

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

FACULDADE DE ARQUITETURA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Diego Jucá de Lima Oliveira

**O USO DA PROTOTIPAGEM E FABRICAÇÃO DIGITAL NO AMBIENTE
FAB LAB.**

Porto Alegre
2016

Diego Jucá de Lima Oliveira

**O uso da Prototipagem e Fabricação Digital no
ambiente FAB LAB.**

Dissertação de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Design da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Design.

Orientadora:

Prof. Dra. Underléa Miotto Bruscato

Linha de Pesquisa:

Design Virtual

Porto Alegre
2016

CIP - Catalogação na Publicação

Jucá de Lima Oliveira, Diego

O uso da Prototipagem e Fabricação Digital no ambiente Fab Lab / Diego Jucá de Lima Oliveira. -- 2016.

109 f.

Orientadora: Underléa Miotto Bruscato .

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Fabricação Digital. 2. Prototipagem Rápida. 3. Fab Lab. I. Miotto Bruscato , Underléa, orient. II. Título.

Diego Jucá de Lima Oliveira

O USO DA PROTOTIPAGEM E FABRICAÇÃO
DIGITAL NO AMBIENTE FAB LAB

Dissertação de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Design da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Design.

Aprovada em 14 de março, 2016.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva - Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Design da UFRGS

Prof. Dra. Underléa Miotto Bruscato - Orientadora- UFRGS

Prof. Dr. Júlio Carlos de Souza Van der Linden - UFRGS

Prof. Dra. Clarissa Oliveira Pereira - Centro Universitário Franciscano - UNIFRA

Prof. Dr. Rodrigo Antônio Marques Braga - UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família pelo apoio moral, aos meus amigos e a minha namorada Júlia.

À minha orientadora Léia, por seu apoio e amizade.

À minha banca, Júlio, Rodrigo e Clarissa, cujos comentários e sugestões auxiliaram na melhoria do meu trabalho.

A vocês, muito obrigada.

Há muito mais do que esperamos ser,
tem mais além de onde podemos ver.
Mais muito há do que pensamos ter,
além do mais do que queremos crer!
Há bem mais sóis
crestando entre as estrelas.

Mestre Ambrósio

RESUMO

Até recentemente as novas tecnologias de fabricação digital só eram encontradas na indústria e em algumas universidades. Hoje essas tecnologias estão cada vez mais acessíveis e baratas e têm se consolidado como grandes aliadas no processo de projeto em áreas como Arquitetura, Design e Engenharia. Ambientes como os Fab Labs têm auxiliado o processo de desenvolvimento de produto e a realização de experimentações através da prototipagem rápida e da fabricação digital, oferecendo de forma aberta, suporte na utilização de um conjunto de ferramentas digitais. Dessa forma, buscou-se, como objetivo geral neste trabalho, evidenciar o potencial dos Fab Labs como ambientes para o uso da fabricação digital e da prototipagem rápida no processo de projeto. Como forma de atingir esse objetivo, foi realizada uma pesquisa qualitativa, através de estudo de caso e por meio de entrevista com gestores de três Fab Labs situados no Brasil. Inicialmente, foi feita uma abordagem sobre temas como prototipagem rápida e fabricação digital, buscando o esclarecimento do tema e a formação do corpo teórico. A pesquisa bibliográfica abordou temas como tipos de protótipos e a importância do ato de prototipar. Os resultados obtidos por intermédio das entrevistas e das observações, apresenta considerações importantes em relação ao conceito Fab Lab enquanto potencializador no desenvolvimento de projetos.

Palavras-chave: Prototipagem rápida. Fabricação digital. Fab Lab.

ABSTRACT

Until recently the new digital manufacturing technologies were only found in the industry and some universities. Today these technologies are increasingly affordable and cheap and have been established as major allies in the design process in areas such as Architecture, Design and Engineering. Environments such as Fab Labs have aided the product development process and performing trials through rapid prototyping and digital fabrication, providing an open, support the use of a set of digital tools. Thus, it sought to, the general objective of this study was to highlight the potential of Fab Labs as environments for the use of digital manufacturing and rapid prototyping in the design process. In order to achieve this goal, a qualitative survey was conducted through case study and through interviews with managers of three Fab Labs located in Brazil. Initially, an approach on issues such as rapid prototyping and digital manufacturing was made, seeking the theme of enlightenment and the formation of the theoretical body. The literature has addressed such topics as types of prototypes and the importance of prototyping act. The results obtained through the interviews and observations, presents important considerations regarding the concept Fab Lab while potentiating the development projects.

Keywords: Rapid prototyping. Digital fabrication. Fab Lab.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: TEAR DE JACQUARD COM CARTÕES PERFURADOS	19
FIGURA 2: TERMINOLOGIA NO CAMPO DA FABRICAÇÃO DIGITAL.....	20
FIGURA 3: IMAGENS DE ESCULTURAS COM GEOMETRIA COMPLEXA FABRICADAS EM MANUFATURA ADITIVA	23
FIGURA 4: CONJUNTO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS SUGERIDOS PELO CBA-MIT	24
FIGURA 5: LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DE UM FAB LAB DE ACORDO COM CBA-MIT	25
FIGURA 6: EVENTO OPEN DAY NOS FAB LABS DE BARCELONA E LONDRES.	27
FIGURA 7: RECURSOS HUMANOS DE UM FAB LAB	30
FIGURA 8: LAYOUT SUGERIDO PELO CBA-MIT	31
FIGURA 9: MAPA ATUAL DA REDE MUNDIAL DE FAB LABS.....	32
FIGURA 10: MAPA ATUAL DA REDE MUNDIAL DE FAB LABS.....	33
FIGURA 11: FABRICAÇÃO DIGITAL NA AMÉRICA DO SUL	34
FIGURA 12: PROTÓTIPO PARA TESTE DE VALIDAÇÃO DE ENCAIXES E PEÇAS SECUNDÁRIAS	42
FIGURA 13: MODELO PRELIMINAR FEITO DE PAPEL E ADESIVO.....	44
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DAS PRINCIPAIS ETAPAS DE MANUFATURA POR CAMADA.	48
FIGURA 15: PRINCÍPIO DO PROCESSO DE MODELAGEM POR ESTEREOLITOGRAFIA.	51
FIGURA 16: CAPA DE TELEFONE CELULAR PRODUZIDA POR ESTEREOLITOGRAFIA.....	51
FIGURA 17: PRINCÍPIO DO PROCESSO DE MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO	52
FIGURA 18: PEÇA PRODUZIDA POR PROCESSO MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM)	53
FIGURA 19: PRINCÍPIO DO PROCESSO BASEADO EM PÓ: SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER (SLS)	54
FIGURA 20: PEÇA PRODUZIDA POR PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER (SLS)	54
FIGURA 21: PRINCÍPIO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL - 3DP. (ADAPTADO DE VOLPATO ET AL., 2006)	55
FIGURA 22: PEÇA PRODUZIDA POR PROCESSO DE IMPRESSÃO 3DP.....	56

FIGURA 23: CARACTERÍSTICAS DE CADA PROCESSO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	57
FIGURA 24: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
FIGURA 25: ANÁLISE DE CONTEÚDO.	71
FIGURA 26: FAB LAB BRASÍLIA	77
FIGURA 27: FAB LAB GARAGEM.....	78
FIGURA 28: FAB LAB PRONTO 3D.....	80
FIGURA 29: CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO NO AMBIENTE FAB LAB.....	90
FIGURA 30: USO DA FABRICAÇÃO DIGITAL E PROTOTIPAGEM NO AMBIENTE FAB LAB	92
FIGURA 31: QUADRO COMPARATIVO	97
FIGURA 32: MESAS COMPARTILHADAS	98

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: MODELOS SUGERIDOS PELO CBA-MIT	28
QUADRO 2: CLASSIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE FAB LAB	35
QUADRO 3: TÉCNICAS DE REPRESENTAÇÃO DO PRODUTO SEGUNDO VOLPATO (2006)..	37
QUADRO 4: TIPOS DE MODELOS SEGUNDO BACKX APUD LIMA (2006, P. 29–30)	37
QUADRO 5: TIPOS DE MODELOS SEGUNDO VOLPATO ET AL (2006, P. 18–25)	39
QUADRO 6: TIPOS DE MODELOS SEGUNDO BONSIPE (1984, P. 51).....	40
QUADRO 7: CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	49
QUADRO 8: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS BASEADOS EM LÍQUIDOS SEGUNDO VOLPATO (2006)	58
QUADRO 9: MODELOS DE IMPRESSORAS 3D COMERCIALIZADAS NO BRASIL.....	60
QUADRO 10: AUTORES RELEVANTES AO TEMA.	65
QUADRO 11: CLASSIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE FAB LAB	66
QUADRO 12: ESTRUTURA BÁSICA DAS ENTREVISTAS	69
QUADRO 13: PERFIL DOS FAB LABS VISITADOS.....	74
QUADRO 14: PERFIL DAS AMOSTRAS	75
QUADRO 15: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	84
QUADRO 16: ATUAÇÃO EM RELAÇÃO AS ATIVIDADES OFERECIDAS	86
QUADRO 17: PERFIL DOS FAB LABS VISITADOS.....	96

LISTA DE SIGLAS

CAD - Computer aided design

CBA - Centre of Bits and Atoms

CNC - Controle Numérico Computadorizado

MIT- Massachusetts Institute of Technology

PR - Prototipagem Rápida

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. FABRICAÇÃO DIGITAL	19
2.2.2 Histórico	25
2.2.3 Equipamentos utilizados em um Fab Lab	27
2.2.4 Configuração de um Fab Lab	29
2.2.5 A rede Fab Lab	32
2.3 A MODELAGEM, A PROTOTIPAGEM E O DESIGN.....	36
2.3.1 Classificação quanto às formas de representação física/3d	36
2.3.2 O que é um protótipo	41
2.3.3 Porque prototipar?	43
2.3.4 Quando prototipar?	46
2.4 PROTOTIPAGEM RÁPIDA	47
2.4.1 Prototipagem Rápida: Aspectos gerais	47
2.4.2 Tipos de tecnologia de prototipagem rápida	49
2.4.2.1 Baseados em líquidos	50
2.4.2.2 Baseados em sólidos: Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)...	52
2.4.2.3 Baseado em Pó: Sinterização Seletiva a Laser (SLS).....	53
2.4.2.4 Impressão Tridimensional (3DP)	55
2.4.3 Características dos processos de PR	56
2.4.4 Modelos de impressoras populares para Prototipagem Rápida	60
2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	62
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	65
3.2 DEFINIÇÃO DE AMOSTRA	66
3.3 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS	67
3.3.1 Entrevistas	68
3.3.2 Entrevistas com coordenadores dos Fab Labs	68
3.4 TRANSCRIÇÃO E ANÁLISE DAS ENTREVISTAS	70
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
4. RESULTADOS	73
4.1 PERFIL DE AMOSTRA	73
4.1.1 Fab Lab BSB de Brasília. DF	76
4.1.2 Fab Lab Garagem de São Paulo, SP	78
4.1.3 Fab Lab PRONTO 3D de Florianópolis SC	80
5. ANÁLISES DAS ENTREVISTAS	82
5.1 RESULTADO DAS ANÁLISES	83
5.1.1 Sobre as atividades dentro dos laboratórios	82
5.1.2 A fabricação digital e a prototipagem rápida no ambiente Fab lab	87
5.1.3 A inovação Social no ambiente Fab lab	92
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	94
5.2.1 Considerações sobre os laboratórios visitados	94
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
6.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	102
6.2 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS	102
6.3 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS	103
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
APÊNDICE A	108

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA

É por intermédio dos protótipos que as ideias, conceitos e projetos são testados em primeira instância durante o desenvolvimento de projeto. O ato de prototipar inicia logo nas primeiras fases de desenvolvimento, através da confecção de modelos volumétricos. Na maioria das áreas de Design, o ato de prototipar possui papel relevante durante o processo projetual. No momento em que uma ideia é gerada, o próximo passo é transpor do abstrato para o tangível, para que, por meio de uma análise morfológica, possam ser realizados testes e refinamentos (BROWN, 2010). Uma ideia pode percorrer numerosas repetições de prototipagem até que seja melhorada o suficiente para etapas posteriores: de implementação e de dimensionamento (MOGGRIDGE, 2006).

Segundo Wolhers (2008), foi na década de 1960, no Instituto Battelle Memorial, em Ohio, nos Estados Unidos, as primeiras tentativas de criar objetos sólidos utilizando fotopolímeros e raio laser. Mas, foi nos anos 80 que o desenvolvimento das tecnologias conhecidas como Prototipagem Rápida - RP (Rapid Prototyping) ganhou intensidade.

A evolução tecnológica das ferramentas de fabricação digital, como a impressora 3D, o scanner 3D, o CAD (computer aided design), tornou ferramentas industriais complexas acessíveis a muitas pessoas (ANDERSON, 2013). Os obstáculos ao acesso estão diminuindo a cada ano, Impressoras 3D, por exemplo, estão custando menos do que um computador pessoal. Devido à popularização destas ferramentas, surge a todo o momento um novo laboratório de fabricação digital seguindo os princípios criados pelo CBA-MIT (Centre of Bits and Atoms - Massachusetts Institute of Technology) popularmente conhecido como Fab Lab. Esses laboratórios foram criados para inspirar seus usuários a transformar suas ideias em novos produtos e protótipos, oferecendo acesso a uma gama de máquinas e de ferramentas com tecnologia de fabricação digital avançada (GERSHENFELD, 2005). Conforme Eychenne (2012), essas máquinas são baseadas em tecnologias digitais e operadas por computadores.

Normalmente, uma série de ferramentas "convencionais", como martelos, serras, e chaves de fenda e materiais como madeira, cola e papelão, além de eletrônicos de pequeno porte como microcontroladores e pequenos motores, são adicionados à coleção de máquinas desses espaços. Nessas instalações, as pessoas testam a prototipagem de objetos/artefatos que podem ser simples ou complexos, "inteligentes" ou não. Segundo Eychenne (2012), os Fab Labs estão abertos para artistas, amadores, estudantes e também para empresários que precisam de respostas rápidas a uma ideia, a um conceito, a um objeto ou a um protótipo físico. Para Blikstein (2014), a fabricação digital pode facilitar a ideação e a invenção, acelerando os ciclos de projeto e, assim, oferecer experiências de aprendizagem colaborativa em todos os ciclos do desenvolvimento de um produto.

Conforme Eychenne (2012), os Fab Labs são para o CBA como uma ferramenta de transformação educacional, em relação ao que tange a fabricação digital e pessoal, democratizando a utilização dessas tecnologias. O primeiro Fab Lab surgiu dentro do Massachusetts Institute of Technology (MIT) no laboratório interdisciplinar chamado Center for Bits and Atoms (CBA), liderado pelo professor e diretor Neil Gershenfeld.

Entre as principais características de um Fab Lab, destacam-se a prática como fonte de aprendizagem a partir do erro, a superação das dificuldades de aprendizagem como processo de desenvolvimento e o privilégio das abordagens colaborativas e transdisciplinares, valorizando e colocando em prática a inovação ascendente (GERSHENFELD, 2012).

Para Brown (2010), a construção de protótipos no desenvolvimento de produtos busca assegurar a compreensão dos elementos funcionais e emocionais de um produto fundamental para atender à demanda de consumidores e de mercado. No passado, essa fase consistia na construção manual de modelos com o uso de inúmeras técnicas e tipos de materiais. Hoje, a concepção de modelos tridimensionais tem como aliada as novas tecnologias de prototipagem que estão em um nível extremamente elevado quanto à fidelidade da forma, permitindo

maior liberdade na modelação de novos produtos, revolucionando a maneira de estudar e de apresentar um projeto.

Para o desenvolvimento de novos produtos, torna-se indispensável a utilização de protótipos que permitem visualizar, testar e analisar o produto nas suas mais variadas dimensões. Existem inúmeras formas de abordagens à prototipagem, mas todas compartilham um aspecto em comum: podem tomar certo tempo para a sua confecção, mas, em contrapartida, geram resultados e respostas com mais rapidez. Ao colocarmos a variável tempo na criação de protótipos, evitamos erros custosos, como permitir complexidade cedo demais e apego a uma ideia fraca por muito (BROWN, 2010).

Modelos volumétricos, mocapes, protótipos, análises e representações de uso, atuam como um conjunto de modelos que facilitam a nossa observação e avaliação para um dado problema projetual (EHN, 1992 apud VOLPATO, 2006). Essas ferramentas são eficazes quanto à sua capacidade de simular e representar um produto ou parte dele. Dessa forma, o designer conhece melhor as variáveis de um problema e automaticamente provoca maior interação durante o processo de design dos produtos. O uso de protótipos traz implicações diretas para a prática do Design como fonte geradora de ideias com potencial inovador.

Para Gershenfeld (2005), as características das novas tecnologias para prototipagem facilitam a criação de modelos, permitindo novos níveis de precisão e o uso de novos materiais. O autor defende que as abordagens projetuais, aliadas à fabricação digital e 'o fazer', podem fomentar a criatividade e a inventividade, potencializando ideias, letramentos e ferramentas expressivas em um projeto baseado em um processo de aprendizagem centrado no usuário (GERSHENFELD, 2005). Dessa forma, a identificação da prototipagem inserida no início do processo de desenvolvimento de produto (PDP) é de grande relevância, pois, ao longo de todo o processo, auxilia o designer a compreender, explorar ou comunicar formas de se envolver com o produto (MOGGRIDGE, 2007).

Ao partir deste cenário, onde a prototipagem atua como ferramenta de aprendizagem, este estudo visa compreender as dinâmicas construtivas utilizadas

pelos designers durante o processo de desenvolvimento do produto. Para contribuir no entendimento relativo à prototipagem e dos contextos que envolvem o designer, será feita uma abordagem referente à prototipagem rápida e a fabricação digital dentro de Fab Labs para a contextualização do seu uso. Sobre a prototipagem rápida, a fundamentação teórica descreve os seus tipos, as suas aplicações e os seus benefícios. Referente aos Fab Labs, será abordado a influência de um ambiente aberto no desenvolvimento de novos produtos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Investigar a aplicação prática e experimental da Prototipagem Rápida e Fabricação Digital, dentro do ambiente Fab Lab .

1.2.2 Objetivos específicos

Como consequência do objetivo geral, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

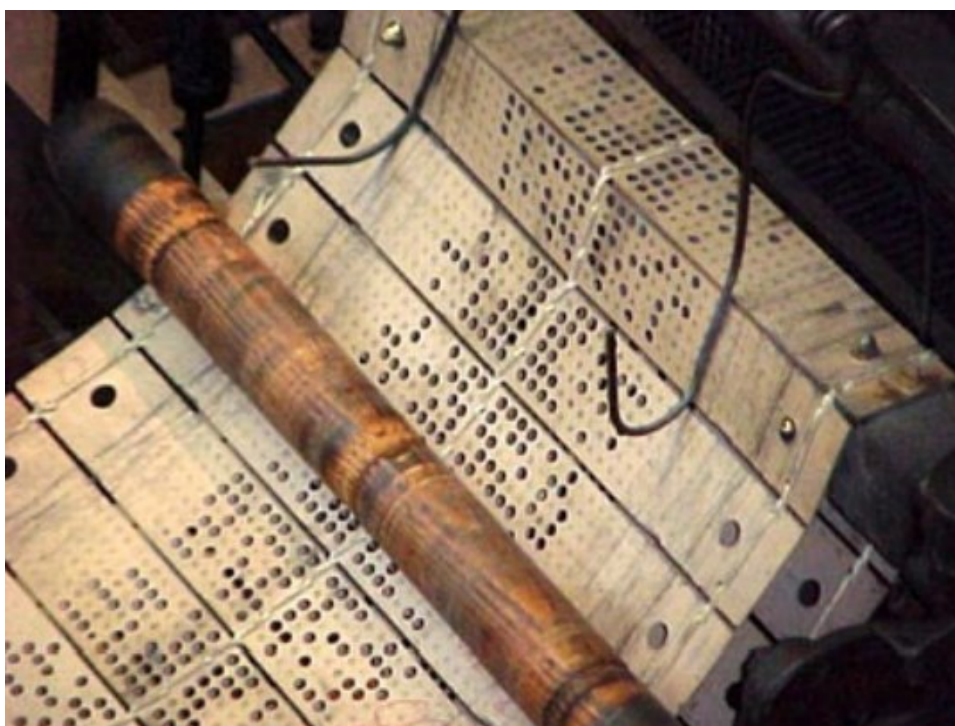
- a) Investigar o conhecimento disponível, resgatando aspectos relevantes da prototipagem rápida através de revisão bibliográfica (estado da arte);
- b) Identificar os Fab Labs implantados no Brasil que contribuam para o processo de desenvolvimento de produto;
- c) Evidenciar as potencialidades da utilização da fabricação digital no desenvolvimento de produto em ambiente Fab Lab.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. FABRICAÇÃO DIGITAL

Um dos principais usos da Fabricação Digital estava voltado à produção de cortinas e tapetes na indústria têxtil no início do século XIX, permitindo o uso de máquinas de tecer em alta produtividade e baixo custo por unidade. A informação ou comando era transmitido através de pequenos buracos em um papel cartão que sinalizavam comandos positivos ou negativos para armazenar uma sequência de ações previamente concebidas, conforme figura abaixo. Com a evolução da tecnologia, tal codificação tornou-se dados eletrônicos, mas os princípios permaneceram os mesmos ao longo do tempo (MIYASAKA; FABRÍCIO, 2015).

