

Notes for a general interpretation of the application of digital fabrication in the global south context

Rodrigo Scheeren¹, David M. Sperling²

¹ Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
rodrigosscheeren@gmail.com

² Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil
sperling@sc.usp.br

Abstract. Over time, digital fabrication technologies were assimilated, based on project references, techniques and machinery from the global north, determining dependency relationships. Recently, architecture and design schools, fab labs, and design offices in South America have expanded their infrastructure in order to create laboratories using these technologies. The objective is to present framings about production plus a framework for the application of technologies. Originated from a thesis research, the methods that support the theoretical elaboration consisted of a bibliographic and systematic review of topics related to digital fabrication, information mapping, surveys, interviews and case studies carried out in South America. The contribution of the article is to provide a background for thinking, interpreting and executing procedures and artifacts with the support of digital fabrication, oriented to the development of our context. In addition, it deepens a critical view of this condition, which involves advances in socio-technical adequacy and innovation policies.

Keywords: Digital Fabrication, Digital Theory, Design Innovation, Technological Appropriation, Hybrid Practices.

1 Introdução

Há cerca de 20 anos as tecnologias digitais para prototipagem e manufatura têm sido integradas aos sistemas técnicos no design, na arquitetura, e na construção, por meio de estratégias e princípios como o faça você mesmo, a materialização de dados, o controle do processo de manufatura, a automação de tarefas, a digitalização da cadeia produtiva, a otimização de resultados, a inovação de produtos, entre outros (Yuan et al., 2018). A conformação de tal cenário decorre de discursos e da condição tecnológica oferecida, configurando situações hegemônicas, mas também alternativas, determinando relações e regimes simbólicos, éticos e estéticos, influenciando a organização social e do trabalho (Feenberg, 2001). Assim,

teorias, códigos e significados de uso das tecnologias, além de exemplos de sua aplicação em projetos, figuram no escopo epistemológico e do sistema de práticas que se reconhece como a fabricação digital (FD). Em consequência, delimita-se um arcabouço conceitual e imaginário de propostas projetuais que influenciam modos de fazer. Logo, toda e qualquer forma aplicada de conhecimento e técnica vinculada às máquinas de fabricação digital carregam em si mesmas a concretização histórica de uma racionalidade que direciona decisões, por vezes circunscritas, por vezes expandidas.

Com a influência da globalização desigual, as tecnologias de fabricação digital foram assimiladas, ao longo do tempo, a partir de matrizes do norte global na universalização de epistemologias particulares (Hui, 2020, p. 23), determinando relações de dependência e limitações produtivas no sul global. O insuficiente desenvolvimento em geral, ou subdesenvolvimento, foi encarado por muitos como resultado de um atraso histórico ou uma mera defasagem temporal, e não como resultado da própria estrutura e ordem (ou desordem) econômica mundial (Bonsiepe, 2012, p. 65). Não somente a base econômica, mas também a base epistêmica vinculada à aplicação da FD, têm suas ideologias e valores advindos dessas matrizes. Essas relações tendem a acontecer devido ao precedente temporal da existência de ferramentas e maquinário, e de projetos originários que servem como orientação para o desdobramento de outros projetos. Em período recente, escolas de arquitetura e de design da América do Sul adquiriram equipamentos, expandiram a infraestrutura e contrataram profissionais a fim de criarem laboratórios utilizando essas tecnologias, além do surgimento de fab labs e a incorporação de estratégias similares em escritórios e fornecedores de serviços. Nesse cenário, foram desenvolvidas propostas que, em conjunto com análises críticas, aprimoraram a experiência local.

Este artigo objetiva apresentar enquadramentos teóricos a partir de dados e informações relevantes da cultura material, do contexto tecnológico sul-americano e seus determinantes socioculturais, frente às crescentes demandas pela digitalização, transformação do aprendizado e das cadeias de produção baseadas na absorção das tecnologias habilitadoras da “indústria 4.0”. Além disso, indica uma estrutura de trabalho com diretrizes situadas de implementação de estratégias para a composição de projetos e práticas com o uso das tecnologias de FD, a partir de condições e produções emergentes do contexto sul global, indicando contribuições para o desenvolvimento de processos locais. A elaboração desses elementos surge de pesquisa prévia (Scheeren, 2021), fundamentada na revisão bibliográfica e sistemática de temas vinculados à fabricação digital, mapeamento de informações, entrevistas, visitas técnicas e estudos de caso, realizados na América do Sul e na Europa.

