos específicos da resposta que permitiram identificar as principais ideias ou mensagens transmitidas.

Questão 1 – Porque decidiu usar a impressão 3D no desenvolvimento do curso de Projeto de Produto?	
Trecho das respostas	Ideias
“A oportunidade de ter a disposição o laboratório PRO-PME para a realização da experiência didática.”	A importância de um espaço para a prática de projeto; para a realização de experiência didática.
“A ausência na instituição de ensino de laboratórios em que os alunos pudessem realizar modelos e protótipos”	Não há na instituição de ensino, laboratórios para a construção de modelos e protótipos
“A necessidade que os alunos tenham experiência em construção de objetos em	Estimular os alunos a usarem as ferramentas CAD de modelagem 3D.

3D”	
“A maioria esmagadora dos alunos nunca construiu nenhum objeto, não possuem experiência de construção em 3D”	Inexperiência dos alunos em manipular os materiais para a construção manual do protótipo do produto.
“Esta inexperiência dos alunos em um contexto em que vivemos onde existe a popularização das impressoras 3D e movimentos como o dos <i>makers</i> é inaceitável”	É inaceitável alunos convivendo com a tecnologia 3D sem saber manipular o produto.

Questão 2 – Qual foi o impacto do uso da impressão 3D no ensino do PDP?	
Trecho das respostas	Ideias
“A motivação dos alunos na realização da atividade. Os alunos demonstraram enorme interesse em ver seus produtos realizados, em visualizá-los em 3D”	Incentivar o interesse com o uso de novas tecnologias na disciplina.
“Os alunos foram direto do virtual – do CAD, para o produto impresso em 3D. Os alunos não tiveram a experiência do manejo volumétrico, de manipulação das formas, o que seria possível em uma oficina de madeira ou metal. Isso foi uma perda.”	O essencial é o aluno ter uma experiência de contato de manipulação na fabricação do produto e sua montagem. Colocar somente a máquina para fazer o trabalho não se aprende.
“Entretanto, foi melhor que não terem experiência 3D nenhuma, melhor que os modelos volumétricos, muitas vezes toscos que realizam, por não terem acesso a oficinas”	O importante, apesar de algumas falhas no processo, é que foi possível materializar os produtos.
“A impressão 3D desvincula o desenvolvimento da forma dos materiais	A manipulação do material permite ao aluno aprender sobre suas

específicos. A forma “virtual” do produto, em CAD, poderia sofrer modificações a partir da experiência direta do aluno com o material específico, como por exemplo, a resistência da madeira”	características que interferem no desenvolvimento do produto.
---	---

Questão 3– Qual foi a importância do laboratório de impressão 3D em suporte as atividades práticas de projeto?	
Trecho das respostas	Ideias
“O laboratório de impressão 3D deveria ser complementado, com oficinas tradicionais de madeira e metal, por exemplo, onde os alunos tivessem manejo da forma, e vissem a relação forma e material.”	Impressão 3D deve ser uma ferramenta complementar ao uso das máquinas das oficinas tradicionais.
“Considero importante ter duas fases no curso, um exercício direto com o material e a impressão 3D de modo complementar”	Seria melhor ter um curso com uso das oficinas de manipulação de materiais e o uso da impressora 3D de forma complementar.

Questão 4 – Em relação a experiência realizada, como poderia ser implementada a impressão 3D nas próximas turmas de Projeto de Produto?	
Trecho das respostas	Ideias
“Acho que seria fundamental ter sempre um tutor de impressão 3D como tive ao meu lado durante o desenvolvimento do curso.”	É importante a participação de um técnico especializado, na manipulação das máquinas de impressão 3D, ao longo do processo de desenvolvimento do produto.

<p>“O tutor com experiência em fechamento de arquivos e impressão 3D”</p>	<p>Uma pessoa capacitada em preparar os arquivos para impressão 3D é essencial.</p>
<p>“Sem o tutor não teria feito o curso”</p>	<p>O suporte técnico, de uma pessoa do laboratório para orientar os alunos e a professora, foi essencial.</p>
<p>“Gostaria de avançar para que os alunos construíssem verdadeiros produtos, operacionais. No exercício realizado fizemos simulações, algumas em escala, de produtos que seriam realizados em termoplástico”</p>	<p>A construção de produtos funcionais mais próximos da realidade.</p>
<p>“Gostaria de explorar a impressão 3D na elaboração de produtos para serem produzidos especificamente nestas impressoras, ou seja, que a impressora fosse seu meio de fabricação primordial. Eu daria um exercício assim”.</p>	<p>Explorar o uso da impressora 3D como meio de fabricação primordial na elaboração de produtos.</p>

6.2. A Perspectiva Discente

Com o objetivo de avaliar o aprendizado foram realizadas entrevistas com alunos do curso de Engenharia de Produção que cursaram a disciplina Projeto do Produto no primeiro semestre do ano de 2012. As entrevistas foram realizadas após o término da disciplina.

Nas tabelas abaixo são apresentadas as perguntas e seus respectivos depoimentos relacionados com as suas ideias principais.

Questão 1 – Como ocorreu o contato com a impressora 3D durante a disciplina?

Trecho das respostas	Ideias
“O grupo tinha cinco integrantes, cada um fez uma proposta de produto e ai a professora para introduzir o conceito de prototipagem, trouxe todo mundo no PRO-PME (...) foi um dos cinco produtos para serem prototipados e foi esse meu contato com a impressora 3D.” (Aluno 1)	O contato visual com a impressora 3D foi através de visita ao laboratório.
“O contato ocorreu de duas formas. Primeiro, foi a própria professora Carla comentando sobre a tecnologia, como funcionava, indicações do que já estava rolando mesmo no mercado.” (Aluno 2)	Exposição teórica sobre a impressora 3D.
“... a segunda foi aqui no próprio laboratório, (...) Ahh, de uma forma geral o contato foi muito aqui pelo PRO-PME, pelo laboratório, vendo a máquina e depois vendo os produtos prontos.” (Aluno 2)	O contato de uma forma geral foi visual em visita ao laboratório e assistindo a máquina e o protótipo pronto.
“a gente foi lá ver como era...conheceu até....Você apresentou pra gente o laboratório lá, mostrou como que era o processo de impressão 3D...e...depois a gente viu ele no tato como que ficou o nosso produto lá quando imprimiu” (Aluno 3)	Foi apresentado pelo técnico o processo de impressão aos alunos e entregue o resultado final do protótipo.

Questão 2 – O que foi aprendido em relação ao processo de impressão 3D durante a disciplina?

Trecho das respostas	Ideias
<p>“...dentro de sala a gente não teve nada, assim, que me recorde né..., e foi mais observar como é que funcionava o processo aqui. (...), mas a gente viu e acompanhou durante a execução da prototipagem rápida como é que funcionava, então foi mais esse meio...mais prático do que teórico.” (Aluno 1)</p>	<p>Acompanhar mais na prática a execução do processo de impressão do que na teoria.</p>
<p>“A questão de você materializar o conhecimento. Acho que todo mundo tinha ouvido falar sobre impressora 3D e como era, mas de fato ver a coisa sendo feita e... deu pra ver....e numa das visitas a gente conseguiu ver a máquina passando...fazendo a impressão das <i>layers</i> e depois ver o produto pronto foi bem legal!.” (Aluno 2)</p>	<p>A possibilidade de materializar uma ideia e poder acompanhar o processo de impressão 3D com a máquina funcionando.</p>
<p>“o que eu achei mais irado no meu ponto foi a especulação das multiplicações, começou a mudar o método de produção. (...) o ponto principal mesmo na minha cabeça foi ver como a tecnologia pode mudar a forma que a gente vive hoje em dia, sabe.” (Aluno 2)</p>	<p>Foi aprendido sobre um novo método de produção de peças e produtos cuja tecnologia poderá mudar a vida das pessoas.</p>
<p>“Foi muito que alinhado a proposta de projeto de produto. A gente chegou lá... fez e... todo o desenvolvimento das linhas de produtos baseados nas</p>	<p>O processo de impressão 3D foi entendido como parte integrante da prática de projeto de produto.</p>

<p>necessidades mal atendidas e desenvolvemos novos produtos para resolver aquilo, depois fez os modelos 3D dos produtos, baseados no que a gente achava que tinha que realmente tinha que ser para a utilização de tamanhos corretos e etc.. certo?!, e baseado naquilo gerou ummm.... um protótipo lá que realmente ajudaria muito bem como que funcionaria o produto na prática.”</p> <p>(Aluno 3)</p>	
--	--

