

DESIGN DE PROJETOS COMPLEXOS: IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS NO USO DAS MANUFATURAS SUBTRATIVAS

DESIGNING COMPLEX PROJECTS: THE ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS IN THE USE OF SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES

JÚLIA SOUZA ABRÃO | UFU

VIVIANE G. A. NUNES, PhD. | UFU

RESUMO

A revolução ocorrida nos processos de fabricação, que se tornaram digitais com máquinas controladas por parâmetros computacionais, contribuiu para o surgimento dos softwares de modelagem, nos quais a criação se tornou quase irrestrita e muito mais complexa. A relação entre design e produção foi reconfigurada, possibilitando ao designer o controle de todo o processo, desde a criação até a fabricação dos objetos. Ao mesmo tempo, a Fabricação Digital (FD) também trouxe muitos desafios, principalmente aqueles relacionados ao meio ambiente. Especialmente no caso das máquinas fresadoras de comando numérico computadorizado (CNC), o alto volume de resíduos resultante de projetos com alta complexidade formal é preocupante. Este artigo, parte de uma pesquisa de mestrado em andamento, busca discutir as relações entre projeto e produção de objetos de pequena e média complexidade, especificamente os relacionados aos processos de fabricação subtrativa, ou seja, de fresadoras CNC. A metodologia adotada nesse trabalho baseia-se na revisão de literatura, cujos referenciais teóricos preliminares estão associados à Fabricação Digital; Design e Processos de Fabricação; e Sustentabilidade. Os resultados iniciais apontam para a desarticulação entre as diretrizes projetuais orientadas ao design sustentável, as geometrias complexas e os processos de fabricação digital, democratizados a partir da disseminação do acesso às tecnologias. Além disso, observa-se a necessidade de atualização nos conteúdos curriculares em disciplinas de projeto que respondam às novas demandas tecnológicas, tendo em mente aos limites ambientais do planeta.

PALAVRAS CHAVE

Fabricação Digital; Processo de projeto; Design Sustentável; Manufatura Subtrativa; CNC Fresadora

ABSTRACT

The revolution in the manufacturing processes with machines controlled by computational parameters, contributed to the emerging of the modeling software, in which the creation has become almost unrestricted and much more complex. The relationship between design and production has been reconfigured, thus permitting the designer to control the entire process from creation to manufacturing. At the same time, the Digital Manufacturing (DM) has brought many challenges, especially those related to the environment. Especially in the case of the production by CNC cutting and router machines, the high volume of waste resulting from projects with high formal complexity is an issue of great concern. This research, part of a masters investigation, aims to discuss the relationship between design and production of objects with small and medium complexity, specifically those related to the subtractive manufacturing CNC processes. The methodology adopted within this work is based on the literature review, whose preliminary theoretic references are associated with Digital Manufacturing; Design and Manufacturing Processes and Sustainability. The initial outcomes point to the disarticulation among the project guidelines oriented to the sustainable design, the complex geometries and the digital fabrication processes, which have been democratized from the diffusion of the technologies. Moreover, it is possible to observe the need of updating the curriculum of the design disciplines in order to respond better to the technological demands, but also having in mind the environmental limits of the planet.

KEY WORDS

Digital Fabrication; Design process; Sustainable Design; Subtractive Manufacturing; CNC Machine



1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a tecnologia vem progredindo cada vez mais e com maior velocidade, difundindo-se em diversas áreas, e reconfigurando a relação entre criação de projeto e produção (PUPO, 2009). Tal avanço contribui diretamente para induzir novos modos de projetar, principalmente no campo do design. Nesse cenário, um processo inovador de criação se constitui pela união das tecnologias de fabricação aos novos campos computacionais - os chamados softwares de modelagem, trazendo a possibilidade de criação e produção de projetos altamente complexos. A Fabricação Digital (FD), como é conhecida ocorre, portanto, digitalmente e controlada por parâmetros computacionais, tornando possível a fabricação de peças bidimensionais e até tridimensionais.

Esse método de fabricação, denominado *file-to-factory* (do arquivo para a fábrica), subtrai etapas de representações entre o projetista e o produto final (BARBOSA NETO et al., 2014). Neste processo, não apenas o projeto é desenvolvido digitalmente, mas também a sua produção ocorre por meio da fabricação digital, possibilitando ao designer controlar todo o processo, desde a criação até a produção.

Essa tipologia de manufatura apresenta grandes vantagens em sua utilização, e pode gerar benefícios a várias áreas, tais como: saúde, economia, educação, dentre outros. Contudo, a fabricação digital apresenta também muitos desafios a serem superados tendo em vista, principalmente, as questões relacionadas ao meio ambiente. A maior preocupação está relacionada ao alto volume de material descartado durante os processos produtivos que utilizam a fabricação subtrativa. Especialmente nos projetos cujas formas são altamente complexas, mesmo havendo uma etapa de planejamento dos cortes, ainda existem problemas relacionados à geração de peças pequenas com pouca possibilidade de reaproveitamento, o que resulta em sérios impactos ambientais.

Este trabalho baseia-se nos referenciais teóricos associados aos temas da Fabricação Digital (de forma ampliada), dos Processos de Projeto e da Sustentabilidade, tendo como aspectos específicos a Manufatura Subtrativa e de Diretrizes de Projeto Sustentáveis.

De forma ampliada, a pesquisa de mestrado em andamento, tem como principal objetivo discutir as diretrizes projetuais para objetos de pequena e média complexidade, no sentido de orientar processos de fabricação digital, visando a um processo de design e de produção mais sustentável (figura 1). Para tanto, deverão ser estabelecidos comparativos entre as estratégias de projeto e produção, em estudos específicos, tanto do ensino do projeto do produto quanto das tecnologias produtivas digitais.

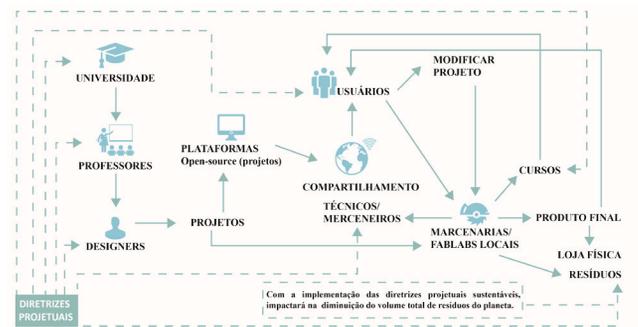


Figura 01 - Visão sistêmica do problema
Fonte: Elaborado pelo autor

2. METODOLOGIA

A pesquisa geral é orientada por metodologia qualitativa, de caráter exploratório e utiliza o método da pesquisa-ação. De acordo com a definição por Thiollent (1985, p.14):

A pesquisa ação é um tipo de investigação social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Segundo os autores Yin (2001); Mynaio (2002); e Gerhardt, (2009), a pesquisa qualitativa visa estudar/ observar/ compreender o entendimento de um grupo social (realidade humana na sociedade) para esclarecer o porquê dos acontecimentos, sem necessariamente utilizar métodos quantitativos, pois os elementos ponderados são não-métricos, determinando assim um resultado final imprevisível.