Figura 1: Tear de Jacquard com cartões perfurados

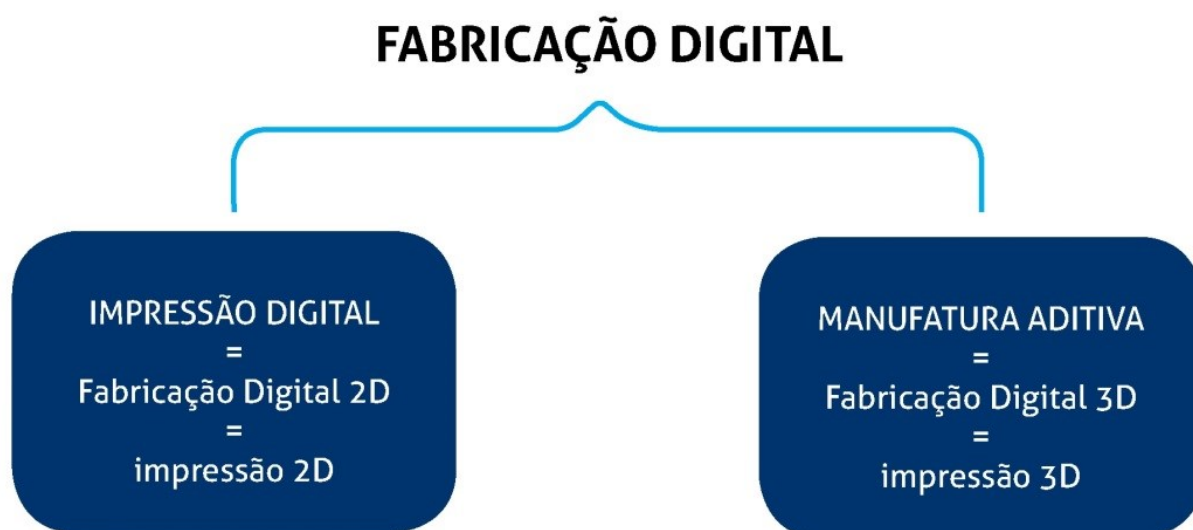


Fonte: UFPA, 2015. Disponível em: www.ufpa.br/dicas/net1/int-h180.htm.

A explosão das novas capacidades da computação, ao longo dos anos, permitiu grandes avanços em diversas áreas, como na inteligência artificial, na automação e na robótica. A interação homem-máquina vem comportando inovações que poderão mudar a natureza dos processos de fabricação (ANDERSON, 2012). Para Anderson (2012), a evolução das ferramentas, instrumentos e posteriormente das máquinas, deram origem ao que chamamos de “máquinas de controle numérico”. Uma fusão entre a indústria mecânica tradicional e a informática. São máquinas que executam tarefas de maneira digital, onde a intervenção humana, em termos físicos, é quase inexistente.

Para Igoe e Mota (2011), a Fabricação Digital pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador para transformar, diretamente, projetos digitais em produtos físicos. Isso inclui todas as tecnologias que utilizam métodos de deposição de materiais para o desenvolvimento de estruturas de duas ou três dimensões, padrões ou produtos. Tecnologias de impressão digital (Fabricação Digital 2D), muitas vezes chamadas de tecnologias de impressão 3D (Fabricação Digital 3D), conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2: Terminologia no campo da Fabricação Digital



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Eychenne e Neves (2013), a Fabricação Digital tem ganhado espaço para o uso pessoal, permitindo criar uma cadeia integrada, desde a criação até a etapa de produção, através do CAD/CAM (*computer-aided design/computer-aided manufacturing*), antes só acessível e utilizado pelas grandes indústrias. Embora ainda seja limitada, frente a sua capacidade de reprodução, a Fabricação Digital ainda não permite a substituição da produção convencional (ANDERSON, 2012). Contudo, devido ao seu potencial, que provêm de uma enorme economia quanto ao tempo de fabricação e capacidade para fabricar geometrias complexas, pode vir a ser considerado um marco em termos de tecnologia de manufatura (VOLPATO, 2006).

Para muitos especialistas (ANDERSON, 2012; EYCHENNE, NEVES, 2013), estamos no meio da maior mudança de paradigma das últimas décadas. Eles afirmam que as novas tecnologias de Fabricação Digital se encaminham para serem um dos processos produtivos de grande importância para o século XXI, através do qual poderão desencadear processos alternativos de produção, diferentes da produção em massa. Para Eychenne e Neves (2013), o surgimento dos processos digitais, por intermédio das máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado) e sistemas CAD/CAE/CAM, indicam uma tendência na quebra de paradigmas nos processos de fabricação, que precisam ser acompanhada com bastante atenção pelas universidades, profissionais da área e pelos diferentes setores industriais, visto que essa tecnologia vem, a cada dia, se tornando mais barata e economicamente acessível.

Dessa forma, a Fabricação Digital já permite que a produção de pequenos lotes de produto se torne viável, pois através das novas tecnologias de Fabricação Digital e de seus processos automáticos, torna factível todos os produtos de nicho que antes, por questões econômicas de produção em massa e pelos altos custos unitários, não eram viáveis de produzir, invertendo ~~assim~~, a economia da fabricação tradicional (ANDERSON, 2012).

Para Anderson (2012), grande parte do custo da produção em massa está inserida no início da produção pela ferramentaria utilizada. Pode-se tornar o produto mais caro conforme sua complexidade e frequência de mudança no

projeto. Porém, com o advento da Fabricação Digital, o que é dispendioso na fabricação tradicional torna-se viável, pois a variedade não é mais cara que a padronização, a criação de forma complexas podem ser impressas em 3D e tal flexibilidade permite mudanças no produto mesmo depois do início da produção.

A Fabricação Digital também apresenta diversas vantagens como: poder explorar a liberdade inerente do design através de geometria complexa e de composição do material para produzir produtos que são mais otimizados para o desempenho funcional e não dificultados pelas limitações inerentes aos processos de fabricação convencional, conforme apresentado na Figura 3. Esse avanço na tecnologia proporciona ao processo de fabricação a execução em uma única etapa. Não requer um planejamento de processo complexo e, além disso, como fator principal, oferece a redução de custo e tempo na obtenção de protótipos, permitindo a utilização Fabricação Digital com maior frequência durante o processo de desenvolvimento de produto (VOLPATO, CARVALHO, 2007; MILLS, 2007).

Para Miyasaka e Fabrício (2015), também é importante observar o uso da tecnologia de Fabricação Digital como uma ferramenta pedagógica, de ensino, pois são ferramentas que ampliam as capacidades cognitivas, manuais e de desenvolvimento.

Figura 3: Imagens de esculturas com geometria complexa fabricadas em manufatura aditiva



Fonte: Nervous System. 2015. Disponível em: <http://www.nervoussystem.com>.

2.2 FAB LABS – LABORATÓRIOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL

2.2.1 Conceito

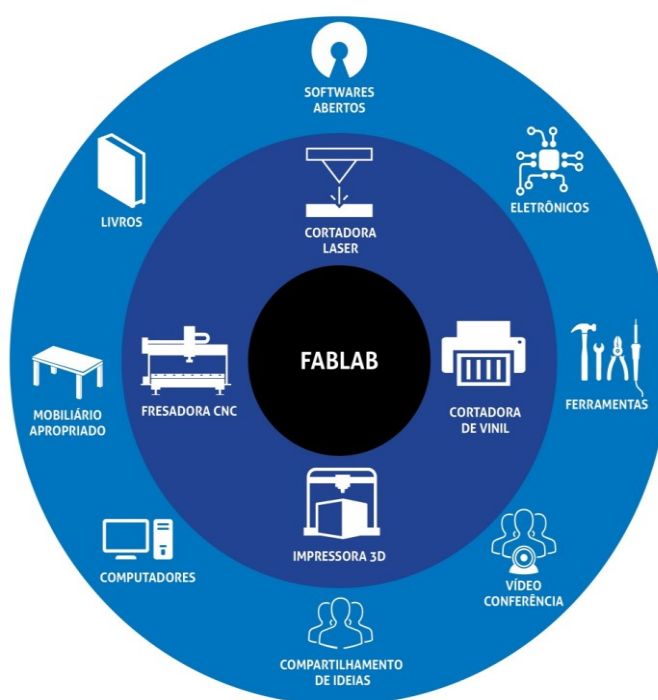
O termo Fab Lab consiste da abreviação do termo inglês *fabrication laboratory*. Esses laboratórios de Fabricação Digital são constituídos por uma plataforma de prototipagem rápida destinada a empreendedores, designers, estudantes e artistas com o intuito de criar seus próprios objetos, desde o desenvolvimento até a realização física (EYCHENNE; NEVES, 2013).

Para Gershenfeld (2012), os Fab Labs representam uma primeira aproximação da ideia de imprimir qualquer objeto em qualquer lugar. Ainda não se trata de uma fabricação digital que utiliza os computadores como ferramentas,

mas de um processo de fabricação em que os computadores estão ligados às ferramentas.

Conforme Eychenne e Neves (2013), os Fab Labs proporcionam, através de seus recursos compartilhados, um conjunto de máquinas e de equipamentos eletrônicos executados por softwares e programas de código aberto, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4: Conjunto de máquinas e equipamentos sugeridos pelo CBA-MIT



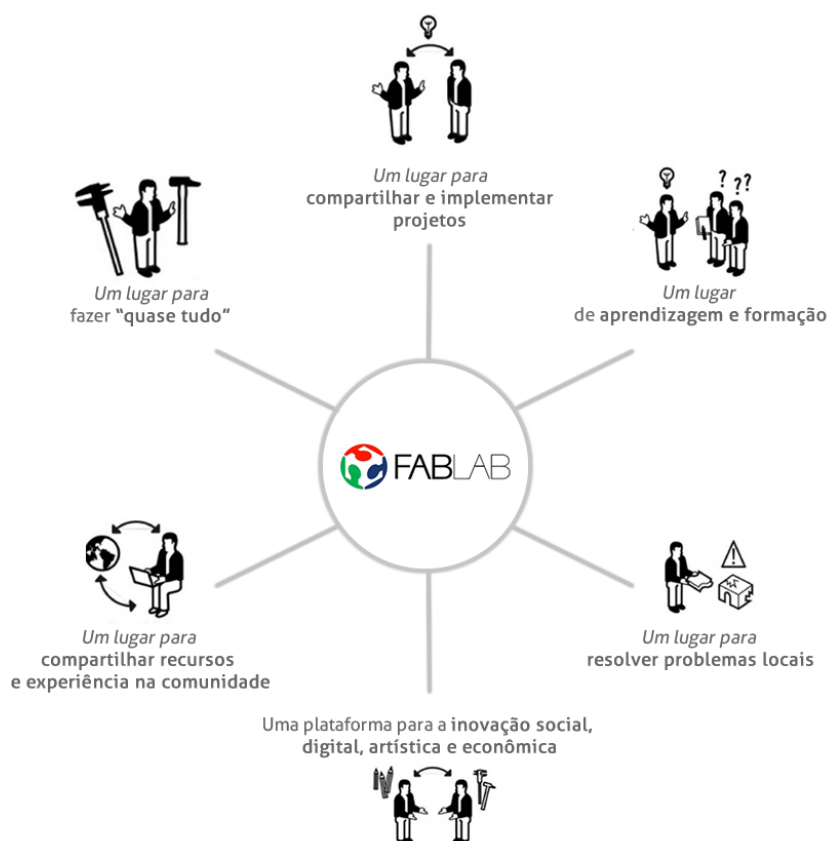
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gershenfeld (2012), também ressalta a importância desses laboratórios como espaços de aprendizagem e de formação, além do espírito de colaboração e de cooperação entre os utilizadores (Figura 5). Para Eychenne (2013), a ligação em rede entre todos os Fab Labs visa permitir a partilha desse conhecimento e o esclarecimento de dúvidas.

Apesar das máquinas de comando numérico serem uma grande atração nos Fab Labs, a característica principal deste laboratório é sua abertura. Contrariamente aos

laboratórios tradicionais de prototipagem rápida que podem ser encontradas em empresas, em centros especializados dedicados aos profissionais ou universidades (EYCHENNE; NEVES 2013, p.9).

Figura 5: Lógica de funcionamento de um Fab Lab de acordo com CBA-MIT



Fonte: Adaptado de fab Foundation (2016).

2.2.2 Histórico

O conceito de Fab Lab é ainda recente. Teve sua origem no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), no laboratório interdisciplinar *Center for Bits and Atoms* (CBA), em uma disciplina acadêmica conduzida pelo professor Neil Gershenfeld, chamada "*Como fazer 'quase' tudo*". A disciplina mantinha encontros entre estudantes, profissionais e empreendedores, em busca de espaço

adequado e equipado com máquinas, ferramentas e todo suporte necessário para a prototipagem e o desenvolvimento de produtos e de ideias.

Gershenfeld (2005), satisfeito com o entusiasmo e o retorno positivo de seus alunos, utilizou sua disciplina como modelo para a criação de outras unidades fora da universidade com a finalidade de oferecer acesso aos mesmos. Desta forma, o MIT levou para diferentes locais o conhecimento técnico e o equipamento para criação e experimentação, deixando disponível, de forma aberta, ao público em geral. A esses locais Gershenfeld nomeou de Laboratórios de Fabricação Digital - Fab Labs. Posteriormente, foi redigida uma carta, co-escrita pelos primeiros Fab Labs que formaram a rede denominada “Fab Charter”, que descreve os valores compartilhados pelos laboratórios.

A Carta Fab Labs requer: 1) Laboratórios disponíveis como um recurso para a comunidade, abertos ao público oferecendo acesso livre; 2) Permitir o compartilhamento de projetos desenvolvidos no Lab e contribuir para a documentação dos mesmos; 3) Atividades comerciais legítimas, porém, qualquer desenvolvimento de negócios, para além da prototipagem inicial e incubação, devem ficar fora das atividades do Lab; 4) Que os laboratórios estejam equipados com um conjunto comum de ferramentas, recursos e processos que facilitem o compartilhamento entre as pessoas e Labs; e 5) Participar ativamente da rede Fab Lab fazendo parte de uma rede de compartilhamento e de conhecimento.

Podemos considerar que um dos pontos mais importantes de um Fab Lab é a sua abertura à comunidade. Segundo Eychenne e Neves (2013), por ter como objetivo a democratização ao acesso as ferramentas e máquinas, permitindo o usuário a produzir suas invenções, os Fab Labs devem ser abertos ao público de forma gratuita ou em troca de serviços, pelo menos em uma parte da semana. Para promover essa abertura, existe tradicionalmente um evento praticado por todos os Fab Labs chamado *Open Day*, no qual é disponibilizado toda sua estrutura para ajudar os usuários com aconselhamentos técnicos ou ajuda com processos de fabricação, desenvolvimento de projetos, cursos, oficinas, workshops e palestras, conforme ilustrado na figura 6. A intenção, além da promoção do espaço é a de difundir informação a respeito da rede e de suas

possibilidades, além de resolver dúvidas e oferecer instrução de como manusear as máquinas e as ferramentas.

Figura 6: Evento Open Day nos fab labs de Barcelona e Londres.





Fonte: Projeto Draft, 2016. Disponível em: <http://projetodraft.com>.

2.2.3 Equipamentos utilizados em um Fab Lab



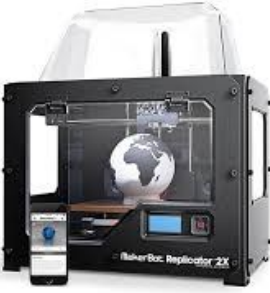
Segundo Eychenne e Neves (2013), de acordo com as diretrizes do CBA-MIT, os Fab Labs apresentam um conjunto de atributos específicos que juntos formam seu conceito principal: oferecer acesso ao público geral e a utilização de

máquinas de comando numérico, conduzidas por computadores com a capacidade de interpretar arquivos de CAD (Computer Aided Design). O CBA-MIT¹ disponibiliza em seu site um documento no qual apresenta um conjunto básico de máquinas, componentes eletrônicos e acessórios de apoio para a concepção de um Fab Lab. Para Eychenne e Neves (2013), este pacote de equipamentos é importante para a conexão entre os diversos Fab Labs espalhados pelo mundo, pois facilita a replicação e o desenvolvimento de um projeto ou processo de trabalho similar. O Quadro 1 apresenta um resumo das cinco máquinas operadas via comando numérico que são indicadas pelo CBA-MIT essenciais para o funcionamento de um Fab Lab.

Quadro 1: Modelos sugeridos pelo CBA-MIT

Máquina	Modelo sugerido pelo CBA-MIT
Cortadora de Vinil	 <p data-bbox="997 1335 1152 1361">GX-24 Roland</p>
Cortadora a Laser	 <p data-bbox="895 1644 1254 1671">Epilog Laser - Mini 24" x 12" 40W</p>

¹ CBA – MIT O Centro de Bits e Átomos foi criada em 2001 no Media Lab do MIT no Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

Fresadora de Precisão	 <p>MDX-20 Roland</p>
Fresadora de Grande Formato	 <p>Shop Bot</p>
Impressora 3D	 <p>Maker Bot</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.





2.2.4 Configuração de um Fab Lab

Segundo Eychenne e Neves (2013), um Fab Lab possui, na maioria dos casos, uma organização que se responsabiliza pela sua existência e funcionamento. Essa organização pode ser uma associação, uma fundação, uma universidade ou um programa governamental, responsáveis por sua

administração. Dessa forma, podem-se considerar três categorias de Fab Labs: (i) Fab Labs Acadêmicos, aqueles que são amparados por uma universidade ou escola; (ii) os Fab Labs Profissionais, que têm por vocação o desenvolvimento de produtos, desenvolvidos conjuntamente com empresas, startups e empreendedores e (iii) os Fab Labs Públicos, que são institutos de desenvolvimento mantidos pelo governo ou por comunidades locais.

De acordo com as diretrizes do CBA-MIT, cada unidade de Fab Lab possui um tipo de equipe que pode variar conforme o tamanho de cada laboratório. Geralmente, o padrão é formado por: um Diretor, um Fab Manager, um Guru e três Estagiários, conforme ilustrado na Figura 7. Essa equipe é muito importante e irá dar personalidade e vida ao laboratório, sendo responsável pela coordenação e realização das atividades.

Figura 7: Recursos humanos de um Fab Lab

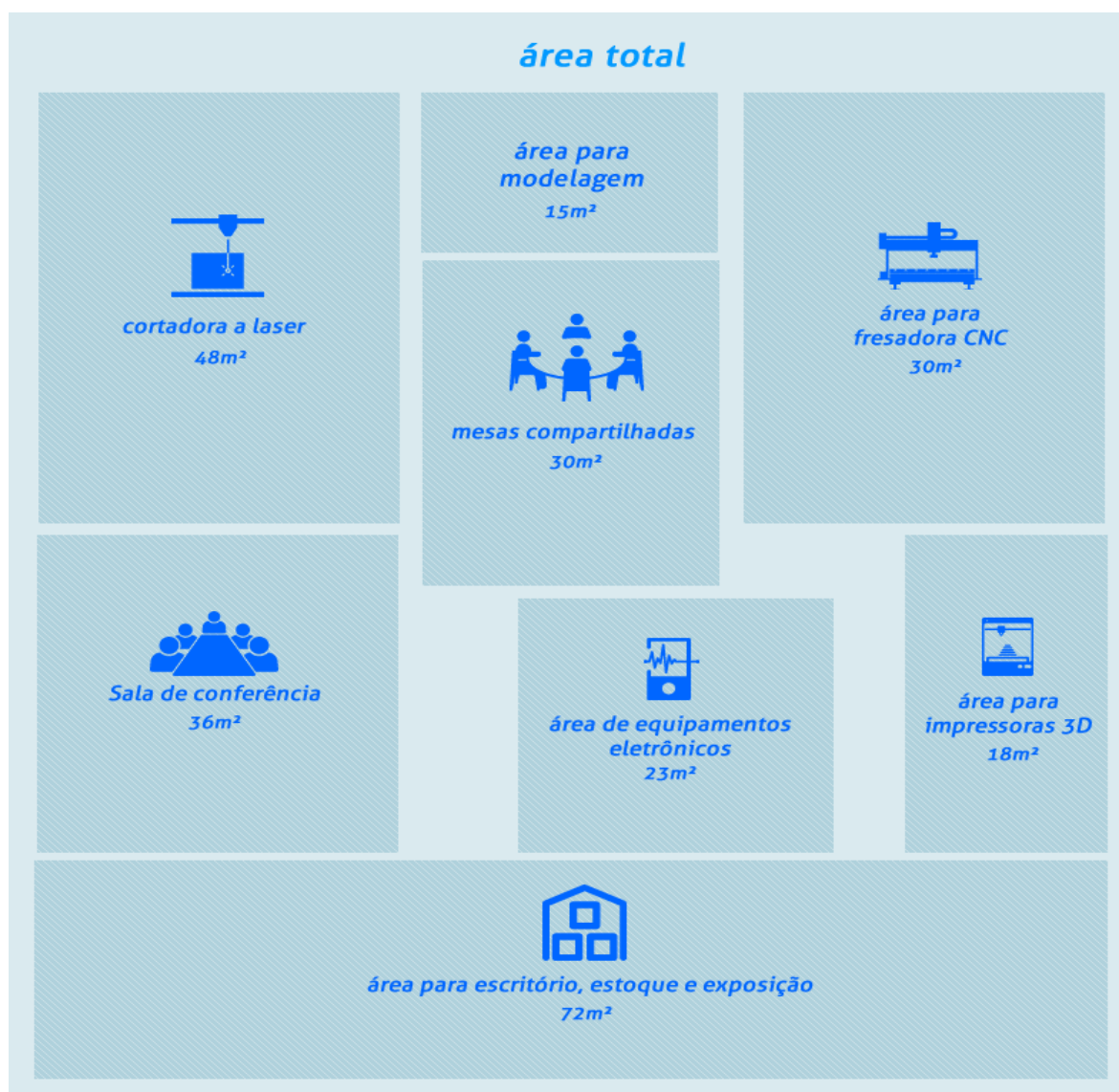
FAB LAB RECURSOS HUMANOS	 DIRETOR	<ul style="list-style-type: none"> • planeja a estratégia do Fab Lab, os grandes eixos de ação • busca financiamento • busca parcerias 	Em alguns casos ele é também o mesmo diretor da estrutura que financia o Fab Lab ou professor responsável na universidade.
	 FAB MANAGER	<ul style="list-style-type: none"> • Responsável pela gestão e organização do laboratório • acolhida e mediação • contato com imprensa • coordena a realização dos projetos 	Responsável por fazer tudo dentro de um Fab Lab.
	 GURU	<ul style="list-style-type: none"> • apoio em geral ao Fab Manager • assistência em todos os projetos • manutenção e reparo das máquinas • instrutor em cursos e workshops 	Especialista: Possui conhecimentos acerca de eletrônica, programação e fabricação digital.
	 ESTAGIÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> • auxilia o Fab Manager em tarefas correntes • acolhe o público • participa do laboratório segundo suas competências 	Normalmente são voluntários que ali trabalham recebendo em troca a possibilidade de uso, o contato direto com a rede e o aprendizado dos processos.