<p>Questão 3 – O que significou materializar o projeto de produto com uma impressora 3D?</p>	
<p>Trecho das respostas</p>	<p>Ideias</p>
<p>“A chance de ver algo prototipado, algo sólido dali do que você tinha pensado foi.... foi bastante bacana.... foi ver que todo aquele processo que a gente fez aqui da disciplina valeu eee.... teve um resultado.” (Aluno 1)</p>	<p>Foi gratificante ver o projeto se tornar algo físico que fizesse valer a pena o processo do aprendizado da disciplina.</p>
<p>“Foi muito a questão de você realmente ter um produto físico do protótipo. (...) Não sei como era nos outros períodos, até hoje na minha vida acadêmica como um todo, sempre que queria fazer o protótipo de alguma coisa, no final era uma coisa muito feia e zuada, com papel, com....uma maquete de papelão”</p> <p>(Aluno 2)</p>	<p>A qualidade final do protótipo ficou bem melhor do que os métodos convencionais de construção de protótipos por papel ou papelão das outras disciplinas.</p>
<p>“Imagina se chegar no cliente, imagina já</p>	<p>Imaginar como poderia ser utilizado no</p>

chegar de fato com o protótipo. Você vê o cara e mostra assim direitinho que bate com o desenho se caso ele pudesse ter visto antes, tem um diferencial” (Aluno 2)	meio profissional como um diferencial.
“Acho que foi bem mais realizador, porque a gente pôde ver o produto realmente o que a gente desenhou de verdade lá.” (Aluno 3)	A realização de ver algo virtual se transformando em algo real
“Permitiu a gente ver a impressão 3D que é uma real, algo bem discutida de agora. Eu nem sabia que o fundão tinha uma impressora 3D.” (Aluno 3)	Ter a possibilidade de estar em contato com uma tecnologia muito utilizada e discutida nos tempos atuais.
“Desenvolver e ver o produto ali foi ótimo, é bem melhor ver o produto de verdade do que só ficar naquela teoria da faculdade” (Aluno 3)	Perceber o produto de verdade como algo concreto e não só na teoria.

Questão 4 – Qual foi o papel da impressora 3D no desenvolvimento do produto durante a disciplina?	
Trecho das respostas	Ideias
“Acho que foi só neste final mesmo para fazer o protótipo, mas durante a disciplina mesmo nem foi citado ela. (...) só no final e não influenciou no decorrer e nem foi avisado que seria feito, mas e daí mais pro final da disciplina ela falou: A gente vai fazer a prototipagem lá e tal.” (Aluno 1)	O uso da impressora 3D foi uma novidade vivenciada ao final da disciplina.
“Acho que nos outros anos né na disciplina.... o pessoal fazia maquete né,	Muda a forma como eram feitos os protótipos na disciplina de projeto de

<p>tanto que a gente fez com os outros produtos. Fazia maquete e outros tipos de prototipagem de moldagem.” (Aluno 1)</p>	<p>produto anteriores.</p>
<p>“Nesse caso foi muito marginal (...) Sabia que o prototipado não era principal. O que importava era ter usabilidade, ver se de fato não haveria necessidade do cliente ou até mesmo, sei lá, o que a gente achava legal ter no produto”. (Aluno 2)</p>	<p>A impressora 3D não era o principal da disciplina, pois o importante era testar a usabilidade do produto.</p>
<p>“Neste ponto, acho que; assim, necessariamente a professora não passou pra gente que necessariamente ia ter impressão 3D. Ela falou...ai então a princípio a gente ficou sem saber que ia rolar, essa parte de impressora 3D ok?!” (Aluno 3)</p>	<p>Os alunos não foram avisados sobre o uso da impressão 3D. Foi um fator surpresa.</p>
<p>“Rolou mais no final... na parte em qual produto a gente vai fazer realmente o protótipo e pro produto que a gente fosse fazer o protótipo, o modelo do CAD tinha que estar perfeito e tal... ai foi quando a gente começou a ter mais interface com você, também para verificar o modelo e tal e indicou um produto que seria prototipado e tal... (Aluno 3)</p>	<p>A impressora 3D foi usada ao final do curso e influenciou na seleção do produto a ser prototipado e na sua modelagem CAD.</p>
<p>“Momento que também foi interessante também para conhecer o produto prototipado para ver de quais dos produtos que a gente desenhou o que era viável ou não fazer com a impressora 3D, até por questão de dimensão, de</p>	<p>A impressora teve papel fundamental na seleção dos produtos viáveis de serem impressos em 3D</p>

possibilidades mesmo de fazer na impressora 3D que tinha lá.” (Aluno 3)	
--	--

Questão 5 – Qual momento foi crucial no processo de impressão 3D?	
Trecho das respostas	Ideias
“Não sei te responder, porque mal ou bem você foi e fez os produtos aqui né. Acho que no dia da impressão 3D a gente tava vendo um produto que não era da disciplina.” (Aluno 1)	Não soube responder, pois não teve contato direto com o processo de impressão 3D.
“O crucial... na minha cabeça foi realmente ter o produto pronto na mão. (...) Você ter o produto realmente na mão, prototipado, visto, com forma física, peso. Realmente deu pra ver que o uso seria legal.” (Aluno 2)	O crucial foi o resultado final com o produto pronto na mão.
“Cheguei em casa um dia fiquei testando, como parte da disciplina a gente testou lavar uma roupa com aquilo sabe, ai deu pra ver que funcionava de certa forma pra usar.” (Aluno 2)	O crucial foi testar e ver que o produto funcionava realmente.
“O momento mais crucial foi quando a gente sentou com você e com a Carla também e tal para decidir efetivamente qual produto seria prototipado. (...) na parte de Design a gente não sabia da impressora 3D então não foi nesta parte que teve uma influência.” (Aluno 3)	A escolha do produto a ser prototipado pela professora e pelo técnico do laboratório.
“O momento mais crucial então foi assim	A decisão do produto a ser prototipado

<p>decidir qual produto era viável de fazer, qual o melhor produto para se fazer da linha e fazer a prototipagem rápida 3D, se fosse fazer, que ajustes teríamos que fazer na linha do modelo e etc para chegar no produto.” (Aluno 3)</p>	<p>definiria os próximos passos da disciplina de projeto de produto.</p>
<p>“Então, acho que o momento mais crucial foi este até que teve maior input e maior aprendizado com a impressão 3D no geral.” (Aluno 3)</p>	<p>No geral foi possível ter um aprendizado sobre o processo de impressão 3D.</p>

6.3. Elaboração dos resultados

Neste tópico serão analisados os resultados das entrevistas em relação ao corpo teórico apresentado no capítulo 2 e os elementos específicos que foram descobertos nas questões.

Os resultados foram divididos em dois tópicos: resultados docente e resultados discente. Ao final, deste capítulo, será apresentada uma análise geral.

6.3.1. Resultados Docente

Na primeira questão, apresentada para a docente, é possível relacionar:

- a) **A necessidade de um espaço disponível para as atividades práticas de projeto**, confirmando o que foi apresentado por Zagal (2013), Gershenfeld (2012) e Eychenne e Neves (2013) que defendem a disponibilidade de um espaço acadêmico, com base no modelo dos Fab Labs, como locais incentivadores da prática de projeto de produto. Assim como Borges (2006, p.1644) com base nas suas experiências de curso de projeto de produto, com os alunos, enfatiza uma melhora na infraestrutura de laboratórios para uma melhor qualidade do ensino/aprendizagem.
- b) **A necessidade de qualificar os alunos com as ferramentas CAD confirma** Vinck (2013), Borges (1998) e Baxter (1998) em que os autores do projeto devem saber manipular as ferramentas e entender seus códigos para a discussão da ideia de projeto e detalhamento para produção.

Volpato (2007) e Gibson e Rosen *et al.* (2010) reforçam que a ferramenta CAD é importante para dar formas e volumes virtuais ao produto. Os projetistas devem saber fazer, segundo Simon (1996), uma representação apropriada dos problemas de projeto para organizar os esforços de solução e conseguir uma certa clareza sobre as maneiras de avaliar as decisões propostas.

- c) **Incentivar os alunos a buscarem soluções de manipulação dos materiais para a construção manual do protótipo do produto.** A proatividade dos alunos para buscarem as soluções de projeto é defendido por Gershenfeld (2012) e Eychenne e Neves (2013) com o uso de laboratórios com tecnologias de fabricação digital por pessoas com instinto *Maker*, de fazer as coisas por si só. Neste caso, segundo Borges (2006, p.1637), é fundamental que os estudantes construam a habilidade de projetar artefatos e processos técnicos. O incentivo pode ser entendido como, segundo Simon (1996), a complexidade fazendo com que os indivíduos se mobilizem em busca de soluções.
- d) **A necessidade do uso da impressora 3D como instrumento complementar nas atividades da disciplina.** Esse aspecto levantado é novo e não foi apresentado pelos autores como um instrumento complementar, mas uma ferramenta necessária para as atuais necessidades de projeto de produto.