As pesquisas exploratórias buscam detalhar o problema a ser estudado, tornando-o mais claro, ou direcionar para a construção de suposições, através de levantamento de informações (GERHARDT, 2009). Pesquisas relacionadas à essa categoria têm como objetivo a exploração de intuições ou o aperfeiçoamento de ideias (GIL, 2002).

No método de pesquisa-ação, o pesquisador possui um papel participativo em relação ao problema que está sendo analisado, e o resultado da pesquisa é determinado posteriormente às etapas da pesquisa-ação, dentre elas: planejamento, análise, ação, observação e reflexão (FONSECA, 2002).

O processo de pesquisa contempla três etapas fundamentais:

- A primeira etapa teórica (objeto deste artigo) ocorrerá por meio revisão de literatura relacionada ao tema, dentre os assuntos principais: fabricação digital, sustentabilidade e design sustentável, e processo de projeto de produto. Serão também realizados estudos de caso para a análise e de pesquisa;

- A segunda etapa prática ocorrerá por meio da pesquisa-ação, e inclui estudos de campo em disciplinas do curso de design da Universidade (UFU) que englobam conteúdos relacionados ao processo de projeto. A finalidade é o estudo e análise do processo de criação/projeto e sua relação com a fabricação. Esta etapa prevê a realização de workshops para o desenvolvimento de projetos: 1) o primeiro visa analisar projetos criados para serem produzidos em processos de manufatura digital, analisar a modelagem dos objetos gerados e, posteriormente, subsidiar a reflexão sobre as diretrizes de design sustentável existentes e sua adequação aos processos de fabricação digital; 2) o segundo busca fornecer dados aos participantes referentes aos processos de fabricação digital durante o desenvolvimento dos projetos, afim de comparar com os resultados do primeiro workshop, e analisar as possíveis diferenças e/ou carências entre diretrizes de design sustentável existentes, em processos de fabricação digital;
- A terceira etapa teórica tem como objetivo discutir os resultados obtidos nos workshops à luz da literatura vigente sobre design sustentável, processos de projeto, bem como analisar a viabilidade de elaboração de um manual de design para projetos complexos orientados à fabricação digital subtrativa.

tendo, como única diferença, a alimentação das ferramentas, que é realizada pela máquina.

- **Estágio 4: *Semiautomático*.** Neste estágio os trabalhadores apenas monitoram o processo de fabricação em busca de falhas e as corrigem. As atividades como fixação e remoção de produtos, alimentação das ferramentas e usinagens são automáticas.
- **Estágio 5: *Pré-automação*.** Neste estágio quase todos os processos são realizados pela máquina, os trabalhadores devem apenas corrigir as falhas.
- **Estágio 6: *Automação*.** Nesta etapa, todos os processos, e a detecção e correção das falhas são realizadas automaticamente (SHINGO, 1996).

Estágio	Tipo	Operações manuais				Operações mentais			
		Operações principais				Folgas marginais			
		Operações essenciais		Operações auxiliares		(Método comum)		(Método Toyota)	
		Corte	Alimentação	Instalação/Remoção	Operação de interruptor	Deteção de anormalidades	Disposição de anormalidade	Deteção de anormalidade	Disposição de anormalidade
1	Operação manual	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador
2	Alimentação manual, corte automático	Máquina	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador
3	Alimentação automática, corte automático		Máquina	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Trabalhador	Máquina que para automaticamente (trabalhador supervisiona mais de uma máquina)	Trabalhador
4	Semiautomação		Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Trabalhador	Máquina (trabalhador supervisiona mais de uma máquina)	Trabalhador
5	Pré-automação (automação com toque humano)		Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Trabalhador	Máquina (automação com toque humano)	Trabalhador
6	Automação real		Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina

Figura 02 - Separação do trabalhador e máquina
 Fonte: Adaptado de Shingo (1996).

3. A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

No decorrer dos anos, observou-se um processo de transição do trabalho manual realizado exclusivamente pela mão de obra humana, no qual a produção passou a ser operada por maquinários específicos, de acordo com os setores produtivos. Segundo Shingo (1996), esse processo pode ser observado em seis estágios de transição (figura 2), significativos no processo de manufatura:

- **Estágio 1: *Trabalho Manual*.** Neste estágio não ocorre nenhuma colaboração de máquinas durante o processo de trabalho; tudo é feito manualmente, e a supervisão da produção é feita também pelos trabalhadores.
- **Estágio 2: *Alimentação manual com usinagem automatizada*.** Neste estágio a usinagem é realizada pela máquina e a função dos trabalhadores é fixação e remoção dos produtos das máquinas, alimentação das ferramentas bem como supervisão do processo de fabricação para detectar erros.
- **Estágio 3: *Alimentação e usinagem automáticos*.** Neste estágio ocorre praticamente igual a anterior

Essa fragmentação entre o operário e a máquina promoveu o aumento da produtividade humana, e tal fato só se tornou possível a partir da inserção de inteligência humana nos maquinários de produção (SHINGO, 1996).

3.1 Fabricação Digital: origens e tipologias

Segundo Ballerini (2017), a fabricação Digital teve sua fase de disseminação a partir de 1980, tendo como start a democratização das novas máquinas e das plataformas de código aberto. Tal difusão contribuiu para uma mudança significativa nos processos convencionais de produção, passando estes às modalidades de produção digital, e que alcançando também o design e a materialidade.

A tecnologia de fabricação, onde as máquinas são controladas por computador, pode ser entendida pela sigla CNC (Controle Numérico Computadorizado), derivada do binômio CAD/CAM (BALLERINI, 2017). Nesse campo, os acontecimentos vêm, gradualmente, surpreendendo em todas as escalas, desde as nano-escalas (átomos), passando pela escala de design de produtos, chegando até

a escala da arquitetura. Nitidamente há um significativo grau de inovação, levando em consideração o domínio dos sistemas de suporte computacional empregado para explorar ideias de design (KOLAREVIC, 2005).