Fonte: Adaptado de Eychenne e Neves (2013).

Embora o CBA-MIT não estipule uma área útil necessária ou defenda um determinado layout padrão, os laboratórios pertencentes à rede compartilham uma configuração semelhante quanto à disposição de equipamentos e do espaço de trabalho. O Fab Foundation utiliza como modelo a ser seguido o Fab Lab de Chicago do MSI (Museu de Ciência e Indústria), conforme apresentado na figura

8. Eichenne e Neves (2013), ao visitar diversos Fab Labs pelo mundo, constataram que, em grande parte, possuem seus espaços entre 100 a 200 metros quadrados. Os laboratórios apresentam, em comum, um vasto espaço central, que muitas vezes está dividido, separando os equipamentos menos silenciosos ou perigosos e que geram muita poeira, além de espaços dedicados a computadores, bancadas e mesas grandes destinadas a reuniões, espaços para exposição e estocagem de material.

Figura 8: Layout sugerido pelo CBA-MIT



Fonte: Adapado de Fab Fundation (2016)

região, ilustrado na figura 11. Dos 31 laboratórios mapeados, apenas nove são laboratórios privados. Desse total, 29 laboratórios possuem, pelo menos, uma impressora 3D; 23 dispõem de uma cortadora a laser; 21 contam com pelo menos uma fresadora CNC; 14 possuem algum outro tipo de equipamento de Fabricação Digital e 11 terceirizam seus serviços para os laboratórios menos estruturados (SPERLING et al., 2015).

Figura 10: Mapa atual da rede mundial de Fab Labs



Fonte: Sperling et al. (2015)

Figura 11: Fabricação Digital na América do Sul



Fonte: Sperling et al. (2015).

Filosoficamente, o ideal seria a participação de todos os laboratórios de forma aberta e com acesso livre e conectados com os outros laboratórios globais. No entanto, isso não acontece na prática. Um laboratório pode mudar as suas operações ao longo do tempo para ajustar pressões econômicas ou para responder a uma base específica de usuários (SPERLING et al., 2015).

De acordo com o Fab Central², a rede Fab Lab possui uma classificação de conformidade através de um código que descreve como um laboratório cumpre as condições para a utilização do rótulo Fab Lab. Essa avaliação tem como partida as condições dos laboratórios atuais e pretende-se ser capaz de mudar ao longo

² Fab Central: Centro das instalações de fabricação digital da rede global de laboratórios Fab gerido pelo MIT Center for Bits e Átomos.

do tempo. A avaliação da conformidade é autoavaliada ou avaliada na comunidade, ou seja, na classificação percebida pelos outros, de acordo com o quadro 2 apresentado abaixo:

Quadro 2: Classificação de conformidade Fab Lab

Critérios	1. Acesso ao Fab Lab	2. Adesão a Carta de Princípios	3. Conjunto de ferramentas e processos	4. Participação na rede mundial de Fab Lab
A	Algum tipo de Acesso gratuito/aberto ao público (devem cobrar os custos dos insumos).	Carta de princípios exposta explicitamente no local e no site.	Possui todas as ferramentas e processos, possivelmente além do kit básico.	Os membros contribuem ativamente ou colaboram com membros de muitos outros Labs. O Lab participa ou lidera iniciativas na rede.
B	Acesso pago, porém qualquer pessoa pode participar.	"No espírito" da carta de princípios.	Falta de alguma máquina ou processo do kit básico.	Os membros contribuem ativamente ou colaboram com algum outro lab. O laboratório mantém iniciativas e discussões na rede.
C	Fechado ou permite acesso a um grupo restrito.	Não faz menção ao carta de princípios.	Dificuldades com os projetos dos fabs ou de seguir tutoriais dos fabs	Passivo, pouca ou nenhuma participação fora do local do Lab.

Fonte: Fab Central, 2015, <http://www.fabfoundation.org>.

2.3 A MODELAGEM, A PROTOTIPAGEM E O DESIGN

2.3.1 Classificação quanto às formas de representação física/3d

A necessidade de tornar uma ideia tangível é a melhor forma de acabar com as incertezas durante o desenvolvimento de um objeto/artefato e é de fundamental importância para o resultado (SCHRAGE, 2001). Para este trabalho buscou-se reconhecer algumas classificações quanto à forma de representação física de um produto ou objeto a fim de obter uma melhor compreensão de suas aplicações e de sua utilização.

Volpato et al. (2006), afirmam que os modelos volumétricos, de forma geral, são usados em diversas etapas do processo de desenvolvimento de novos produtos e potencializam o designer a desenvolver novas ideias. Dependendo do estágio do processo de desenvolvimento, as informações aumentam e surgem as necessidades de respostas a questões mais específicas. Nesse ponto, pode-se aumentar a sofisticação e a complexidade das representações volumétricas dos modelos/protótipos de acordo com a finalidade ou intenção.

Para Volpato et al. (2006), a representação volumétrica de um produto pode ser feita de diversas formas e utilizando os mais variados tipos de materiais, que vão depender do conceito formal do modelo a ser produzido: (i) processos de subtração, (ii) processos de adição e (iii) processos de modelagem, todos evidentes no quadro 3.

Quadro 3: Técnicas de representação do produto segundo Volpato (2006)

Processo	Descrição
Subtração	O modelo é produzido através da modificação de um substrato (material) de onde são retiradas porções até obter a configuração final desejada.
Adição	O modelo é confeccionado através de colagem de partes fabricadas isoladamente.
Modelagem	O modelo é elaborado através da utilização de materiais de conformação plástica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira classificação abordada será a de Backx (2006) *apud* Lima (2006), onde ele categoriza os modelos quanto à execução: (i) Protótipo; (ii) Mocape; (iii) Maquete e (iv) Modelo ampliado. Também classifica os modelos quanto à utilização: (i) Teste; (ii) Funcional; (iii) Ergonômico; (iv) Volume ou estético; (v) Produção; (vi) Apresentação; (vii) Arranjo e (viii) Eletrônico, conforme quadro 4.

Quadro 4: Tipos de Modelos segundo Backx *apud* Lima (2006)

Quanto a execução	
Processo	Descrição
Protótipo	Modelo em escala natural (1:1), com material igual ou semelhante ao especificado no projeto.
Mocape	Modelo em escala natural (1:1), com material diferente ao especificado no projeto.
Maquete	Modelo em escala reduzida, com qualquer tipo de material.

Modelo Ampliado	Modelo em escala ampliada, com qualquer tipo de material.
Quanto a utilização	
Teste	Modelo direcionado à avaliação de comportamento do produto ou componente a esforços estáticos ou dinâmicos.
Funcional	Modelo direcionado à avaliação de aspectos funcionais de sistemas ou subsistemas.
Ergonômico	Modelo direcionado à avaliação de aspectos morfológicos e/ou semânticos.
Volume ou estético	Modelo direcionado à avaliação de aspectos formais.
Produção	Modelo direcionado à avaliação de processos de fabricação e/ou produção.
Apresentação	Modelo direcionado à apresentação pública.
Promocional	Modelo direcionado à apreciação do cliente quando a indicação dos atributos do produto final.
Arranjo	Modelo direcionado à avaliação do leiaute (fábricas, mobiliário, etc.).
Eletrônico	Modelo em imagem digitalizada para avaliação.

Fonte: Adaptado de Lima (2006).

No modelo de Volpato et al. (2006), os modelos podem servir como auxílio no processo, o qual pode ser dividido em dois grupos: o primeiro, onde os modelos são utilizados, principalmente nas fases iniciais do PDP e o restante. nas fases subsequentes, que podem ser classificados do seguinte modo: (i) Maquete;

(ii) Modelo volumétrico; e (iii) Modelo de apresentação para as fases iniciais. A segunda divisão inclui: (i) Protótipo físico ou visual; (ii) Analítico ou virtual; (iii) Protótipo parcial ou focalizado; e (iv) Protótipo completo ou funcional para as fases seguintes, conforme quadro 5.

Quadro 5: Tipos de Modelos, segundo Volpato et al (2006)

Fases iniciais de PDP	
Maquete	Esboço ou modelo experimental em escala reduzida.
Modelo Volumétrico	Rascunho de confecção simples e com a utilização de materiais baratos. Primeiro estudo de dimensões básicas e serve para visualizar sua forma.
Modelo de Apresentação.	São modelos que servem para as mais diversas finalidades e se aproximam ao máximo da estética final quanto a acabamento e textura.
Fases mais adiantadas do PDP	
Protótipo físico ou visual	É um protótipo para prova de conceito, utilizado para testar e experimentar ideias (forma e encaixe) de um produto. É focado no estudo da geometria e não nos aspectos de material.
Protótipo analítico ou virtual	Seus aspectos importantes são analisados computacionalmente (virtualmente).
Protótipo parcial ou focalizado	É um protótipo que implementa alguns atributos de um produto, sendo geralmente um subsistema do mesmo, representando um conjunto de características que permite o teste de aspectos funcionais.

Protótipo completo ou funcional	É um protótipo que implementa a maioria, ou todos os atributos de um componente ou de um produto (em escala real e geralmente através de uma versão operacional do produto).
---------------------------------	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já segundo Bonsiepe (1984), os modelos são classificados em cinco diferentes tipos, conforme a função que exercem no processo projetual: (i) Modelo de volume; (ii) Pré-modelo; (iii) Modelo de apresentação; (iv) Modelo operativo e (v) Modelo estrutural, apresentado no quadro 6.

Quadro 6: Tipos de Modelos segundo Bonsiepe (1984)

Quanto a função no processo projetual	
Modelo de volume	Apresenta volume e silhueta e forma reduzida do produto através de sólidos geométricos simples.
Pré-modelo	Serve para corrigir e avaliar detalhes que não se pode determinar através de desenho.
Modelo de apresentação	Serve para simular o produto a produzir, com alto grau de semelhança.
Modelo operativo	Serve para observar o funcionamento de mecanismos, detalhes ergonômicos e operativos de um produto.
Modelo estrutural	Serve para mostrar a estrutura do produto em componentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.2 O que é um protótipo

Protótipos (protos gregos = Primeiro) destinam-se a testar a função e a realização de um novo projeto antes de entrar em produção. De um modo geral, os protótipos representam uma das últimas fases do processo de desenvolvimento do produto antes de ser fabricado industrialmente. Em casos raros, um protótipo também pode ser concebido como uma peça única (isto é, não se destinam a produção em massa), cuja intenção é de simular uma análise do produto da forma mais realista quanto possível. Apesar da complexidade e custo elevado envolvido, prototipagem é parte integrante do projeto da maioria dos produtos por monitoramento de construção, permitindo a opinião do usuário sobre diversos Tipos de modelo, e destacando as deficiências ou falhas no produto antes de entrar em produção em série. (ERLHOFF; MARSHAL, 2008, p.123)

Na área do Design, protótipos podem ser utilmente pensados como “ferramentas de aprendizagem”, logo, podem existir em qualquer nível de resolução, podendo ser usado em qualquer fase no processo de design para explorar, desenvolver e / ou comunicar ideias (VIANA, 2012). Para Kai, Fai e Chu-sing (2010), a intenção de ter um protótipo físico é a de perceber a fase de julgamento. Deste modo, se faz necessário desde o início da produção, sendo experimentado de diversas formas e materiais. Podem variar de esboços de baixa fidelidade, como recortes em papelão, à alta fidelidade com diferentes níveis e tipos de modelos. Porém, todos são projetados para explorar e comunicar proposições sobre o projeto e seu contexto, permitindo que as pessoas estabeleçam uma experiência e a relação sensorial com ideias sobre produtos, serviços, espaços, processos, assim por diante (WONG, 1992).

Para Kai, Fai e Chu-sing (2010), o processo de modelagem ou prototipagem passou por três fases de desenvolvimento. As duas últimas surgiram recentemente, mas foi a terceira fase, através da modelagem em computação gráfica, a responsável pelo crescimento da prática. Na primeira fase, iniciada há vários séculos, os protótipos não eram muitos sofisticados e, dependendo da complexidade e da representatividade, sua confecção poderia tomar muito tempo. A segunda fase, já através de aplicações CAD/CAE/CAM,

mais difundidas no início dos anos 80, possibilitou que modelos pudessem ser testados, analisados e modificados e que as interações de projeto pudessem facilmente ser realizadas através da alteração de parâmetros dos modelos de computador. Na terceira fase, a prototipagem rápida, também conhecida como fabricação em camada, proporcionou agilidade na confecção e possibilitou maior facilidade de reprodução de modelos complexos.

Por vezes, existe a ideia de que os protótipos atrasam o processo de criação, consumindo tempo valioso em sketches, modelos e simulações, no entanto, aceleram a obtenção de resultados, devido à experiência e à lógica de tentativa-erro, tornando mais fácil a escolha de qual direção tomar (BROWN, 2009). Um protótipo é uma parte importante e vital do processo de desenvolvimento de um produto. Não necessariamente é preciso representar em um protótipo, toda a funcionalidade do produto, como demonstrado na figura 12, mas sim, apenas a funcionalidade que atenda aos objetivos do teste ou da avaliação (BROWN, 2009).

Figura 12: Protótipo para teste de validação de encaixes e peças secundárias



Fonte: Sculpteo. 2015. Disponível em: <http://www.sculpteo.com/blog/2015/06/25/the-3d-printing>

Para Carvalho e Volpato (2006), o protótipo é parte fundamental no seu processo de desenvolvimento porque possibilita que o estudo de análise, quanto à forma e função, seja feita em fases antecedentes à produção de ferramental definitivo que irá produzir o produto.

2.3.3 Porque prototipar?

Protótipos são voltados para o futuro, no sentido de que eles sugerem como o futuro pode ser. A manifestação de ideias sobre os conceitos futuros é uma maneira de fazer com que as ideias sejam compartilhadas e inseridas à discussão, tanto com clientes como com os usuários e, internamente, com a própria equipe de projeto (SCHRAGE, 2004; KELLEY, 2001). Para Duarte (2003), a utilização de modelos de representação é essencial, tanto no processo como para a apresentação final ou parcial de um produto, e, fazer uso dessa ferramenta durante o processo criativo também ajuda na obtenção de uma forma que exprima a solução desejada.

Um projeto só evolui através de modelos físicos, considerados importantes meios de comunicação entre os designers e técnicos e entre os designers e os clientes para quem o projeto é feito. Modelos preliminares – dispostos na figura 13 – feitos de materiais básicos de modelagem, capturam sua forma, cor, textura, mecanismos e permitem que o produto a ser construído possa ser visto a partir de vários ângulos (ASHBY; JOHNSON, 2003). Para os autores, por mais avançado que seja o entendimento de um projeto, ele poderá fracassar se o resultado não for funcional. Desta forma, ter conhecimento em relação aos materiais e processos de fabricação, torna-se fundamental no processo de materialização de um projeto, seja na fase conceitual ou na fase ideológica. Talvez o impacto mais profundo que a criação de protótipos tenha exercido sobre a linguagem é o novo vocabulário que ele pode gerar para características novas (SCHRAGE, 2001, p. 113).

Figura 13: Modelo preliminar feito de papel e adesivo



Fonte: Viget. 2015. Disponível em: <https://viget.com/extend/engineering-design-process>

Para Tom Kelley, da IDEO – empresa de design e consultoria em inovação – a ‘fórmula secreta’ nos projetos realizados pela empresa é uma mistura de metodologias, práticas de trabalho, cultura e infraestrutura. Para a cultura organizacional da IDEO, somente a metodologia não é suficiente, sendo a prototipagem um passo no processo de inovação quanto uma filosofia sobre o movimento contínuo para frente (KELLEY; JONATHAN, 2001).

Os protótipos construídos durante o processo de desenvolvimento de produto potencializam a criatividade e o aprendizado pela aquisição de conhecimento decorrente da interação com o objeto. O processo de criação é dependente da interação com informações e assuntos referentes ao objeto a ser trabalhado e solucionado, onde somente são alcançadas soluções inovadoras e adequadas se os profissionais estiverem imersos no problema em questão, pois o processo criativo antecipa-se a um processo informacional de pesquisa e coleta de dados (GOMES, 2004).

Para Leite (2007), modelos e protótipos físicos são de importância fundamental para o desenvolvimento de produtos, para o planejamento da

produção, da configuração de máquinas, da avaliação do Layout fabril e para os ensaios de desempenho do produto. São fundamentais para o desenvolvimento de projetos e para a elaboração de modelos e protótipos que possibilitam validar as soluções propostas nas representações bidimensionais. Essa prática permite a análise e a avaliação do objeto em estudo, como por exemplo, na sua forma, nas cores aplicadas, na textura, no acabamento, na funcionalidade e nas adequações ergonômicas. Conforme Leite (2007), modelos e protótipos devem ser utilizados durante a pesquisa quanto a experiências de uso, pois podem determinar a continuação, alteração ou total abandono de uma ideia.

Para Viana (2012), o ato de prototipar tem como função o papel de auxiliar a avaliação das ideias geradas. Ainda segundo o autor, o protótipo torna tangível uma ideia; é a passagem da forma abstrata para a forma física, representando a realidade e proporcionando as validações necessárias. Da mesma forma, Schrage (2000), diz que os protótipos são feitos para responder a perguntas, pois diferentes questões podem exigir diferentes tipos de representações, das simples às sofisticadas, beneficiando a um aumento de vocabulário quanto às características do produto.

A prototipagem também beneficia o processo de economia de recursos, tais como tempo e custo, pois, podem identificar de forma mais rápida os problemas. Alterações na forma ou na funcionalidade de um produto, quando este já se encontra em estágios mais avançados do seu processo de desenvolvimento, implicam normalmente em custos elevados. Volpato (2006), estima que essas alterações aumentem consideravelmente de uma fase para outra, então o erro deve ser corrigido nas fases iniciais. Naturalmente, o processo de desenvolvimento de um protótipo também gera custos, para Dreyfuss (2003), o custo de um modelo é compensador quando considerados os seus benefícios e a oportunidade de aprender.

2.3.4 Quando prototipar?

Tomando como referência alguns processos criativos para projeto de produtos (GOMES, 2004; DUALIBE, SIMONSEN, 2008; BROWN, 2010), fica evidente a importância do desenvolvimento de mocapes, modelos volumétricos e protótipos durante o desenvolvimento projetual. As fases de pré-desenvolvimento e especificamente do desenvolvimento exigem uma análise mais profunda do produto a ser projetado e produzido e é caracterizada pela formação do detalhamento do projeto. É onde surgem oportunidades e ideias do que pode vir a ser feito, e é nesse momento que a prototipagem se faz necessária. Também existe o momento de transição entre as fases de planejamento e de execução, onde a prototipagem se apresenta na sua melhor forma. Na fase de pós-desenvolvimento ou execução, a prototipagem torna-se mais cara e por consequência, mais complexa, mas muito importante quando é preciso visualizar de forma mais precisa detalhes do que está sendo projetado. Em todas as fases de projeto é necessário a prototipação, considerando que cada etapa exige um nível diferente de modelos de representação do produto, que varia conforme cada necessidade.

