

## PENSAR: PROJETAR: FABRICAR

*Regiane Trevisan Pupo*

*regiane.pupo@ufsc.br*

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

**Resumo:** A implementação de laboratórios de fabricação digital hoje, no Brasil, vem se tornando muito comum em espaços de universidades, institutos federais, órgãos diversos e escolas. Os chamados FabLab's, Espaços *Maker*, *Hacker Spaces*, ou qualquer ambiente no qual se considera a tecnologia e a experiência nela aplicada, atendem a diversos setores. O objetivo deste capítulo é mostrar os benefícios das atividades cotidianas de um laboratório de fabricação digital, com suas metodologias práticas e interações, de maneira a ter o usuário comprometido, consciente e criativo frente aos desafios. Neles, as metodologias *hands-on*, ou o aprender fazendo, e STEM - *Science, Technology, Engineering, Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática), preparam o aluno para situações de vida significativas e socialmente relevantes. A tríade pensar, projetar e fabricar se torna uma só célula, na qual o profissional, estudante ou pesquisador, se mantém comprometido de maneira absoluta, durante todo o processo projetual. A busca por soluções inovadoras e resultados competitivos no mercado tem na prática sua essência e grande aliada do processo como um todo.

**Palavras-chave:** Maker spaces, aprender fazendo, fabricação digital, STEAM.

## INTRODUÇÃO

Hoje, os avanços tecnológicos nas áreas de software, hardware e periféricos abrem oportunidades diversas com capacidades inovadoras, ousadas e empreendedoras. Os ambientes de fabricação digital, com seus equipamentos automatizados e ferramentas ditas como “tradicionais”, abrem um leque de possibilidades que vão muito além da criatividade, da imaginação. Esses espaços, por sua diversidade de conhecimento e oportunidades, agregam a colaboração entre os envolvidos, a versatilidade com que enfrentam problemas de projeto, a eficiência inerente às atividades corriqueiras e a criatividade com que resolvem os problemas pontuais de projeto. Se essas quatro atuações aqui listadas se integrarem a um ambiente prazenteiro, a egrégora está formada. Ou seja, o DNA de um laboratório de Fabricação Digital que busca a excelência se completa por ser Eficiente, Versátil, Colaborativo, Criativo e Lúdico.

Essas cinco pontas, juntas, tendem a balizar todo o processo aqui chamado de “materialização da forma”, que segue as diferentes etapas do processo projetual de qualquer proposta passível de realização com o apoio de um laboratório de Fabricação Digital. É muito importante esclarecer e salientar as reais atuações e possibilidades da materialização da forma para as diversas e diferentes fases de qualquer processo projetual, além de elucidar o panorama de possibilidades de uso destes ambientes, seja em cursos de Arquitetura, Design, Engenharias, Artes e afins, bem como em escritórios e empresas.

A capacitação que permeia todos os equipamentos e formas de uso das tecnologias envolvidas em laboratórios desta natureza se mostra excepcionalmente importante no momento da escolha dos equipamentos e na conscientização de uso nas diversas fases do processo projetual. Em outras palavras, há de se entender o que e como cada tecnologia pode fazer para que se tire o máximo proveito da ferramenta escolhida.

As pedagogias e didáticas para a solução de problemas da arte, arquitetura, design, engenharia e qualquer área que envolva a materialização da forma como parte do processo, se mostram intrínsecas, hoje, aos tipos e usos de equipamentos de ponta disponíveis. Se o profissional conhecer a real capacidade de produção com software, aplicativos e equipamentos de fabricação digital, poderá projetar tendo em vista a possibilidade de utilização de métodos de produção digital para obtenção de maquetes, modelos, componentes e artefatos.