Nas décadas anteriores, os projetistas eram instruídos a projetar considerando a restrição de produção de formas simples, para facilitar a etapa de fabricação das mesmas (HOPKINSON et al., 2006). Os autores discorrem ainda sobre uma transição na etapa projetual: por muitos anos os processos de criação eram orientados pela lógica do "design para a manufatura". As tecnologias de FD tornaram possível a maior liberdade de projetar geometrias complexas com auxílio computacional, contribuindo para um novo processo de projeto conhecido como "manufatura para design" (CAMPBELL et al., 2003 apud HOPKINSON et al., 2006).

A Fabricação Digital (FD) surge neste contexto, possibilitando a criação de desenhos em 2D/3D por meio dos novos softwares, e uma série de ferramentas e tecnologias para a execução de projetos. E, como consequência, a FD proporciona uma aproximação do projetista com o processo de fabricação (GERSHENFELD, 2012). Nesse cenário ressurgem o paradigma do mestre construtor, no qual o projetista está totalmente envolvido desde a produção e construção de uma forma (KOLAREVIC, 2005).

É importante destacar que evolução de técnicas, na maioria das vezes, está voltada para a melhoria dos processos produtivos e, conseqüentemente, do aumento do capital, deixando de lado a melhoria das condições de trabalho e benefícios para o trabalhador. Nesse cenário, há um fortalecimento de sistemas e, em contraposição, um enfraquecimento do operário, cuja consequência é a ausência do saber, ou seja, do domínio do processo como um todo (BALLERINI, 2017).

Por sua vez, a inserção do computador no âmbito de produção industrial foi considerada uma revolução no período moderno. Esta promoveu uma evolução da linguagem computacional maquinária paralelamente com a tecnologia da informática, proporcionando a interatividade entre projetista, a codificação digital e a fabricação. No cenário da Fabricação digital, ocorre a ruptura do intervalo entre o digital e o material (BALLERINI, 2017).

Para Meredith (2008), o designer contemporâneo está aí inserido, ou seja, projeta tendo em mente a fabricação, contribuindo para o surgimento do termo *Design to production*. Considerando o atual processo de construção, a inserção do design digital e das ferramentas de fabricação, ocorre um trânsito de informações desde a concepção até a fabricação do produto.

Como dito anteriormente, o processo *file-to-factory* subtrai etapas de representações entre o projetista e produto final (BARBOSA NETO et al., 2014), sendo projeto e produção desenvolvidos com suportes de processos digitais. Para Oosterhuis (2005), o *file-to-factory* combina as etapas de projeto e da fabricação, envolvendo nesse processo a troca de informações entre softwares de modelagem tridimensional para uma máquina de fabricação digital, fases estas baseadas em princípios computacionais.

Para Oxman (2006), devido a essa evolução tecnológica, surgem novas funções para o designer contemporâneo que propiciam maior autonomia ao projetista, interagindo e moderando processos e mecanismos gerativos e performativos. Neste contexto a informação passa a ser um "novo material" para o projetista.

3.2 Tipologias de Fabricação Digital e Maquinários

As máquinas podem ser distinguidas pelo processo de fabricação, possibilitando a exploração de novas geometrias, dependendo de sua tipologia. De acordo com Kolarevic (2005), as tipologias de manufatura digital são definidas como:

- **Fabricação subtrativa:** definida pelo desbaste de volume especificado de material sólido, pelo processo de fresamento ou de eletro-química (cortadora a laser). O processo de fresamento é determinado pela quantidade de eixos, podendo realizar cortes 2D, atingindo até rebaixos do material, nos modelos 3D;
- **Fabricação aditiva:** ocorre pela adição de material de camada em camada, podendo ser chamada também de prototipagem rápida. Essa tecnologia segue o princípio de um modelo digital sólido que é dividido em camadas bidimensionais para a fabricação;
- **Fabricação Formativa:** nessa fabricação, forças mecânicas, calor ou vapor são aplicadas a um material para se obter a forma desejada, sendo por meio de modelagem ou deformação.

Essas manufaturas podem confeccionar tanto o projeto inteiro, quanto a fabricação por partes, para serem montadas em posteriormente.

Os processos de fabricação digital contam com diversas máquinas, dentre elas: CNC (Controle Numérico Computadorizado) precast concrete elements (concreto pré-moldado), 3D printing (impressora 3D), CNC laser cutting (corte a laser), CNC jetcutting (corte a jato), CNC hot wirecutting (corte a quente), CNC milling (moagem), dentre outras (HAUSCHILD; KARZEL, 2011).

Aproximando para o campo do design de objetos de pequena e média escala, as máquinas mais utilizadas são: CNC Router, CNC Milling, Cortadora a laser, e Impressora 3D. Segundo Seely (2004):

- A CNC Router é utilizada para o fresamento de formas bidimensionais em materiais como folhas de madeira, compensado e espumas.
- A CNC Milling é voltada para a criação de formas tridimensionais a partir de um bloco de material, tais como madeira, metal, plástico e espumas (figura 3).

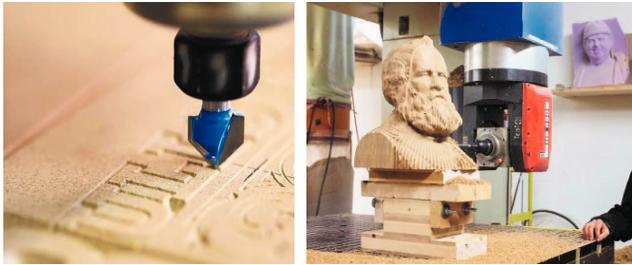


Figura 03 - CNC Router (esq.) e Milling (dir.)

Fonte: <https://www.woodworkersjournal.com/cnc-router/> <https://www.artec3d.com/cases/woodvetia-cnc-milled-wooden-statues>.

Ambas as máquinas funcionam com o processo de manufatura subtrativa e a distinção entre elas se dá pelos eixos em que a máquina se movimenta. Em relação ao maquinário que possui em sua estrutura fresas de três, quatro ou cinco eixos, este tem a capacidade para conceber projetos tridimensionais (PUPO, 2009).

Na versão de manufatura subtrativa há uma gama de materiais que podem ser utilizados; porém, a maior preocupação em relação a essa tipologia é relacionada ao alto desperdício de matéria prima, ocorrido pelo desbaste da peça durante a fabricação (BALLERINI, 2017).