Na segunda questão, foram apresentadas as ideais de:

- a) **Incentivo ao uso de novas tecnologias,** é defendido por Pugh (1991) como uma necessidade de formação de profissionais altamente especializados e informados sobre os últimos avanços em ciência e tecnologia. Segundo Flowers e Moniz (2002, p.11) “essas tecnologias estão revolucionando a forma de ensinamento de projeto de produto nas universidades e tem um potencial único de capacitar estudantes do ensino superior”.
- b) **Manejo da fabricação do produto com auxílio de uma oficina com manejo de diferentes materiais em máquinas operadas manualmente.** Segundo Flowers e Moniz (2002), é importante que os alunos saibam executar os princípios básicos de criação dos conceitos do produto nos

desenhos em papel e como fazer seus modelos em madeira, papelão, plástico e outros materiais. Apesar disso a oportunidade de materializar foi importante.

Na terceira foi apresentado a questão do:

- a) **Uso da impressora 3D de forma complementar ao uso das máquinas das oficinas tradicionais:** como já mencionado para a pergunta 1, esse aspecto levantado é novo e não foi apresentado pelos autores como um instrumento complementar, mas uma ferramenta fundamental para as atuais necessidades de projeto de produto.
- b) **Concepção de um curso de projeto de produto abrangendo ambos os métodos de fabricação.** Confirma Flowers e Moniz (2002) que valorizam o uso do método de fabricação com as máquinas das oficinas tradicionais e também o uso das novas tecnologias de impressão 3D. Por outro lado um curso deve conceber, segundo Menegon e Andrade (1998) em acordo com Pugh (1991), uma atividade não exata e em constante evolução e Borges (2006) apresenta sua experiência prática de revisão e reestruturação do ensino de sua disciplina de projeto de produto.

Na quarta questão foi apresentada:

- a) **A necessidade de um responsável técnico capacitado no suporte das atividades de projeto da disciplina,** por outro lado Gershenfeld (2012) defende que os alunos aprendam as técnicas ao longo da sua progressão natural, ensinem uns aos outros o conhecimento adquirido e, com isso, liberando o docente para outras tarefas.
- b) **A construção de produtos funcionais mais próximos da realidade e** segundo Zagal *et al.* (2013), a metodologia pedagógica do CDIO (*C – Conceive, D – Design, I – Implement, O – Operate*) busca introduzir aos alunos em situações reais de projeto do dia a dia profissional e basicamente consiste em criar produtos factíveis de serem produzidos e introduzidos no mercado.
- c) **O uso da impressora 3D como processo de fabricação final do produto.** Por outro lado Zagal *et al.* (2013) defendem o uso inteligente

das impressoras 3D, assim como de outros equipamentos, no início ou ao final do projeto do produto.

6.3.2. Resultados Discente

Na primeira questão foi abordado pelos 3 alunos entrevistados **que o contato com a impressora 3D foi de forma teórica em sala de aula. No entanto, alguns alunos acompanharam visualmente o processo de impressão 3D através de visita ao laboratório e obtiveram o contato final com o protótipo pronto.** Esse contato com o protótipo pronto refere-se, segundo Vinck (1999), a materialização das ideias e conhecimentos de projeto sendo, segundo Bittencourt (2011), a conclusão de uma etapa de desenvolvimento de produto. Com relação ao contato teórico e de visualização da prática, Borges (2006) e Ulrich e Eppinger (2008) apresentam a importância de mesclar a parte teórica e metodológica da sala de aula com a prática.

Na segunda questão os discentes responderam que **aprenderam aspectos práticos sobre o processo de impressão 3D, refletiram sobre como essa nova tecnologia de impressão 3D pode influenciar atualmente na vida das pessoas e também que o processo de impressão 3D foi parte integrante da prática de projeto.** Nestes aspectos é fundamental citar Zagal *et al.* (2013) que defende o contato dos alunos com a impressora 3D como ferramenta de projeto de produto fundamental para a relação entre os estudantes e as máquinas. Além disso, segundo Flowers e Moniz (2002, p.11) “essas tecnologias estão revolucionando a forma de ensinamento de projeto de produto nas universidades e tem um potencial único de capacitar estudantes do ensino superior”.

Na terceira questão os alunos apontaram os seguintes aspectos:

- a) **A gratificação de tornar real e poder materializar o produto.** Cabe mencionar Volpato (2007), onde diz que um protótipo deve ser um elemento tangível criado como aproximação do produto final. O protótipo, segundo Vinck (2009), é o objeto intermediário que materializa suas intenções, seus hábitos de trabalho, seu conhecimento, suas perspectivas e suas relações com as pessoas. Consequentemente, foi a concretização de toda a trajetória de projeto entre os alunos do grupo.
- b) **A melhora no resultado final do protótipo em relação a experiências nas disciplinas anteriores de construção de protótipos pelos**

métodos convencionais com uso de papel ou papelão e por último foi percebido o resultado final do produto impresso. Essa reflexão de melhoria do protótipo em relação às experiências anteriores foi apontada por Diegelo *et al.* (2005) ao tratar da utilização de tecnologias em Impressão 3D nos cursos de graduação em projeto do produto como uma oportunidade importante para a aplicação de conhecimentos adquiridos em outras disciplinas.

- c) **A influência dessa tecnologia como um diferencial no meio profissional** e por isso, segundo Flowers e Moniz (2002, p.11), “essas tecnologias estão revolucionando a forma de ensinamento de projeto de produto nas universidades e tem um potencial único de capacitar estudantes do ensino superior”. A inserção da tecnologia de impressão 3D é um diferencial, preparando os alunos para o mercado profissional. Portanto, nas disciplinas de projeto de produto, segundo Barbalho *et al.* (2006) e Borges (1998), os indivíduos participantes devem interagir e vivenciar situações reais de uma empresa de manufatura.
- a) **A oportunidade de estarem próximos a uma tecnologia bastante comentada e discutida nos tempos atuais.** Essa proximidade vem se transformando após a quebra de patente do processo de impressão 3D por manufatura aditiva (FDM) registrada de acordo com CASTLE ISLAND (2013) em 1992 por Scott Crump. Por causa disso, Alves (2014) apresenta a atual liberdade das pessoas de construir suas próprias impressoras 3D “em casa”.

Na quarta pergunta com relação ao papel da impressora na disciplina foi dito que a impressora foi:

- a) **Um fator surpresa introduzido ao final da disciplina.** Segundo Stratasys (2014) menciona a impressora como um fator atualmente surpreendente, tanto para os projetistas como para os clientes, na execução de projetos.
- b) **Considerada como uma evolução aos métodos de construção de protótipos das disciplinas anteriores,** pois, segundo Stratasys (2014), a tecnologia permite a construção de formas complexas de forma dinâmica de melhor qualidade em relação aos métodos convencionais.

- c) **Fundamental para a execução de testes de usabilidade do produto ao final da disciplina.** A função principal de um protótipo de acordo com Vinck (2013) é remeter à possibilidade de testar alguma ideia no decorrer ou ao final do projeto com intuito de qualificar e validar soluções, produzir conhecimentos sobre os fenômenos e os produtos e avaliar o processo de fabricação.
- d) **Fundamental para o prosseguimento da disciplina, pois em função de suas limitações foram escolhidos os protótipos a serem impressos.** Desta forma, a escolha da impressora 3D pode ser representada, segundo Vinck (2013), por irreversibilidades, criadas pelos projetistas no decorrer do processo de desenvolvimento do produto.

Na quinta e última questão com relação ao momento crucial do processo de impressão 3D foi **o resultado final onde foi possível sentir e testar o manuseio do produto. Além de ser um aprendizado e como fator de influência na escolha das peças a serem impressas e para o prosseguimento da disciplina na preparação do projeto do produto para a impressão 3D.** Estes reafirmam os pontos levantados nas questões anteriores.

6.3.3. Resultados Gerais

Na avaliação geral os pontos fundamentais apresentados pela professora e que confirmaram o corpo teórico foram:

- a) A necessidade de um laboratório para as experiências práticas;
- b) A importância do aluno colocar a “mão na massa” ao manipular os materiais e as máquinas de uma oficina;
- c) A importância de introduzir novas tecnologias na disciplina e aprender as ferramentas CAD;
- d) A necessidade de um técnico do laboratório dando suporte aos alunos e à professora.

Em relação aos alunos, os pontos fundamentais apresentados foram confirmados com a teoria. No geral ressaltaram que o contato com a impressora 3D ocorreu de forma teórica, visual e prática, acompanhando o processo de impressão 3D no laboratório e por último o contato físico com protótipo pronto e impresso em suas mãos. Os alunos mencionaram que aprenderam sobre o processo de impressão e sua

importância como integrante da prática de projeto. Além disso, refletiram sobre a influência da impressão 3D na vida profissional e cotidiana.

Por outro lado para os alunos o uso da impressora 3D foi gratificante, pois permitiu materializar e tornar real suas ideias, assim como melhorou na qualidade do resultado final do protótipo em relação aos projetos anteriores. Além disso, o uso da impressora 3D foi um fator surpresa, introduzido ao final da disciplina, uma oportunidade de proximidade com uma tecnologia comentada e discutida nos dias atuais e fundamental para o prosseguimento da matéria e para a execução de testes no protótipo.