Desta forma, a tríade PENSAR : PROJETAR : FABRICAR se transforma em uma só célula, na qual o profissional, estudante ou pesquisador, se mantém

comprometido de maneira absoluta, durante todo o processo projetual. De maneira mais clara, o profissional, de consciência desta nova sistemática de projeto, pensa projetando e projeta fabricando, interagindo de forma a ter o produto materializado e analisado permeando todas as fases. A consequência dessa troca de informação é o envolvimento dos profissionais nos processos de fabricação (KOLAREVIC, 2003), favorecendo novas oportunidades de projeto, de soluções e de fabricação, aliados a uma gama de possibilidades reais. Mitchell (1994 apud KOLAREVIC, 2003, p. 32) observa que, nos tempos sem tecnologia apropriada, “os arquitetos desenhavam o que podiam construir e construíam o que podiam desenhar”. Hoje, com a utilização das novas tecnologias, pode-se afirmar que os arquitetos modelam e constroem o que desejam.

No aprendizado de arquitetura, especialmente, essa prática é essencial. Além da importância dos equipamentos e softwares envolvidos na inserção de novas técnicas, a maneira como os futuros arquitetos são treinados para a vida profissional, que hoje prima pela tecnologia, é fundamental. A capacidade de transitar diretamente da modelagem geométrica tridimensional para sua impressão, também tridimensional, complementa a representação tradicional, como plantas e cortes.

De acordo com Klinger (2001), os novos procedimentos emergem da necessidade de direcionar o projeto direto para a produção com cortes, dobras e espessuras para a obtenção de formas físicas precisas. Além disso, as novas práticas também permitem prever novas possibilidades, pela facilidade de obtenção de protótipos em escala real ou modelos reduzidos para avaliações, raramente utilizadas nos métodos tradicionais. Essas múltiplas e novas interações são necessárias para o total envolvimento ao longo do processo de projeto e que hoje estão conduzindo a mudanças substanciais nas grades curriculares de diversos cursos superiores. São consideradas todas as complexidades, desde o início do processo de projeto até sua produção, em um momento em que a informação digital permite prever, avaliar, simular, fabricar e montar qualquer projeto.

A prática de construir maquetes e modelos físicos em escala reduzida foi quase que banida nas décadas de 1989 e 1990, devido ao avanço de softwares com alta resolução de processamento em imagens realísticas, passeios virtuais e aplicações de texturas quase reais, como mera representação. Felizmente, na primeira década do século XXI, já se voltou a discutir o novo papel da tecnologia no projeto, “devendo ser integrado às tradicionais ferramentas básicas, não como uma questão de substituição por ferramentas equivalentes, mas sim de utilização

de suas vantagens para o processamento de dados transformando-se em ferramentas mais eficazes” (DORTA, 2005).

A maneira de se obter a forma materializada por meios automatizados, hoje, pode envolver equipamentos de corte laser, impressoras 3D e máquinas de controle numérico (CNC), que se destinam à obtenção de peças físicas produzidas a partir de modelos digitais complexos. Sua utilização, quando empregada de forma coerente, permite retomar a prática de construção de modelos e protótipos desde os primeiros estágios do processo de projeto, em diversos graus de fidelidade.

Basicamente, dentre as diversas formas e técnicas de produção automatizada, a Prototipagem Rápida e a Fabricação Digital são os termos mais usados na recente literatura. Entretanto, existem dois grandes grupos assim definidos como PROTOTIPAGEM DIGITAL e FABRICAÇÃO DIGITAL, que incluem as possíveis técnicas de materialização da forma automatizada. O primeiro inclui todas as técnicas de prototipagem rápida (sobreposição de camadas com impressão 3D), corte a laser e *milling* (desbaste de material), para a produção de modelos em escalas reduzidas e protótipos em escala real. Nesse caso, dependendo do equipamento, os modelos digitais são diretamente enviados às máquinas para sua produção, sem a necessidade de software intermediários, a não ser os dos próprios fabricantes dos equipamentos. O segundo termo, a FABRICAÇÃO DIGITAL, inclui técnicas destinadas à produção de fôrmas e peças finais de edifícios e produtos (*file-to-factory, metal e tube bending*), com equipamentos CNC (*Computer Numeric Control* ou máquinas de controle numérico), assim denominadas pela necessidade de um software intermediário que gera um código (o *G-Code*) para a execução. Ambas as terminologias se referem a métodos que permitem a transição do modelo digital para o modelo físico de maneira automatizada. Considerando que o produto final pode ser uma maquete ou um elemento construtivo, ou ainda um protótipo, a maneira com que ele é produzido delimita o tema estudado.