Para Brown (2009), quanto maior for a progressão do projeto, maior será a sua complexidade e custo na confecção de um protótipo e, proporcionalmente, menor, quanto a margem de *uma análise crítica* construtiva, caso conste a necessidade de reparação no projeto. Entretanto, isso não diminui a importância do protótipo no processo final na fase de desenvolvimento, mas é bem provável que se a prototipagem acontecer apenas na fase final, poderá ocasionar um encadeamento de problemas que poderiam ser facilmente evitados em etapas anteriores. Independente da tecnologia utilizada, o ato de prototipar é fundamental. É preciso “pensar com as mãos” para identificar oportunidades e evitar problemas posteriores.

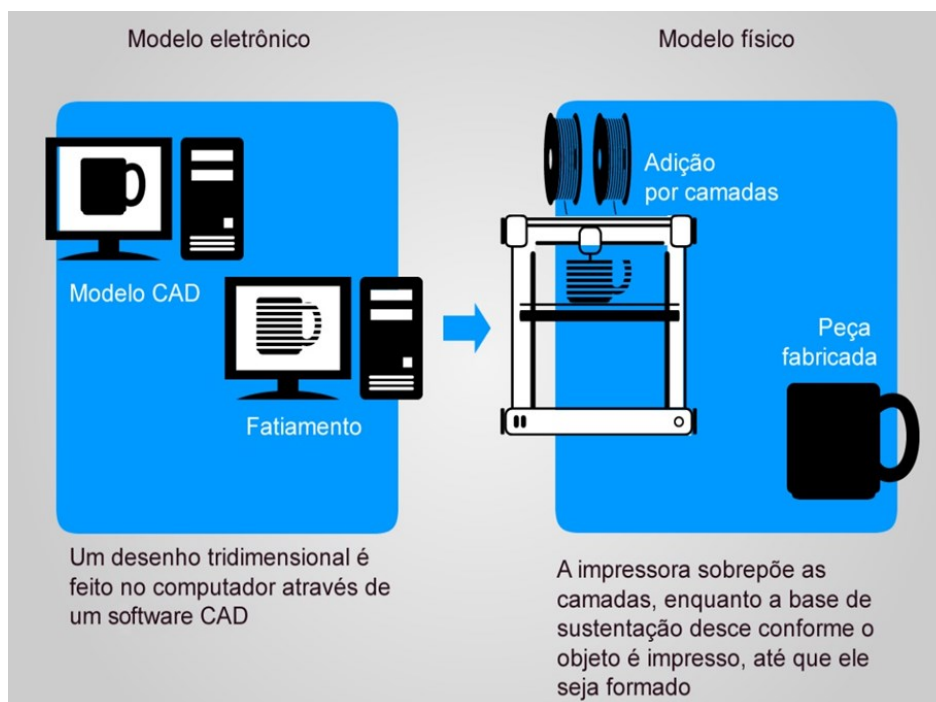
2.4 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

2.4.1 Prototipagem Rápida: Aspectos gerais

Segundo Kostakis (2015), a manufatura aditiva é o termo técnico dado a tecnologia popularmente conhecida como “Impressão 3D”, a qual encontra-se inserida em um conjunto de diversas tecnologias de Fabricação Digital. É, em resumo, o processo de união de material, camada por camada, para fazer objetos por meio de dados do modelo 3D (geralmente criados por um software de desenho assistido por computador), que ao encontro com as tecnologias de fabricação subtrativas (ASTM, 2010).

De acordo com Volpato (2007), essas tecnologias se baseiam no princípio da manufatura por camada, onde a peça, modelada em um software 3D no CAD, é “fatiada” eletronicamente, obtendo-se assim, curvas de níveis que serão utilizadas pela tecnologia para gerar uma peça física, camada por camada, conforme apresentado na Figura 14. Essa tecnologia, conhecida como “Prototipagem Rápida”, é chamada de “rápida” porque pode produzir de maneira mais ágil que as máquinas de controle digital convencional e chamada de “prototipagem”, pois, quando surgiu a tecnologia, era muito caro para ser utilizado em uma produção em larga escala (BRADSHAW et al., 2010).

Figura 14: Representação das principais etapas de manufatura por camada



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aparecimento da prototipagem rápida pode ser considerado um marco em termos de tecnologias de manufatura devido a importância e a potencialidade, que derivam de grande economia em tempo de fabricação e capacidade para fabricar geometrias complexas quando comparada a outros processos (VOLPATO, 2006; CARVALHO, 2006). Ainda que, em alguns casos, a produção de protótipos funcionais seja um processo caro e de um consumo de tempo elevado, devido a relação de tamanhos e maquinário, pode ter grande redução no tempo de desenvolvimento (VOLPATO, 2006).

Conforme Volpato (2006), o processo de desenvolvimento de produto pode ser compreendido como um conjunto de procedimentos, que utiliza de diversas ferramentas, para buscar, dentre várias soluções, aquela que atenda seus objetivos, contemplando todos os requisitos determinados por estes. Por sua vez, a prototipagem rápida pode ser caracterizada como uma dessas ferramentas de apoio ao desenvolvimento de produto, nas quais permitem a observação e a avaliação dos produtos a serem projetados. Também segundo o autor, a

Prototipagem Rápida é um conjunto de técnicas utilizadas para fabricar de forma rápida um modelo ou protótipo físico 3D com informações obtidas por computador via sistema CAD de dados, conforme ilustrado na figura 15.

2.4.2 Tipos de tecnologia de prototipagem rápida

Volpato (2006), aponta que existem no mercado diversos sistemas de Prototipagem Rápida direcionada a diferentes objetivos, utilizando o princípio de manufatura por camadas através de diferentes tecnologias de adição de material, pois cada sistema possui determinada finalidade. Para Pupo (2009), as características físicas de um protótipo definem sua qualidade que, por consequência, determinam o sucesso ou a limitação do uso da tecnologia escolhida a ser aplicada. Os processos de maior utilização comercial podem ser classificados em: baseados em líquidos, baseados em sólidos e os baseados em pó, explicitado no quadro 7.

Quadro 7: Classificação dos processos de Prototipagem Rápida

Baseado em Líquido	Baseado em sólido	Baseado em pó
Estereolitografia – SL (Stereolithography)	Modelagem por Fusão e Deposição – FDM (Fused Deposition Modeling)	Sintetização seletiva a Laser - SLS (Selective Laser Sintering)
Impressão a jato de tinta - IJP (Ink-jet Printing) - Polyjet	Manufatura Laminar de Objetos - LOM (Laminated Object Manufacturing)	Sintetização a Laser - EOSINT (Laser Sintering)
IJP - In Vision	Tecnologias com lâminas de papel - PLT (Paper Lamination Technology)	Impressão Tridimensional - 3DP (3 Dimensional Printing)

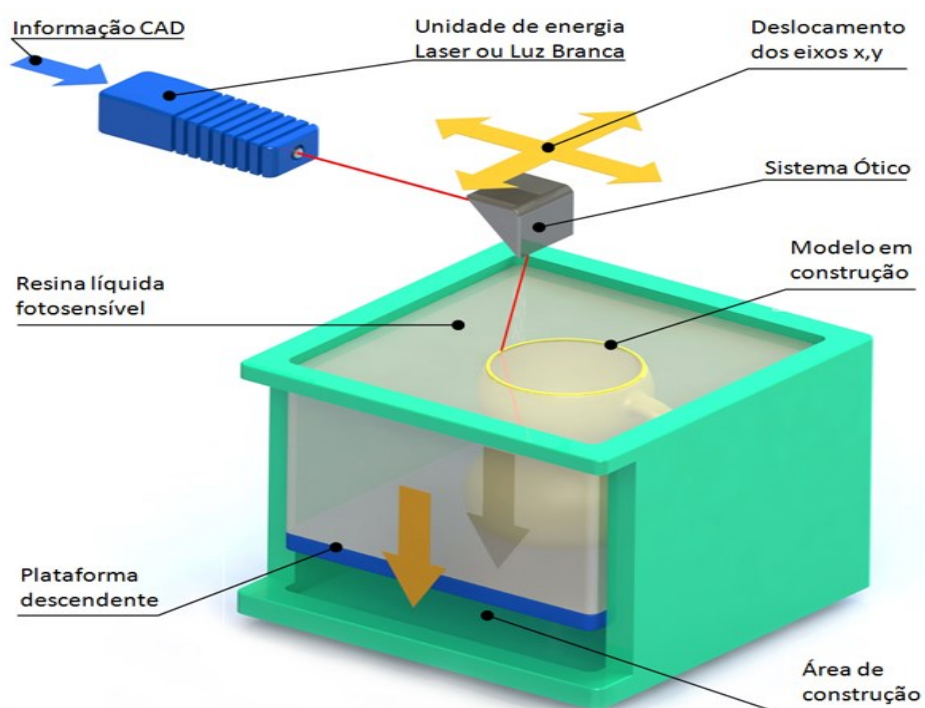
	IJP - Thermojet	Fabricação da Forma Final a Laser – LENS (Laser Engineered Net Shaping)
	IJP – Benchtop	3DP - ProMetal

Fonte: Adaptado de Kai, Fai e Chu-sing (2010).

2.4.2.1 Baseados em Líquidos

Mais conhecida por Estereolitografia (SL, de Stereolithography), foi a primeira tecnologia de prototipagem rápida disponível e apresentada ao mercado em 1988. Nesse processo, ilustrado pela figura 15, as camadas que compõem a peça são construídas pela cura de camadas de uma resina líquida foto curável, que, quando exposta a um feixe de laser UV (ultravioleta), muda rapidamente do estado líquido para o sólido. Os materiais foto curáveis disponíveis são resinas acrílica e epóxi (VOLPATO, 2006). A figura 16 apresenta um modelo confeccionado por este processo.

Figura 15: Princípio do processo de Modelagem por Estereolitografia



Fonte: www.custompartnet.com.

Figura 16: capa de telefone celular produzida por estereolitografia.

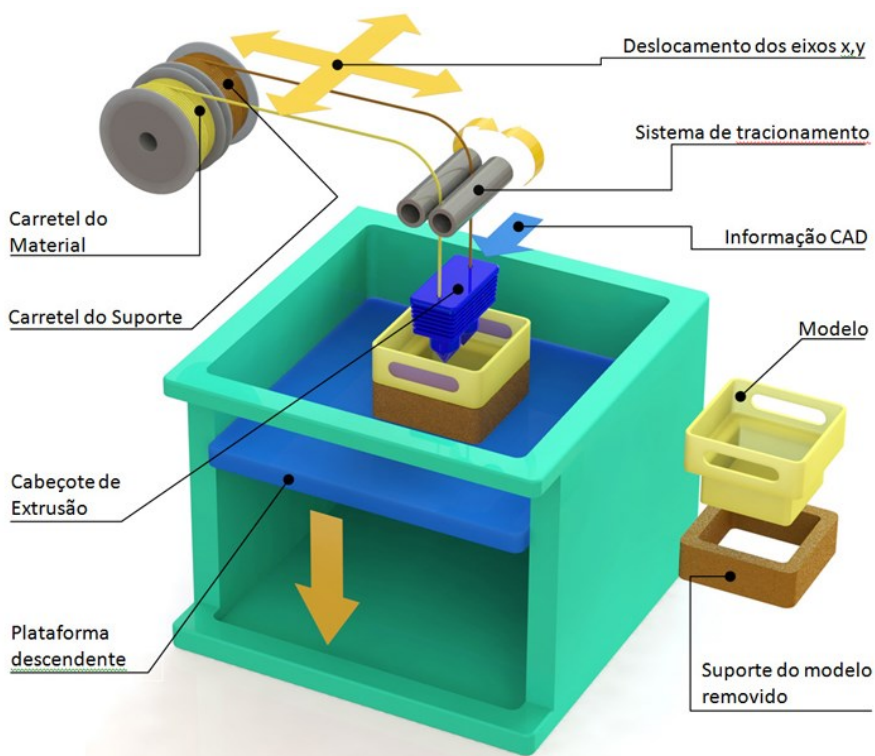


Fonte: <https://blog.solidconcepts.com>

2.4.2.2 Baseados em sólidos: Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)

O processo de Modelagem por Fusão e Deposição (Fused Deposition Modeling – FDM) constrói o protótipo pela deposição da extrusão de um polímero sobre uma mesa de eixo X-Y-Z, conforme esquema ilustrado na figura 17. A cabeça de extrusão é alimentada por polímero, o fio é aquecido e dispensado na forma de filetes em estado semilíquido ou pastoso. É através do movimento da mesa que a peça é formada. Segundo Volpato (2006), nesse processo estão disponíveis os seguintes materiais para construção de protótipos: cera, poliéster, ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno), policarbonato e PLA (Poliácido Lático). A figura 18 apresenta uma peça confeccionada pelo processo FDM.

Figura 17: Princípio do processo de Modelagem por Fusão e Deposição – FDM



Fonte: Aldesig. 2015. Disponível em: <http://aldesig.com.br/index/>

Figura 18: Peça produzida por processo Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)

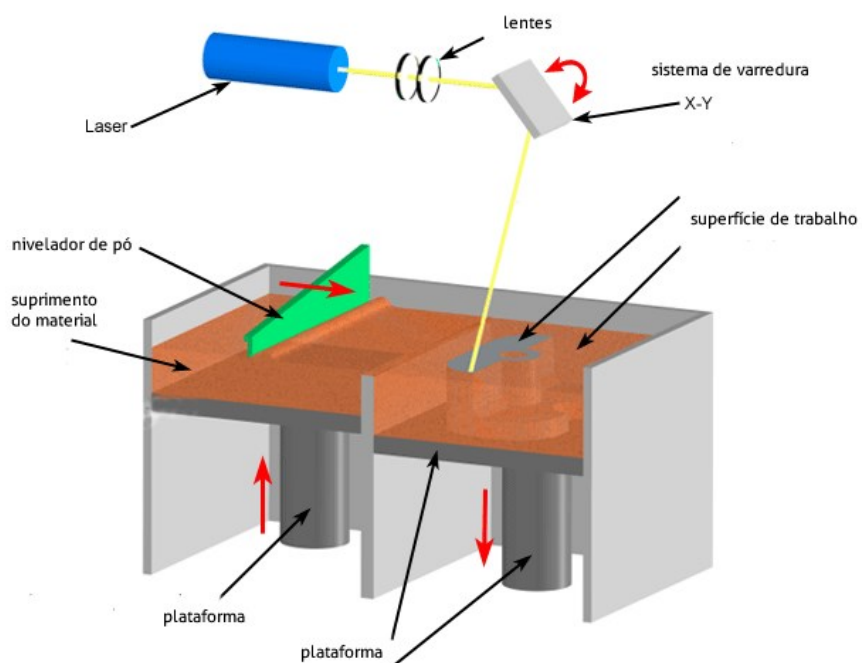


AldeSig. 2015. Disponível em: <http://aldesig.com.br/index/>

2.4.2.3 Baseado em Pó: Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

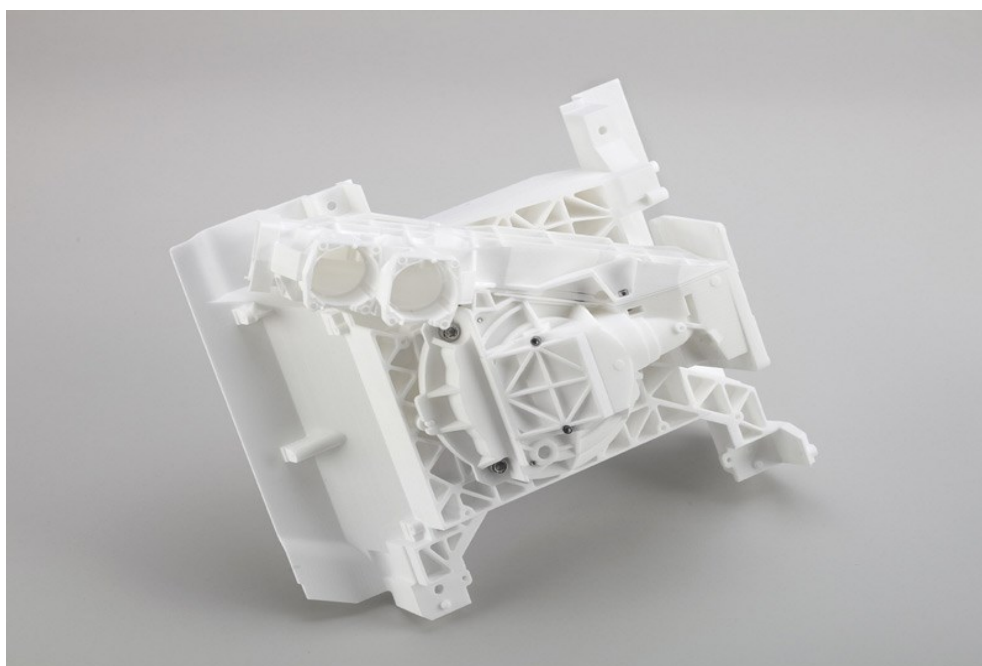
A tecnologia de Sinterização Seletiva a Laser (Selective Laser Sintering - SLS) utiliza um laser de dióxido de carbono (CO₂) para sintetizar um material em forma de pó. A construção do objeto começa com o material sendo espalhado e nivelado por um rolo sobre a plataforma dentro de uma câmara. O material é aquecido próximo ao ponto de fusão do pó e mantido em atmosfera inerte através do nitrogênio, evitando oxidação e possível explosão das partículas mais finas, conforme esquema apresentado na figura 19. Após o sistema de varredura fornecer a energia necessária para a sinterização das partículas que estão na superfície, a plataforma desce e é retomado o processo para a construção de uma nova camada (VOLPATO, 2006). A figura 20 apresenta uma peça confeccionada pelo processo SLS.

Figura 19: Princípio do processo baseado em pó: Sinterização Seletiva a Laser (SLS)



Fonte: Aldesig. 2015. Disponível em: <http://aldesig.com.br/index/>.

Figura 20: Peça produzida por processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS)



Fonte: Hyphen Service. 2015. Disponível em: <http://www.hyphenservices.com>

2.4.2.4 Impressão Tridimensional (3DP)

A impressão Tridimensional (3DP), através da camada de pó (gesso ou amido), é feita da mesma forma que na Sinterização Seletiva a Laser. Neste caso, a aglutinação do pó é feita pela ação de um adesivo líquido em temperatura ambiente, ao invés do uso de laser. A liberação do adesivo líquido sobre o pó é feita por um cabeçote de impressora, semelhante à utilizada nas impressoras de jatos de tinta, conforme ilustrado na figura 21. No final do processo, as peças passam por uma limpeza para tirar o pó que ficou aglutinado e posteriormente infiltrado em uma resina chamada cianocrilato que irá oferecer reforço mecânico. Por possuir uma qualidade da superfície e precisão dimensional inferior às demais tecnologias, a 3DP tem sido utilizada principalmente para confecção de protótipos visuais ou conceituais. A figura 22 apresenta uma peça confeccionada pelo processo 3DP.

Figura 21: Princípio do processo de impressão tridimensional - 3DP (Adaptado de Volpato et al., 2006)

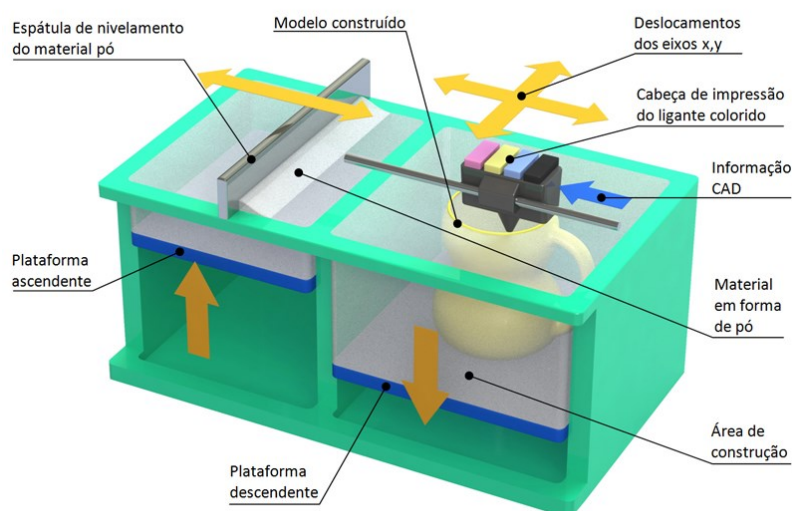


Figura 22: Peça produzida por processo de impressão 3DP



Fonte: <https://blog.solidconcepts.com>

2.4.3 Características dos processos de PR

Embora as tecnologias de PR possam ser utilizadas com benefício durante o processo de desenvolvimento de produto, pode-se entender que a escolha de qual tecnologia utilizar depende diretamente do propósito do protótipo a ser criado. Existem muitas diferenças entre os processos de Prototipagem Rápida, e fica evidente que todos os processos buscam oferecer algum tipo de retorno para o atendimento a diferentes necessidades, respeitando as características de cada tipo de protótipo a ser construído (VOLPATO, 2006). A figura 23 apresenta as características de cada processo de Prototipagem Rápida.