O elemento novo, que foi descoberto e também não confirmado com o corpo teórico, foi a necessidade da professora de usar a impressora 3D de forma complementar e no final da disciplina, pois os autores defendem seu uso de forma inteligente, mas não necessariamente de maneira conjunta. Enfim, deve-se avaliar sempre a necessidade de uso da impressora 3D ao longo da disciplina.

Nesta pesquisa de mestrado foi priorizado o uso da impressora 3D na disciplina de Projeto do Produto pelos alunos e pela professora por meio da participação/intervenção de um técnico de laboratório responsável pela operação da máquina e na orientação aos alunos na preparação dos arquivos.

CAPÍTULO 7 – PROPOSTA DE PROJETO DE SERVIÇO

Neste capítulo será apresentada uma proposta de projeto de serviço de Impressão 3D, como um dos objetivos propostos, desta pesquisa. O serviço será apresentado em etapas de acordo com os pontos de contato físicos e em ordem cronológica. Este poderá ser um modelo a ser seguido nas próximas disciplinas de projeto do produto dos cursos de graduação da UFRJ.

A primeira experiência com os alunos e a professora dessa disciplina, apresentado no estudo de caso (Capítulo 4), serviu como teste para a conceituação desta proposta de serviço de impressão 3D.

O processo de conceituação deste projeto de serviço teve início após a análise dos resultados obtidos de acordo com o uso da impressão 3D e da interação com os usuários do serviço testado. Desta forma com o uso da ferramenta do *blueprint*, apresentada no Capítulo 3, foi possível estruturar e conceituar um serviço com os elementos de contato com o usuário.

7.1. Usuários

Os usuários nesta proposta de projeto de serviço serão o professor e os alunos, sendo que o primeiro será responsável pelo engajamento inicial e o segundo atuará por meio do serviço na preparação dos arquivos para a impressora 3D.

7.2. Modelo de negócio

O laboratório para ter condições de executar esta proposta de serviço deverá ter recursos financeiros próprios vindos do departamento do curso de graduação ao qual está vinculado ou por meio de recursos externos. Este último poderá vir de editais publicados por órgãos de amparo a pesquisa e ao ensino. Isso se justifica, pois este serviço é voltado aos alunos e por isso deverá ser gratuito.

O principal objetivo do laboratório acadêmico de impressão 3D é desenvolver a cultura de aprendizagem de projeto do produto por meio da prática. Os estudantes então realizam projetos práticos e assim aplicam seu conhecimento teórico das salas de aula.

Estes usuários do laboratório podem vir das mais variadas áreas possíveis tanto de desenho industrial, como arquitetura e engenharia. Os professores de projeto do produto dos cursos da graduação podem realizar parcerias com troca ou transferência

de recursos entre departamentos ou participação em conjunto ao laboratório em editais para obtenção de recursos.

O serviço de impressão 3D em questão visa fomentar a prática de projeto do produto a fim de desenvolver a teoria da sala de aula ao oferecer cursos sobre o uso das máquinas digitais, softwares, prototipagem rápida ou até mesmo sobre temas mais específicos. Os usuários, por sua vez, terão oportunidade de participar em colaboração com o serviço.

Os projetos recebidos a princípio não têm restrição de serem impressos tridimensionalmente, porém cabe cada laboratório priorizar os projetos mais interessantes de acordo com a sua área de competência e atuação. Por outro lado é necessário ao longo do tempo estimular o recebimento de projetos de outras áreas, seja na Engenharia, Desenho Industrial, Arquitetura e etc para então obter competência para atuar em outras áreas.

A agenda do laboratório acadêmico pode variar, entretanto pode ter um dia na semana aberto a outras atividades. Nestes dias, a equipe do laboratório poderia usar o maquinário por meio de uma reserva de material para a realização de testes e treinamentos de novos pesquisadores e bolsistas.

Este modelo de laboratório acadêmico poderá contar com um professor responsável (coordenador), um estudante de mestrado e/ou doutorado envolvido com a pesquisa do laboratório e dois ou três bolsistas, no auxílio das atividades do laboratório.

Este modelo de negócio foi elaborado em função das dificuldades encontradas com a turma de projeto do produto da Engenharia de Produção. A realização deste serviço recomenda a seguinte estrutura:

- a) Duas ou mais máquinas de impressão 3D;
- b) Mínimo de um computador para cada equipamento de impressão;
- c) Sala de reunião, em separado, para orientar os alunos;
- d) Divisórias separando em setores de acabamento, estoque, sala de projeto e etc.

7.3. O Conceito do Serviço

O processo de conceituação deste projeto de serviço teve início após a análise dos resultados obtidos de acordo com o uso da Impressão 3D e da interação com os usuários do serviço testado. Desta forma com o uso da ferramenta do *blueprint*, apresentada no capítulo 3, foi possível estruturar e conceituar um serviço com os elementos de contato com o usuário.

7.3.1. Etapa 1 - Engajamento inicial

O engajamento inicial do professor no serviço de Impressão 3D para sua turma de projeto do produto poderá ser através de outros discentes, alunos, folders espalhados pela universidade e pela internet. Estes meios de comunicação permitirão o primeiro contato com o laboratório de impressão 3D.

Através de contato realizado por telefone, será possível agendar uma visita ao laboratório ou indicar o acesso ao site do laboratório para o usuário/professor. Desta forma será possível obter maiores informações sobre o serviço, a história do laboratório, equipe responsável, projetos realizados, estrutura, Impressão 3D e contato/solicitação de serviço.

Na parte de solicitação de serviço será preenchido um formulário online com os dados do professor, instituição de ensino, disciplina, período, ano letivo, número de alunos e número de grupos. (Figura 33)

The screenshot shows a web browser window with the URL `file:///C:/Users/Home/Documents/João/Site%20PROPME/sites/Site%20Final/index.html`. The page header features the logo 'pro-pme' with the tagline 'Pesquisa e Desenvolvimento com Pequenas e Médias Empresas'. A navigation menu includes 'Home', 'Atuação', 'Prototipagem Rápida', 'Projetos', 'Equipe', 'Publicações', and 'Contato'. The main content area is titled 'Formulário do Professor' and contains a form with the following fields:

Nome:					
Instituição:		Endereço:			
Disciplina:		Nº alunos		Nº grupos	
Período:		Horário:		Ano letivo	
Telefone:		E-mail:		Dia da semana	
Coordenação:		Curso:			

Figura 33: Cadastramento de dados

Fonte: Autor

Na próxima tela o docente poderá escolher pelo(s) equipamento(s) de impressão 3D mais adequado(s) para a disciplina. Isso leva em consideração as especificações técnicas, restrições e matéria-prima de cada máquina a ser utilizada. Será feito o cálculo automático da quantidade de material a ser utilizado por cada aluno ou grupo e apresentado o custo final total ou por estudante. (Figura 34)

Especificações		Orçamento			
Área de impressão	210x210x100mm	Taxa manutenção	R\$ 40,00		
Tecnologia	FDM	Taxa químico	R\$ 15,00		
Material	ABS				
Precisão	0,175mm/cu				
Tempo? em?	900/min				
Volume? em³	500 cm³				
		nº grupo(s)	3	em? grupo	500
				Preço? grupo	R\$ 254,80
				Total:	

Figura 34: Simulação de custos

Fonte: Autor

Por último, concluída a simulação de custos, a professora deverá marcar as semanas de uso do laboratório com os alunos para finalização/preparação dos arquivos de impressão, visita dos alunos para acompanhamento do processo de impressão 3D e para a entrega dos protótipos. (Figura 35)