- A cortadora a laser (CNC laser cutting) é considerada a mais comum entre todas as outras manufaturas, movimentando nos eixos X e Y. Seu processo se realiza através de um conjunto de espelhos contidos em sua estrutura que direcionam o feixe de laser no material utilizado; a partir da potência pré-configurada do laser e a espessura da matéria prima ocorre a queima/gravação ou até cortando o material (POTTMANN et al, 2008 apud PUPO, 2009). Essa máquina trabalha com materiais como: madeira, papel, papelão, aglomerado de madeira e plástico (SEELY, 2004);
- A Impressora 3D (3D printing), relacionada ao campo da prototipagem rápida, tem como princípio a manufatura aditiva que, por meio de um cabeçote de impressão, deposita esse material por camadas

sucessivas até que o objeto esteja completo (SEELY, 2004). Para que esse processo ocorra, o software possui uma ferramenta que é usada para a geração de divisões horizontais do projeto digital e envia essas informações computacionais para a máquina (PUPO, 2009) (figura 4).

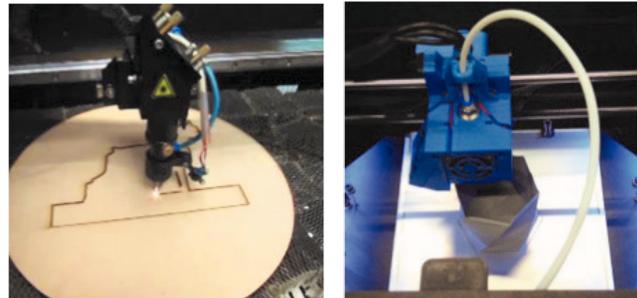


Figura 04 - CNC Laser (esq.) e Impressora 3D (dir.)

Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/65020788353032815/?lp=true/> Abrão (2019).

Esse modo de produção contempla diferentes materiais a serem depositados, dentre eles: plástico, cerâmica, moléculas, até chocolate, entre outros. A matéria prima mais habitual são os plásticos de engenharia como o ABS (Acrlonitrila butadieno estireno) e PLA (Ácido polilático) (VOLPATO, 2007 apud BALLERINI, 2017).

Como observado, a Fabricação Digital trouxe mudanças significativas no modo de projetar e produzir, possibilitando discutir questões importantes e viabilizando inovações; por outro lado, em função das facilidades de produção e do acesso às tecnologias, a FD também tem despertado preocupações, especialmente aquelas relacionadas ao meio ambiente. Vários autores (MANZINI, 1993; MANZINI e VEZZOLI, 2008; NUNES, 2013; ZURLO, NUNES, 2016, BALLERINI, 2017, e outros) têm discutido a imprescindível necessidade dos processos projetuais gerenciarem de forma eficiente o uso dos recursos naturais, respeitando os limites do planeta e seu ciclo de vida.

É importante ressaltar que, estar ciente da capacidade e limitações de fabricação e disponibilidade de maquinário, direciona os designers em suas etapas de criação a projetar visando às capacidades dos maquinários. Como resultado, ocorre uma relação intensa entre os projetistas e os processos de produção (KOLAREVIC, 2010 apud BARBOSA NETO et al., 2014).

3.3 Processos criativos e formas complexas

No modo convencional de produção, a fabricação de peças com formas complexas reflete no custo final de fabricação. Na fabricação digital, a complexidade das formas não influencia muito o custo de fabricação pelo fato de

não precisarem mais de moldes/ferramentas diversas, apenas uma máquina consegue realizar variadas tipologias de corte (HOPKINSON et al., 2006).

A metodologia DFMA (projeto para manufatura e montagem), visa à simplificação do produto com intuito de minimizar os custos de produção (SOUZA, 1998). No entanto, de acordo com os autores Hopkinson et al. (2006, p. 6):

[...] Sem a necessidade de ferramentas ou necessidades de considerar qualquer forma de DFMA, as possibilidades de design são literalmente limitadas apenas pela imaginação.

As tipologias de manufatura digital aliadas aos softwares de modelagem promovem liberdade de criação, um alto nível de complexidade de projeto. De acordo com Kolarevic (2005), o fascínio pelas formas ocorre por meio dos softwares de modelagem tridimensionais, como exemplo o software Rhino, baseados em NURBS (Non - Uniform Rational B-Splines) que possibilitam a formação de curvas variadas e superfícies paramétricas e o desenvolvimento de inúmeras formas complexas (figura 5) (PUPO, 2009). Nesses softwares de modelagem, diretrizes de projeto são codificadas, construindo um conjunto de dados (projeto) que pode ser alterado sempre que necessário a fim de se obter um melhor resultado.

Ainda sobre essa complexidade, as novas formas geométricas denominadas "*freeform geometries*" (geometrias livres) elevam a importância da prototipagem rápida e a fabricação digital nas quais, por meio dos inputs e outputs digitais (entrada e saída de informações), são capazes de gerar formas tangíveis, precisas, compostas de geometrias complexas. Ademais, proporcionam maior flexibilidade e novas possibilidades de projeto (PUPO, 2009).

Nesses softwares de modelagem, diretrizes de projeto são codificadas, construindo um conjunto de dados (projeto) que pode ser alterado sempre que necessário a fim de se obter um melhor resultado.



Figura 05 - Complexidade de Formas
Fonte: Pinterest (2019).

O conceito de mass-customization (customização em massa), por exemplo, pode ser inserido nesse contexto, uma vez que contribui para produção (controlada digitalmente) específica/personalizada para cada cliente (HAUSCHILD; KARZEL, 2011). A customização em massa, onde o projeto é modificado, é fruto dos softwares paramétricos, conhecidos também pelo termo "geometria associativa" (BARBOSA NETO et al., 2014).

Sobre os softwares de parametrização, Oosterhuis, 2005 afirma que:

[...] Cada vez que um parâmetro é alterado, o modelo se regenera para refletir o novo valor. [...] O modelo paramétrico representa a configuração de um meta design que permite um design reconfigurável.

A produção customizada proporciona ao cliente um sentimento de satisfação maior sobre o produto e, como resultado, pode colaborar para a ampliação do ciclo de vida dos produtos. Essa afirmação parte do pressuposto que, quando se tem acesso ao arquivo do produto modelado e as máquinas adequadas, tem-se a possibilidade de reproduzir o produto quantas vezes for almejado (CACCIERE, 2017).

De acordo com Blikstein (2013), a Fabricação Digital acelera o ciclo de invenção do design, transformando uma ideia em um produto, e possibilitando o redesenho em um mesmo intervalo de tempo. O autor ressalta também a importância do educador no processo de ensino ao utilizar a máquina como ferramenta de exploração de novas formas de interações humanas.