Alguns autores generalizam todo o processo e técnicas sob o termo Fabricação Digital, facilitando as definições e popularizando a área de atuação como um grande “guarda-chuva” que abriga as diferentes tecnologias nele apoiadas. Desta forma, quando se depara com Laboratórios de Fabricação Digital, pode-se entender que o espaço agrega todas, ou a maioria, das tecnologias hoje automatizadas, não somente visando à construção de protótipos e artefatos, mas servindo como ferramenta projetual de suporte à criatividade, inovação, aperfeiçoamento e renovação.

O uso de equipamentos de fabricação digital é hoje motivado principalmente por três aplicações: (1) a produção de modelos (ou maquetes), (2) a produção de protótipos ou de elementos construtivos em escala real e (3) a possibilidade de fabricação de elementos construtivos não-*standard* e customizados. A utilização desta customização automatizada amplia os limites de soluções projetuais, satisfazendo requisitos de múltiplos objetivos e com liberdade ilimitada na procura de soluções alternativas (DUARTE, 2005). Isso permite que a criação e a produção de peças únicas ou componentes sejam diferenciadas por variações controladas digitalmente (KOLAREVIC, 2003).

Contudo, não é possível a obtenção de qualquer modelo por meio de tecnologia sem sua prévia forma digital. A importância que os softwares de modelagem têm no processo se iguala à dos equipamentos. No processo automatizado, os softwares comandam desde o desenho até sua materialização final; os softwares CAD (*Computer Aided Design*), especializados nesta categoria, hoje são enriquecidos com *plug-ins* que parametrizam, calculam, simulam e preparam para a produção. Sem a evolução de softwares, não se alcançaria o êxito dos equipamentos de fabricação digital atualmente disponíveis.

É pertinente aqui uma analogia entre a corrida desenfreada para a implementação de laboratórios de Fabricação Digital nos dias de hoje e o ocorrido em 1994, quando o MEC deliberou a Portaria 1770, na qual fixou as diretrizes curriculares e o conteúdo mínimo para cursos de Arquitetura e Urbanismo. O parágrafo 8º do artigo 4º instruiu para a implementação de instrumental de informática aplicada nas grades curriculares daqueles cursos. A preocupação com capacitação, implementação de estrutura física de laboratórios e, principalmente, a necessidade quase instantânea de inserção de didática à altura, fizeram com que todo o poderio e capacidades de software e hardware da época fossem implementados de forma brusca e abrupta. Muitas das capacidades reais de hardware e softwares não foram implementadas de forma adequada e coerente ao que se estava propondo.

No caso de laboratórios de fabricação digital, hoje, é apropriado, pertinente e recomendável que a capacitação seja apropriada em tempo para que não se cometa o mesmo erro. Mais uma vez se reitera que a capacitação e a experiência com os equipamentos, seu uso consciente e a plena incorporação do que é possível ser alcançado, só colaboram para a perfeito andamento e real aproveitamento de um laboratório de Fabricação Digital. Desta forma, é significativa e inestimável a importância que se deve dar às pessoas que participam e atuam em um laboratório de Fabricação Digital. Não se pode ter máquinas sem pessoas para

operá-las. Não se pode ter software eficazes sem pessoas para usá-los. Não se pode ter produtos materializados sem pessoas para pensá-los.