Partimos da premissa de que o uso de tecnologias digitais, técnicas e produtos concebidos ser configurados de maneira distinta às suas predeterminações ou utilizações mais usuais conformadas no campo da prática, promovendo aberturas disciplinares, despertando caminhos alternativos e tensionando uma reflexão acerca dos seus resultados. Os procedimentos e interesses, nesse sentido, tendem a se deslocar do abstrato ao concreto: da geração de geometrias complexas aos elementos construtivos adaptados a problemáticas bem definidas, promovendo o aperfeiçoamento técnico e estratégias em escala de modo experimental, direcionados ao desenvolvimento social local. Essa mudança de horizonte denota a reflexão e realização criativa inevitavelmente ligados às cosmologias, éticas e sistemas de conhecimento locais (Tlostanova, 2017).

2 Indicadores para a elaboração de uma estrutura de trabalho e configuração de projetos

Ao longo da investigação, percebemos a capilarização das mais diversas formas de apropriação tecnológica e variedade de propostas desenvolvidas, recentemente, na América do Sul (Sperling et al., 2020; Scheeren et al., 2019). Contudo, um panorama inicial obtido por meio de uma revisão sistematizada de artigos sobre o tema da fabricação digital (Scheeren, 2021) – com as palavras-chave digital fabrication, digital manufacturing, fabricação digital, fabricación digital, rapid prototyping, CAD/CAM, robot* e 3d print* –, publicados por autores sul-americanos entre o período de 2000 a 2018 no SiGraDi, disponíveis no repositório Cumincad, mostrou algumas peculiaridades. Disso, emergiram algumas categorias de aplicação da FD, como análise teórica, educação, efeito cultural, processo construtivo, desenvolvimento técnico, método de design digital, objeto de design, modelo arquitetônico, projeto em escala arquitetônica, instalação artística, e outros. Dos 191 artigos avaliados (Scheeren, 2021, p. 121-2), diagnosticamos que grande parte dos trabalhos se enquadram nas categorias de análise teórica (41), design de objeto (67), e modelo arquitetônico (35), principalmente baseados em atividades educacionais em que poucos envolvem certo tipo de desenvolvimento técnico. Isso reforça a questão de que as experimentações acontecem com demandas de pequena escala e com experiências curtas (Felipe & Nome, 2020).

As diversas entrevistas, visitas técnicas e estudos de caso realizados no contexto da América do Sul, ampliaram a compreensão do cenário inicialmente analisado. A partir dessa percepção extensiva, obtivemos um conjunto de elementos que nos permite sugerir desdobramentos e avanços em nossa condição, no intuito de intensificar os vínculos, processos de produção e ampliar a escala dos produtos. De um modo geral, os elementos

indicadores levam em conta: a) políticas: proposições teórico-ideológicas e encaminhamentos do projeto, relações institucionais e ecossistemas, público-alvo e participação, diretrizes sócio-técnicas e transferência de conhecimento; b) fluxos: atores e procedimentos, saberes e técnicas, projetos e planejamento, meios e recursos; c) tecnologias: dispositivos e ferramentas, diversidade e complexidade da aplicação, potencialidades e limitações de uso, abertura e capacidade de intervenção, acessibilidade e integração; d) experiências: conhecimento aplicado e práticas, impacto e divulgação dos resultados, formação profissional e de interdisciplinaridade.



Figura 1. Esquema representando os elementos indicadores em um quadro que apresenta as relações de abertura, formalização e determinação em nosso contexto de aplicação das tecnologias de FD. Fonte: Autores, 2022.

Os elementos indicadores permitem constituir um primeiro enquadramento, em um processo de atribuir sentido à produção e organizar conhecimentos que, para mobilizar experimentos, deve ser traduzido em modelos, que formalizam variáveis e princípios para estabelecer lógicas de desenvolvimento efetivo (Fressoli et al., 2014, p. 280). Com isso em mente, indicamos diretrizes que possam embasar processos de projeto utilizando tecnologias de FD como suporte parcial ou total, esquematizadas na figura 2. A aplicação dessas tecnologias não acontece de maneira isolada, mas envolve o uso criativo de estratégias de design computacional, simulação, modelagem da informação, técnicas CAD e CAM, abordagens híbridas com preparação manual, etc. Logo, o aprendizado dessas habilidades permite um maior domínio na exploração e desenvolvimento das propostas de cada projeto.