Figura 23: Características de cada processo de Prototipagem Rápida

Materiais	Tecnologia					
	Peças construída através de polimerização		Peças construída por meio de agente de ligação		Peças construída através de fusão	
Cerâmica			Jato aglutinante (BJ)		fusão a laser (LM)	
Cera						
Areia						
Plástico	Estereolitografia (SL)	Jato de fotopolímero (PJ)			Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)	Sinterização Seletiva a Laser (SLS)
Cerâmica						
	baixa		Durabilidade			alta
	suave		Superfície			rugosa
	alto		Detalhe			baixo
	protótipos/testes		Aplicação			partes funcionais

Fonte: Adaptado de Kai, Fai e Chu-sing (2010)

Para cada tipo de processo, o protótipo precisa passar por algum tipo de pós-processamento, como a limpeza da peça. Em outros processos necessita de pós-cura ou acabamento superficial.

As indústrias vêm depositando grandes esforços na concepção de novos equipamentos que atendam as necessidades de uso de diferentes tipos de materiais. No quadro 8 são apresentadas as principais características dos processos de Prototipagem Rápida.

Quadro 8: Principais características dos processos baseados em líquidos, segundo Volpato (2006)

Vantagens e desvantagens	
Processos baseados em líquidos	Características
Estereolitografia SL	Possui boa precisão e elevada qualidade superficial; necessita pós-processamento para remoção de suportes; requer pós-cura para assegurar a integridade da estrutura
Impressão a jato de tinta (IJP)	Boa precisão e qualidade superficial; não requer pós-cura; necessita pós-processamento para remoção de suportes e possui poucos materiais disponíveis restringindo-se apenas às resinas poliméricas.
Processos baseados em sólido	
Modelagem por fusão e deposição (FDM)	Permite em alguns casos a produção de peças que podem ser utilizadas em testes funcionais; não requer pós-cura; não possui boa precisão; necessita de pós-processamento para remoção de suportes; possui poucos materiais de insumo e velocidade lenta no processo de criação da peça.
Manufatura laminar de objetos (LOM)	Não requer pós-cura; apresenta velocidade de processo alta; possui poucos materiais disponíveis; o pós-processamento para remoção dos suportes é demorado e não é indicado para obtenção de paredes finas.
Tecnologia com lâminas de papel (PLT)	Não requer pós-cura; possui poucos materiais disponíveis; peças com vazio interno não podem ser fabricadas em um único processo; o pós-processamento para remoção dos suportes é demorado e não é indicado para obtenção de paredes finas.
Impressão a jato de tinta (IJP) Thermojet da 3D System	Processo rápido e simples; peças frágeis; com a necessidade de pós-processamento para remoção dos suportes e possui poucos materiais para a obtenção de protótipos.

Impressão a jato de tinta (IJP) Benchtop da Solidscape	Alta precisão; exige pouco pós-processamento; material limitado para obtenção de protótipos; possui processo lento quando comparado a outros processos de prototipagem rápida.
Processos baseados em pó	
sintetização seletiva a laser (SLS) Da 3D Systems	Aceita vários tipos de materiais; serve tanto para protótipos de visualização quanto de fins funcionais; dependendo do material, o processo exige pouco pós-processamento; não necessita de pós-cura e não possui um acabamento superficial muito bom.
Sintetização a laser (SLS) EOSINT da EOS	Aceita vários tipos de materiais; serve tanto para protótipos de visualização quanto de fins funcionais e possibilita a produção de peças grandes.
Fabricação da forma final a Laser (LENS) da Optomec	Obtenção de peça metálica com alta qualidade mecânica; não necessita de pós-processamento; esse processo pode ser usado para substituir peças danificadas podendo ser combinada com outros tipos de materiais; oferece somente a possibilidade de criar peças metálicas e não apresenta acabamento superficial muito bom.
Impressão tridimensional (3DP) Z Corporation	Não há desperdício de material e possibilita a obtenção de peças coloridas; possui limitação na funcionalidade das peças obtidas; apresenta pouca diversidade de material; necessita de pós-processamento e não apresenta acabamento superficial para peças mais exigentes.
Impressão tridimensional (3DP) ProMetal da Ex One Corporation	Vantagens Apresenta processo rápido; permite a obtenção de peças grandes; necessita de pós-processamento e somente oferece a possibilidade de criar peças metálicas.

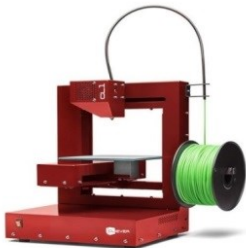
Fonte: Adaptado de Volpato (2006).

2.4.4 Modelos de impressoras populares para Prototipagem Rápida

As máquinas de Prototipagem Rápida, que recentemente estavam disponíveis apenas para uso industrial, agora se encontram disponíveis a qualquer um para uso doméstico. Segundo Anderson (2012), depois da queda de algumas das patentes mais importantes no campo da impressão 3D, estimulou-se alguns centros de pesquisa em tecnologia, grande parte situada em universidades, no desenvolvimento de máquina de baixo custo. A customização e a fabricação de pequenos lotes tornaram-se factíveis, podendo ser impresso na própria impressora ou enviá-lo para um birô de serviço para ser fabricado em volumes maiores. Para Anderson (2012), essa escolha simples de poder imprimir um arquivo para impressão comprime três séculos de revolução industrial em um único clique no *mouse*.

O Brasil tem se expandido nos últimos anos em relação ao mercado de impressoras 3D. O quadro 9 apresenta uma tabela com os principais modelos comercializados no país. A procura por esses equipamentos proporcionou o surgimento de empresas 100% nacionais e que, ao longo dos anos, vêm ganhando espaço entre os modelos importados no setor de prototipação.

Quadro 9: Modelos de impressoras 3D comercializadas no Brasil.

Modelo	Principais características
<p style="text-align: center;">Cliever</p> 	<p>Cliever: Primeira impressora 3D de fabricação nacional. Desenvolvida pela Cliever Tecnologia. Sua tecnologia de fabricação utiliza um filamento plástico como matéria-prima para criar objetos em 3D.</p>

<p>Fonte: Divulgação/Cliever Tecnologia)</p>	
<p>Metamaquina:.</p>  <p>Fonte: Divulgação/Metamaquina</p>	<p>Operadas através de software livre e hardware aberto, podendo ser modificado e melhorado conforme necessidades desejadas.</p>
<p>Cube</p>  <p>Fonte: Divulgação/Cube</p>	<p>Comercializada no Brasil desde 2003 pela Robtec, representante da companhia 3D Systems dos Estados Unidos. Este modelo imprime em materiais como ABS e PLA, bons em resistência e brilho.</p>
<p>UP!3d:</p>  <p>Fonte: Divulgação/Up!3D)</p>	<p>As máquinas da marca UP!3d são outras já comercializadas no Brasil. A empresa oferece dois modelos: UP! Mini e UP! Plus.</p>

<p>Makergear M2:</p>  <p>Fonte: Makergear</p>	<p>Possui uma plataforma aquecida que usa PLA ou ABS para imprimir os objetos com dimensões máximas de 203 x 254 x 203 mm.</p>
<p>Makerbot:</p>  <p>Fonte: Divulgação/Makerbot)</p>	<p>Possui software próprio e suporta arquivos no formato STL, OBJ e Thing. Este modelo trabalha com dois canhões de impressão, dobrando a velocidade do processo.</p>
<p>Witbox:</p>  <p>Fonte: Divulgação/Witbox)</p>	<p>Este modelo é open source, e pode ser usado com uma variedade de ferramentas de software, incluindo Slic3r, Cura, Pronterface e Repetier.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho apresenta, como questão central de investigação, a contribuição dos Fab Labs quando aliada a Fabricação Digital e a Prototipagem Rápida. Vimos, nas últimas décadas, a inclusão e a disseminação das tecnologias de Fabricação Digital que estão transformando definitivamente o modo de desenvolvimento de novos produtos. Tecnologia que hoje nos permite maior

liberdade na criação e na transformação de objetos com formas geométricas mais precisas e complexas. Desta forma, inserindo o designer na era digital, as novas tecnologias potencializam suas habilidades durante o processo de desenvolvimento de novos produtos.

Protótipos rápidos estão acelerando a habilidade quanto à exploração de possibilidades formais sob o formato físico, como a exploração da forma durante o processo de desenvolvimento de produto. Mesmo que, ainda tenham que considerar o processo atual no desenvolvimento de produto para a indústria, alguns especialistas (GERSHENFELD, 2012; ANDERSON, 2012; EYCHENNE, 2013) afirmam que essa lógica não está muito longe de terminar com a disseminação da fabricação digital como processo de produção, ampliando as diversas possibilidades durante o processo de criação, antes limitado aos tradicionais processos de desenvolvimento de produto. Dessa forma, este estudo apresenta uma reflexão de como as novas tecnologias de Prototipagem Rápida e a Fabricação Digital contribuem na prática projetual quando utilizadas na experimentação, modificando a maneira de projetar e de solucionar problemas.

Embora o meio digital permita a criação de formas geometricamente complexas, ainda é através do meio físico a melhor maneira de se perceber a realidade com maior intensidade. Modelos volumétricos, mocapes e protótipos ajudam a validar a experimentação visual e tátil da forma, reconhecendo suas características e ampliando o vocabulário projetual.

A relevância deste estudo para a área de Design tem o intuito de ampliar os limites de reflexão sobre a importância e a potencialidade da prototipagem rápida dentro de uma rede colaborativa, aberta e democrática como proposta pelos Fab Labs.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender os objetivos propostos neste trabalho, optou-se por uma pesquisa qualitativa, pois não tenho por objetivo quantificar ou traduzir em números os procedimentos referentes à Prototipagem Rápida e à Fabricação Digital dentro do ambiente Fab Lab, tanto em suas dimensões conceituais ou técnicas. Nesse sentido segundo Flick (2009), a pesquisa qualitativa, é feita através da utilização de texto ao invés de números, parte da informação da construção social das realidades em estudo e estão voltadas as perspectivas dos participantes em relação ao conhecimento cotidiano relativo à questão de estudo. Ou seja, analisa e interpreta as experiências individuais e de grupo, observa as relações e comunicações, além de pesquisar documentos. Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos do tipo de pesquisa utilizado. Também serão abordados os critérios para a construção do universo de estudo, o método de coleta de dados e a forma de tratamento desses dados, conforme figura 24.

Figura 24: Procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

As categorias de análise não são definidas *a priori*, mas devem emergir das respostas conforme uma das estratégias de análise de conteúdo apresentada por

Bardin (2010). A estrutura do roteiro, suas perguntas, visa conduzir as entrevistas, mas não limitar as possibilidades de análise.

Para esta pesquisa, optou-se pela abordagem direta aplicada aos profissionais, cujas relações de trabalho permeiam o tema pesquisado.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica, primeira etapa, corresponde a fundamentação teórica para se chegar ao estado da arte da prototipagem, Prototipagem Rápida, Fabricação Digital e o fenômeno Fab Lab. Para esta pesquisa, buscaram-se referências bibliográficas com os autores relevantes ao tema: Volpato (2006), Eychenne (2013), Gershenfeld (2005), Blikstein (2014), Bonsiepe (1984), entre outros, de acordo com o quadro 10, tendo por objetivo aprofundar os conhecimentos nas principais áreas de estudo desta pesquisa.

Quadro 10: Autores relevantes ao tema.

Autores	Abordagem:
Bonsiepe (1984)	<ul style="list-style-type: none"> Definições de protótipo, mocapes, modelos volumétricos.
Volpato (2006)	<ul style="list-style-type: none"> Introdução às tecnologias de Prototipagem (princípio, benefícios, principais processos do mercado e suas aplicações).
Eychenne (2013)	<ul style="list-style-type: none"> Descrição sobre a rede Fab Lab, (diferentes modelos, o processo de criação de um Fab Lab, os projetos e a sua estrutura educacional).
Gershenfeld (2005)	<ul style="list-style-type: none"> Desponta exatamente o que está sendo feito, e como esta tecnologia visa permitir a criação de objetos e uma nova realidade da Fabricação digital.

Blikstein (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação digital na educação.
------------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

]

3.2 DEFINIÇÃO DE AMOSTRA

Inicialmente, foi feito um levantamento de todos os Fab Labs existentes no Brasil, de acordo com os dados disponibilizados pelo site da fundação Fab Lab (Fab Foundation). No total de 17 laboratórios, foram selecionados aqueles que atendessem aos critérios máximos ou próximos à classificação de conformidade criado pelo Fab Central no qual avalia as condições dos laboratórios atuais. Posteriormente, oito laboratórios foram convidados a participar desta pesquisa, através de uma carta via e-mail, contendo uma apresentação resumida sobre esta pesquisa. Destes, apenas cinco aceitaram participar. A partir de então, mediante disponibilidade de agenda, foram escolhidos os Fab Labs de Brasília, São Paulo e Florianópolis, conforme apresentado no quadro 11.

Quadro 11: classificação de conformidade Fab Lab

	Acesso ao Fab Lab	Adesão a Carta de Princípios	Conjunto de ferramentas e processos	Participação na rede mundial de Fab Lab
	Algum tipo de Acesso gratuito/aberto ao público (devem cobrar os custos dos insumos).	Carta de princípios exposta explicitamente no local e no site.	Possui todas as ferramentas e processos, possivelmente além do kit básico.	Os membros contribuem ativamente ou colaboram com membros de muitos outros Labs. O Lab participa ou lidera iniciativas na rede.
BSB Brasília	A	A	A	A
Garagem Fab Lab	A	A	A	A

PRONTO 3D Fab Lab	A	B	A	B
--------------------------	---	---	---	---

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Foram entrevistados, portanto, quatro profissionais, sendo dois de um mesmo laboratório. Os profissionais foram convidados a participar desta pesquisa por meio de e-mail, com uma apresentação resumida sobre esta pesquisa.

3.3 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

A entrevista nos laboratórios, segunda etapa, teve como objetivo a busca e o levantamento de dados, a fim de compreender a importância da Prototipagem Rápida e da Fabricação Digital dentro do ambiente Fab Lab. Através desses dados coletados pela pesquisa, foi possível apontar as contribuições desses laboratórios para o desenvolvimento de projeto. Foi realizada uma pesquisa qualitativa exploratória, que, de acordo com as perspectivas para métodos qualitativos de coleta e análise de conteúdo de Bardin (2010), situa-se como entrevista semiestruturada com análise de conteúdo.

A entrevista semiestruturada foi aplicada aos gestores dos laboratórios e está presente ara consulta no apêndice A. As entrevistas foram gravadas, o que permitiu maior precisão dos dados no momento da análise, tendo sido realizada em dia normal de serviço, nos intervalos entre as atividades exercidas nos laboratórios.

3.3.1 Entrevistas

As entrevistas semi-estruturadas foram realizadas nos Laboratórios de Fabricação Digital, entre os meses de novembro e dezembro de 2015, e teve como objetivo a busca e o levantamento de dados, a fim de compreender a importância das tecnologias de Fabricação Digital quando inseridas e utilizadas em ambientes colaborativos e multidisciplinares. Através desses dados coletados pela pesquisa, foi possível apontar a importância da Fabricação digital e da Prototipagem Rápida em ambiente Fab Lab. Foi realizada uma pesquisa qualitativa exploratória, que, de acordo com as perspectivas para métodos qualitativos de coleta e análise de dados de Flick (2009) e Bardin (2010), situa-se como entrevista semiestruturada com análise de conteúdo.

Para Bardin (2010), a pesquisa qualitativa é conduzida através de uma revisão das fontes internas e externas de dados secundários. Em síntese, o objetivo da pesquisa qualitativa é obter uma compreensão qualitativa das razões e dos motivos básicos para desenvolver a compreensão inicial do problema de pesquisa.

O roteiro de perguntas foi elaborado com base nos objetivos geral e em referências da literatura. Considerando a natureza da pesquisa, optou-se por seguir um roteiro semiestruturado de modo a permitir a manifestação dos entrevistados de forma aberta.

3.3.2 Entrevistas com coordenadores dos Fab Labs

As entrevistas foram feitas com os coordenadores de cada Fab Lab e foram realizadas dentro dos próprios laboratórios. Elas eram semiestruturadas, sempre buscando uma condução pela realidade dos entrevistados. Informações de grande relevância foram obtidas durante a visita às dependências destes

laboratórios. Nesses momentos de maior informalidade pode-se debater o assunto mais abertamente. Esse material também foi acrescentado à análise.

Para esta etapa, o áudio foi gravado e as entrevistas foram transcritas buscando entender o impacto destas novas tecnologias de fabricação digital no desenvolvimento de novos produtos. A seguir, a estrutura básica das entrevistas:

Quadro 12: Estrutura básica das entrevistas

Questionamentos	Tópicos
Sobre a carreira dos entrevistados.	<ul style="list-style-type: none"> • Influência; • Participação; • Motivação.
Sobre as atividades dentro dos laboratórios.	<ul style="list-style-type: none"> • Papel dos coordenadores e instrutores; • Iteração nas atividades; • Atividades multidisciplinares; • Atividade colaborativa; • Influência em projeto; • Inovação social.
Sobre o funcionamento dos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Características positivas dos processos de: • Prototipagem Rápida; • Infraestrutura.

Fonte: Elaborado pelo autor.

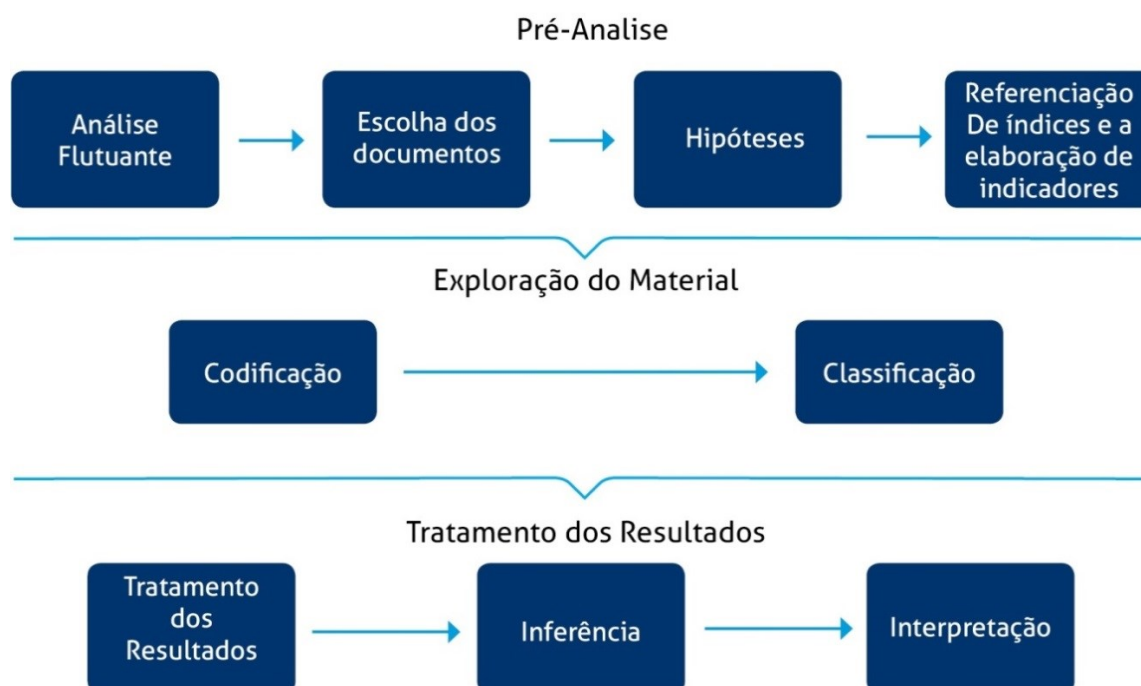
3.4 TRANSCRIÇÃO E ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

Na transcrição das entrevistas optou-se por respeitar integralmente a fala, considerando que os erros, os desvios, as exclamações, entre outras, são de interesse para esta pesquisa.

Utilizou-se como metodologia para a análise do conteúdo das entrevistas, realizadas de forma semiestruturadas, a análise de conteúdo de Bardin (2010). Esse procedimento é entendido como um conjunto de técnicas de análise de conversação com o intuito de obter, através de técnicas sistemáticas e objetivas de como descrever o conteúdo das mensagens, indicadores que podem ser quantitativos ou não que permitam o entendimento dos conhecimentos relativos às condições de produção e recepção das variáveis inferidas destas mensagens. Este procedimento sugere analisar o que é visível no texto para poder criar uma seleção de indicadores que permitam fazer as conclusões.

Para a realização da interpretação das entrevistas semi-estruturadas, utilizou-se a Técnica da Análise de Conteúdo de Bardin (2010). Como aponta o autor, o processo de análise de conteúdo divide-se em três fases: pré-análise, a exploração do material recolhido e o tratamento dos resultados, conforme ilustrado na figura 25. A primeira etapa é a pré-análise, onde se organiza o esquema de trabalho, estabelecendo o procedimento, porém, com flexibilidade. Na segunda etapa, A descrição analítica, é examinado o material coletado a partir de uma interpretação “flutuante” com objetivo de criar as categorias necessárias. E por último, a terceira etapa, A interpretação referencial, na qual as respostas são categorizadas com o objetivo de tornar o material bruto significativo.

Figura 25: Análise de conteúdo



Fonte: Adaptado de Bardin (2010).