## A ROTINA DE UM LABORATÓRIO DE FABRICAÇÃO DIGITAL

O aprendizado baseado no “*hands-on*”, ou mão na massa, fornece o conhecimento na prática, no fazer, ajudando o aprendiz a adquirir conhecimento e habilidades fora da sala de aula. A aprendizagem pode ocorrer por meio do trabalho, do entretenimento ou outras experiências de vida. A aprendizagem prática desempenha um papel importante em sua pedagogia, em que práticas de ‘*design-build*’ (construção projetual) proporcionam aos alunos projetarem suas próprias ideias e construírem seus projetos com as próprias mãos, sob a supervisão de mestres construtores, instrutores, designers ou arquitetos (ABDULLAH, 2011, p. 57).

Concomitantemente, não se pode negar que o trabalho manual tem extrema importância e relevância no início da criação projetual. Qualquer projeto, quando sentido, “acalenta o entendimento de escala, proporção, detalhes, técnicas construtivas, texturas, materiais e inúmeras sensações” (PALLASMA, 2011). Mãos ajudam a “entender a mais profunda essência da matéria”, auxiliando na capacidade de imaginar, liberando-se dos limites da própria matéria, do lugar e do tempo (PALLASMA, 2013). O tato é entendido como experimentação e compreensão do espaço que se habita e aponta que toda a experiência tátil é multissensorial.

Em muitas escolas, “o regime educacional é baseado em um ponto de vista sobre qual tipo de conhecimento é importante: o *knowing that*, como oposto ao *knowing how*” (CRAWFORD, 2009, p. 161). Ou seja, o saber “o quê” contrário ao saber “como”. Crawford (2009) faz uma analogia “correspondente ao conhecimento universal versus aquele que vem da experiência pessoal”, onde as ocupações baseadas no universal (*knowing that*), dão ao conhecimento um cunho com mais prestígio, mas ao mesmo tempo são do tipo que enfrentam a competição pela maior disseminação da informação. O conhecimento prático (*knowing how*), por outro lado, sempre está atrelado à experiência de cada um em particular. Não pode ser transferido, só pode ser vivido (CRAWFORD, 2009, p. 161). Essa prática como rotina é vivenciada em um laboratório de Fabricação Digital. Suas ações, condutas, estilos, normas e padrões variam de pessoa para pessoa, de trabalho para trabalho. Entretanto, todas assinalam a prática e a experimentação como sistemática de aprendizado.

Como exemplo desta aplicação, pode-se destacar a Rede PRONTO 3D - Laboratórios de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D, uma rede de laboratórios de fabricação digital que tem como objetivo a estruturação de centros estrategicamente localizados no estado de Santa Catarina, e que atualmente conta com quatro polos de atuação, localizados nas cidades de Florianópolis, Chapecó, Lages e Criciúma. Nesses polos, são atendidos cursos de graduação e pós-graduação, bem como todas as áreas, de projetos acadêmicos ou da sociedade não acadêmica, que envolvam criação, desenvolvimento e produção de modelos, protótipos, maquetes e produtos em escala real, auxiliando as diferentes etapas do processo de projeto.

Com maior número de atendimentos nas esferas de ensino, pesquisa e extensão, o polo Florianópolis tem a gestão exercida pelo curso de Design da UFSC, e a cada semestre são recebidos em média seis bolsistas de diferentes cursos e experiências, na maioria das vezes provenientes de Design de Produto, Arquitetura e Engenharias. No âmbito do ensino, são ministradas no laboratório disciplinas de fabricação automatizada aplicada, com trabalhos e produção diretamente ligados aos equipamentos disponíveis, como ferramenta. Para a pesquisa, são desenvolvidos estudos de iniciação científica, dissertações de mestrado e teses de doutorado, cujos temas permeiam todas as possibilidades inerentes às ferramentas disponíveis no laboratório. No caso da extensão, são temas de investigação aqueles em que a sociedade, acadêmica ou não, tem suas aplicações idealizadas.