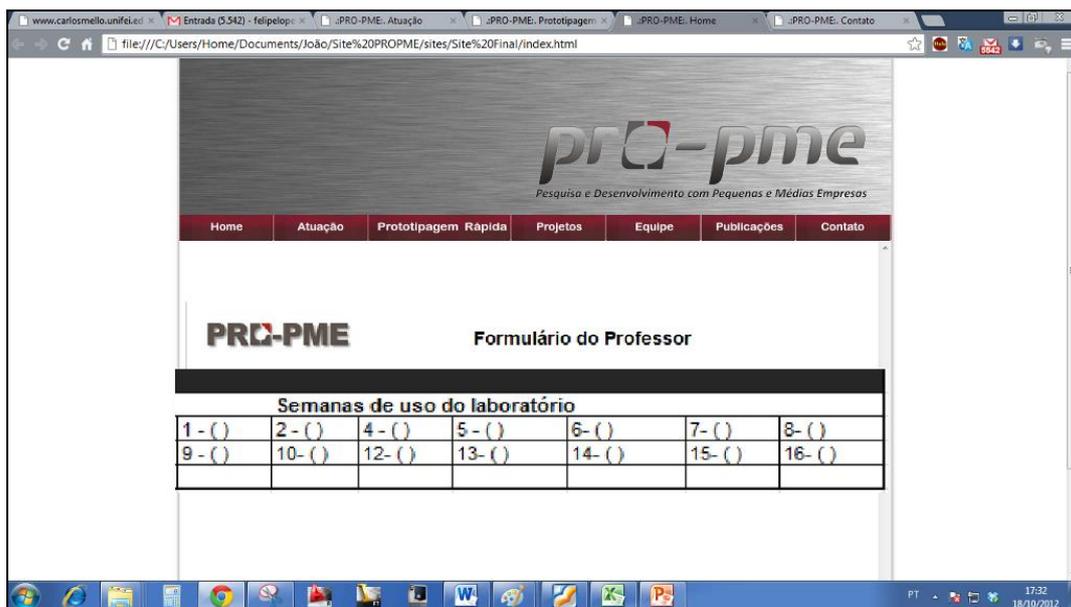


Figura 35: Semanas de uso

Fonte: Autor

Recursos necessários:

- a) Material de divulgação direcionado aos professores;
- b) Site do PRO-PME predisposto para o processo de cadastro da requisição;
- c) Meios para contato personalizado: telefone, e-mail;
- d) Responsável (bolsista) para a fase de cadastro.

A equipe do laboratório irá verificar o formulário preenchido. Caso seja necessário entrará em contato com o professor para marcar uma reunião e visita ao laboratório para definir um cronograma de atividades de acordo com a estrutura do laboratório. O formulário online se for preenchido será encaminhado aos bolsistas para análise de aprovação dos dados em acordo com a capacidade atual de demanda do laboratório.

Recursos necessários:

- a) Site do PRO-PME predisposto para o processo de cadastro da requisição;
- b) Meios para contato personalizado: telefone, e-mail;
- c) Responsável (bolsista) para aprovação da demanda.

7.3.2. Etapa 2 – Reunião e visita ao laboratório

O docente será recebido pela equipe do laboratório que irá apresentar a estrutura do laboratório e esclarecer sobre o funcionamento das impressoras 3D e todo seu processo por meio de apresentação oral e de modelos/protótipos já impressos. Caso tenha sido preenchido também o formulário online, suas informações serão validadas como os dados gerais do professor e curso de graduação, números de alunos na turma, quantidade de material estipulado por aluno e etc.

As informações validadas ou coletadas servirão como base do planejamento do plano de aula e quantidade necessária para a equipe de retaguarda (bolsistas). Estes irão preparar toda a programação da equipe do laboratório de acordo com o plano de aula definido junto com o professor. Além disso, serão responsáveis pela preparação do laboratório para o próximo passo de visita dos alunos ao espaço.

Recursos necessários:

- a) Sala de reunião;
- b) Projetor;
- c) Responsável (bolsista) para planejamento das atividades.

7.3.3. Etapa 3 – Apresentação do laboratório para a turma

A equipe do laboratório após a aprovação do plano de aula irá fazer uma apresentação, aos alunos, em sala de aula sobre as tecnologias de impressão 3D e a estrutura do laboratório. Neste caso também serão apresentados os procedimentos de preparação e fechamento de arquivos para impressão e por último serão esclarecidas as dúvidas dos alunos sobre o assunto.

Recursos necessários:

- a) Projetor;
- b) Laptop;
- c) Arquivo de apresentação;
- d) Responsável (bolsista) para a fase de cadastro.

7.3.4. Etapa 4 – Visita da turma ao laboratório

Os alunos divididos em grupos irão visitar o laboratório e cada componente da equipe do laboratório será responsável por um até três grupos. Esta divisão foi estabelecida inicialmente no plano de aula do professor, onde foi definida a realização de uma visita da turma ao laboratório. Nesta visita a equipe do laboratório apresentará as impressoras e seus processos de impressão, o software CAM para envio dos arquivos para impressão, esclarecer as dúvidas e poderão tocar algumas amostras de protótipos impressos por cada máquina.

Recursos necessários:

- a) Máquinas de Impressão 3D;
- b) Protótipos para amostra;
- c) Mesas e cadeiras;
- d) Sala de reunião;
- e) Dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.3.5. Etapa 5 – Análise e seleção dos conceitos.

A equipe do laboratório em conjunto com o(a) professor(a) da disciplina marca uma reunião fora do horário de aula para análise dos conceitos de produtos desenvolvidos por cada grupo ou aluno. Será discutido entre as partes as possíveis restrições, recomendações e dimensões para cada projeto a ser prototipado de acordo com o processo, o equipamento de Impressão 3D mais adequado e disponível para a disciplina e a quantidade de matéria-prima estipulada para cada grupo no formulário online.

Recursos necessários:

- a) Desenhos Técnicos;
- b) Software CAD;
- c) Mesas e cadeiras;
- d) Sala de reunião;

e) dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.3.6. Etapa 6 – Análise e fechamento dos arquivos para Impressão 3D.

No dia de aula cada grupo ou aluno terá um tempo estimado para a apresentação da modelagem virtual 3D do produto, em uma sala de reunião dentro do próprio laboratório, para em seguida discutir as possíveis alterações e evitar problemas na impressão.

Recursos necessários:

- a) Desktop;
- b) Software CAD;
- c) Mesas e cadeiras;
- d) Sala de reunião;
- e) dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.3.7. Etapa 7 – Organização da fila de impressão

A equipe do laboratório irá organizar os arquivos 3D de acordo com os equipamentos disponíveis para a disciplina e calculará o tempo estimado de impressão de cada protótipo ou modelo. O prazo de entrega desses protótipos será estipulado considerando uma margem para possíveis erros de impressão.

Recursos necessários:

- a) Desktop;
- b) Software CAD (Edição dos arquivos);
- c) Software CAM da máquina (Preparação dos arquivos);
- d) Mesas e cadeiras;
- e) Dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.3.8. Etapa 8 – Contato sobre o andamento do serviço

Durante o andamento do serviço o laboratório deverá entrar em contato com o(a) professor(a), informando sobre os projetos que estão sendo impressos, os que já foram finalizados e aqueles que apresentaram erros. Esse acompanhamento permite um retorno permanente a fim de não prejudicar o andamento da disciplina com relação aos prazos e à avaliação de cada aluno.

Recursos necessários:

- a) Desktop;
- b) Software CAD (Edição dos arquivos);
- c) Software da máquina (Preparação dos arquivos);
- d) Mesas e cadeiras;
- e) Dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.3.9. Etapa 9 – Entrega, preenchimento dos documentos e *feedback*

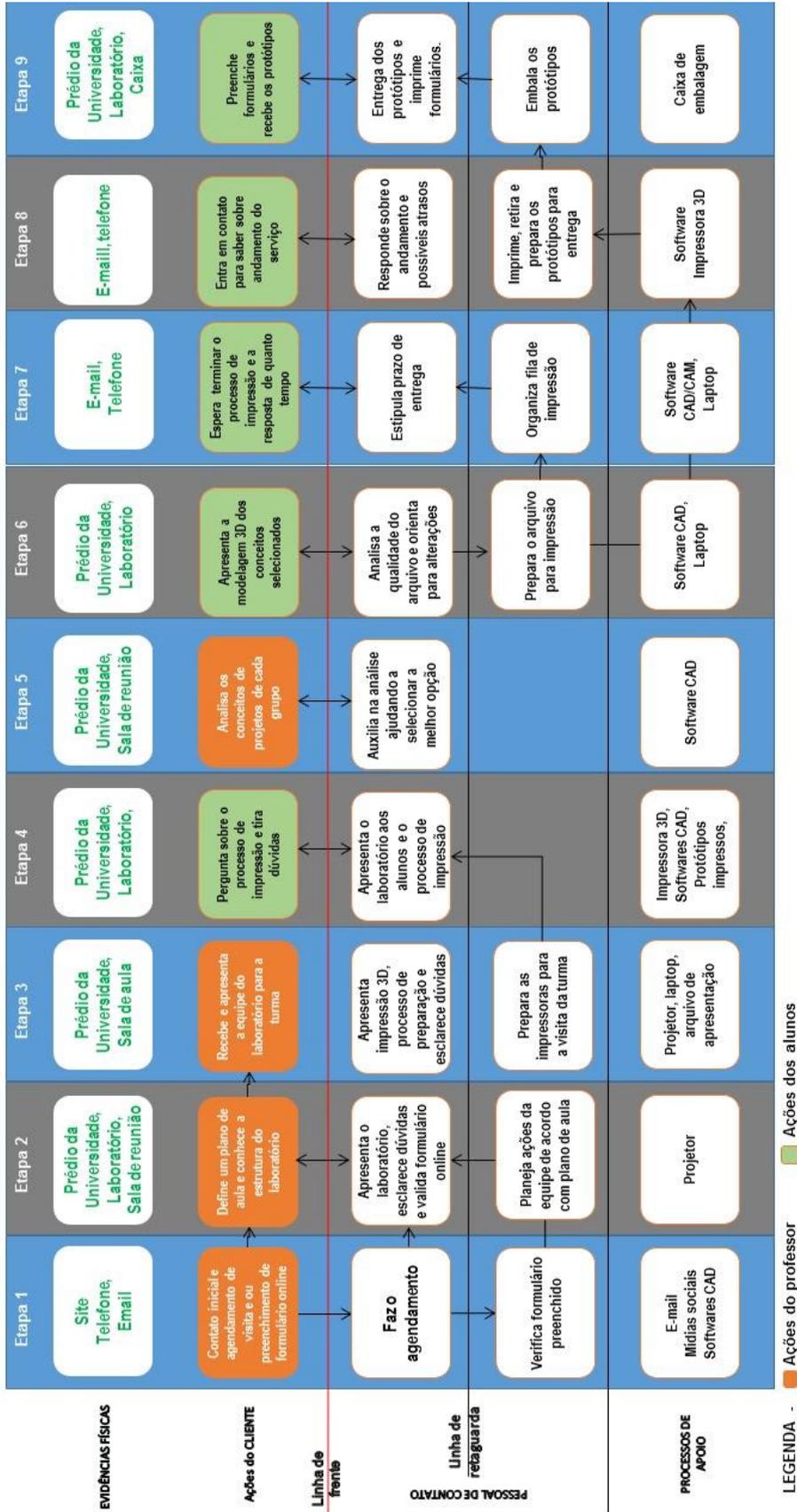
Ao final de cada curso ou etapa do curso cada aluno ou grupo virá ao laboratório mediante agendamento prévio em acordo com o(a) professor(a) para cada aluno buscar seus protótipos, devidamente embalados. Antes deverão assinar o termo de compromisso, comprovante de entrega e por último preencher um formulário de *feedback* sobre o serviço para obter uma opinião dos participantes ao final do curso a fim de aprimorar e melhorar o serviço de impressão 3D.

