



SUSTENTABILIDADE NO PROJETO E MANUFATURA DE PRODUTOS ATRAVÉS DA FABRICAÇÃO DIGITAL

João Paulo Amaral Caccere
Universidade Federal do Paraná
jcaccere@ufpr.br

Aguinaldo dos Santos
Universidade Federal do Paraná
asantos@ufpr.br

Resumo: É possível verificar uma série de mudanças na organização e distribuição da informação no decorrer das últimas duas décadas, o que tem criado novas oportunidades para modelos de produção e consumo mais sustentáveis. Estas têm como características a crescente troca de dados, informações, conhecimento e cultura de forma livre e cada vez mais inclusiva através da internet. Inserida neste contexto, a utilização de equipamentos e softwares para a Fabricação Digital vêm se difundindo não somente entre profissionais, mas também entre *não-designers*, principalmente via *makerspaces* dedicados. O barateamento e popularização dessas tecnologias acabam por gerar uma situação de inovação do uso destes equipamentos, permitindo, por exemplo, que indivíduos os adquiram para uma utilização individualizada. Este fenômeno é relativamente recente e demanda o estudo de soluções e estratégias que tornem efetivo o potencial da Fabricação Digital na promoção de padrões de produção e consumo mais sustentáveis.

Palavras-chave: Fabricação Digital, Produção Aberta e Distribuída, Open-source, Movimento Maker, Makerspaces.

Abstract: *It is possible to notice a number of changes on organization and distribution of information in the last two decades, which has created new opportunities for sustainable models of production and consumption. These are characterized by an increasing exchange of data, information, knowledge and culture on an open and inclusive way over the internet. In this context, the use of Digital Fabrication softwares and machinery have been disseminated not only among professionals, but also among non-designers, mainly through dedicated makerspaces. The cheapness and popularization of those technologies ultimately generated an innovative use of the equipment, allowing, for example, that individuals acquire them to an individual purpose. This phenomenon it's relatively recent and demands the study of solutions and strategies that ensures the potential of*

Digital Manufacture in promoting more sustainable production and consumption patterns.

Keywords: *Digital Fabrication, Open and Distributed Manufacturing, Open-source, Maker Movement, Makerspaces.*

1. A FABRICAÇÃO DIGITAL EM CONTEXTO

1.1 Uma oportunidade para a sustentabilidade

A promoção de padrões de produção e consumo mais sustentáveis tem na Fabricação Digital uma oportunidade de introdução de inovações disruptivas. Segundo Gershenfeld (2012), esta pode ser definida como a utilização de uma série de ferramentas e tecnologias na qual desenhos em 2D ou 3D criados no computador são usados para que se materializem artefatos através de outra máquina.

Gershenfeld (2012) relata que foi no ano de 1952 que se conseguiu conectar um computador rudimentar a uma fresadora manual, criando a primeira ferramenta computadorizada controlada numericamente. Através de instruções orientadas por coordenadas foi possível fabricar componentes de aeronaves com precisão e com detalhes mais complexos do que se fossem feitos à mão. Utilizando os mesmos princípios deste primeiro experimento, vários outros equipamentos puderam ser montados em plataformas computadorizadas (GERSHENFELD, 2012).

Durante os últimos 30 anos, as tecnologias de Fabricação Digital vêm sendo utilizadas principalmente nas aplicações da Prototipagem Rápida (MICHALIK et al., 2014). No âmbito do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), esta é associada à habilidade de identificação dos requisitos do usuário e no desenvolvimento de projeto competitivo, de forma a atendê-los. Neste sentido, o uso de ferramentas computacionais CAD/CAM é essencial para o desenvolvimento rápido dos estágios do PDP através da confecção de representações tridimensionais físicas do produto. Tais representações facilitam a comunicação entre a equipe de projeto, fornecedores e clientes, integram conhecimentos envolvidos no processo e auxiliam na tomada de decisão, facilitando a condução do desenvolvimento de determinado artefato (VOLPATO et al., 2007).

O processo de *Design* de produtos via de regra exige representação visual 3D em algum momento de seu processo de desenvolvimento. De acordo com Volpato et al. (2007), existem várias formas de representação de produtos. São maquetes, modelos, *mock-ups* e protótipos, cada um com sua finalidade, de acordo com a fase do PDP. Segundo os autores, a utilização da Prototipagem Rápida neste conjunto de procedimentos sistematizados ajuda a visualizar e avaliar as propriedades técnicas do artefato, como manuseio, aromas e percepção formal - fatores decisivos no momento da compra. Pode-se considerar também uma redução dos riscos de inovação e de tempo e custo de desenvolvimento através da detecção rápida de problemas de projeto (VOLPATO et al., 2007).