A fase de pré-análise consistiu em uma leitura flutuante que consiste em criar uma relação direta com o material analisado e em compreender o texto, deixando-se envolver por impressões e orientações, para posteriormente organizar o material para que possa formular as hipóteses ou questões norteadoras. Na análise das entrevistas, aconteceu a transcrição, a qual constituiu a base da pesquisa. Posteriormente, foi realizada a preparação do material, por intermédio da "edição" das entrevistas transcritas. Estes procedimentos estão diretamente atrelados aos interesses do pesquisador e dos objetivos apresentados que o induzem a realizar a pesquisa (BARDIN, 2010).

A etapa seguinte foi a fase de exploração do material que consiste, essencialmente, de operações de codificação ou enumeração do material em função de regras previamente formuladas, realizadas através da técnica de Análise Categral de Bardin (2010). Nessa, é realizada uma separação do texto em unidades e em categorias por reagrupamentos analógicos, na qual é possível observar termos e palavras que resulta em uma categoria já apontada no

referencial teórico e que poderá ajudar a encontrar respostas para a questão e os objetivos propostos pela pesquisa.

Por fim, foi realizado o tratamento dos resultados colhidos, os quais foram tratados e discutidos com base na literatura. Conforme Bardin (2010), essa é a fase pela qual os resultados passam a ter um tratamento analítico, para serem validados. Em síntese, as informações são organizadas em forma de categorias de análise empíricas, retiradas de meios de comunicação e enriquecidas através da observação do cenário envolvido.

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na etapa final, com base na revisão bibliográfica e nas entrevistas com os profissionais, buscou-se fazer uma reflexão quanto a utilização das novas tecnologias de materialização e identificar a importância destas ferramentas dentro do ambiente Fab Lab, contemplando os objetivos desta pesquisa.

O tratamento e a interpretação dos resultados, obtidos por meio das entrevistas, consistiram em conferir os dados brutos para torná-los significativos e válidos. Obtidos os resultados, foi possível a apresentação de conclusões relacionadas aos objetivos deste trabalho, ou, acerca de novas descobertas.

Através da análise dos resultados, foram elaboradas as considerações finais da pesquisa e sugestões para os futuros trabalhos.

4. RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada a interpretação e a discussão dos resultados com base nos objetivos específicos do estudo; as conclusões a respeito dos principais aspectos deste estudo, assim como as limitações e as recomendações para futuros trabalhos.

4.1 PERFIL DE AMOSTRA

Para entender mais sobre esses laboratórios de Fabricação Digital, foram escolhidos para caso de estudo, três Fab Labs implantados no Brasil. Desses, dois — o BSB de Brasília e o Garagem de São Paulo — seguem o modelo categoria ‘Fab Lab Profissional’ onde, além das atividades pagas, abrem seus espaços semanalmente para que a comunidade local possa usar os maquinários, sob a orientação dos profissionais que compõem a equipe. Desta forma, escolas, moradores, profissionais liberais, estudantes, acessam toda a estrutura do laboratório de forma gratuita.

O terceiro caso de estudo, o Fab Lab Pronto 3D de Florianópolis, segue o modelo da categoria ‘Fab Lab Acadêmico’, abrindo seu espaço apenas à comunidade acadêmica e está sediado dentro de uma universidade federal. O quadro 13 apresenta o perfil dos Fab Labs entrevistados.

Quadro 13: Perfil dos Fab Labs visitados

	Fab Lab BSB - Brasília	Fab Lab Garagem - São Paulo	Fab Lab Pronto 3D - Florianópolis
Modelo de Fab Lab	Profissional	Profissional	Acadêmico
Grau de Conformidade	A A A A	A A A A	A B A B
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Espaço para concepção de novos produtos, - oportunidade para compartilhar conhecimento, fazer parcerias e contribuir para a comunidade local. 	<ul style="list-style-type: none"> - encorajar a ideia de que qualquer pessoa pode fabricar ou fazer qualquer coisa em qualquer lugar do mundo através do compartilhamento tecnológico e social do conhecimento e pela utilização de máquinas de fabricação digital. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cultura de aprendizado através da prática - Capacitar equipe de facilitadores que poderão orientar trabalhos de grande complexidade - Oferecer a seus pesquisadores infraestrutura apropriada
Usuários	<ul style="list-style-type: none"> - Profissionais empreendedores (protótipos e pequenas séries de produtos com finalidade comercial). - Estudantes (Protótipos e desenvolvimento de projetos pessoais via fabricação digital). 	<ul style="list-style-type: none"> - Profissionais empreendedores (protótipos e pequenas séries de produtos com finalidade comercial). - Estudantes (Protótipos e desenvolvimento de projetos pessoais via fabricação digital). 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudantes de graduação (realização de projetos da faculdade). - Pós-graduandos (desenvolvimento de pesquisa prática). - Professores (desenvolvimento de atividades voltada a pesquisa e ensino).
Serviços	<ul style="list-style-type: none"> - Auxílio no desenvolvimento de projetos - Locação de máquinas - Oportunidade de participação em projetos colaborativos da rede - workshops, cursos 	<ul style="list-style-type: none"> - Auxílio no desenvolvimento de projetos - Locação de máquinas - Oportunidade de participação em projetos colaborativos da rede - Palestras, workshops, cursos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação e cursos - atende cursos de Design, Arquitetura, Engenharias, bem como todas as áreas que envolvam criação, desenvolvimento e produção de modelos, protótipos, maquetes e produtos em escala real, auxiliando as diferentes etapas do processo de projeto.
Tipos de projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Protótipos para teste - Protótipos funcionais - Pequenas séries para nichos de mercado - Componentes eletrônicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Protótipos para teste - Protótipos funcionais - Pequenas séries para nichos de mercado - Componentes eletrônicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Protótipos para teste - Protótipos funcionais -Maquetes em escala real

Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério de escolha das empresas entrevistadas foi por conveniência e julgamento; posteriormente, segundo a classificação de conformidade da rede Fab Lab. O quadro 14 apresenta o perfil dos gestores dos laboratórios escolhidos.

Quadro 14: Perfil das amostras

fab lab	Cargo/Atividade dos entrevistados
Estudo de caso 1: BSB Fab Lab – Brasília DF	André Luiz Dias Leal Gerente de projetos do fab lab BSB de Brasília. É Graduado em Design e Artes Aplicadas pela UNB - Universidade de Brasília
Estudo de caso 2: Garagem FABLAB – São Paulo SP	Ana Carolina Cardoso: Diretora executiva do Fab Lab Garagem de São Paulo. É graduada em arquitetura Universidade Presbiteriana Mackenzie e mestre pela FAUTL - Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa. Ana Carolina é uma das fabricantes digitais mais antiga da rede Fab Lab no Brasil.
Estudo de caso 3: PRONTO 3D - Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D	Rodrigo Braga Coordenadora de projetos do Pronto 3D de Florianópolis. Possui Graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS (1998), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS (2001) e doutorado em Engenharia Informática pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP (2010). Tem experiência na área de Desenho Industrial, Representação Gráfica Espacial, CAD/CAM/CAE, Automação, Controle, Robótica, Inteligência Artificial. Regiane Trevisan Pupo Coordenadora de projetos do Pronto 3D de Florianópolis. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela PUCAMP - Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1986), possui mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina (2002), doutorado pelo Programa de Pós Graduação da FEC - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas e pós-doutorado na FEC/UNICAMP desenvolvendo pesquisa em prototipagem rápida, digitalização 3D e fabricação digital para arquitetura.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1 Fab Lab BSB de Brasília/DF

O Fab Lab de Brasília é um laboratório com dois anos de atuação no mercado; surgiu da união de ex bolsistas do programa Ciência sem Fronteiras (CsF) realizado no Estados Unidos em 2013, onde conheceram o conceito Fab Lab. São profissionais de áreas distintas, como desenho industrial, engenharia elétrica e mecatrônica.

Os fundadores do Brasília Fab Lab optaram por construir grande parte dos itens necessários ao funcionamento do espaço para reduzir o alto custo dos equipamentos. André Luiz Leal, designer e gerente de projetos do Fab Lab de Brasília, coloca em sua entrevista "Construímos os equipamentos do zero, desde o desenho das peças no computador, a impressão das peças, a montagem e a programação de quase todas as nossas máquinas".

Segundo seus idealizadores, o espaço busca oferecer incentivo à pesquisa e à inovação. Funciona como um centro de pesquisa e produção, disponibilizando máquinas, ferramentas e tecnologias digitais para elaboração de protótipos, construção de máquinas e equipamentos e a realização de experimentos de produtos em pequena escala. André Luiz Leal acredita que não basta somente abrir o espaço e oferecer o acesso ao maquinário. Na opinião do entrevistado:

[...] muito mais importantes que todos os equipamentos que oferecemos no nosso laboratório, é a possibilidade de oferecer uma grande troca de experiências e principalmente o compartilhamento de informações. O Brasília Fab Lab nasceu para conectar e estimular pessoas criativas para que continuem explorando, inovando e compartilhando suas ideias.

O Laboratório trabalha, através da abordagem do conhecimento aberto Open Source³, procurando a máxima integração com outros Fab Labs no compartilhamento de projetos. Segundo André Leal,

Nós queremos gerar mais inovação e tecnologia nesse ambiente, ressaltando a importância do convívio e a colaboração em um ambiente criativo através da troca de experiência, que por sua vez impulsiona o conhecimento e dinamiza as etapas de projeto.

Hoje, o espaço recebe um público de diversas áreas como arquitetos, designers, artistas, estudantes, profissionais autônomos, empresas e a comunidade local no qual todos podem trabalhar em parceria e desenvolver seus projetos, conforme ilustração da figura 26.

Figura 26: Fab Lab Brasília



Fonte: Elaborado pelo autor.

³ Open Source - é um termo em inglês que significa código aberto. Isso diz respeito ao código-fonte de um software, que pode ser adaptado para diferentes fins. Canal Tech. 2015. Disponível em: < canaltech.com.br/o-que-e/o-que-e/O-que-e-open-source/>. Acesso em: 12 novembro de 2015.

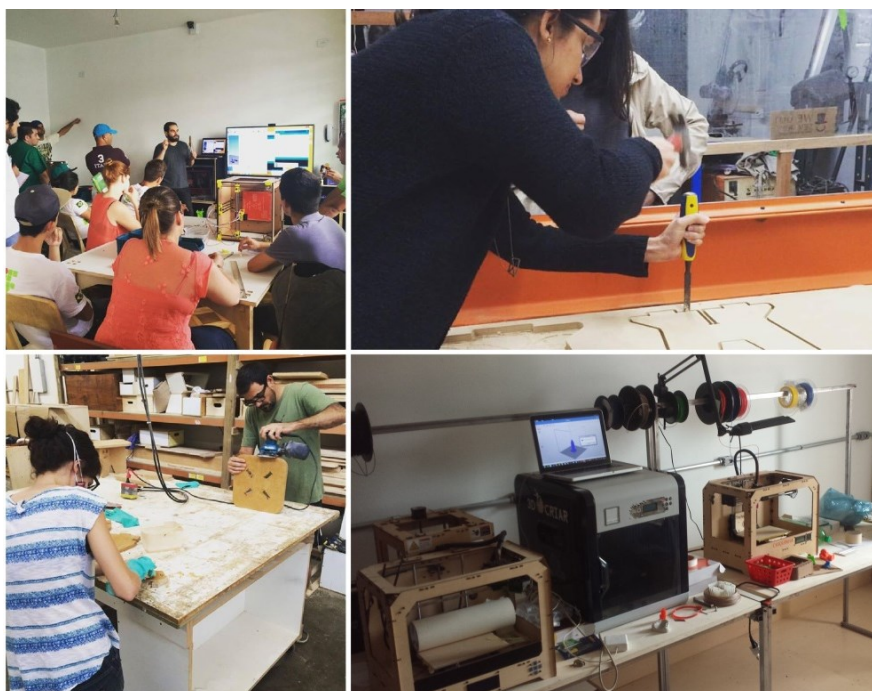
Segundo o entrevistado André:

A nossa visão, que é compartilhada entre os Fab Labs, é de difundir a democratização ao acesso aos equipamentos de fabricação digital .

4.1.2 Fab Lab Garagem de São Paulo, SP

O Garagem Fab Lab é um laboratório com quatro anos de atuação. É considerado o primeiro Fab Lab independente do Brasil que segue os princípios da rede mundial Fab Lab. Além de oferecer cursos, palestras e workshops, o laboratório também abre suas portas uma vez por semana ao público em geral com o objetivo de aproximar e desmistificar os processos de Fabricação Digital, especificado na figura 27.

Figura 27: Fab Lab Garagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

O laboratório ocupa um imóvel de três andares em uma área industrial de São Paulo, tem como objetivo principal a exploração de novos métodos de abordagem ao projeto e a viabilização, com auxílio no desenvolvimento de ideias, e o desenvolvimento de protótipos para novos produtos. Segundo Ana Carolina, diretora executiva do Garagem Fab Lab, o espaço, oferece, através da sua equipe, profissionais especializados e todo o auxílio que se faz necessário em todas as etapas de projeto, desde o desenho CAD para a modelação 3D, até os processos de fabricação digital.

Conforme a entrevistada, o espaço é também um ponto de encontro entre as pessoas que utilizam a rede mundial, oferecendo espaço e todo apoio necessário para prática de diversas atividades. Para ela:

Estamos equipados com as melhores máquinas e uma equipe experiente e talentosa para atender a diversas necessidades de nossos frequentadores.

Outra característica importante ressaltada pela entrevistada é de oferecer uma estrutura móvel:

Além das atividades internas do nosso laboratório, também levamos nosso conhecimento e estrutura para onde houver a necessidade e o interesse no campo da fabricação digital.

Este projeto surgiu com a intenção de ativar uma questão importante da rede Fab Lab: ser um elo de conexão entre as pessoas impulsionando a inovação aberta e social. Portanto, nossa ideia é ser um espaço onde pessoas que gostam de fabricar, inventar, criar possam compartilhar seus conhecimentos com empresas, estudantes e profissionais, sempre com a intenção de gerar bons projetos.

Neste sentido, o laboratório é um local onde pessoas se encontram em busca de fazer a troca de conhecimentos e de gerar bons projetos. O laboratório está aberto a fazer parcerias com empresas, universidades, escolas e profissionais de diversas áreas para o desenvolvimento de atividades conjuntas.

4.1.3 Fab Lab PRONTO 3D de Florianópolis SC

O Fab Lab PRONTO 3D — Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D — foi criado como um espaço dedicado ao ensino, pesquisa e extensão através da Fabricação Digital. O laboratório possui sua sede em Florianópolis e faz parte do curso de Design da Universidade Federal do Estado de Santa Catarina. O laboratório possui uma equipe formada por professores pesquisadores e profissionais, além da participação de alunos de graduação, pós-graduação e participantes de programas de iniciação científica, como mostra a figura 28.

Figura 28: Fab Lab Pronto 3D



Fonte: Elaborado pelo autor.

O laboratório pertence a um grupo de laboratórios de prototipagem rápida e Fabricação Digital, chamado de REDE PRONTO 3D, o qual possui filiais nas cidades de Lages, Criciúma e Chapecó. Conforme relatou a entrevistada Rejane Pupo, coordenadora do laboratório de Florianópolis, que atende aos cursos de Design, Arquitetura, Engenharias e a outras áreas que necessitam do desenvolvimento de modelos volumétricos, protótipos, maquetes. Também atende desenvolvimento de produtos em escala real. Conforme Pupo:

Buscamos promover nosso espaço na comunidade acadêmica através da oferta de cursos, treinamento de capacitação em equipamentos específicos para fabricação digital, workshops além de buscar maior integração com diversas disciplinas nas grades curriculares de seus cursos, a fim de desmistificar o uso destas tecnologias.

5. ANÁLISES DAS ENTREVISTAS

Na presente pesquisa os resultados serão apresentados com base nas seguintes categorias de análises: (i) Sobre as atividades dentro dos laboratórios; (ii) A Fabricação Digital e a Prototipagem Rápida no ambiente Fab lab e (iii) A inovação Social no ambiente Fab Lab.

5.1 RESULTADO DAS ANÁLISES

5.1.1 Sobre as atividades dentro dos laboratórios.

A rede Fab Lab foi idealizada em torno de um conjunto de máquinas e métodos — software, hardware e projetos —, que permitem que a plataforma seja funcional, compartilhando ferramentas e processos em comum, estabelecendo uma rede mundial conectada em benefício da pesquisa e da inovação (EYCHENNE; NEVES, 2013). Seguindo os princípios criados pelo CBA-MIT, todos os Laboratórios atendem a estas características, oferecendo um espaço de produção e desenvolvimento de protótipos acessível às comunidades locais. Além disso, todos partilham de conhecimentos, processos, ferramentas de design, manufatura de equipamentos eletrônicos, usinagem de precisão, prototipagem rápida, fabrico digital, impressão 3D, além de equipamentos que atendem as necessidades específicas de cada um dos laboratórios.

Os Fab Labs foram constituídos como espaços abertos a toda a comunidade. Conforme afirma Troxler (2010), os Fab Labs oferecem suporte a estudantes, pensadores, inventores, pequenas empresas, atendendo áreas como o ensino, o desenvolvimento profissional e a investigação aplicada. Segundo os entrevistados, mesmo que um dos princípios seja a abertura a toda a comunidade, na prática, os seus principais utilizadores são os estudantes de Arquitetura, Design, Engenharia e Artes.

Um dos pilares da existência de um Fab Lab é a democratização da fabricação digital. Neste sentido, todos oferecem oficinas, workshops, cursos e palestras gratuitas e pagas ao alcance de todos. O fomento a inovação e ao empreendedorismo faz parte dos seus objetivos, bem como o estabelecimento da ligação entre estes ambientes propícios à invenção e a comunidade acadêmica, com o intuito de promover a autonomia e a criatividade.

Para amparar esses objetivos, todos os laboratórios visitados desenvolvem as seguintes atividades e serviços:

- O fornecimento de cursos e oficinas na área da “Fabricação Digital”.
- Espaço de trabalho para profissionais e pessoas interessadas em fazer avançar os seus próprios projetos.
- O fornecimento de fabricação e serviços de consultoria.
- A organização, promoção e participação em atividades e eventos, a fim de promover a cultura da “Fabricação Digital”.
- Atividades abertas onde as pessoas possam ter um primeiro contato com a "Fabricação Digital" através de palestras e desenvolvimento de projeto.

Todos os laboratórios visitados proporcionam aos seus usuários a possibilidade de potencializar o ato de criação para os mais diversos tipos de projeto. Para André Luiz Leal, isso só é possível através da abertura e da colaboração entre todos os participantes:

[...] uma das principais características é a união de pessoas que querem viabilizar suas ideias até novos empreendedores com pensamento colaborativo, multidisciplinar e inovador.

Dessa forma, mais do que um simples laboratório de Fabricação Digital, os Fab Labs formam um centro alternativo de produção personalizada aliada a uma rede de conhecimento e colaboração altamente inovativo (EYCHENNE; NEVES, 2013). Em sua entrevista, Ana carolina diz que:

Os fab labs estão abertos a comunidade com ênfase na partilha de ideias e projetos. O nosso espaço foi feito para estimular a aprendizagem e potencializar seus usuários no desenvolvimento dos mais variados tipos de projeto, além de capacitá-los com as novas tecnologias.

A realização de uma visita guiada aos laboratórios, permitiu o contato com vários exemplos de trabalhos desenvolvidos em suas atividades práticas. Foi possível perceber que todos eles permitem que seus usuários desenvolvam praticamente qualquer coisa, transformando as ideias em produtos concretos. Deste modo, o espaço comporta a realização de diversos tipos de projeto, desde o mais simples — como, por exemplo, o porta-objetos, desenvolvidos por usuários iniciantes do Fab Lab BSB de Brasília —, até os mais complexos apresentados pelos Fab Lab Garagem de São Paulo e Pronto 3D de Florianópolis — como objetos tecnológicos, placas de circuitos, entre tantos outros. Conforme afirma Ana Carolina Carodoso:

O nosso espaço também é um local para que seus usuários consigam viabilizar mais rapidamente um projeto, promovendo a inovação.

Embora todos os Laboratórios visitados compartilhem de uma mesma série de equipamentos, um aspecto a ser destacado é que todos eles promovem, ativamente, diferentes atividades a fim de melhorar a eficiência da produção e da integração do espaço a suas necessidades locais. Neste sentido, foi possível caracterizar cada um dos laboratórios visitados conforme as atividades exercidas em suas agendas. Para melhor compreensão foi desenvolvido um quadro com as características de cada Fab Lab visitado.

Quadro 15: Principais características

Fab Lab	Ênfase	Visão geral
BSB - Brasília	Envolvido em várias atividades convencionais comum entre os laboratórios da rede Fab Lab no qual procuram popularizar o uso da fabricação digital.	Os usuários surgem de diferentes áreas. O laboratório se encontra próximo à universidade de Brasília de onde vêm seus principais usuários.
Garagem – São Paulo	No envolvido em várias atividades convencionais comum entre os laboratórios da rede Fab Lab no qual procuram popularizar o uso da	Os usuários vêm de diferentes áreas (Design, Arquitetura, Engenharia, Artes, Moda).