Além de facilitar os processos produtivos, a fabricação digital também possibilitou o surgimento de novos segmentos de mercado como, por exemplo, a criação dos FabLabs. Esses laboratórios são espaços físicos equipados com máquinas de fabricação digital, computadores e softwares, com objetivo de viabilizar a construção de um objeto, desde da modelagem digital até a materialização dos produtos idealizados (ORCIUOLI, 2012).

3.4 Implicações da Fabricação Digital

Como mencionado, as facilidades trazidas pelos processos de fabricação digital também foram acompanhadas de desafios relacionados, especialmente, à democratização do uso dos equipamentos e, conseqüentemente, ao volume de resíduos resultante do seu uso mais intensivo.

O termo *Rebound Effect* (ou efeito bumerangue) é bastante pertinente neste contexto pois faz referência às escolhas consideradas, a priori, positivas para o meio ambiente, mas quando implementadas, geram resultados imprevistos. De acordo com Manzini (2008), cada

avanço tecnológico que surge com a finalidade de ampliar a ecoeficiência de produtos, amplia, automaticamente, as oportunidades de consumo; por consequência, amplia também o impacto da produção e consumo do produto e, portanto, a sustentabilidade em um referido contexto.

O outro aspecto, como mencionado, decorre da crescente facilidade de acesso às manufaturas de Fabricação Digital, pela rápida disseminação e custos relativamente baixos para a aquisição tanto dos equipamentos, serviços e softwares (CACCERE, 2017). Porém, isso implica diretamente no uso responsável da tecnologia, uma vez que pessoas “leigas” têm acesso às máquinas para a fabricação de todos os tipos de objetos, especialmente a partir do surgimento das plataformas abertas de projetos modelados prontos (*open-design* ou *open-source design*) (figura 6), disponíveis gratuitamente para a produção

O termo *open-source* (código aberto) é definido como ‘manufatura distribuída’, com acesso livre aos arquivos de produtos digitais, cujos principais atores são os consumidores. Nestas plataformas compartilhadas, os arquivos podem ser configuráveis e adaptados para atender as principais necessidades do público consumidor. Esse modelo do *open-design* altera o paradigma da relação desenvolvedor-fabricante-distribuidor-consumidor, criando uma relação direta entre desenvolvedores e consumidores (AVITAL, 2011).



Figura 06 – Open Desk
Fonte: OpenDesk (2019).

Segundo Aitamurto et al. (2015), essa era de arquivos “abertos”, necessita de um entendimento único sobre as habilidades/ possibilidades do design aberto, onde a falta desse consentimento acarretará em possíveis falhas no significado do design. Importante lembrar que esse avanço tecnológico está voltado principalmente para a inovação e desenvolvimento de produtos com enfoque nos usuários, esquecendo-se das etapas iniciais do processo de projeto.

No cenário dos impactos ambientais, destacam-se as

questões de fabricação de objetos com geometrias complexas (características da fabricação digital), em máquinas de manufatura subtrativa. Por mais planejado seja o corte de peças (uso de plug-in RhinoNest), o fato dos projetos conterem variadas curvas pode resultar em um grande volume de resíduos pequenos, inviabilizando seu reaproveitamento e, consequentemente, provocando danos ambientais, tanto pelo material inutilizado quanto pelo descarte incorreto, em muitos casos. A título de esclarecimento, RhinoNest é um plug-in usado junto ao software de modelagem Rhino, que tem como função a geração do planejamento de corte (figura 7).

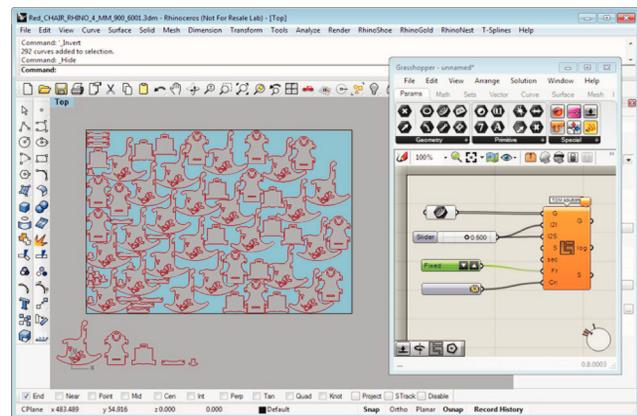


Figura 07 - Planejamento de corte com RhinoNest
Fonte: adaptado de <http://help.tdmsolutions.com/rhinonest/3.0/en/index.html?Grasshopper.html> (2018).

É possível observar que mesmo utilizando o planejamento de corte do plug-in RhinoNest, ainda há falhas no planejamento, como podemos observar na figura 8 que apresenta uma melhor organização das peças para serem cortadas, a partir de um planejamento manual, simulando a mesma quantidade e dimensões das peças apresentadas na figura 7.

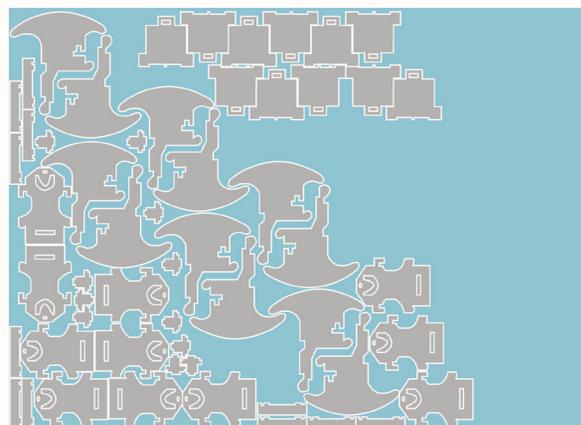


Figura 08 - Planejamento de corte manual
Fonte: Abrão (2018).

A partir do exposto é possível constatar que a complexidade das formas (figura 9) nos projetos é um dos fatores que mais contribui para a geração de resíduos no processo de produção. Importante destacar ainda que o uso das máquinas para a execução indiscriminada de testes ou mesmo de protótipos, antes da análise detalhada das soluções projetuais e da viabilidade técnica dos produtos também pode contribuir para a geração de resíduos.