Os trabalhos desenvolvidos no laboratório de fabricação digital na esfera de projetos de extensão também se voltam à capacitação de crianças, adolescentes, adultos sem nenhuma experiência prévia na área, além de professores e educadores que veem na prática uma atividade de criação e que, seguramente, aprendem e assimilam a tecnologia como ferramenta corriqueira e parte intrínseca do projeto. É muito comum, por parte dos usuários, a satisfação clara e estampada nas atitudes após a participação em oficinas em laboratórios desta natureza. Com temas variados e pertinentes ao cotidiano, por via direta ou indireta, o aprendizado da tecnologia é assimilado e sutilmente introduzido nas mais diversas atividades.

A sistemática de trabalho dos bolsistas nos laboratórios da REDE PRONTO3D, por exemplo, é aplicada de forma colaborativa em que todos participam dos projetos conduzidos pelo laboratório. Ao início de cada semestre, as atribuições são separadas por áreas, assim denominadas de acordo com as tecnologias existentes no laboratório, sendo as Aditivas (impressão 3D), Subtrativas (corte



laser e CNC) e Formativas (*Vaccum Forming*). As tecnologias subtrativas, que envolvem corte laser e desbaste em CNC, são também subdivididas. Assim, cada estudante fica responsável pela condução, manuseio, pesquisa e interação com cada tecnologia.

Por atender a diversos cursos da universidade com projetos de pesquisa e trabalhos de fora da universidade com projetos de extensão, as atividades dos laboratórios da rede são assim setorizadas, embora todos os projetos que são aceitos para desenvolvimento são discutidos por todos os membros da equipe, em metodologia que valoriza a experiência de cada um. O polo de Chapecó, num outro exemplo, atua mais intensamente na esfera do ensino, com sete disciplinas ali ministradas, entre os cursos de Design e Arquitetura, número bastante significativo e que comprova a importância de um espaço com essa característica para o ensino.

Por se tratar de tecnologia que preza pela acuidade e, conseqüentemente, pela engenhosidade intrínseca de seus componentes e configurações, há uma infinda preocupação com a manutenção dos equipamentos. O dia a dia de um laboratório de fabricação digital inclui, inevitavelmente, uma cuidadosa investigação e dedicação ao pleno funcionamento de máquinas, armazenamento correto de suprimentos, limpeza do local, controle de gestão de projetos, climatização apropriada nos espaços, dedicação dos participantes do laboratório em detalhes de cada projeto, visando seu perfeito funcionamento.

As condições de segurança e conforto são muito importantes em laboratórios de fabricação digital, nos quais a maioria dos equipamentos pode trazer certo grau de periculosidade para seus usuários. A CNC e a Cortadora a Laser, por exemplo, são máquinas com nível de ruído elevado (97 dB(A) e 73,4 dB(A)), respectivamente. Assim, quanto aos limites sonoros, é fundamental a utilização de protetores auriculares e, para a total segurança dos usuários, óculos de proteção, luvas, avental, sapatos baixos e cabelos presos (se for o caso), durante as atividades, devem ser requeridos. Daí a relevância de se seguir os 12 mandamentos de um laboratório de fabricação digital, a saber, sete obrigatórios (uso de abafador concha, protetor auricular, luvas, máscaras, óculos protetores, avental e cabelos longos sempre presos) e cinco proibidos (saltos altos, anéis e pulseiras, roupas muito curtas, alimento e sandálias).

## A EXPERIÊNCIA REPLICADA

A experiência tem mostrado que a replicabilidade do aprendizado prático busca a excelência e traz segurança nas informações repassadas. Há de se



aprender para ensinar. O psicólogo Gary Klein, em estudos sobre tomada de decisões, alerta que “quando as dificuldades aparecem, especialistas tendem a encontrar oportunidades para improvisar soluções”. Assim, as mentes experientes podem melhorar a interação de um número extraordinariamente grande de variáveis e a detecção de um padrão coerente (CROWFORD, 2009, p. 167). “Especialistas aprendem a detectar coisas que, muitas vezes, são invisíveis à novatos” (CROWFORD, 2009, p. 167), tais como características de alguma situação típica, soluções inovadoras, detalhes específicos ou conexões entre distintas expertises.