	Fabricação Digital.	
Pronto 3D – Florianópolis	Consiste em um espaço de ensino, pesquisa e extensão na área da materialização da forma por meio de técnicas automatizadas, com a finalidade de testar, prototipar e desenvolver produtos.	É formado por professores pesquisadores, alunos de graduação e de pós-graduação, participantes de programas de iniciação científica e similares.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra função da rede Fab Lab e dos laboratórios visitados é a do ensino. Todos eles são usados como espaço voltado para a formação onde os procedimentos de produção, bem como funcionalidades técnicas relacionadas com o equipamento mecânico, são ensinados. Neste sentido, todos os laboratórios visitados oferecem uma gama enorme de cursos e workshops na área de Fabricação Digital, abordando novos conceitos e ideias, ampliando novas práticas e possibilidades de uso.

Quanto às atividades abertas, pode-se destacar a oferta de cursos de introdução referente ao funcionamento e à configuração dos maquinários de Fabricação Digital, modelação de sólidos e a impressão ou usinagem de algumas peças. Nestas atividades os usuários aprendem como trabalhar com máquinas de corte a laser, cortadoras de vinil, fresadoras e impressoras 3D. Essas atividades atendem a todos os níveis, desde iniciantes dando seus primeiros passos no mundo da fabricação digital, até os profissionais que exploram o espaço para adquirir novas habilidades e troca de informação.

Dentre todas as atividades promovidas pelos laboratórios, a abertura ao público é a considerada essencial, pois tem o objetivo de democratizar o acesso às ferramentas e às máquinas. Conforme Ana Carolina Cardoso, do Fab Lab Garagem de São Paulo:

[...] a ideia é possibilitar um espaço aberto ao público é essencial para a expansão da rede Fab Lab no Brasil. Ou seja, oferecemos um dia da semana dedicado para atividades abertas, permitindo acesso livre a qualquer pessoa interessada em projetar e produzir sob a orientação e assistência da nossa equipe de profissionais a custo zero, pagando somente o material utilizado.

Outro aspectos importantes relacionado aos Fab Labs e é sua contribuição para a difusão da filosofia open-source, com o objetivo de aumentar a difusão do conhecimento tecnológico e social, que, segundo os entrevistados, é considerada muito importante para a prosperidade de uma comunidade Fab Lab. Cada produto concebido ou produzido no âmbito da rede Fab Lab devem estar disponíveis e acessíveis para o resto dos membros da rede para que possam servir de base para novos projetos. O quadro 16 sistematiza a atuação dos Fab Labs visitados em relação as atividades exercidas, além do uso e aplicação que fazem da Fabricação Digital.

Quadro 16: Atuação em relação às atividades oferecidas

	Cursos e Workshops	Uso da fabricação digital	Aplicação (objetivo)
BSB – Brasília	<ul style="list-style-type: none"> - Robótica (arduino) - Programação - Cursos introdutórios - Treinamento software 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de maquinas - Construção de modelos - Pequenos objetos 	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipagem para prova de conceito e simulações - Produtos para as áreas do Design, Engenharia, Artes
Garagem – São Paulo	<ul style="list-style-type: none"> - Robótica (arduino) - Programação - Cursos introdutórios - Treinamento software 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de maquinas - Construção de modelos - Pequenos objetos - Produção de pequenas versões funcionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipagem para prova de conceito e simulações - Mobiliário - Maquinas e circuitos
Pronto 3D – Florianópolis	<ul style="list-style-type: none"> - Robótica (arduino) - Programação - Cursos introdutórios - Treinamento software 	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de modelos arquitetônicos - Construção de modelos - Fabricação de maquinas - Desenvolvimento de produto 	<ul style="list-style-type: none"> - Projetos acadêmicos de estudantes - Compartilhamento de conhecimento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

5.1.2 A fabricação digital e a prototipagem rápida no ambiente Fab Lab

Além da precisão do modelo digital que permite ao usuário a possibilidade de criar formas complexas com maior facilidade e controle, a Fabricação Digital dentro do ambiente Fab Lab assume um papel muito mais relevante do que somente o uso destas tecnologias de forma isolada. Segundo os entrevistados, as tecnologias de Fabricação Digital em ambiente Fab Lab se transformam quando utilizadas por pessoas que partilham uma filosofia colaborativa em torno da fabricação pessoal, e que não só estimulam o uso das novas tecnologias em torno de objetos, como também produzem novas tecnologias com uma visão de futuro em torno da Fabricação Digital. Ana Cardoso, ao se referir ao Fab Lab em um contexto geral, coloca que:

Os fab labs são ambientes propícios ao aprender com os outros através da troca de conhecimento. Este aprendizado é essencial para transformar ideias em projetos e aprimorar o conhecimento dos seus utilizadores quanto a utilização de máquinas e ferramentas.

André Luiz Dias Leal, ao se referir à importância da prototipagem rápida, afirma que o objetivo não é somente para simular a aparência visual de sua forma, para qualificar ajustes ou para construir apenas um protótipo funcional:

Em ambiente Fab Lab, os protótipos servem para materializar uma ideia "testar" abordagens de design tais como forma, função, estética e principalmente para validar novas ideias.

[...] a fabricação digital introduz novas formas de abordar o objeto/artefato através da sua ligação direta a materialidade e o processo de construção fornecendo um feedback⁴ contínuo para projetar de forma ascendente. Neste processo, a sequência de operações e os processos de fabricação se tornam uma característica fundamental e é um tema de pesquisa em constante evolução.

⁴ Feedback – resposta, retorno [tradução nossa]. SIGNIFICADOS.com. Feedback. 2015. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/feedback/>>. Acesso em: 17 dez. 2015.

Ana Cardoso ao falar sobre a Prototipagem Rápida, enfatiza que a mesma tem se tornado uma ferramenta de extrema importância no processo de desenvolvimento de produtos, potencializando a habilidade de explorar novas possibilidades formais, permitindo o uso de protótipos em diversas fases do processo de desenvolvimento de produto. Para a entrevistada:

O protótipo muda o caminho e a nossa linha de pensamento. Às vezes nos começamos a fazer um produto com uma intenção e no final sai um produto completamente diferente, porém muito mais rico, pois foi testado muitas e muitas vezes.

Todos os entrevistados enfatizam a importância da prototipagem como um passo além do que estamos habituados, até mesmo dentro do processo tradicional da academia. Para Pupo, a representação física de um modelo digital é essencial para analisar um projeto, pois permitem testar a estrutura, reconhecer elementos e suas características. Pupo define que:

[...] os protótipos rápidos, exercem o papel de traduzir arquivos CAD 3D em modelos físicos. A materialização de projetos por meio de prototipagem rápida torna a ideia tangível e permite através do objeto físico, que você verifique possíveis falhas de um projeto. Existindo problemas ou falhas de projeto você pode então fazer as mudanças necessárias.

Conforme aponta o entrevistado Rodrigo Braga, a definição de “protótipo” no ambiente Fab Lab ganha outra dimensão, pois não podem ficar restritos apenas a uma produção de modelos bonitos e bem acabados, apresentando como única função o de ser apenas um modelo de apresentação final. Neste sentido, Rejane Pupo também ressalta que os protótipos desenvolvidos via prototipagem rápida são de grande importância para experimentações e alterações formais durante todas as etapas de concepção. Mesmo nas etapas iniciais para testes volumétricos, os mocapes e protótipos podem ser feitos de materiais simples, mas executados via Prototipagem Rápida. Segundo ela:

Esse ciclo de testes pode ser realizado inúmeras vezes, tanto para a criação do protótipo quanto as mudanças nos protótipos virtuais via CAD e conseqüentemente confeccionados novamente com o simples objetivo de avaliar e comparar até chegar à forma desejada.

Para Rodrigo Braga, o desenvolvimento de projeto dentro de um ambiente colaborativo é de grande importância. Esse ambiente diferenciado modifica a dinâmica de interação entre os participantes proporcionando o surgimento de um maior número de ideias no qual o impacto sobre a criatividade é decisivo. Nesta perspectiva, o ambiente oferecido em um Fab Lab, através de ações colaborativas e multidisciplinares, faz com que a fabricação e a prototipagem via tecnologias digitais assumam um papel ativo no processo de projeto como técnica de pesquisa cíclica. Segundo Braga:

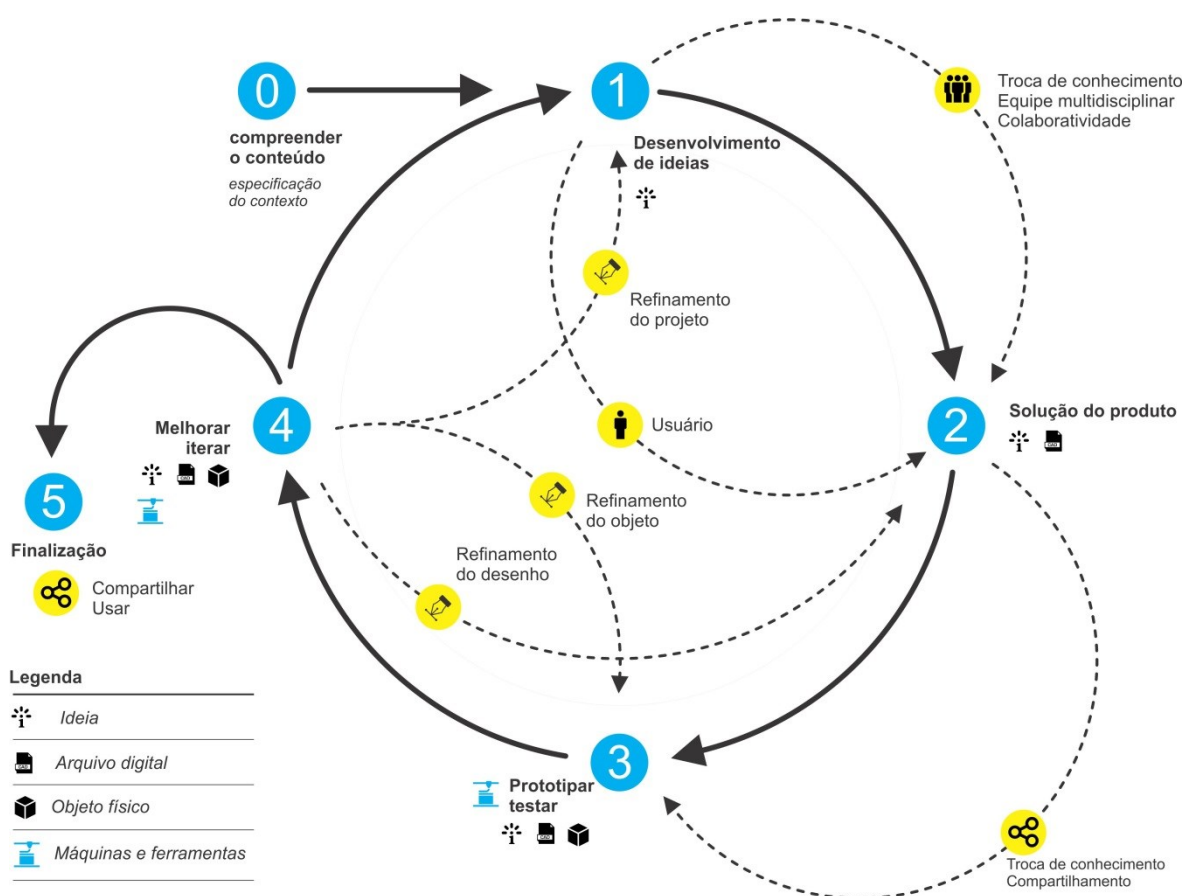
[...] o ambiente colaborativo proporciona muita iteração, quando alguém apresenta uma ideia, um complementa o outro, dessa forma, mesmo eu não sendo designer, me permito dar meu palpite, assim como também ofereço minha contribuição dentro da minha formação para outras áreas. Atualmente não tem nenhuma divisão ou um organograma – cada um tem a sua expertise.

André Leal ressalta a importância dos Fab Labs no apoio aos usuários que usam o espaço para o desenvolvimento de produtos. Para ele, na maioria dos casos, os projetos desenvolvidos dentro do laboratório partem de uma fase de conceito muito precoce. Essa fase é útil para identificar as falhas ou quais são os fatores-chave para o sucesso do produto. Neste sentido André define que:

[...] a prova de conceito inclui diferentes elementos, para testar sua estrutura ou para melhor a compreensão de suas características. Estes conceitos podem ser alcançados através da prototipação rápida com diversos materiais como plásticos, madeira, papelão ou metais. Neste sentido o ato de prototipar dentro de um ambiente Fab Lab é proporcionar o encurtamento do caminho até a fase final do produto, considerando as orientações para a sua melhor forma, para o melhor caminho a seguir e qual a maneira mais rápida para produzi-lo.

Desta forma, entende-se que o objetivo da prototipagem de um objeto é construir conhecimento sobre ele mais do que a sua utilidade, o que não exclui a obtenção de ambos. Sendo assim, dentro do ambiente Fab Lab, o ciclo de desenvolvimento de projeto é enriquecido através de uma atmosfera colaborativa e multidisciplinar. A figura 29 apresenta o ciclo de desenvolvimento de produto em ambiente Fab Lab, para melhor compreensão da importância da troca de conhecimento e compartilhamento de informação.

Figura 29: Ciclo de desenvolvimento de produto no ambiente Fab Lab



Fonte: Elaborado pelo autor, com base nas entrevistas.

Em sua entrevista, Rejane Pupo relata que a aplicação deste modelo de processo cíclico permite avançar sobre aspectos de incerteza teórica, abrindo caminho para a inovação. Dentro do cenário Fab Lab, a prototipagem pode ser compreendida na prática como método de verificação comportamental por meio da produção de partes dele ou em escala reduzida. Utilizando essas diferentes estratégias e diminuindo o intervalo do ciclo de verificações construtivas do projeto, pode-se fazer um maior número de correções durante a produção. Essa prática leva a um resultado mais satisfatório, evitando possíveis erros e diminuindo o tempo total no desenvolvimento do projeto.

Os quatro entrevistados, apontam o Fab Lab como um importante espaço de integração. Cardoso sintetiza um Fab Lab como:

[...] um ambiente onde seus usuários partilham informações, conceituações e teorias através de equipes multidisciplinares, no qual se faz alcançar um plano colaborativo. Essa combinação de fatores potencializa o funcionamento destes laboratórios e conseqüentemente promovem sua multiplicação, formada por pessoas em busca de novos formatos e estratégias de trabalho.

Rejane Pupo afirma que a multidisciplinaridade dentro de um ambiente colaborativo surge para promover a integração dos saberes, atingindo níveis mais profundos de interação. Para Rodrigo Braga, essa integração entre diferentes formações intelectuais estimula o usuário a esforçar-se fora do seu domínio de conhecimento técnico para se envolver num domínio do qual não é o proprietário exclusivo. Rejane Pupo, aponta que, conseqüentemente, este exercício colaborativo entre profissionais e estudantes de diferentes áreas implica necessariamente em um trabalho coordenado de equipe que resulta no enriquecimento das disciplinas e serve de estímulo à criatividade e à inovação.

Com base nos relatos obtidos nas entrevistas, foi possível definir três grandes grupos que fazem uso da Fabricação Digital e da Prototipagem Rápida nos Fab Labs. O primeiro grupo é definido por usuários que realizam seus projetos pessoais, ou seja, fazem uso da estrutura do laboratório com auxílio de outros usuários e dos especialistas que os laboratórios dispõem. O segundo grupo é formado por pessoas que buscam a fabricação em pequena escala direcionada a mercado de nicho ou produção personalizada. E por último, o grupo acadêmico, que utiliza o espaço para o desenvolvimento de projetos, geralmente vindos dos cursos de Arquitetura, Engenharia e Design. A figura 30 ilustra os respectivos grupos.

Figura 30: Uso da fabricação digital e prototipagem no ambiente Fab Lab



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado nas entrevistas.

5.1.3 A inovação Social no ambiente Fab lab

A inovação social, também promovida nesses ambientes, parte de um princípio colaborativo e de enorme potencial transformador da sociedade. Conforme Ana Cardoso, a rede Fab Lab é um exemplo de inovação social porque são espaços onde qualquer pessoa pode aprender a usar tecnologias de Fabricação Digital para fazer quase qualquer coisa. Para ela, estes espaços podem potencialmente transformar consumidores em produtores, democratizando

a produção e o consumo. Durante as entrevistas, esta questão foi ressaltada por todos os entrevistados e constatada pela existência de projetos sociais desenvolvidos nos três locais visitados.

Ana Cardoso também afirma que, dentro do contexto Fab Labs, a inovação social assume maior conexão principalmente nos países em vias de desenvolvimento. Bons exemplos partem da criação de próteses, que visam promover a saúde e o bem-estar das pessoas onde os recursos são mais escassos. A entrevistada também relata o potencial da impressão 3D para um futuro próximo e nas mais variadas áreas. Apresentou como exemplo a criação de próteses personalizadas com a intenção de melhorar a autoestima e a inclusão social.

A prótese é feita em impressão 3D que é de baixo custo, muito mais barata e personalizável. A relação com a prótese também muda, imagina que uma criança que não tenha uma mão? Ela vai poder escolher a cor, escolher as formas. Muda totalmente à relação que ela tem como objeto, que supostamente é estranho no corpo dela [...]. Você pode chegar a um Fab Lab e imprimir uma prótese ou parte dela, obviamente com acompanhamento médico. Porém já existem muitos médicos que estão pensando em como levar essa tecnologia para dentro dos hospitais e para pesquisas científicas. Isso é um grande avanço.

Rejane Pupo também relata sobre o quão é importante à inserção de Fab Labs em países subdesenvolvidos. Segundo Pupo:

[...] são de grande importância na produção de produtos, pois fornece uma plataforma onde as comunidades podem ter acesso a ferramentas avançadas de fabricação digital e prototipagem rápida no atendimento às necessidades locais que muitas vezes são escassas e extremamente caras.

No âmbito social, tanto Rodrigo Braga quanto Rejane Pupo, comentam sobre um projeto desenvolvido pelo Pronto 3D após observar o trabalho desenvolvido nas cooperativas de catadores de papelão. Conforme ressalta Pupo:

Observamos que as cooperativas de catadores de lixo reciclável formam uma excelente alternativa para o destino final do grande volume de lixo, porém nada era feito para agregar valor ao material. Desta forma, nos disponibilizamos através do Pronto 3D em parceria com as cooperativas no desenvolvimento de alguns produtos usando os resíduos de papel, para a criação de pequenos objetos e mobiliários, através do

desenho paramétrico⁵. Estes produtos, desenvolvidos a partir do material coletado pelos catadores, não só ajudou a manter os resíduos de papel fora da paisagem urbana, como também podem servir de estímulo à economia local.

Para André, a definição de inovação sempre apareceu ligada a avanços de cunho tecnológico, fazendo com que não se compreendesse que boa parte dos benefícios nas áreas da saúde e da educação não ocorresse por soluções tecnológicas, mas através de outros mecanismos. Pensando dessa forma o entrevistado enquadra os Fab Labs como um estrutura que vai além do fator tecnológico, mas sim como uma estrutura viva de colaboração e da troca de conhecimento. Para o entrevistado a inovação social ocorre no ambiente Fab Lab através do princípio colaborativo e coletivo:

[...] a coletividade há de ser mais inteligente do que ações individuais, e é através deste princípio que podemos encontrar seu potencial transformador da sociedade.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.2.1 Considerações sobre os laboratórios visitados

Observou-se na partilha de conhecimento tácito nos Fab Labs, como as pessoas colaboram umas com as outras em tarefas diversas, além das interações com o uso prático das ferramentas. Outro aspecto, o da aprendizagem social dentro dos Fab Labs, ainda não amadureceu o suficiente e aparentemente parece receber pouca reflexão explícita quanto ao posicionamento dos Fab Labs dentro da comunidade e do desenvolvimento social. Por se tratar de um fenômeno recente no Brasil, os laboratórios ainda se encontram em uma fase inicial sobre sua própria sustentabilidade, se adaptando, conforme suas necessidades, ao seu próprio modelo de negócios. Compreensivelmente, a ênfase recai em aprender como usar ferramentas e em como fazer para desenvolver projetos.

⁵ Paramétrico: Componentes genéricos que podem ser customizados de acordo com parâmetros pré-definidos. Parametricismo, 2015. Disponível em <<http://www.parametricismo.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

O Fab Lab Pronto 3D tem uma trajetória diferente dos demais, pois recebe financiamento externo e apoio da FAPESC⁶ e da FINEP⁷ e está vinculado a uma instituição federal. Ainda proporciona atividades voltadas à Fabricação Digital e a Prototipagem Rápida e está integrado às disciplinas de Prototipagem, Trabalhos Finais de Graduação dos cursos de Arquitetura, Engenharia e Design da Universidade Federal de Santa Catarina.

Vale ressaltar que, todos os laboratórios que participaram desta pesquisa, mostraram-se esperançosos sob a expectativa de se tornar financeiramente autossuficientes. Como explicita Ana Cardoso:

Tendo recursos para fornecer um espaço com ferramentas e insumos necessários e menos sujeitos a esforços voluntários.