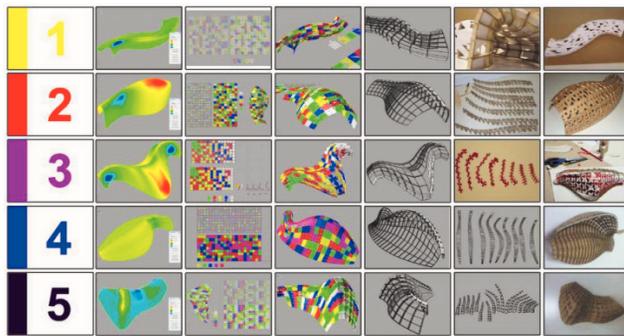


Figura 09 - Exemplo de Formas Complexas
Fonte: Pinterest (2019).

No contexto da produção distribuída, Kohtala (2014) argumenta que a fabricação de novas tipologias de produtos pode torná-los menos adequados aos sistemas de reciclagem existentes, como é o caso dos materiais plásticos (seja pela propriedade do material, seja devido às mudanças de hábito de consumo). Para a autora, mesmo que alguns produtos tenham seus materiais substituídos por outros mais adequados aos contextos, e seus impactos ambientais associados à redução da infraestrutura de varejo, ainda assim é possível que a produção, o armazenamento e a distribuição dos materiais e componentes (e seus impactos inerentes) permaneçam invisíveis ao consumidor como a atual cadeia de produção em massa.

Reforça-se, com isso, o uso consciente dessas novas máquinas, ou seja, seu uso demanda um compromisso com o 'projetar responsável', mas também com o fabricar responsável, de forma a minimizar as implicações no presente e no futuro. De acordo com Mitchel (KOLAREVIC, 2005), há uma grande distinção de comportamento dos profissionais do século XX e no século XXI, no qual o profissional tenta desenvolver suas competências até o ponto de assumir mais riscos. Para o autor, o que define um profissional é a capacidade de entrar em situações nas quais consegue lidar com os fatores de riscos envolvidos, buscando uma mudança de paradigma na atitude dos profissionais em geral (KOLAREVIC, 2005).

Apesar do conhecimento dos softwares de modelagem utilizados em seus processos de projetos, os projetistas (designers, arquitetos, engenheiros em geral) ainda não estão

preparados para solucionar questões de produção, especialmente as relacionadas aos parâmetros da Fabricação Digital (BARBOSA NETO et al., 2014). Nessa direção, Ballerini (2017) destaca a importância de uma especialização de qualidade do designer em relação a fabricação digital e de sua adequação aos recentes processos de fabricação.

As etapas de projeto estão diretamente associadas à metodologia escolhida para desenvolvê-lo. Atualmente, existem diversas metodologias disponíveis para auxiliar o designer nesse processo. A metodologia tem como ponto chave a responsabilidade de fornecer as ferramentas necessárias para o aperfeiçoamento do processo de projeto e está condicionada à complexidade do problema em questão (BURDEK, 1999 apud BARROS, 2011).

Um das técnicas consideradas relevantes no campo de design de produtos, abordada nas diversas metodologias convencionais, é a análise de soluções existentes, para contribuir a concepção de novos produtos (BARROS, 2011). A ideia de experimentação associa o design à fabricação digital, desde os primeiros estágios deve introduzir, além das teorias, as metodologias, o conhecimento e as ferramentas para estimular o pensar e o fazer, promovendo, então, não somente o domínio das ferramentas mas também a sua integração (FROGHERI, 2016).

Devido à complexidade da fabricação digital que interage com o usuário, o designer deve agir, cada vez mais, como solucionador de problemas através da criação de propostas que demandam entendimento, habilidades e domínio mais avançado em relação às novas tecnologias.

Vale ressaltar que os métodos auxiliares nos processos de desenvolvimento de projetos sustentáveis como, por exemplo, o *life cycle design* (design do ciclo de vida do produto) e o *life cycle assessment* (análise do ciclo de vida), necessitam ser revistos e reconfigurados, considerando aspectos dessas novas manufaturas digitais (DIEGE et al., 2010). Não menos importante é a necessidade do designer, durante o processo de projeto, já incluir as tipologias de manufatura disponíveis, suas potencialidades e restrições para definir suas escolhas projetuais.

4. O 'PROJETAR RESPONSÁVEL'

Segundo Vasco (2004), o termo "ético" faz referência à sociedade como um todo e não apenas ao indivíduo, sendo considerada, assim, uma atividade social com comunicação entre os indivíduos. A ética refere-se à conexão entre a realidade e a ação humana, sendo esta última associada ao conhecimento (percepção da realidade) e à ação (desejo do indivíduo sobre o entendimento, adaptação e transformação) perante a realidade.

A ética é realizada como um jogo perene de adaptação entre o que percebemos como "deve ser" e o que temos como realidade (VASCO, 2004 p.109).

Desde os primórdios da economia, o preceito da competição era baseado na "maximização dos benefícios" para a indústria, mesmo realizando ações que levariam a resultados éticos negativos (nomeados custos externos) referentes à perda de trabalho, danos ambientais e escassez de recursos naturais (VASCO, 2004).

Ao citar o filósofo Martin Buber, O autor McGrath (2002), discute sobre a visão da sociedade em relação ao meio ambiente, fundamentada na relação "eu-isto", uma associação do sujeito-objeto, guiada pelo pensamento no qual nós "experimentamos" coisas e que está relacionado, principalmente, aos artefatos desenvolvidos pelos homens. Este viés de pensamento fez com que a sociedade assumisse "uma ética de alienação, exploração e egoísmo" referentes ao consumo e produção em massa, fabricação industrial e o sistema social.

Uma economia que não garante a conservação da vida em termos ambientais [...] não pode ser chamada de humana e, portanto, ética (VASCO, 2004 p. 384).

Em consonância com esse argumento, Lourenço (2012 apud FLORES; TERRIBILE, 2015) afirma que a visão da sociedade perante o meio ambiente não pode ser exclusivamente econômica; deve ser também direcionada pela perspectiva ética. Entretanto, essa mudança requer não apenas uma nova visão, mas principalmente a busca por uma mudança comportamental, alterando o modo de pensar e agir, e configurando novos valores (CAPRA, 2006).

De acordo com Flores e Terribile (2015), essa mudança de postura só será possível a partir da adoção da "ética ocupacional sustentável" que prevê privilegiar o meio ambiente nos sistemas de produção e consumo. Vasco (2004) também reforça que a economia em equilíbrio com a ética materializam uma economia real, uma economia orientada pelos princípios éticos que responda às demandas da vida global e assegure o progresso desta, de forma sustentável.

O lugar de ética está na crítica da situação desde o início para a promoção da vida humana e para assegurar as condições que permitir o seu desenvolvimento [...] (VASCO, 2004 p. 431).