A introdução de tecnologias de Fabricação Digital tem mudado os paradigmas do processo de Design e da dinâmica da representação 3D das soluções desenvolvidas. De fato, desde o início da profissão de *designer*, até os primeiros anos do século XXI, a produção de novos artefatos frequentemente envolveu a transformação manual de *sketches* e desenhos para modelos físicos como forma de tradução física do objeto

imaginado (SASS, 2007). Contudo, os processos de produção e prototipagem estão em franca mudança na medida em que estes profissionais vêm utilizando de maneira cada vez mais intensiva as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). O desenvolvimento desta indústria permitiu a prevalência dos fenômenos digitais sobre os processos de *Design*, tornando-os tão comuns que a esta condição se atribuiu o nome *Design Digital*. São novos os precedentes abertos, principalmente através da prática projetual e da experimentação acadêmica, que se refletem nas novas metodologias e teorias de projeto de produto (OXMAN, 2006).

O Design Digital se refere à representação e manipulação de formas complexas no espaço, facilitando a maneira com que *designers* apresentam, comunicam e materializam suas soluções e proposições através da integração de diversas mídias na conceitualização, realização, comunicação e produção de artefatos (SASS, 2007). Essa ideia se opõe, ou se difere em grande parte, das maneiras tradicionais analógicas de materialização de objetos, desenvolvendo-se em um ambiente estritamente computacional. Tem-se como característica do Design Digital os conceitos de não-estandardização, não-normatividade e não-repetição, todos antagônicos à lógica da indústria de massa (OXMAN, 2006).

A Fabricação Digital auxilia não apenas o desenvolvimento de protótipos, mas também a construção rápida de modelos físicos para revisão e até mesmo a efetiva produção de partes ou todo do produto (SASS, 2007). Sua utilização permite interferências mais frequentes e diretas do usuário final com vistas à obtenção de soluções customizadas à sua necessidade. O seu uso implica, também, em um raciocínio em cadeia que aproxima o projetista à manufatura de suas criações, pensando o produto desde a concepção à sua produção.

A disseminação da cultura *maker*¹ e a multiplicação das redes colaborativas de conhecimento na internet são potencialmente disruptivas em relação aos padrões convencionais de produção e consumo, considerada a real possibilidade de fabricação de artefatos únicos por indivíduos em suas próprias casas (BENKLER, 2006; BAUWENS et al., 2012). Tal fenômeno é relativamente recente e pode ser encontrado na literatura, com diferenças sutis de significado, como “*personal manufacturing*” (BAUWENS et al., 2012), “*personal fabrication*” ou “*fabbing*” (GERSHENFELD, 2005), “*commons-based peer production of physical goods*” (TROXLER, 2013) ou “*making*” (ANDERSON, 2012; GAUNTLETT, 2013; HATCH, 2013).

1.2 Processos e tecnologias para Fabricação Digital

Há uma grande variedade de tecnologias para a Fabricação Digital, sendo que entre as mais recorrentes estão a impressão 3D, o corte a laser e o fresamento computadorizado. Um elemento central desta abordagem é a utilização do Controle Numérico Computadorizado (CNC), que orienta o posicionamento simultâneo de vários eixos de uma máquina através de um sistema de coordenadas codificadas. Este sistema é responsável por uma grande mudança na produção moderna, sendo largamente utilizado em grandes indústrias em suas linhas de montagem desde os anos 80 (LEFTERI, 2009). A mudança aqui está na inovação do uso e no barateamento das tecnologias, que possibilitam, entre outras coisas, que novos usuários possam

¹ O movimento *maker* pode ser definido como uma *trend* que valoriza os aspectos do *do-it-yourself* (DIY) na invenção, adaptação, construção e reparo de objetos. Sua cultura está fortemente ligada ao uso e aprendizagem de habilidades relacionadas à tecnologia (ANDERSON, 2010).

adquirir máquinas de Fabricação Digital para utilização individualizada (GERSHENFELD, 2012).

As etapas gerais do processo de fabricação se iniciam com a apropriação ou projeto em software CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por Computador), nome genérico para designar sistemas computacionais que auxiliam o desenho técnico. Com relação a estes programas, os mesmos estão aptos a realizar modelagens bidimensionais ou tridimensionais, em geral sólidos e superfícies, objetos com volume, massa e centro de gravidade (SOUZA; COELHO, 2003). É possível destacar um método alternativo de desenho que é baseado em constantes paramétricas. Este tipo de modelagem generativa permite que todas as dimensões de um objeto estejam relacionadas através de parâmetros pré-estabelecidos. Alterando um valor numérico faz com que todos os outros atrelados a ele se reajustem, dinamizando a forma com que se manipula o artefato representado (VOLPATO et al., 2007). Sass (2007) apresenta em seu artigo algumas vantagens no uso da *modelagem paramétrica*. Entre elas está a possibilidade realística para que designers representem, projetem e redesenhem estruturas de produtos com mais facilidade.