A afinidade entre diferentes competências e habilidades, sinalizada pela experiência adquirida, pode ser exemplificada em atividades que aplicam a educação STEM como premissa. Acrônimo para *Science, Technology, Engineering, Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática) e desenvolvido pela *National Science Foundation* (NSF) no início dos anos 2000, STEM, mais que uma sigla para a identificação das quatro áreas apontadas, sustenta o incentivo à aprendizagem delas com o intuito de interdisciplinarizar conteúdos, visando sua aplicação prática. Na educação STEM os estudantes aprendem a resolver problemas reais, na tomada de decisões, estabelecendo hipóteses e propondo ideias (MARTINI e CHIARELLA, 2014).

Mesmo tendo quatro disciplinas distintas, a educação STEM trabalha as grandes áreas do conhecimento de maneira integrada, com mesmos objetivos, com foco na inovação, acompanhando os diversos desafios e competências inerentes ao século XXI. Não há dúvidas de que o conhecimento baseado em disciplina é essencial, assim como as oportunidades de aprender como aplicar este conhecimento e habilidades em situações corriqueiras da vida (BYBEE, 2013).

O termo “tecnologia” é muito mais abrangente que só computadores e muito mais que um meio de aprendizagem (BYBEE, 2013). Os programas STEM tem estimulado estudantes de todas as idades no chamado 4C’s: Criatividade, Colaboração, Comunicação e pensamento Crítico (MASLYK, 2016). Assim, a integração de conceitos não pode estar exclusivamente cunhada a cientistas e programadores. A colaboração de designers, artistas e arquitetos se faz justificada, o que fez com que o termo STEM se adaptasse para STEAM, onde Arte e Design são também representados e simbolizados pela letra “A” na nova sigla. Arte e Design podem, e devem, ter grande participação no modelo STEM à medida que identificam e apontam situações cotidianas da vida, formas do conhecimento humano, interações com ambientes intelectuais e culturais, além de ações do sujeito com o objeto.

A exemplo do que acontece na maioria dos laboratórios de fabricação digital, ou espaços *Maker*, algumas atividades são desenvolvidas para que a experiência adquirida ao longo da permanência no laboratório seja compartilhada e replicada para os pares. A permanência no laboratório por mestres, professores, técnicos e estudantes requer a sua especialização em diversas tecnologias, com trocas de experiências, quando se almeja a colaboração e troca de conhecimento.

Todo o trabalho em um ambiente de fabricação digital está sempre se reinventando, constantemente se atualizando e inevitavelmente se complementando. Os usuários iniciam os trabalhos, aprendem e aplicam a tecnologia e alçam voos mais longos. É muito importante a rotatividade de técnicos e aprendizes, de diferentes expertises, que passam pelo laboratório, contando que experiências, bagagens e interesses diversos ajudam na multidisciplinariedade do ambiente, o que é muito salutar, pela riqueza de possibilidades que podem ser alcançadas.

A pesquisa intitulada “*Ready to innovate*” (Prontos para inovar), de 2008, conduzida nos Estados Unidos, mostrou que quando empregadores solicitados a escolher entre possíveis contratações com 1) habilidades técnicas e 2) pensadores criativos, 70% dos coordenadores de escolas e 63% dos empregadores consideram a criatividade um critério de contratação principal, concordando que a segunda opção é atualmente o critério de escolha. Os empregadores estão colocando maior valor estratégico na inovação e aumentando a importância de empregar trabalhadores criativos.

A documentação do conhecimento absorvido na execução dos projetos ou processos se faz necessária, visando a complementação costumeira do banco de dados e histórico da organização. Na coletânea de documentos podem constar organogramas, procedimentos, ou simplesmente problemas e soluções do cotidiano (CLAUDINO et al., 2011), pois “... a gestão do conhecimento é um processo pelo qual a organização gera sua riqueza, a partir do seu conhecimento ou capital intelectual” (BUKOWITZ, 2002). Documentar e compartilhar a aprendizagem é importante para evitar retrabalho, aumentar a eficiência dos processos e aumentar os ganhos (CLAUDINO et al., 2011).