Como argumentado, a prática da ética nas relações humanas é um elemento fundamental para garantir o respeito, a harmonia e o desenvolvimento equilibrado das sociedades. No contexto das pesquisas em geral e, especificamente, daquelas relacionadas à recuperação e preservação do meio ambiente, a postura ética é igualmente

importante, não somente respondendo às normativas e regulamentos. Projetar de forma responsável, investigando soluções e programas ambientais sustentáveis, aplicados à todas as atividades e iniciativas da sociedade, em busca da "máxima definição da sustentabilidade" (HENKES, 2016) torna-se condição sine-qua-non para minimizar os impactos relacionados ao sistema de produção e consumo vigentes.

De acordo com Vasco (2004), a definição e implementação de ações na sociedade é parte de um processo ético. Neste sentido, todo processo de projeto deve se guiar por determinações éticas e, conseqüentemente, sustentáveis, para garantir a sobrevivência da sociedade em um mundo que possa ser protegido ambientalmente. O autor Bassi (2017) introduz ainda uma outra preocupação relacionada aos processos de criação, especialmente em decorrência da democratização dos FabLabs e outros laboratórios abertos. Segundo o autor (BASSI, 2017, p.106): "todo mundo é 'livre' para ter ideias ou sentir/ser criativo, mas isso não significa ser um designer". Entretanto, o processo projetual do designer não é "livre", ou seja, existem diversas restrições projetuais sobre as quais é necessário refletir durante o processo criativo, e essas restrições devem servir de guia para o designer projetar "corretamente", atingindo seu objetivo inicial e também projetar de forma ética ambientalmente (BASSI, 2017).

As estratégias de projeto devem, portanto, buscar o equilíbrio entre a liberdade criativa e o processo de fabricação, sendo guiadas pela responsabilidade e ética projetual, e associadas ao conhecimento e domínio de ferramentas. Em 1972, na ocasião da exposição *Qu'est-ce le design? (O que é Design?)*, Charles Eames quando indagado sobre as restrições do design afirma que há restrições de diversas naturezas e que tais implicam em uma ética (DESIGN Q & A, 1972). Em resposta sobre quais seriam as restrições do design, Eames responde:

A soma de todas as restrições. Aqui está uma das poucas chaves eficazes para o problema de Design: a capacidade do Designer de reconhecer o maior número possível de restrições; sua vontade e entusiasmo por trabalhar dentro dessas restrições. Restrições de preço, de tamanho, de força, de equilíbrio, de superfície, de tempo e assim por diante. Cada problema tem sua própria lista peculiar (Trecho da entrevista, tradução livre, DESIGN Q & A, 1972).

Em sua essência, o design possui a liberdade de criação; porém, essa liberdade também deve considerar as várias restrições existentes. Ao se discutir questões relacionadas às diretrizes projetuais, urge incluir as questões da ética profissional

ligada ao meio ambiente, potencializando um aprendizado social que deve se tornar, gradativamente, intrínseco a todos os indivíduos, mas principalmente aos projetistas.

Alcançar um processo de criação que avança nas questões culturais e sociais seguindo o viés sustentável, demanda do design sua desvinculação de quesitos somente estético-formais. Essa transição depende das condições técnico-econômicas da fabricação em série e de uma reflexão consciente sobre modelo inicial do ofício, que se preocupava com as questões éticas aplicadas aos processos de desenvolvimento e implementações de produtos. Estas questões baseiam-se, essencialmente, em estudos dos fatores humanos, tecnológicos, econômicos, buscando a melhoria na qualidade de vida e a preservação ambiental (CASAGRANDE JR., 2004 apud SILVA; HEEMANN, 2008).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste panorama é possível perceber a forte contribuição das novas manufaturas digitais para os avanços no campo de design – projeto e produção. No entanto, o uso indiscriminado e, por vezes, equivocado dessas máquinas, pode ocasionar sérios impactos ambientais, principalmente relacionado ao volume de resíduos gerados. Diante disso, torna-se indispensável explorar novos caminhos para potencializar o aprendizado social, enfatizando a importância da etapa conceitual do projeto em busca de soluções mais eficazes e sustentáveis.

As estratégias e diretrizes de projeto devem, portanto, buscar o equilíbrio entre a liberdade de criação e o processo de fabricação, sendo orientadas pela responsabilidade projetual, tendo em vista o impacto ampliado dos projetos, mas especialmente no que se refere ao meio ambiente. Tais diretrizes projetuais devem contemplar não somente aspectos técnico-formais dos produtos mas também coordenar informações relacionadas às características dos materiais e seus processos de fabricação, nesse contexto, as manufaturas digitais.

Vale também ressaltar a necessidade de atualização dos conteúdos curriculares e/ou projetos pedagógicos de cursos como design, arquitetura e engenharias em geral. A investigação preliminar desenvolvida no âmbito dessa pesquisa com disciplinas de projeto no curso de design de uma universidade federal, e que envolveu um grupo de 115 alunos, demonstra uma carência na abordagem de conteúdos relativos às diretrizes de projeto mais claras e, especialmente, relacionadas às tecnologias digitais de fabricação.

Tendo em vista que a atuação profissional responsável depende da qualidade e da amplitude da formação dos profissionais, durante a academia mas também

posteriormente, em especializações e outros cursos de qualificação, é desejável que conteúdos referentes às práticas projetuais sejam incluídos com a maior antecedência tornando possível a reflexão e o amadurecimento dos projetistas. Somente ações integradas e planejadas para o curto e médio prazos poderão contribuir para a formação de profissionais mais conscientes, que consigam antever os processos de fabricação e seus impactos ambientais e, a partir disso, repensar as escolhas projetuais em direção àquelas mais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela bolsa de mestrado concedida à Júlia Souza Abrão, aluna do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

REFERÊNCIAS

- AITAMURTO, Tanja; HOLLAND, Dónal; HUSSAIN, Sofia. The Open Paradigm in Design Research. *Design Issues*, [s.l.], v. 31, n. 4, p.17-29, out. 2015. MIT Press - Journals. http://dx.doi.org/10.1162/desi_a_00348.
- AVITAL, M. The Generative Bedrock of Open Design. In: B. Van Abel; R. Klaassen; L. Evers; P. Troxler (Eds.); *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive*, 2011. Amsterdam: BIS Publishers. Disponível em: <<http://opendesignnow.org/>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- BALLERINI, Flávia. *Fabricação Digital: Uma Análise Crítica – Fortalecendo A Cooperação Por Meio Da Fabricação Digital*. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 274 f. 2017.
- BARBOSA NETO, W. et al. Samba reception desk: Compromising aesthetics, fabrication and structural performance with the use of virtual and physical models in the design process. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 2, p.53-69, jul./dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.83913>
- BARROS, A. M. de. *Fabricação digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental*. 102 f. Dissertação (Mestrado em Design), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BASSI, Design contemporaneo. *Istruzioni per l'uso*, Bologna, Il Mulino, 2017, pp. 136.
- BLIKSTEIN, P. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In: J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), *FabLabs: Of*