Recursos necessários:

- a) Desktop;
- b) Caixas para embalagem;
- c) Formulário, termo de compromisso e comprovante de entrega;
- d) Impressora;
- e) Mesas e cadeiras;
- f) Dois orientadores (bolsistas de iniciação e um orientador).

7.4. Service Blueprint

SERVICE BLUEPRINT – PROJETO DE SERVIÇO ACADÊMICO



LEGENDA - ■ Ações do professor ■ Ações dos alunos

7.5. Recomendações e restrições

Considerando como referência o laboratório onde foi feito o estudo de caso, a operação do serviço descrita nesta dissertação se beneficiaria das seguintes estratégias:

a) Manter um canal de comunicação com os alunos e os professores participantes;

b) Participar de projetos e estabelecer relações com instituições financiadoras de ensino para renovação e garantia da verba do laboratório;

c) Possuir e formar equipe técnica, experiente e hierarquizada, formada por professores, pesquisadores de mestrado e ou doutorado e bolsista de iniciação científica todos apaixonados ou envolvidos diretamente sobre o assunto Impressão 3D;

d) Diversificar o uso de impressoras 3D com a compra de novos equipamentos e implementar o uso da fresadora CNC.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO

Na experiência, com os alunos e a professora da disciplina Projeto do Produto, foi possível observar que o uso das máquinas de Impressão 3D vem acrescentar e integrar novos valores ao ensino do PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto). Neste estudo de caso foi feito o contato inicial com a professora, onde foi decidido o tema de projeto de produtos voltados para a linha de utensílios domésticos. A escolha levou em consideração:

- a) A limitação do volume de trabalho (200mm x 200mm x 300mm) da impressora 3D;
- b) A disponibilidade de somente uma pessoa, autor desta dissertação, para orientação e suporte técnico das atividades no laboratório;
- c) A liberdade dos alunos usarem qualquer software CAD;
- d) A disponibilidade de matéria prima para o uso gratuito.

No início das aulas da disciplina, o técnico do laboratório autor desta pesquisa foi na sala de aula apresentar o processo e as tecnologias de impressão 3D aos alunos e a professora. Estes, na aula seguinte, visitaram o laboratório e puderam visualizar o equipamento de impressão 3D. Eles tiveram a oportunidade de tirar dúvidas sobre o processo da máquina e ficou evidente o desconhecimento a respeito da tecnologia de impressão 3D.

Na semana posterior o autor desta dissertação e a professora da disciplina selecionaram uma alternativa de produto, a ser impresso, das 5 apresentadas por cada um dos 9 grupos. A escolha levou em consideração a complexidade de cada objeto e seu dimensionamento em relação as limitações da impressora 3D. Feito isso, cada grupo detalhou e modelou tridimensionalmente as peças selecionados para então serem analisadas e preparadas para a impressão 3D.

No final do processo de impressão ficou evidente a pouca experiência do autor desta dissertação (técnico do laboratório) em diagnosticar com antecedência o problema de umidade nos cartuchos de impressão. Este fato ocasionou problemas no acabamento, encaixe das peças e tempo estipulado de entrega de alguns dos protótipos. Como solução imediata foi necessário reimprimir estes protótipos

defeituosos, em escala reduzida, para evitar maiores gastos de material e tempo. O descolamento das peças da bandeja no início do processo de impressão também foi crucial para o desperdício. Desta forma, seria recomendado interromper o processo e verificar as condições da bandeja e dos cartuchos de impressão e, caso necessário, substituí-los por novos.

O hiperdimensionamento, não percebido no início, gerou a necessidade de alteração na escala de alguns protótipos. Foi fundamental imprimi-los em tamanho reduzido das dimensões reais estabelecidas para não comprometer a fila de impressão e o cronograma da disciplina.

Estes fatores negativos afetaram a programação inicial e a qualidade dos protótipos. Os ajustes realizados no decorrer do serviço serviram como medidas paliativas para reflexão de um projeto de serviço com recomendações e restrições para contornar estes problemas no futuro.

Portanto, na proposta de projeto de serviço seria necessário oferecer um sistema de preenchimento online de formulário, que facilitaria o cadastramento e agendamento das aulas dos professores interessados em utilizar o espaço do laboratório. Além disso, seria possível estipular e limitar uma quantidade adequada de matéria-prima para cada grupo em função do equipamento de prototipagem rápida escolhido e estipular o valor em dinheiro. Conseqüentemente, para as próximas disciplinas e atividades de projeto de produto a serem realizadas no laboratório PRO-PME, será necessário criar e implementar um projeto de reformulação de seu site.

Os laboratórios interessados em implementar este serviço deverão ter verba suficiente para a compra de equipamentos de fabricação digital de usos diversificados tais como: impressoras 3D profissionais e “caseiras”, fresadora CNC, escâner 3D, cortadora a laser entre outros. Também deverão formar uma equipe técnica composta por professores, pesquisadores de mestrado e ou doutorado e bolsistas de iniciação científica. Os recursos financeiros para a manutenção dos equipamentos, pagamento dos bolsistas e compra de insumos poderão ser obtidos por meio de participação de editais oferecidos por instituições de amparo à pesquisa e ensino.

Neste projeto de serviço foi considerado também os pontos positivos como o estabelecimento de um contato contínuo com a professora e os alunos sobre o andamento do serviço, incluindo o cumprimento dos dias e horários estabelecidos para contato entre os estudantes e o laboratório.

Os alunos aprenderam sobre impressão 3D e sua necessidade como ferramenta integrante da prática de projeto. Logo, o uso da impressora 3D proporciona ao aluno de graduação conhecer novos processos de fabricação digital, que permitem a economia de material, de tempo e de custo do serviço. Possibilitando materializar as suas ideias, imprimindo peças/produtos com qualidades próximas as de um fabricado e refletindo sobre a influência da impressão 3D na vida profissional e cotidiana.

Foi proporcionado à professora da disciplina conhecimento para lecionar sobre as novas tecnologias de Impressão 3D em conjunto com as ferramentas CAD. Soma-se a isto a disponibilidade do laboratório para o apoio às atividades de sala de aula, integrando teoria e prática na aprendizagem. Além do que, há a necessidade do uso da impressora 3D no laboratório em conjunto com outras máquinas de oficina, constituindo uma vantagem para o processo de ensino.

Como perspectivas futuras, sugere-se novas pesquisas sobre o uso de ferramentas de fabricação digital e suas possíveis aplicações no ensino de projeto de produto dos cursos de graduação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Anael Silva. **Impressão 3D para micro, pequenas e médias empresas: o design de um serviço acadêmico**. Dissertação de M.Sc. (em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2014.

ANDERSON, Chris. **Makers: A Nova Revolução Industrial**. Tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ANDRADE, R. S. **Avaliação preliminar de necessidades no processo de projeto**. Apresentado na International Conference on Engineering Design, ICED'91. pp 717-720. Zurich, Agosto 27-29, 1991.