Uma vez possuindo o modelo no computador, o processo se desenvolve na análise de informações estruturais do projeto via software CAM (*Computer Aided Manufacturing* – Fabricação Assistida por Computador), com a seleção das ferramentas, velocidades de rotação, temperaturas, e outros parâmetros que dependem do fabricante e do modelo da máquina utilizados. Estas informações então geram um novo arquivo que, além de passar essas instruções iniciais para a máquina, é responsável pela tradução do modelo digital em coordenadas que serão “lidas” posteriormente (SCHODEK et al., 2005 apud PUPO, 2009). Daí em diante o trabalho é automatizado – a ferramenta reproduz as coordenadas em movimentos até a conclusão do projeto, podendo ser necessário ou não um acabamento estético posterior (SEELY, 2004).

Tecnologias como o corte a laser e a impressão 3D estão cada vez mais acessíveis uma vez que têm se disseminado rapidamente, diminuindo os custos para aquisição de serviços ou dos equipamentos e softwares em si. Sua utilização tem viabilizado a utilização eficiente de recursos através do cálculo computacional. Os conceitos de customização e de fabricação pessoal que acompanham tais tecnologias, por serem em certo nível antagônicos à lógica da produção em massa, também têm o potencial de ser mais limpos e enxutos, apesar de se notar a falta de estudos empíricos que validem esta afirmação (KOHTALA, 2014).

A manufatura aditiva, conhecida também pela alcunha de “impressão 3D”, é apontada já no ano de 2002 por Wohlers (2002) como uma das tecnologias que mais cresce dentre as abordagens para a Fabricação Digital. A presença desta é observada em um grande número de setores industriais, destacando-se o setor aeroespacial e de defesa, automotivo, de aparelhos médicos e arquitetura (WOHLERS, 2013). A aplicação em elementos construtivos (peças funcionais que se destinam ao consumo final) representa 28 por cento de todas as suas aplicações, conforme ilustra a figura 1 (WOHLERS, 2013).

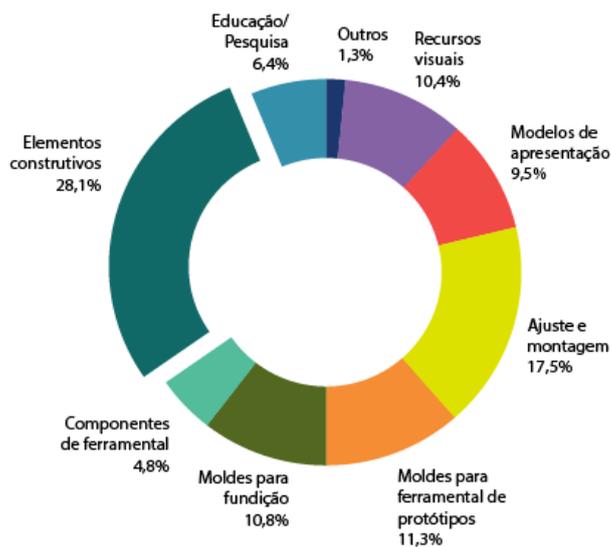


Figura 1 - Aplicações da manufatura aditiva.

Fonte: Adaptado de Wohlers (2013).

Autores como Anderson (2010) e Waghorn (2011) consideram em seus trabalhos a impressão 3D como algo revolucionário. Este apontamento está fundamentado no fato de que tal tecnologia tem sido continuamente adaptada para utilização pessoal através da pesquisa de empresas como MakerBot, Formlabs e Ultimaker, mudando as dinâmicas do setor (PRINT THE LEGEND, 2014). Enquanto as impressoras 3D industriais custavam até mais de 500 mil dólares em um passado recente, as novas impressoras pessoais de mesa custam 250 dólares ou menos (durante o período de escrita deste artigo) (VANHEMERT, 2014). Dessa maneira, a Fabricação Digital tem na atualidade um espectro amplo de possibilidades, incluindo soluções que permitem investimentos iniciais baixos e sem a necessidade de um grande volume de produção para obter o “*pay-back*” (MELLIS, 2011).

Quando comparado aos processos manuais, a Fabricação Digital promove uma grande flexibilidade na construção de geometrias complexas, viabilizando e agilizando a produção customizada. Como o objeto produzido provém diretamente de uma fonte digital, é possível modificá-lo a fim de se obter um melhor resultado para as necessidades específicas do usuário; da mesma maneira, uma vez possuindo o código e o acesso às máquinas, é possível reproduzir o objeto quantas vezes for desejado.