Para o desenho de uma estrutura de trabalho, adaptamos algumas diretrizes do modelo “nível de maturidade tecnológica” (Straub, 2015), sua compreensão das etapas e atores envolvidos no desenvolvimento do projeto. Elas envolvem elementos de pesquisa básica, iniciando pela proposição de princípios básicos e conceitos para a aplicação, passando pelo

desenvolvimento experimental que envolve aplicação, validação e demonstração, por meio de prova de conceito, verificação funcional em laboratório, verificação funcional crítica em ambiente relevante e demonstração do modelo em protótipo acabado. Todas essas etapas têm o potencial de incorporar as tecnologias de FD, além da participação do público não-especialista, para aperfeiçoamento e análise dos elementos criados, concretizando uma racionalidade informal. Na sequência das etapas, avança-se para a manufatura em nível industrial e em larga escala, em que há a demonstração do protótipo em ambiente operacional e o seu desdobramento em um sistema real, assim, apto a avaliações qualitativas e ser disponibilizado para a produção.

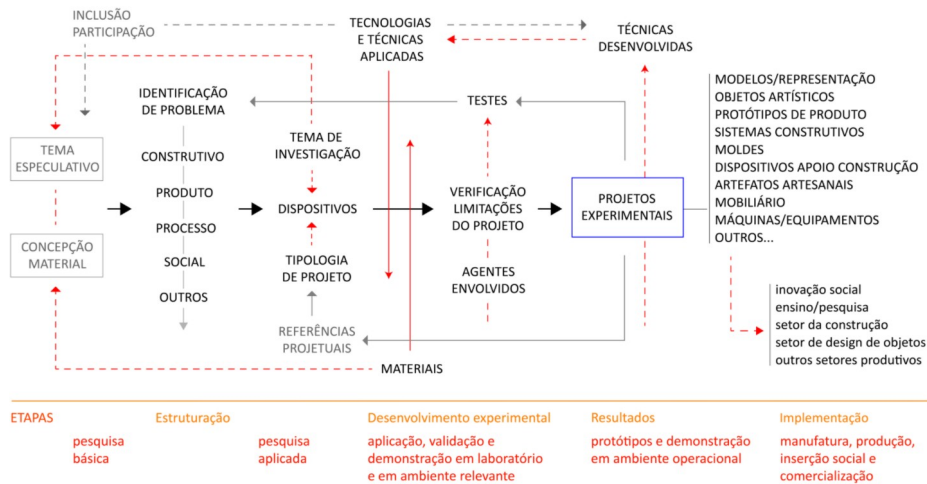


Figura 2. Esquema proposto da estrutura de trabalho com as tecnologias de FD.
Fonte: Autores, 2022.

No momento da estruturação da prática, inicia-se a investigação em que se evita determinar previamente o objeto em si, acontecendo de modo aberto e experimental, com a escolha de um tema especulativo abstrato – derivando de conceitos, geometrias ou algum tipo de elemento pré-configurado – ou de materiais – trabalhando as suas propriedades e combinações. Também, pode-se iniciar diretamente pela identificação de alguma problemática que se pretenda solucionar, oriunda de questões que emergem dos setores de produção, da adequação ou melhoria de processos estabelecidos em distintas cadeias, das necessidades de grupos ou indivíduos em situação de vulnerabilidade, dentre outros. A esse primeiro momento, é válido adequar temas de investigação que atribuam uma forma ao problema, especular sobre dispositivos que se pretenda adaptar ou criar, das predisposições de grupos e

sua inclusão no processo, ou utilizar tipologias de projeto como base para guiar estudos, todos podendo se servir de referências já produzidas.

A seguir, são elegidas tecnologias, técnicas e materiais capazes de serem adequados ao desenvolvimento da proposta, variando a partir do reconhecimento das opções ao alcance do laboratório, que podem ser assimilados ou desenvolvidos de acordo com as necessidades que surgirem. Após a verificação das limitações acerca do que foi proposto até então, há a opção de integrar agentes para colaborarem na sua continuidade – que podem, também, estar inseridos em etapas anteriores –, sendo especialistas ou não-especialistas e, assim, realizar protótipos e testes necessários. Logo, são alcançados resultados em fase experimental, dos quais é possível também extrair aprendizados técnicos que podem ser refinados e aplicados em outros artefatos. Cada um deles liga-se a determinadas operações: modelos arquitetônicos e de representação, protótipos especulativos, objetos de escala média, instalações artístico-conceituais, moldes para construção, componentes construtivos, objetos de demonstração e sistemas de construção em escala real, entre outros. Estes resultados passam por análise de suas restrições e adequação às especificações localmente determinadas, demonstração de suas características e efetivação como um produto final. Finalizado, é um elemento de avaliação, utilizado como referência para ajustes e novos projetos, além de poder ser produzido industrialmente e em ambiente controlado.