_____. **On the Design of Services**. In: 13th International Conference on Engineering Design. Glasgow. Design Management - Processes and Information Issues. London: The Institution of Mechanical Engineers, pp. 299-304, 2001.

_____. **The Role of Simulation in Design**. Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED'88. WDK16, Edition GTEHEURISTA, p. 401-407. Budapest, August 1988.

BARKAN, P.; IANSITI, M. **Prototyping**: a tool for rapid learning in product development, Concurrent Engineering: Research and Applications, v.1, pp. 125-134, 1993.

BAXTER, M. **Projeto de produto**: Guia prático para o design de novos produtos. Tradução de Itiro Iida. 2ª ed. rev., São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BEAMAN, J. J. **Solid Freeform Fabrication: An Historical Perspective**. In: Solid Freeform Fabrication Proceedings; 12th, Solid freeform fabrication symposium. Austin Texas. The University of Texas. pp. 584-595, 2001.

BITNER, M. J.; OSTROM, A. L.; MORGAN, F. N. **Service Blueprinting: A practical tool for Service Innovation**, Centre for Services Leadership, Arizona State University, paper, 2007.

BITTENCOURT, João Marcos Viana de Quadros. **Objetos intermediários de concepção: Mediação através da Impressão 3D**. Defesa de Teste de qualificação ao D.Sc. (em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Julho 2011.

Blueprint. Disponível em: < <http://www.servicedesigntools.org/tools/35>> Acesso em: 10 fev. 2014.

BORGES, M. M. **A Projetação e as Formas de Representação do Projeto**. Dissertação de M.Sc. (em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1998.

_____. **Practical Experiences in Undergraduate Product Design Teaching and Learning Processes**. In: 9th International Conference on Engineering Education, 2006, San Juan. Proceedings of the 9th International Conference on Engineering Education, 2006.

BOUJUT, J. F.; BLANCO, E. **Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design**. Computer Supported Cooperative Work, v.12, n.2, pp. 205-219, 2003.

BUCCIARELLI, L. L. **Reflective practice in engineering design**. Design Studies, v.5, n.3, pp. 185-190, 1984.

_____. **Designing Engineers**. Cambridge, MA: MIT Press, v.5, n.3, pp. 185-190, 1984.

BULL, Glen; MARKS, Gary; MC ANEAR, Anita; *et al.* **Educational implications of the Digital Fabrication Revolution**. In: Journal of Research on Technology in Education, v.42, n.4, pp. 331-338, 2010.

CARRILHO, L. AND LOURO, C. AND VALVERDE, N.(2006). **International Benchmarking study on the functioning of FabLabs - Business Model Proposal**. Disponível em: <http://fablabedp.edp.pt/sites/default/files/uploaded_files/rl_836_0_mt_traduzido.pdf> Acesso em: 10 ago.2014.

CAUCHICK, Miguel; Paulo Augusto (coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, cap. 7, pp. 145-163, 2010.

CIMJECT. Disponível em: <<http://www.cimject.ufsc.br>> Acesso em 20 jan. 2012.

DEON J. DE BEER, LUDRICK J. BARNARD; GERRIE J. BOOYSEN. **Case Study: Three-dimensional plotting as a visualization aid for architectural use**". Rapid Prototyping Journal, FABLAB AMSTERDAM. FabLab Waag Society, v.10, n.2, pp.146–151, 2004. Disponível em: <<http://fablab.waag.org/content/fab-academy>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

EYCHENNE, Fabien e NEVES, Heloisa. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

GIBSON, I.; ROSEN D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct manufacturing**. 1ª ed., New York: Springer, 2010.

IDEO. **Human Centered Design Toolkit**. Disponível em: <<http://www.ideo.com/>> Acesso em: 11 fev. 2013.

JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário básico de filosofia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, pp. 142, 2001. Disponível em: <<http://lhjm.marcodesign.com.br>> Acesso em 20 fev. 2014.

KIMBELL, Lucy. **The turn to service design**. In Julier, G. and Moor, L. (editors), Design and Creativity: Policy, Management and Practice, Oxford: Berg, pp.157-173, 2009.

MACEDO, Graciele Marcela Almeida. **A utilização de tecnologias de Impressão 3D no processo de desenvolvimento de produto: Um estudo de caso**. In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 0392-2152, Rio de Janeiro, Brasil 12-13 Agosto 2011.

MAGER, B. **Service Design**. In: ERLHOFF, M., MARSHALL, T. (Ed.) Design Dictionary: Perspectives on Design Terminology. Berlin: Birkhäuser Basel, pp. 354-357, 2008.

MENEGON, N.; ANDRADE, R. S. **Projeto do Produto em Engenharia de Produção**. In: XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1998, Niterói. Anais do XVIII ENEGEP, 1998.

MERONI, A.; SANGIORGI, D. **Design for services. (Design for social responsibility)**. Farnham: Gower. 2011.

PACENTI, E. **Il progetto dell'interazione nei servizi**. Un contributo al tema della progettazione dei servizi. Ph.D. thesis in industrial design, politécnico di Milan, 1998.

PUGH, S. **Total design: integrated methods for successful product engineering**. Addison-Wesley, 1991.

ROBTEC. **Impressão 3D no ensino: evento promove educação digital com foco em escolas e universidades**. Disponível em <<http://www.brasilengenharia.com/portal/eventos/8863-impresao-3d-no-ensino-evento-promove-educacao-digital-com-foco-em-escolas-e-universidades?format=pdf>> Acesso em: 10 ago.2014.

ROMEIRO E. ; NAVEIRO, R. M. ; MIGUEL, P. C. ; *et al.* **Projeto do Produto**. 1ª ed. São Paulo: Elsevier Editora Ltda., v.1. 357p., 2010.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria dos processos**. 1ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos. **Modelos tridimensionais físicos no desenvolvimento de produtos**. Dissertação de M.Sc. (em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1999

SELHORST JR., AGUILAR.; CANGIOLIERI JR, OSIRIS. **Análise comparativa entre os processos de prototipagem rápida por deposição ou remoção de material na concepção de novos produtos**. In: 4o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2007, Estância de São Pedro/SP/BR. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (4 : 2007 :Estância de São Pedro), 2007.

SHOSTACK, L.G. **How to design a service**. European Journal of Marketing, v.16,n.1,pp. 49-63, 1982.

SIMON, Herbert A. **As Ciências do Artificial: com um prefácio a edição portuguesa, atualizada de acordo a segunda edição americana de 1981**. Tradução Luís Muniz, Coleção Stvdivm, Arménio Amado, p 351, 1981.

STRATASYS. **A demanda da universidade por fabricação digital dispara**. Disponível em: < <http://www.stratasys.com/br/resources/case-studies/education/university-of-alabama-huntsville.>> Acesso em: 10 ago. 2014.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product design and development**, 4ª ed, New York: McGraw-Hill/Irwin, 2008.

VIANA, M.; VIANA, Y.; ADLER, I. K.; *et al.* **Design Thinking: inovação em negócios**. 1ª ed., Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.

VINCK, Dominique (org.). **Engenheiros no Cotidiano - Etnografia da atividade de projeto e de inovação** – Cap 1, 2, 3, 6 / Tradução de Marlene Machado Zica Vianna, Belo Horizonte: Fabrefatum, 2013.

VINK, D.; JEANTET, A. **Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design: A Conceptual Approach**. In: MACLEAN, D.; SAVIOTTI, P.; VINCK, D. (eds.). *Management and new technology: design, Networks and strategy*. Cost social science series, Bruxelles, pp. 111-129, 1994.

VOLPATO, N.; AHRENS, C.H.; PETRUSH, G.; *et al.* **Impressão 3D – tecnologias e aplicações**, 1ª ed., São Paulo: Blücher, 2007.

ZAGAL, JUAN C. *et al.* **Fab lab as an implementation tool of the cdio program**. Proceedings of the 9th International CDIO Conference, Massachusetts Institute of Technology and Harvard University School of Engineering and Applied Sciences, Cambridge Massachusetts, June 9-13, 2013.