A utilização de máquinas de Fabricação Digital, entre outras coisas, tem potencial para a Produção Aberta e Distribuída, para a personalização, ensino e estudo de processos construtivos e espaciais (MELLIS, 2011), conforme será tratado a seguir.

2. FABRICAÇÃO DIGITAL SOB A PERSPECTIVA DA PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA

2.1 Conexões e implicações

A Produção Distribuída é um modelo promissor de produção em se tratando de soluções mais sustentáveis. Johansson et al. (2005) argumenta que esta abordagem consiste em desenvolver uma parcela da produção de forma distribuída em uma determinada região onde as atividades são organizadas em unidades flexíveis, em pequena escala e, preferencialmente, conectadas entre si.

A Fabricação Digital apresenta-se como estratégia passível de viabilizar a Produção Distribuída. Oferece o potencial de liberdade na condução dos processos de Design pela redução de boa parte das imposições da manufatura e montagem tradicionais, como a reprodução de formas complexas, a customização, redução da complexidade dos sistemas de montagem, a miniaturização de fábricas e a utilização de fontes de informação não-tradicionais, como o escaneamento 3D. Outras vantagens dizem respeito à possibilidade de introdução da manufatura distribuída, que dispensa grandes custos com transporte e com a produção de moldes e ferramentais, diminuem o desperdício de materiais e se adaptam facilmente à produções pequenas (MICHALIK et al., 2014).

Rifkin (2011 apud TROXLER, 2013), Troxler (2013) e Anderson (2012) argumentam de forma categórica em seus artigos que a Fabricação Digital é o próximo estágio em direção a uma terceira Revolução Industrial. Na visão do último destes, este processo nada mais é que a “industrialização” do movimento *maker*: uma combinação da manufatura digital e da fabricação pessoal. Na medida em que essas ferramentas digitais estão sendo usadas cada vez mais por indivíduos para projetar e fabricar seus próprios produtos, o compartilhamento e a colaboração são cada vez mais facilitados através do tempo.

A utilização de novas tecnologias, novos modos de organização econômica e as novas práticas de produção podem definitivamente criar condições para que se alterem outros aspectos da vida cotidiana. De fato, a opção por modalidades de Produção Aberta e Distribuída abre oportunidades para maior equidade econômica entre atores locais e pode ser um vetor para a ampliação da coesão em determinada região. Embora não se adote neste artigo uma perspectiva tecnocrata para a sustentabilidade, fica claro que este contexto está totalmente relacionado ao desenvolvimento e barateamento das máquinas operadas por CAD/CAM e à difusão da internet enquanto espaço de troca em rede, dando margem para a criação de novas oportunidades para a produção, acesso e distribuição de produtos e serviços para um conjunto da população. Acompanhando este enquadramento, os *makers* estão se beneficiando deste ambiente onde mudam-se as maneiras pela qual trocamos informação, conhecimento e cultura (BENKLER, 2006).

Segundo WALDMAN-BROWN et al. (2016), a ideia do *movimento maker* foi popularizada pela plataforma norte-americana *Maker Media*, atraindo atenção significativa de educadores, governos nacionais e corporações multinacionais, tais como GE, Intel e Microsoft. Esta se refere à democratização do *Design*, engenharia, fabricação e educação através da cultura *do-it-yourself*, produção em pequena escala e compartilhamento *open-source*. Este último termo se refere a um modelo de desenvolvimento originário da indústria de software, que denota a distribuição livre e aberta de códigos-fonte e que, posteriormente, passa a abranger também a produção de artefatos físicos. Neste contexto, a atividade *open-source* representa o desenvolvimento de produtos tangíveis e intangíveis sob domínio público, de modo que qualquer indivíduo possa estudar, modificar, distribuir, produzir e vender os mesmos (FJELDSTED et al., 2012). A expansão destes conceitos, de acordo com Martinez e Stager (2014), se deu através do acesso a ferramentas, instruções e ideias gratuitas, todas viabilizadas por uma grande comunidade cooperativa auto-organizada.

O movimento *maker* é baseado na participação dos colaboradores como potenciais inovadores, *co-designers*, inventores ou *bricoleurs*². Neste caso, a participação do usuário contrasta com a posição tipicamente passiva observada no modelo de produção em massa convencional. Isso se justifica pela mudança dos arquétipos que envolvem o processo de *Design* e produção, anteriormente baseados no *Design* de produtos seriados e com uma grande distância do consumidor final. Antagonicamente, essa nova tendência prevê a participação intensa do usuário na determinação da forma e função final dos objetos, manufaturando e distribuindo produtos por conta própria, auxiliados pela Fabricação Digital (NEVES; MAZZILLI, 2013).