- Machines, Makers and Inventors. Bielefeld: Transcript Publishers. 2013.
- CACCERE, João Paulo Amaral. Fabricação digital como abordagem para a produção e design distribuídos. 267 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- CAPRA, Fritjof. A TEIA DA VIDA - Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Tradução: Newton Roberval Eicheberg. Editora Cultrix: São Paulo, 2006.
- DESIGN Q & A. Interview with Charles Eames. [s. L.]: Musée Arts Decoratifs, 1972. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3xYi2rd1QCg>>. Acesso em: 02 jan. 2019.
- FLORES, N. C.; TERRIBILE, D. R. Ética ocupacional sustentável numa sociedade globalizada. Revista do Direito Público, [s.l.], v. 10, n. 2, p.89-110, 1 set. 2015. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1980-511x.2015v10n2p89>.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da Pesquisa Científica. Fortaleza. 11 maio 2002. Apostila. Universidade Estadual do Ceará.
- FROGHERI, Daniela; ESTÉVEZ, Alberto T. Entre el pensar y el hacer avanzados: Between the advanced thinking and the advanced making. In: XX CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. Anais... . Buenos Aires: ESARQ, 2016. p. 219 - 226.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p.
- GIL, Antônio Carlos, 1946- Como elaborar projetos de pesquisa/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : Atlas, 2002
- HAUSCHILD, Moritz; KARZEL, Rudiger. Digital Processes. Munich: Detail, 2011. 111 p.
- HENKES, J. A. ÉTICA AMBIENTAL E TECNOLOGIAS APLICÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Gestão Sustentável Ambiental, Florianópolis, v. 5, n. 1, p.1-4, 2016.
- HOPKINSON, N.; HAGUE, R. J. M.; DICKENS, P. M. Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, 2006.
- KOHTALA, C. Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review. Journal of Cleaner Production, v. 92. 2014.
- KOLAREVIC, Branko (Ed.). Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York: Taylor e Francis, 2005. 314 p..
- MANZINI, E. Cenários da Matéria. In CALÇADA, A.; MENDES, F.; BARATA, M. (coords.) Design em Aberto: uma antologia. Porto: Bloco Gráfico Ltda. 1993. p.139-143.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: EDUSP. 2008.
- MANZINI, Ezio. Design para a inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 103 p. Tradução de Carla Cipolla.
- McGRATH, A. The Reenchantment of Nature, Doubleday/Galilee, New York, 2002. p.124-125
- MEREDITH, Michael. From control to design: parametric/algorithmic architecture. New York: IngoprintSt, 2008. 239 p.
- MYNAYO, Maria Cecília de Souza (Org.). Pesquisa social: Teoria, método e criatividade. Petrópolis: Vozes, 2002. 80 p.
- NUNES, V. G. A. Design Pilot Project as a Boundary Object: a strategy to foster sustainable design policies for Brazilian MSEs. Milan, Italy: PhD Thesis in Design. INDACO Department, Polytechnic of Milan. 2013
- OOSTERHUIS, K. File to Factory and Real Time Behavior in ONL-Architecture. 2005. Disponível em: < http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia04_294.content.pdf> Acesso em: 20 outubro 2018.
- ORCIUOLI, Affonso. Marcenaria Digital:: design e fabricação sustentável. In: SIGRADI 2012 | FORMA (IN) FORMAÇÃO, 1., 2012, Fortaleza. Proceedings.... Fortaleza: Sigradi, 212. p. 653 - 656.
- OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. Design Studies, v. 27, n.3, p.229-265, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- PUPO, Regiane Trevisan. Inserção da PROTOTIPAGEM e FABRICAÇÃO DIGITAIS no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura. 2009. 259 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- SEELY, Jennifer Ck. DIGITAL FABRICATION IN THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS. 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2004.
- SILVA, Jucelia S. Giacomini da; HEEMANN, Ademar. Eco-Concepção: Design, Ética E Sustentabilidade Ambiental. In: I Encontro De Sustentabilidade Em Projeto Do Vale Do Itajaí, 1., 2007, Vale do Itajaí. Anais... . Vale do Itajaí: ENSUS, 2008. p. 1 - 18
- SHINGO, S. O Sistema Toyota de produção do ponto

de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOUSA, A.G. Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto. Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica, UFSC. Dissertação de Mestrado. 1998.

THIOLLENT, Michel. Metodologia da Pesquisa-Ação. São Paulo: Cortez, 1985.

VASCO, Luis Augusto Panchi. De ética económica a economía y ética: fundamentos a partir de una racionalidad ético interpretativa, con una aplicación al caso ecuatoriano. Quito: Abya-yala, 2004. 481 p.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZURLO, F.; NUNES, V. G. A. Designing Pilot Projects as Boundary Objects: A Brazilian Case Study in the Promotion of Sustainable Design. Series: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Milan: Springer. ISBN 978-3-319-23141-9. 2016

AUTORES

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1017-2792>

JÚLIA SOUZA ABRÃO | Universidade Federal de Uberlândia | Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU/UFU) | Uberlândia, MINAS GERAIS (MG) – BRASIL | Correspondência para: (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design - FAUeD | Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica | Uberlândia - MG - CEP 38400-902) | E-mail: juliaabraoufu@gmail.com

ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3357-4492>

VIVIANE GUIMARÃES ALVIM NUNES, PhD. | Universidade Federal de Uberlândia | Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU/UFU) | Uberlândia, MINAS GERAIS (MG) – BRASIL | Correspondência para: (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design - FAUeD | Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica | Uberlândia - MG - CEP 38400-902) | E-mail: viviane.nunes@ufu.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ABRÃO, Júlia Souza; NUNES, Viviane Guimarães Alvim. Design de Projetos Complexos: Implicações Ambientais no Uso das Manufaturas Subtrativas. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 5, p. 123-134, dez. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexus.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n5.123-134>.

DATA DE ENVIO: 24/11/2019

DATA DE ACEITE: 27/11/2019