Em comum, notou-se que todos buscam um modelo de negócios baseado em oferecer:

1) Acesso: gerando renda, disponibilizando o espaço e seu ferramental através de pacotes de serviços;

2) Educação: realização de cursos de formação e workshops dentro de laboratórios;

3) Consultoria: apoiando a abertura de novos laboratórios e no processo de prestação de serviços para eles;

4) Incubadora: a criação de um centro para a inovação e a criação de empresas;

⁶ FAPESC: É o órgão do governo estadual de Santa Catarina que aplica recursos em atividades de pesquisa, inovação, capacitação de recursos humanos e difusão de conhecimentos. FAPESC. 2015. Disponível em: < <http://www.fapesc.sc.gov.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

⁷ FINEP: Promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas ou privadas. FINEP, 2015. Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

5) Rede: fazendo uso da rede Fab Lab criando inovações através dos laboratórios;

6) Divulgação: através da abertura do espaço para visitação e da abertura para participação em atividades dedicadas a aos processos de fabricação digital.

De fato, os Fab Labs são espaços físicos e operados comunitariamente com ferramentas e recursos compartilhados, dedicados a atividades "transformacionais", onde pessoas podem se reunir e conhecer tecnologias que permitem a interação aliadas a materialização da forma.

Embora o CBA-MIT não tenha um padrão definido quanto ao tamanho ou configuração interna de um Fab Lab, é perceptível um modelo comum entre os laboratórios visitados no que se refere à disposição de equipamentos, mesas e salas de aula. Todos possuem uma grande variedade de equipamentos e uma área confortável onde, de forma organizada, se fundem os equipamentos e mesas coletivas. Também têm em comum espaço para exposição, palestras, cursos e lazer, conforme apresentado no quadro 17.

Quadro 17: Perfil dos Fab Labs visitados

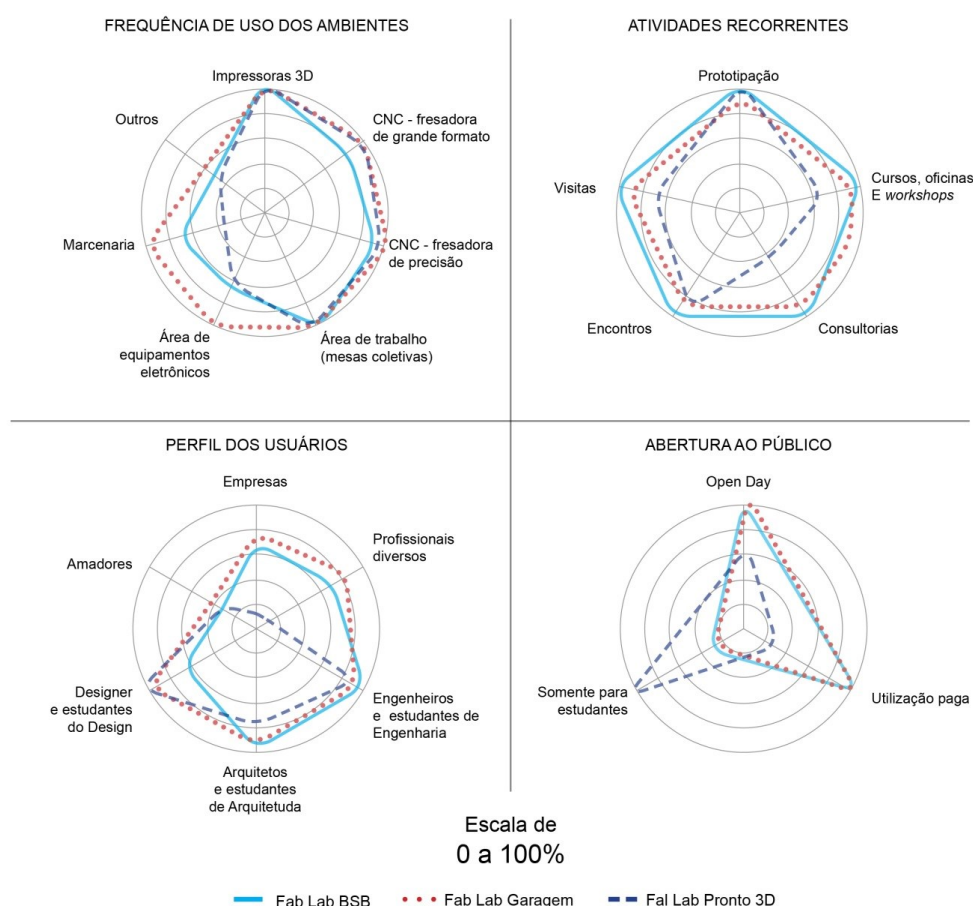
	BSB Brasília	Garagem – São Paulo	Pronto 3D – Florianópolis
Área aproximada	60m ²	500m ²	200m ²
Maquinas e equipamentos Kit Básico	Sim	Sim	Sim
Espaço para exposição de projetos finalizados	Sim	Sim	Sim
Espaço exclusivo para fresadora de grande formato	Sim	Sim	Sim
Espaço exclusivo para cursos, oficinas, workshops.	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dado ao multipropósito de cada Fab Lab, faz com que cada laboratório visitado, apesar de suas semelhanças superficiais, possua suas metas no qual tornam cada um deles únicos por diferentes atividades.

Para melhor compreensão destes dados, foi elaborado um quadro comparativo, expresso na figura 31, através de observações feitas durante a visita a estes laboratórios, contando com a percepção dos entrevistados. Este comparativo apresenta uma leitura referente a suas semelhanças, evidenciando as principais atividades que caracterizam estes laboratórios como um espaço potencializador no desenvolvimento de novos produtos.

Figura 31: Quadro comparativo



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado nas entrevistas.

A importância deste ecossistema para os laboratórios pode ser definida pela sua principal característica: a agregação. Por meio do uso coletivo de grandes mesas de trabalho e amparado pelas tecnologias de Fabricação Digital, conforme apresentado no quadrante “a” da figura 32 e registrado na figura 31. Pressupõe-se, portanto, que esse tipo de ambiente é condição para a “interatividade”. É através destes espaços compartilhados de convivência que se potencializam o suporte à construção, à inclusão e à valorização do universo do conhecimento prévio, das experiências pessoais e culturais, valorizados através das diversidades e do espírito colaborativo. Características que tornam um Fab Lab, não apenas um centro de prototipagem rápida, mas um espaço que reúne pessoas vindas de diferentes áreas, de diversas experiências de vida e com interesses em comum. São estudantes, pesquisadores e profissionais que buscam aumentar os seus próprios conhecimentos a respeito da Fabricação Digital.

Figura 32: Mesas compartilhadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Todas as atividades realizadas nos Fab Labs visitados proporcionam o envolvimento de seus usuários em tarefas que exigem habilidades técnicas, cognitivas e sociais, nas quais os participantes aplicam seus conhecimentos para produzir soluções. É de fato um local de coletividade, de troca de experiências.

Outro ponto importante é a realização de workshops, cursos e oficinas. Mesmo considerado um local aberto à democratização das tecnologias, o público frequentador é em sua grande parte formado por estudantes das engenharias, da Arquitetura e do Design, em diferentes proporções, de acordo com as características locais e culturais e as suas próprias dinâmicas.

André Leal vai além. Ele acredita que:

[...] em um futuro não muito distante os Fab Labs estarão recebendo mais pessoas capacitadas para atuarem neles, seja como usuário ou como facilitador atingindo um público mais amplo, pois hoje os Fab Labs encontram-se restritos a designers, arquitetos, artistas, engenheiros e universitários.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além da pretensão de oferecer respostas concretas sobre a importância da Prototipagem Rápida no ambiente Fab Lab, este estudo chega ao seu fim ainda com algumas das inquietações iniciais, aliadas a novos questionamentos que poderão ser aprofundados futuramente. De fato, a única coisa que se pode afirmar com absoluta certeza, até o presente momento, é que o uso das novas tecnologias de Fabricação Digital, aliadas aos ambientes colaborativos, tem modificado e enriquecido a forma de desenvolver projetos, potencializando a criatividade, fornecendo estímulos e informações para o enriquecimento do repertório visual, intelectual e experimental.

Com a intenção de fundamentar a importância da Fabricação Digital e da Prototipagem Rápida inseridas no ambiente Fab Lab, foram escolhidos, para o caso de estudo, três laboratórios brasileiros integrados à rede Fab Lab, os quais possibilitaram uma maior compreensão deste fenômeno.

Pode-se confirmar, ao analisarmos o depoimento dos entrevistados, que todos os projetos desenvolvidos dentro destes espaços tiveram o envolvimento ativo dos usuários em todas as fases de desenvolvimento de projeto e de produto. Este envolvimento ajuda os usuários a desenvolverem uma compreensão mais profunda em relação ao processo de desenvolvimento de projeto. Desta forma, os Fab Labs podem ser definidos como espaços que proporcionam experiências, nos permitindo aprimorar nossas próprias capacidades, sendo um espaço onde sejamos capazes de acessar e compartilhar o conhecimento e as habilidades necessárias para responder aos novos desafios e oportunidades.

Esses laboratórios também preenchem uma lacuna quando se trata de habilidades técnicas, metodológicas e projetuais, propiciando um conhecimento que seus utilizadores não adquiriram ao longo de suas carreiras profissionais e acadêmicas. Muitos Fab Labs colocam um grande esforço para trazer essas

habilidades para o sistema de ensino ou apenas permitir o acesso a esse conhecimento através de oficinas, cursos e workshops. Nesse sentido, percebe-se o crescimento do número de Fab Labs interligados a escolas profissionalizantes e a universidades através de constantes colaborações, visando complementar a educação tradicional.

Com relação ao objetivo específico de identificar as potencialidades da Fabricação Digital e da Prototipagem Rápida em ambiente Fab Lab durante o processo de desenvolvimento de projeto, foi possível identificar os conceitos aplicados para tal sucesso. Nos Laboratórios estudados, os coordenadores de projetos concordam com a importância da utilização destes espaços na prática da atividade projetual, porém a utilização destes espaços ainda está em fase de descoberta.

Este estudo também evidencia um novo contexto onde a inovação pode surgir: os Fab Labs. Particularizando, destaca-se a inovação social, na medida em que o processo de conhecimento se torna acessível a todos, de modo que países em vias de desenvolvimento beneficiem da partilha de conhecimento dos países desenvolvidos com o intuito da resolução de problemas sociais. Outro fator importante é o combate à exclusão digital pelo processo de democratização do acesso as novas tecnologias digitais, tendo em vista que esses espaços de educação não formal, com pessoas motivadas pelo desejo de aprender novas habilidades e com a liberdade de brincar e de experimentar — cenário no qual se enquadra os Fab Labs —, está direcionado para a criação de novos conhecimentos e a inovação.

6.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo realizado apresenta limitações, pois se trata de um fenômeno recente, tanto no âmbito mundial como nacional. Por essa razão, se faz necessário proceder com mais estudos teóricos sobre o tema em questão.

A metodologia do estudo de caso foi baseada na coleta de dados, a partir de entrevistas e visitas guiadas a três laboratórios associados à rede Fab Lab, situados no Brasil, procurando entender e descrever os acontecimentos e contextos nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores referentes ao ato de prototipar e ao uso das novas tecnologias de Fabricação Digital. Por tratar-se de um estudo qualitativo, baseado em três casos particulares, as conclusões retiradas são o reflexo da realidade dos laboratórios visitados. Assim sendo, não é possível fazer deduções para um todo, ou seja, para os Fab Labs de uma maneira geral.

Note-se, contudo, que a opção por um estudo qualitativo foi intencional por possibilitar o conhecimento implícito, vivenciado e sentido que, de outra forma, não seria possível. No entanto, é importante ressaltar que a rede Fab Lab é um projeto de pesquisa que está em constante evolução e, portanto, não podemos tirar conclusões precipitadas baseadas em efeitos transitórios que não contenham qualquer verdade sobre escalas de tempo mais longas.

6.2 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi investigar a aplicação prática e experimental da Prototipagem Rápida, dentro do ambiente Fab Lab. Embora tenham sido estudados apenas três laboratórios de Fabricação Digital ligados a rede Fab Lab, o conteúdo obtido por intermédio das entrevistas e da visitação foi de enorme enriquecimento para a pesquisa, permitindo que fossem atendidos os objetivos geral e específicos.

Com relação aos objetivos específicos, foi possível Identificar os Fab Labs existentes no Brasil, que contribuem para o processo de desenvolvimento de

projeto, e o quanto esses laboratórios potencializam a atividade profissional em um ambiente multidisciplinar. E, por fim, evidenciou-se as potencialidades da utilização da Fabricação Digital como prática experimental e de prototipação em ambiente Fab Lab através dos seguintes fatores:

- a) Atividades que, quando desenvolvida através de equipes multidisciplinares, potencializam a criatividade;
- b) Aceleração do ciclo de desenvolvimento projetual, reduzindo o tempo no desenvolvimento de novos produtos;
- c) Ambiente propício a "interatividade", através de espaços compartilhados e de educação não formal.
- d) Potencialização de habilidades técnicas, cognitivas e sociais.

6.3 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Com este estudo, são proporcionadas novas possibilidades para posteriores investigações. No que diz respeito aos Fab Labs, de uma forma geral, ainda existem questões que estão em aberto. Os entrevistados apontaram com unanimidade a seguinte questão: Como tornar os Fab Labs sustentáveis do ponto de vista financeiro, ao longo do tempo?

Para dar continuidade a este estudo, sugerem-se algumas recomendações conforme relacionado abaixo:

- a) Replicar o estudo em uma quantidade maior de laboratórios para obtenção de resultados mais conclusivos;
- b) Analisar as potencialidades da Prototipagem Rápida através de experiência prática;
- c) Avaliar o reflexo na formação dos estudantes que passaram por esse processo;
- d) Avaliar o reflexo nas comunidades que se beneficiaram das ações promovidas pelos diferentes Fab Labs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, Chris. **Maker: A nova revolução industrial**. São Paulo, SP: Elsevier Editora, 2012.

ASHBY, M. F., and Johnson, K., **Materiais e Design — arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**, Rio de Janeiro, Elsevier Editora, UK (2011).

ASTM. American Society for Testing and Material, 2010. **Standard terminology for additive manufacturing technologies**. ASTM. Available at: <http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>. Acesso em 15 de maio de 2015.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. 3ª Ed. Lisboa: Edições 70. 2010.

BONSIEPE, G.; KELLNER, P.; POESSNECKER, H.. **Metodologia experimental**. Brasília: CNPq, 1984.

BRADSHAW, S., BOWYER, A., HAUFE, P., 210. **The intellectual property implications of low-cost 3D printing**. Londres: SCRIPT ed 7, 5–31, 2010.

BROWN, Tim. **Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2010.

BLIKSTEIN, P. **Digital Fabrication and ‘Making’ in Education - The Democratization of Invention,** in FabLab: Of Machines, Makers and Inventors, Bielefeld: Transcript Verlag, 2014, pp. 203–222.

DUALIBI, Roberto; SIMONSEN JUNIOR, Harry. **Criatividade & marketing: edição atualizada e informatizada**. São Paulo: M. Books, 2009.

DUARTE, R. B. **Uma investigação sobre as diversas aproximações entre o computador e o processo de ensino/aprendizado do projeto arquitetônico**. In: Anais do I seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, Projetar 2003. Natal: Editora da UFRN, p.73, 2003.

DREYFUSS, H. **Designing for People**. New York, NY, USA: Allworth Press. 2003.

EYCHENNE, Fabien; NEVES, Heloisa. **FAB LAB: A vanguarda da nova revolução industrial**. São Paulo: Fab Lab Brasil, 2013.

ERLHOFF, Michael; MARSHAL, Tim (Ed.). **Design Dictionary: Perspectives on Design Terminology**. Berlin: Birkhäuser Verlag Ag, 2008.

FAB FOUNDATION – **The Fab Foundation de Boston**. 2015. Disponível em: <<http://www.fabfoundation.org/fab-labs/the-fab-charter/>>. Acesso em 4 ago. 2015.

FLICK, U. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GERSHENFELD, Neil. **Fab: The Coming Revolution on Your Desktop: From Personal Computers to Personal Fabrication**. New York: Basic Books, 2005.

GOMES, Luiz Antônio Vidal de Negreiros. **Criatividade: projeto < desenho > produto**. 3. ed. Santa Maria, RS: sCHDs, 2004.

IGOE, T.; MOTA, C. **“A Strategist’s Guide to Digital Fabrication”**. Strategy+Business, Issue 64-Autumn. 2011.

KAI, Chua Chee; FAI, Leong Kah; CHU-SING, Lim. **Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing**. Danvers: World Scientific Publishing, 2010.

KELLEY, T.; JONATHAN, L. **A arte da inovação**. São Paulo: Futura, 2001.

KOSTAKIS, V. **Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece.** Telematics and Informatics, 32, 118-128. 2015.

LEITE, Heymann A R. **Gestão de Projeto do Produto: A Exelência da Indústria Automotiva.** São Paulo: Ed. Atlas. 2007.

LIMA, Marco Antonio Magalhães. **Introdução aos materiais e processos para designers.** Nova ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

MOGGRIDGE, Bill. **Designing interactions.** Cambridge, MA: The MIT Press, 2007

MILLS, C. B. **Projetando com maquetes:Um guia de como fazer e usar maquetes de projeto de arquitetura.** Porto Alegre: Bookman. 2007.

MIYASAKA, Elza Luli; FABRÍCIO, Márcio Minto. **Digital fabrication in Brazil: Academic production in the last decade.** In: 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE, CAAD FUTURES 2015, 16., 2015, São Paulo. **The next city New technologies and the future of the built environment.** São Paulo: Universidade Estadual de Campinas Biblioteca César Lattes, 2015. v. 16, p. 422 – 433.

PUPO, Regiane Trevisan. **Inserção da PROTOTIPAGEM e FABRICAÇÃO DIGITAIS no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura.** Campinas, SP: [s.n.], 2009 –Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

SCHRAGE, M. **Jogando pra Valer: Como as Empresas Utilizam Simulações para Inovar.** Rio de Janeiro: Campus, 2001.

SPERLING, David M. et al. **Fabricação digital na América do Sul: um mapeamento de linhas de ação a partir da arquitetura e urbanismo.** In: XIX CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA

DIGITAL 2015, 3, 2015, Florianópolis. Florianópolis: Blucher, 2015. v. 2, p. 119 - 125.

VIANNA, Maurício et al. **Design thinking: inovação em negócios**. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.

VOLPATO, Neri et al. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: ed. Blucher, 2007.

WONG, Y. (1992). **Rough and ready prototypes: Lessons from graphic design**. In: Posters and short talks of the 1992. SIGCHI conference on human factors in computing systems. p. 83-84. New York: ACM, 1992.

WOHLERS, T. Wohlers report 2008. Fort Collins, Colorado: Wohlers Associates, 2008.

TROXLER, Peter. **The Beginning of a Beginning of the Beginning of a Trend**. Capítulo de livro. Van Able et al. (eds.) Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive. Amsterdam: BIS Publishers, 107-109, 2011.

APÊNDICE A

1.1 Entrevistas:

1.1.1 Sobre a carreira dos entrevistados.

01) O que o influenciou a trabalhar nos laboratórios de fabricação digital e o que te motiva a participar desta rede e colaborar com ela?

02) Por que você acredita no modelo Fab Lab e como você enxerga o uso dos laboratórios no futuro? (nos próximos 5 ou 10 anos)

1.1.2 Sobre as atividades dentro dos laboratórios

03) Qual o seu papel nas atividades do laboratório?

04) Tomando como referência alguns processos criativos para projeto de produtos (GOMES, 2004; DUALIBE e SIMONSEN, 2008; BROWN, 2010), fica evidente a importância do desenvolvimento de mockups, modelos volumétricos e protótipos durante o desenvolvimento projetual.. Quais as definições atuais para prototipagem ou o ato de prototipar dentro do ambiente Fab Lab?

05) Qual é o papel dos instrutores num contexto de inclusão das tecnologias durante o processo criativo e projetual?

06) A atividade projetual da ação do projeto pode ser considerada totalmente iterativa dentro dos laboratórios de fabricação digital, ou seja, projeto, programação e prototipação acontecendo simultaneamente durante o processo criativo e não apenas no final do processo de desenvolvimento. Essa afirmação é realmente verdadeira?

- 07)** Nos últimos dez anos as novas tecnologias digitais e os processos de produção pós-industriais têm se firmado como grandes aliados do processo de projeto. A interdisciplinaridade como prática projetual dentro dos laboratórios de Fabricação Digital influencia de que forma os resultados dos projetos?
- 08)** Em levantamento bibliográfico identificou-se que o uso de protótipos durante todas as etapas do processo de projeto permite que o produto final tenha maior conformidade com o idealizado em projeto. Qual é a influência dos laboratórios durante o desenvolvimento de cada etapa de projeto?
- 09)** A inovação social parte de um princípio colaborativo, onde juntos somos mais inteligentes que cada um em particular, e são essas ideias que têm o potencial transformador da sociedade. Naturalmente que a inovação social, dentro do contexto Fab Labs, assume maior conexão principalmente nos países em vias de desenvolvimento. Bons exemplos partem da criação de próteses, que visam promover a saúde e o bem-estar das pessoas onde os recursos são mais escassos. De que forma o Fab Lab se inclui neste contexto social como um agente facilitador de inovação social?

1.1.3 Sobre o funcionamento dos equipamentos

- 10)** Quais as características positivas da utilização dos processos de PR quando utilizadas no ambiente Fab Lab?
- 11)** Quando se fala em oferecer infra-estrutura apropriada, o que o laboratório dispõe de equipamentos e como funciona o acesso a eles?