Este movimento social se estende aos domínios da internet, provendo informação e suporte através de plataformas de colaboração, tais como os sites Instructables e Thingiverse. O primeiro destes exhibe artigos *how-to* fornecidos por uma variedade de usuários sobre um grande número de tópicos, incluindo projetos relacionados à eletrônica, marcenaria, decoração, jardinagem, impressão 3D, entre outros (INSTRUCTABLES, 2015). Já o Thingiverse se propõe como repositório livre para download de modelos prontos para a produção em máquinas de Fabricação Digital (THINGIVERSE, 2015).

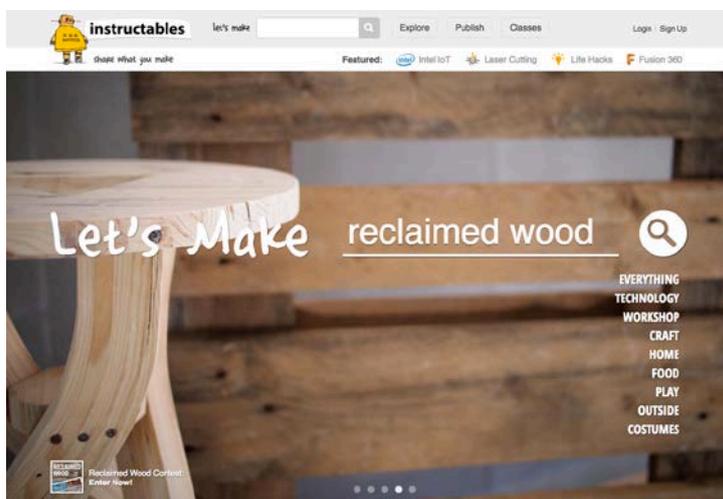


Figura 2 – Plataforma colaborativa Instructables.

Fonte: Instructables (2015).

Segundo Bernardo (2014), estas redes de compartilhamento e colaboração possibilitam o acesso e a apropriação de conteúdo sem que haja troca monetária ou competição, sendo iniciativas que têm suas necessidades de funcionamento distribuídas por entre os participantes. Outras atividades promovidas pelo movimento *maker* são de publicações periódicas, como a revista *Make* e de eventos como a *Maker Faire*, *Open Hardware Summit*, *Maker Camp*, entre outros (WILLIAMS et al., 2012).

A Fabricação Digital permite que projetos sejam compartilhados livremente através da internet e os meios de produção acessíveis. Neste sentido, Gershenfeld (2005) defende que os paradigmas de manufatura e de consumo em massa são contrariados pelas atividades de *produção coletiva e comum entre pares (commons-*

² Lévi-Strauss (1989) refere-se ao sujeito que usa formas indiretas / alternativas para execução de produtos como *bricoleur*. Este utiliza em seus projetos ferramentas e matérias-primas que estão ao seu alcance e “as regras do seu jogo são sempre fazer, com qualquer coisa que ele tenha à mão” (LÉVI-STRAUSS, 1989, p. 38).

based peer production - CBPP). Esta expressão, que não possui tradução literal em português, nada mais é que a prática de “*prosumption*”³ quando esta envolve a colaboração entre pares, ou *peer-to-peer* (KOHTALA, 2014). Isto significa, em outras palavras, que este modelo emergente se utiliza da energia criativa de um grande número de consumidores coordenadamente, usualmente através de uma plataforma digital e fora dos parâmetros tradicionais de organizações hierárquicas e mercantis, resultando numa provisão pública de recursos comuns, de todos. Exemplos do CBPP estão em sua maioria na área de desenvolvimento de software (e.g. o sistema operacional Linux e o servidor web Apache), porém já envolvem também os domínios da cultura, educação, conhecimento e compartilhamento, como a *Wikipédia*, o *Open Street Map* e as licenças *Creative Commons* (TROXLER, 2010).