Nesse sentido, podem ser concebidos dispositivos utilitários para a sociedade, elementos leves para estruturas e fechamentos, novas técnicas para a construção, customização de objetos de design e mobiliário, moldes para elementos complexos, infraestrutura adaptável para o canteiro, máquinas com propostas originais de funcionamento, entre outras opções. Muito além de finalizar nessa etapa, é crucial compreender que a obtenção de um resultado não é apenas um fim em si mesmo, mas relevante numa cadeia de desenvolvimentos técnicos cumulativos e continuados, estruturados em um processo de investigação que se desenrola a longo prazo. Desse modo, são alicerçados conhecimentos e implicações mais robustas no meio, que podem ser difundidas de maneira dinâmica nos setores da sociedade e nas cadeias de produção. O estabelecimento de redes de colaboração auxilia nessa tarefa, que podem surgir pelo reconhecimento dos pares em busca de interesses similares e potenciais contribuições em construções coletivas, além de colaborações diretas das universidades, comunidades e instituições de C&T com setores industriais identificados nas proximidades da região, como moveleira, metalmecânico, de transformação, entre outros.

Os resultados dependerão da motivação dos atores, da infraestrutura e dos espaços físicos, das estratégias de trabalho, das relações entre

laboratórios acadêmicos, laboratórios independentes, escritórios profissionais e outras configurações, que colaborem com instituições, sociedade civil, indústria e serviços, instituindo práticas situadas e observando necessidades emergentes. Na medida do possível, que os projetos e processos sejam mantidos na modalidade de código aberto em repositórios, e divulgados para tornar a informação pública, motivando não-profissionais a aprender e intervir (Feenberg, 2001, p. 120) e, assim, que o conhecimento seja estruturado e desdobrado em outros contextos, gerando variações e certa inteligência coletiva de projeto.

A aplicação de fato das estratégias indicadas acima não pode se resumir aos meros objetos resultantes ou à automação de certas tarefas, mas promover uma abertura no escopo de decisão que privilegie a participação ativa dos agentes na construção do conhecimento. Desse modo, o dispositivo tecnológico é apropriado e adaptado aos interesses políticos de grupos sociais relevantes e, em vez de replicarmos saberes e técnicas, o conhecimento e a tecnologia existentes são ajustados às particularidades dos problemas de cada contexto (Dagnino, 2009). Essa visão construtivista promove a abertura das tecnologias, que necessitam ser utilizadas de maneira transformadora e na construção de arranjos socioeconômicos alternativos (Fressoli et al., 2014). Assim, as estratégias de projeto são moldadas na forma de pesquisas, pois os problemas tendem a crescer em complexidade, e a finalidade é a de produzir um conhecimento explícito, discutível, transferível e acumulável (Manzini, 2015, p. 38-39). A principal motivação nessa tarefa é a de melhorar propriamente o bem-estar humano, sem contá-lo como uma consequência secundária, determinando o que se entende por inovação social.

Quando indicamos a importância de procedimentos a longo prazo, remetemos a proposta de políticas “orientadas para missões”, compreendendo que, não restritos a objetivos específicos, eles estejam direcionados a idealizar situações que promovam uma mudança ampla de um paradigma corrente, já que visam abordar desafios que requerem compromisso de futuro, sendo tanto sociais quanto tecnológicos (Mazzucato, 2018, p. 804). Essa perspectiva pode ser compreendida como uma proposta guarda-chuva de ambição relevante, da qual projetos serão desenvolvidos, formando uma base de conhecimentos que permita alcançar objetivos superiores. Os pontos-chave de uma proposta orientada a missões envolvem a escolha de projetos estratégicos que devem ser bem definidos, resultando no investimento em setores diversos e envolvendo diferentes tipos de atores, criando “uma agenda pública de longo prazo para políticas de inovação, atendendo a uma demanda ou necessidade da sociedade e aproveitando o alto potencial do sistema de ciência e tecnologia do país para desenvolver inovações” (Mazzucato, 2018, p. 805).