A contínua aplicação de técnicas de materialização da forma durante as diferentes fases do processo de projeto aliada a programas STEAM, aqui descritos como significante poder de inovação na educação, juntos, potencializam o conjunto de ações formado por PENSAR, PROJETAR e FABRICAR. O desafio de se inserir tecnologia e engenharia em programas de escolas favorece não só

resultados, mas também o entendimento de situações adversas da vida, do cotidiano, estimulando a inovação na solução de problemas.

O maior ganho que permeia a temática talvez seja o oferecimento de oportunidades de sermos criativos, colaborativos, com aprendizado desafiador e divertido. O lúdico deve estar presente no aprendizado, independente de idade, lugar, tema ou região. O que se aprende com prazer é assimilado de forma significativa conduzido pela curiosidade em alcançar o objetivo proposto. Alunos, professores, educadores e pesquisadores com experiência *Maker* desafiam o processo de aprendizagem com interações pessoais entre estudante/professor, bem como estudantes/tarefas, com desafios cognitivos, conduzidos pela curiosidade.

Em suma, cada vez mais os espaços *Maker*, por transformarem ideias em projetos concretos e reais, despertam o interesse por profissões e ações empreendedoras nas quais carreiras são impulsionadas. A capacitação consciente conecta o sucesso de ideias criativas em resultados promissores, o que mostra a experiência prática como motivadora da capacidade de compreensão e solução do problema.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, Z. **Getting Their Hands Dirty: Qualitative Study on Hands-on Learning for Architectural Students in Design-build Course.** *Journal of Design and Built Environment.* V. 8, p. 55-84, jun., 2011.

BUKOWITZ, W.; WILLIAMS, R. **Manual de gestão do conhecimento: ferramentas e técnicas que criam valor para a empresa.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

BYBEE, R. **The case for STEM Education: Challenges and opportunities.** Arlington: NSTA Press, 2013.

CLAUDINO, A.; CELANI, G.; PUPO, R. **Gestão e otimização de laboratórios de fabricação digital.** *In: XV SIGRADI - CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL,* Santa Fé, p. 237-342, 2011.

CROWFORD, M. **The case for working with your hands or why office work is bad for us and fixing things feels good.** London: Pinguin Group, 2009.

DORTA, T. **Hybrid Modeling**: Manual and digital media in the first steps of the design process. *In: eCAADe 23: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE*, 23., 2005, Lisboa, p. 819-827, 2005.

DUARTE, J. **Towards the mass customization of housing**: the grammar of Siza's houses at Malagueira. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, 347-380, 2005.

KLINGER, K. **Making Digital Architecture**: Historical, Formal, and Structural Implications of Computer Controlled Fabrication and Expressive Form. *In: eCAADe 19: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE*, 19., 2001, Helsinki, 2001.

KOLAVERIC, B. **Digital Morphogenesis, Architecture in the Digital Age**: Designing and Manufacturing. London: Spon Press, 2003.

MARTINI, S.; CHIARELLA, M.; “**Didactica Maker. Estrategias colaborativas de aprendizaje STEM en Diseño Industrial**”, p. 158-164 . *In: XXI SIGRADI - CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL*. Blucher, 2017.

MASLYK, J. **STEM Makers**: fostering creativity and innovation in the elementary classroom. Thousand Oaks: Corwin, 2016.

MITCHELL, W.; MCCULLOUGH, M. **Digital Design Media**. N. York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

PALLASMAA, Juhani. **Os olhos da pele**: a arquitetura e os sentidos. Porto Alegre: Bookman, 2011.

PALLASMAA, Juhani. **A imagem corporificada**: Imaginação e imaginário na arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2013.