Quando a CBPP envolve artefatos físicos, Troxler (2010) passa então a chamá-la de “*commons-based peer production of physical goods*”, ou então “*fabbing*”, para Gershenfeld (2005). Entre as iniciativas existentes estão as de fabricação pessoal, que permitem a manufatura de seus próprios objetos, e as de *open-source hardware*, como o projeto RepRap de desenvolvimento aberto de uma impressora 3D. Outro destaque vai para a comunidade *Open Source Ecology* (OSE) nos Estados Unidos, que agrega fazendeiros, construtores e empreendedores com o objetivo de desenvolver soluções que viabilizem uma economia aberta. Sua atividade principal envolve a construção de cinquenta máquinas industriais, utilizando para isso apenas uma fração de seus custos comerciais, a fim de que suportem uma pequena comunidade sustentável, permitindo que esta desfrute dos confortos da modernidade difundidos na sociedade. Entre os equipamentos estão: os de uso agrícola - pulverizador de solo, cortador de feno e semeadora; de uso industrial - fresadora CNC, scanner 3D e prensa; de construção civil - misturador de cimento, trator e retro-escavadora; de geração de energia - motor à vapor, turbina à vento e gerador elétrico; de transporte - carro e caminhão. Todas as documentações do projeto estão disponíveis para que sejam utilizadas, estudadas, modificadas e distribuídas livremente, sob o paradigma *open-source* (OPEN SOURCE ECOLOGY, 2016).

A ideologia do compartilhamento vem contribuindo também para o crescimento e aparecimento de oficinas comunitárias de Fabricação Digital. Estes locais são referidos por uma série de termos, sendo que alguns indicam atividades diferenciadas ou sugerem graus diferentes de envolvimento com a comunidade: “*coworking spaces*”, “*innovation laboratories*”, “*media labs*”, “*hacklabs*”, “*hackerspaces*”, “*Fab Labs*”, genericamente tratados neste artigo como “*makerspaces*” (SMITH et al., 2013). Todos estes espaços possuem um ambiente propício para a experimentação e aprendizado participativo, possibilitando a realização de projetos pessoais ou coletivos.

2.1 Produção Distribuída e makerspaces

Segundo Smith et al. (2013, p. 4), os *makerspaces* são dotados de máquinas de Fabricação Digital das mais variadas, incluindo impressoras 3D, CNC's, cortadoras a laser, além de ferramentas de *Design open-source*, kits de eletrônica, máquinas de

³ À maneira conjugada com que o usuário passa a ter acesso e controle da produção é dado o nome de “*prosumption*” (uma união dos termos *production* e *consumption*), sendo o consumidor um “*prosumer*” - para quem a produção virou parte do processo de consumo (TOFFLER, 1980 apud KOHTALA, 2014).

termoformagem e equipamentos de solda, por exemplo. Os autores acrescentam que o número de laboratórios como estes crescem rapidamente, sendo os *hackerspaces* e os Fab Labs os espaços mais proeminentes.

Este último representa a rede de laboratórios que mais se replica ao redor do mundo atualmente, atuando principalmente no fomento da prática da inovação digital coletiva (EYCHENNE; NEVES, 2014). Criada em 2001 no MIT pelo professor Neil Gershenfeld, os *Fab Labs (Fabrication Laboratories)* são laboratórios de pequena escala onde se realizam processos de Fabricação Rápida e de Prototipagem Rápida (GHALIM, 2013). Este projeto não se restringe aos alunos da academia ou novos empreendedores – na verdade, uma de suas principais características é a participação de um universo de pessoas, independentemente da orientação de seu trabalho ou destino projetual, observando-se a obrigatoriedade do compartilhamento do conhecimento estudado e desenvolvido nesses laboratórios (EYCHENNE; NEVES, 2014).

Segundo Gershenfeld (2005), os Fab Labs, através de suas atividades envolvendo a aprendizagem e a utilização das máquinas de Fabricação Digital, são um dos grandes responsáveis pela motivação de um novo hábito de criação e consumo de produtos digitais personalizados.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de algumas aplicações da Fabricação Digital ainda serem limitadas e pouco difundidas pela organização industrial vigente, analisando os eventos descritos neste artigo, pode-se entender que houve de fato uma reconfiguração entre a concepção e a materialização de projetos através da utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). O estudo deste contexto é relativamente recente e pode contribuir para o meio acadêmico na formação de pesquisadores comprometidos com uma educação tecnológica voltada para responsabilidade ambiental.

A prática da fabricação pessoal é potencialmente amigável do ponto de vista da sustentabilidade, considerando-se a quantidade reduzida de produção atual e a capacidade de prolongamento da vida útil do produto através da customização, que minimiza a obsolescência psicológica (KOHTALA, 2014). É possível se esperar maior “pertencimento” e relação afetiva de usuários com produtos concebidos e produzidos por eles mesmos, o que pode contribuir para a existência de produtos com ciclos de vida mais duradouros. Também abre oportunidades de capacitação e participação efetiva de usuários em todo o processo de desenvolvimento e produção, permitindo que comunidades tenham pleno acesso a recursos potenciais do desenvolvimento *open-source*, por exemplo. Da mesma maneira, os projetos podem ser reenviados à escala global, onde outras pessoas poderão encontrar neles suas necessidades particulares. Esta colaboração entre pares, característica dos movimentos *maker* e *open-source*, não possui hierarquia centralizadora, o que também pode contribuir para a coesão social. Neste sentido, a fabricação digital distribuída, incluindo àquela domiciliar, pode resultar em uma produção mais sustentável, ajudando indivíduos na realização de projetos antes impensáveis, seja pelo anterior acesso restrito à informação ou às máquinas industriais, através de um conhecimento global, que pode ser gerido por demanda, sem se basear em estoques (PEARCE et al, 2010).