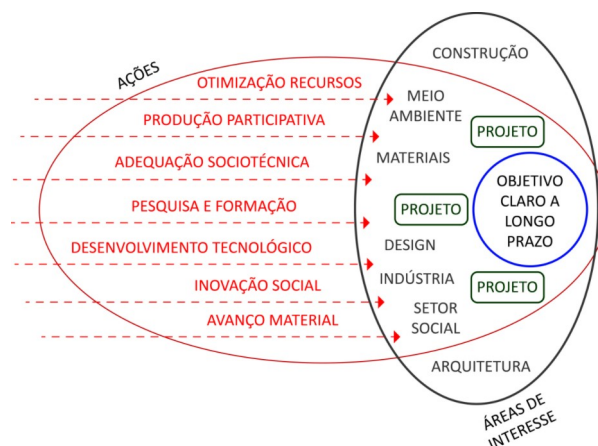


Figura 3. Esquema de um enquadramento relativo a uma proposta orientada à missão em nosso contexto de aplicação das tecnologias de FD, capaz de gerar um ecossistema de inovação. Fonte: Autores, 2022.

Essa não é uma tarefa trivial quando lidamos com os desafios e obstáculos de implementação dessas matrizes no setor da construção, já que este envolve empreendimentos complexos, por serem baseados no local e na grande quantidade de processos e participantes inter-relacionados, devido às incertezas em relação a falta de especificações dos processos, a cadeia de fornecimento fragmentada e constituída por pequenas e médias empresas, ao pensamento de curto prazo, e a cultura resistente a mudanças (Oesterreich & Teuteberg, 2016). Assim, trabalhar com outras escalas e setores de produção contribui para que o potencial dos processos de inovação resultantes possam ser aplicados com menos limitações e resultar em amplos ganhos para a comunidade em geral, integrando profissionais e dinâmicas de projetos em diversas áreas e atividades.

3 Discussão

As diferentes conformações dos laboratórios que utilizam tecnologias de FD podem tornar-se espaços privilegiados para o desenvolvimento de projetos robustos para a comunidade, a indústria e outros setores produtivos, que exijam interação, colaboração e prototipagem. Um dos maiores desafios desses espaços de fazer, que foram identificados na pesquisa, é manter um modelo economicamente sustentável de funcionamento, sem tornar-se um mero fornecedor de serviços. A questão relevante a ser abordada sempre será a proposição de projetos que abarquem o maior número de estratégias e ações significativas e que sejam centralizadores de processos experimentais,

geração de saberes e de técnicas produtivas, ao mesmo tempo que descentralizadores ao efetivar parcerias que ampliem o escopo através dos diversos tópicos trazidos por diferentes atores e a consolidação de uma abordagem interdisciplinar. Conjuntamente, as atividades de ensino, aprendizagem e de investigação necessitam de uma mudança radical, em que a dedicação às práticas aconteça de maneira mais intensiva e extensiva.

Diante de um cenário de escassez comumente encontrado na América do Sul, o uso das tecnologias de FD surge com potencial enorme para o contexto, porque são capazes de contribuir na solução de problemas da ordem material e ampliar a variedade de soluções nas áreas de design, arquitetura e construção. No decorrer das práticas, tornamo-nos capazes de refletir sobre os encaminhamentos, questionar as tarefas assumidas nos projetos e para quem servem as tecnologias, priorizando atividades que ampliem o impacto social. Assim, evita-se recair em meras especulações formais e materiais que mantenham lacunas em relação às demandas imediatas de aplicação tecnológica, focando em incertas realizações futuras ou práticas voltadas a geração de objetos para consumo.

Alguns caminhos da aplicação da estrutura de trabalho no cenário local podem ser ilustradas por alguns temas e exemplos já identificados no mapeamento da pesquisa. A conformação de elementos de representação pode ser expandido das tradicionais maquetes para artefatos instrucionais, articulando-se modos de facilitar o aprendizado e amplificar as práticas pedagógicas com modelos tridimensionais de sistemas construtivos e de peças das edificações, contribuindo para a visualização da linguagem compositiva, a apreensão da relação entre técnicas, materialidade e historiografia. A concepção de sistemas e elementos construtivos em escala real é potencializado por desdobramentos técnicos, novas propostas de construtibilidade e racionalização, em que não se materializam apenas formas complexas de maneira facilitada, mas são desenvolvidos experimentos que geram avanços em estratégias de criação e execução, originando novas técnicas e produtos de baixo custo, como peças moduladas em composições complexas, sistemas leves de encaixe e de pré-fabricados. Além disso, há a produção de dispositivos de apoio para o canteiro, criação e a aplicação de maquinário específico e flexível para a realização das tarefas, como tecnologias customizadas e robóticas.