Anexo I: Cronograma de desenvolvimento dos projetos da disciplina Projeto do Produto 2012/1

UFRJ – POLI, DEI Graduação em Engenharia de Produção

Disciplina Projeto de Produto 2012/1

CT, bloco F (sala F115), terças 13-17 horas

DIA	MÊS	Atividades de projeto	Observações importantes
06	MAR	Introdução, organização dos grupos. Apresentação do curso Palestra diretor de EMPRESA: produtos em termoplástico	
13	MAR	Aula: Metodologia de projeto / Design	
20	MAR	Palestra convidado REVISÃO docente	
27	MAR	ENTREGA 1 Oportunidades de projeto Apresentação dos grupos: pesquisa geral e definição de oportunidades de projeto	
03	ABR	Fechamento dos temas de projeto(revisão nos grupos) Atividades são iniciadas nesta data para a próxima entrega.	Recebimento do formato para revisão e entrega2
10	ABR	Aula materiais e processos de fabricação (termoplásticos) REVISÃO docente	
17	ABR	ENTREGA 2 (apresentação exclusiva para docente) Partindo de uma análise dos concorrentes e contextos de uso, cada componente do grupo deve elaborar no mínimo três conceitos (e respectivas formas) diferentes, tendo feito escolha justificada de apenas um (1) deles. ATENÇÃO: lembrar que os produtos finais devem fazer parte de uma oferta combinada, ou seja, devem ter relações conceituais e formais entre eles. Formato de entrega: relatório único do grupo documentando as atividades realizadas. (no formato indicado e disponível no dropbox) Atividades são iniciadas nesta data para a próxima entrega (entrega 3).	Apresentação para docente apenas, 20 minutos por grupo na sala do bloco G,G209. Atenção: os grupos devem entrar na sala com a docente já com os laptops abertos e apresentação pronta para exibição.
24	ABR	REVISÃO pela docente Revisão do desenvolvimento dos projetos	Revisão materiais e processos de fabricação Recebimento do formato para revisão e entrega 3 Pré-Palestra PRO.PME: dicas gerais

			para fechamento de arquivos para Impressão 3D (13h, F115, todos: 30 min.)
08	MAI	<p>ENTREGA: 3 (apresentação exclusiva para docente)</p> <p>Nesta etapa o refinamento da idéia escolhida é realizada com a definição do material e processo de fabricação, bem como desenho técnico (dimensões) e a modelagem 3D.</p> <p>Entrega para cada produto:</p> <p>Documento impresso contendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - descrição do material e processo de fabricação do produto; - desenho técnico: impressão com margens e carimbo (formato A3); - modelagem 3D: impressão da perspectiva isométrica <p>Agrupar tudo em relatório único a ser entregue pelo grupo Incluir CD ou DVD em anexo contendo todos arquivos digitais elaborados. (ATENÇÃO: quem não fizer em autocad, deve incluir o arquivo original e outro em formato DWG)</p> <p>Deve ser elaborado o detalhamento de um produto especificada oferta combinada para cada componente do grupo.</p> <p>Atividades são iniciadas nesta data para as próximas entregas (entrega 4 e 5).</p>	<p>Apresentação para docente, 20 minutos por grupo na sala do bloco G,G209.</p> <p>Atenção: os grupos devem entrar na sala com a docente já com os laptops abertos e apresentação pronta para exibição.</p>
15	MAI	<p>REVISÃO pela docente e equipe PRO.PME com foco na modelagem 3D do produto que irá para Impressão 3D.</p>	<p>VISITA PRO.PME - explicação detalhada pela equipe PRO-PME. Será uma aula/palestra ministrada no próprio laboratório, onde serão passados os conhecimentos necessários para encaminhar melhor os projetos dos alunos.</p> <p>Atividade: revisão pela equipe PRO-PME, com os notebooks abertos ajustando o que for necessário. (revisão 01)</p>
22	MAI	<p>REVISÃO pela docente e equipe PRO.PME</p> <p>Membro(s) do grupo continuam em paralelo com o aprimoramento do produto que irá para Impressão 3D (com a equipe PRO.PME)</p>	<p>Atividade: revisão pela equipe PRO-PME, com os notebooks abertos ajustando o que for necessário. (revisão 02)</p>
29	MAI	<p>ENTREGA 4</p> <p>Fechamento do arquivado produto selecionado para Impressão 3D em AUTOCAD, a partir da orientação da equipe PRO.PME.</p> <p>Atividade em aula / revisões</p>	<p>Data da avaliação final do arquivo para a admissão no processo de Impressão 3D.</p> <p>Atenção: os protótipos serão finalizados em até 2 semanas a partir desta data, caso o arquivo elaborado tenha sido aprovado pela</p>

			equipe PRO.PME.
05	JUN	ENTREGA 5 (apresentação exclusiva para docente) Definição do logotipo, embalagens (unitária e de transporte nas caixas), exposição e promoção, <i>personas</i>	Semana 01 de Impressão 3D Apresentação para docente, 20 minutos por grupo no bloco G, sala G209.
12	JUN	Atividade em aula / revisões	Semana 02 de Impressão 3D
19	JUN	Atividade em aula / revisões	Entrega protótipos
26	JUN	ENTREGA FINAL Requisitos e formato da entrega do relatório definidos pela docente.	

Anexo II: Simulação de custos dos protótipos

Grupo 1 - Porta cotonete



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	55,86 cm ³	72,94 cm ³
Material Suporte	25,50 cm ³	30,46 cm ³
Qualidade Interna	High density	High density
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	05h:56min	06h:58min
Prazo de entrega	3 dia(s)	3 dia(s)
Custo	R\$ 122,73	R\$ 141,08

Grupo 2 - Porta guardanapos e sachê



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	196,19 cm ³	196,19 cm ³
Material Suporte	16,70 cm ³	16,70 cm ³
Qualidade Interna	High density	High density
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	14h:37min	14h:37min
Prazo de entrega	2 dia(s)	2 dia(s)
Custo	R\$ 232,00	R\$ 232,00

Grupo 3 - Redutor e penico



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	39,10cm ³	74,68 cm ³
Material Suporte	26,33cm ³	42,44 cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:5	1:5
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	04h:17min	07h:35min
Prazo de entrega	2 dia(s)	7 dia(s)
Custo	R\$ 109,50	R\$ 152,50

Grupo 4 - Escorredor de talheres



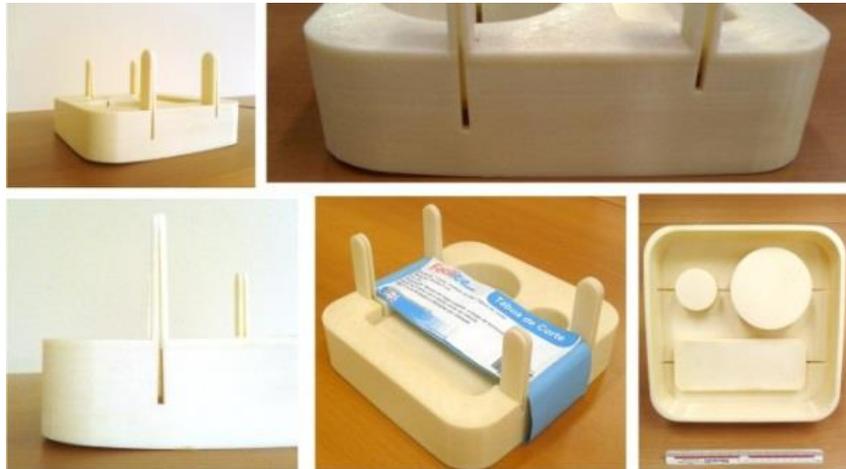
Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	37,91cm ³	44,86 cm ³
Material Suporte	24,14cm ³	27,41 cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:2	1:2
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	07h:20min	07h:40min
Prazo de entrega	2 dia(s)	7 dia(s)
Custo	R\$ 106,70	R\$ 115,20

Grupo 5 - Escova de lavar roupas



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	200,04cm ³	200,04cm ³
Material Suporte	23,64cm ³	23,64cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	10h:05min	10h:05min
Prazo de entrega	2 dia(s)	2 dia(s)
Custo	R\$ 241,20	R\$ 241,20

Grupo 6 - Tábua de corte



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	395,97cm ³	395,97cm ³
Material Suporte	151,79cm ³	151,79cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	07h:08min	07h:08min
Prazo de entrega	3 dia(s)	3 dia(s)
Custo	R\$ 511,00	R\$ 511,00

Grupo 7 - Corta sachê



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	395,97cm ³	395,97cm ³
Material Suporte	151,79cm ³	151,79cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	07h:08min	07h:08min
Prazo de entrega	3 dia(s)	3 dia(s)
Custo	R\$ 511,00	R\$ 511,00

Grupo 8 - Lixeira



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	809,79cm ³	809,79cm ³
Material Suporte	28,14cm ³	28,14cm ³
Qualidade Interna	High density	High density
Escala	1:1	1:1
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	63h:24min	63h:24min
Prazo de entrega	3 dia(s)	3 dia(s)
Custo	R\$ 752,60	R\$ 752,60

Grupo 9 - Porta condimentos



Variáveis/Consumo	Estipulado	Gasto
Material ABS	46,72 cm ³	67,81,cm ³
Material Suporte	72 cm ³	120,62 cm ³
Qualidade Interna	Solid	Solid
Escala	1:2	1:2
Unidade	mm	mm
Tempo máquina	02h:55min	06h:00min
Prazo de entrega	3 dia(s)	3 dia(s)
Custo	R\$ 153,85	R\$ 211,85