Em um contexto ampliado, no entanto, onde a fabricação pessoal passa a representar um grande volume de produção, este exercício pode contribuir para o risco de um descontrole de consumo e descarte de lixo. Não havendo o controle

apropriado de soluções para sistemas e serviços, a fabricação digital distribuída pode resultar em impacto ambiental superior aos modelos ortodoxos de produção, tendo em vista o risco de produção irrefreada, desalinhada do panorama de consumo consciente. Outros problemas se relacionam com a dificuldade de reutilização de produtos individualizados e de reciclagem de materiais desconhecidos ou que não seguiram normatizações de aplicação.

Kohtala (2014) alerta que a fabricação pessoal, como forma última de expressão dos *prosumers*, envolve alto impacto ambiental por unidade. O pequeno volume de produção atual, no entanto, atenua tal situação. Porém, do ponto de vista da sustentabilidade, julga-se que a transformação de todos os usuários em *prosumers* envolve o risco desta prática resultar em um problema de excesso de produção, para além do que é efetivamente necessário. Toma-se como exemplo a situação hipotética da utilização de equipamentos de fabricação para o propósito de se replicar continuamente um produto *commodity*. Neste caso, o processo de fabricação não seria regido por diretrizes de produção, podendo resultar em baixa qualidade do processo, impactos ambientais nocivos ao meio ambiente e ao próprio usuário envolvido na fabricação decorrentes de instalações deficientes ou ausência de competências em segurança do trabalho. Sendo assim, entendendo-se como inexorável a introdução da Fabricação Digital na contemporaneidade, é premente o desenvolvimento de soluções em produtos, serviços e estratégias de comunicação que contemplem estes desafios e permitam converter a Fabricação Digital em aliada da sustentabilidade e da busca pelo bem-estar do ser humano.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos de mestrado Demanda Social e aos conhecimentos adquiridos através da LENS - Learning Network on Sustainability.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C. In the next industrial revolution, atoms are the new bits. **Wired Magazine**. 2010. Disponível na internet por http em: <http://www.wired.com/2010/01/ff_newrevolution/>. Acesso em 18 dez. 2015.
- _____. **Makers: the New Industrial Revolution**. Nova Iorque: Random House Business Books, 2012.
- BAUWENS, M.; MENDOZA, N.; IACOMELLA, F. **A Synthetic Overview of the Collaborative Economy**. Chiang Mai: P2P Foundation, 2012.
- BENKLER, Y. **The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom**. New Haven: Yale University Press, 2006.
- BERNARDO, M. V. A. F. R. **Da produção industrial à convivencial: uma experiência com Fabricação Digital e compartilhamento na favela**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.
- EYCHENNE, F.; NEVES, H. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2014.

FJELDSTED, A. S.; ADALSTEINSDOTTIR, G.; HOWARD, T. J.; MCALOONE, T. Open Source Development of Tangible Products. NordDesign 2012. **Anais...**, p. 1-9, 2012. Aalborg, Dinamarca.

GAUNTLETT, D. **Making is Connecting: the Social Meaning of Creativity, from DIY and Knitting to Youtube and Web 2.0.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

GERSHENFELD, N. **FAB: the Coming Revolution on Your Desktop** - from Personal Computers to Personal Fabrication. Nova Iorque: Basic Books, 2005.

_____. How to make almost anything: The digital fabrication revolution. **Foreign Affairs**, v. 91, p. 43, 2012.

GHALIM, A. **Fabbing Practices: An Ethnography in Fab Lab Amsterdam.** 2013. 96f. Dissertação (Master of Media and Culture Studies). New Media and Culture Studies, Universiteit van Amsterdam, 2013.

HATCH, M. **The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New York World of Crafters, Hackers and Tinkerers.** Nova Iorque: McGraw-Hill Professional, 2013.

INSTRUCTABLES. DIY How To Make Instructions. Disponível em: <<http://instructables.com>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

JOHANSSON, A.; KISCH, P.; MIRAT, M. Distributed economies – a new engine for innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 13. 2005.

KOHTALA, C. Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 92. 2014.

LEFTERI, C. **Como se faz: 82 técnicas de fabricação para design de produtos.** São Paulo: Editora Blucher, 2009.

LÉVI-STRAUSS, C. **O Pensamento Selvagem.** Campinas: Papirus, 1989.

MARTINEZ, S.; STAGER, G. The maker movement: A learning revolution. **Learning and leading with technology**, v. 41, n. 7, 2014.

MELLIS, D. A. **Case Studies in the Digital Fabrication of Open-Source Consumer Electronic Products.** 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Media Arts and Sciences. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 2011.

MICHALIK, J.; JOYCE, J.; BARNEY, R.; MCCUNE, G. 3D opportunity for product design: additive manufacturing and the early stage. **Deloitte Review**, v. 14, 2014.

NEVES, H.; MAZZILLI, C. T. S. Open Design – a map of contemporary Open Design structures and practices. In: 10th European Academy of Design Conference – Crafting the future, 2013, Gothenburg. **Crafting the future.** Gothenburg, 2013.

OPEN SOURCE ECOLOGY. Site. Disponível na internet por http em: <<http://opensourceecology.org/>>. Acesso em 15 jan. 2016.

OXMAN, R. Special issue of Design Studies on digital design. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 225-227, 2006.

PEARCE, J. M.; BLAIR, C. M.; LACIAK, K. J., ANDREWS, R.; NOSRAT, A.; ZELENKA-ZOVKO, L. 3D printing of open source appropriate Technologies for self-directed sustainable development. **Journal of Sustainable Development**, v. 3, p. 17-29. 2010.

PUPO, R. T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino da arquitetura**. 2009. 260 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

PRINT THE LEGEND. Santa Monica: Audax Films, 2014 (100 min.). STREAMING: son., color.

RIFKIN, J. **The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy and the World**. Nova Iorque: Palgrave Macmillan, 2011.

SASS, L. Synthesis of design production with integrated digital fabrication. **Automation in Construction**, v. 16, n. 3, p. 298-310, 2007.

SCHODEK, D.; BECHTHOLD, M.; GRIGGS, J. K.; KAO, K.; STEINBERG, M. **Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design**. Nova Jérsei: John Wiley and Sons, 2005.

SEELY, J. C. K. **Digital fabrication in the architectural design process**. 2004. 77f. Dissertação (Mestrado) – Science in Architecture Studies, Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, 2004.

SMITH, A.; HIELSCHER, S.; DICKEL, S.; SODERBERG, J.; VAN OOST, E. Grassroots digital fabrication and makerspaces: Reconfiguring, relocating and recalibrating innovation? **SPRU Science and Technology Policy Research - Working Paper Series**. 2013.

SOUZA, A. F.; COELHO, R. T. Tecnologia CAD/CAM – Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – **ENEGEP**, 2003. Ouro Preto, 2003.

THINGIVERSE. Site. Disponível na internet por http em: <<http://www.thingiverse.com/>>. Acesso em 21 nov. 2015.

TOFFLER, A. **The Third Wave**. Nova Iorque: Morrow, 1980.

TROXLER, P. Commons-based Peer-Production of Physical Goods: Is there Room for a Hybrid Innovation Ecology? In: **3rd Free Culture Research Conference**. Berlim, 2010.

_____. Making the third Industrial Revolution: the struggle for polycentric structures and a new peer-production commons in the FabLab community. In: Walter-Herrmann, J., Büching, C. (Eds.), *Fab Lab: of Machines, Makers and Inventors*, Cultural and Media Studies, p.181-194. Bielefeld: Transcript Verlag, 2013.

VANHEMERT, K. A \$250 3D printer with breakthrough software. 2014. Disponível na internet por http em: <<http://www.wired.com/2014/05/mod-t-printer/>>. Acesso em 12 dez. 2015.

VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSCH, G.; CARVALHO, J.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

WAGHORN, T. Jeremy Rifkin's Third Industrial Revolution. 2011. Disponível na internet por http em: <<http://www.siaf.ch/files/130410-rifkin-2.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2015.

WALDMAN-BROWN, A.; WANYIRI, J.; ADEBOLA, S. O.; CHEGE, T.; MUTHUI, M.

Democratizing technology: the confluence of makers and grassroots innovators. Third International Conference on Creativity and Innovations at/for/from/with grassroots - ICCIG. No prelo 2016.

WILLIAMS, A.; GIBB, A.; WEEKLY, D. Research with a hacker ethos: what DIY means for tangible interaction research. **Interactions**, v. 19, n. 2, p. 14-19, 2012.

WOHLERS. **Wohlers report 2002**. Fort Collins, Colorado: Wohlers Associates, 2002.

_____. **Wohlers report 2013**. Fort Collins, Colorado: Wohlers Associates, 2013.