A reflexão acerca das estratégias de design, considerando sua dinâmica distribuída, permite gerar artefatos de pequena e média escala que possam influenciar mudanças nos modos operacionais de setores e impactar cadeias produtivas, além de resultados conceituais e artísticos. Essa ideia se manifesta por meio da noção de “porosidades tecnológicas”, em que consideram-se as limitações dos dispositivos tecnológicos digitais como um potencial criativo a ser explorado, assim como a incorporação de

conhecimentos e elementos cotidianos que adentram campos já constituídos, a fim de conduzir processos especulativos, na confluência entre alta e baixa tecnologia. O seu papel está em ampliar o escopo de aplicação das estratégias digitais, inseridas em distintas áreas disciplinares, questionando o modelo produtivo convencional, ao mesmo tempo que considera o processo e seu resultado como geradores de impacto social, reduzindo a intermediação e aproximando criadores e usuários. A concepção de “produção situada” engloba essa situação, indicando a capacidade de integrar a racionalidade de uso do sistema ao meio, promovendo a abertura e adequação das tecnologias de maneira concreta aos valores e técnicas resistentes às hegemônias, considerando demandas e mediações éticas, estéticas e sociais, e reconhecendo os códigos de utilidade e eficácia constituindo sentido a longo prazo.

Ademais, a contribuição já instalada do artesanato é fortalecida pelas tecnologias de FD, quando não se busca gerar elementos exóticos ou para mero consumo, mas desvelar técnicas esquecidas ou pouco valorizadas, integrando saberes de profissionais e artesãos como colaboradores na criação de artefatos. Essa disposição define certa “diversidade tecnopoética”, que vincula múltiplas ontologias, culturas e interpretações tecnológicas, fomentando a realização de experimentos que alteram o funcionamento corrente das máquinas e seus materiais, explorando o hackeamento, a instabilidade e incerteza dos resultados, que reverberam diferentes intencionalidades, conhecimentos e imaginários coletivos. Soma-se a isso a noção de “modelos híbridos”, que convergem iniciativas, enquadramentos e propostas oriundos tanto de modo emergente quanto institucionalizado. Tal dinâmica motiva uma sinergia entre atores através da amálgama de distintos panoramas culturais, expandindo as possibilidades de projeto, além da rearticulação com antigos e novos instrumentos, processos e produtos, denotando fatores de identidade e identificação com os usuários.

A fim de estender a capacidade técnica e tecnológica da fabricação digital, um aporte importante envolve o desenvolvimento de novos materiais e biofabricação, com potencial de nos apropriarmos da notável diversidade natural existente em nosso continente. Além disso, a reutilização e reciclagem de materiais, principalmente devido à quantidade de resíduos gerados em contextos de escassez, permite a inovação por meio da economia circular. Esse tema considera que outras cadeias de produção são criadas em paralelo, envolvendo atores distintos e não especialistas, incluindo a sustentabilidade das ações. Com o intuito de expandir as tecnologias ofertadas e das quais nos apropriamos, com seu efeito centralizador e de sistemas fechados, propostas de remodelagem de máquinas e adaptação às necessidades correntes de manufatura e do canteiro é cada vez mais essencial. Por meio desses procedimentos práticos, há um reconhecimento das possibilidades e limitações das tecnologias,

capacidade de ajustes de funcionamento ao que se pretende empregar, além da acessibilidade e adequação dos sistemas com o propósito de diminuir custos.

4 Considerações

Compreendendo que se trata de uma cadeia complexa de processos, a expansão da dimensão teórica a respeito das tecnologias de FD permite qualificar um panorama que indique estratégias e atividades práticas a partir de conceitos e enquadramentos específicos, resultando em novas experiências situadas de trabalho. Assim, configuram uma práxis alternativa com seus graus de abertura, que desnaturalize os pressupostos de racionalidade formal, objetividade e eficácia das práticas dominantes, incorporados pelo sentido de opacidade e fetichismo tecnológico. De maneira geral, sintetizamos estratégias emergentes a partir de situações locais, complementadas por temas de trabalho dos quais podem ser abstraídas táticas com potencial absorção em práticas.

Muitos dos casos pesquisados ainda limitam-se a uma visão de soluções particulares e imediatas, ao contrário de focar esforços em propostas de impacto fundamentais, amplas e duradouras para que os benefícios possam estar voltados para mudanças na sociedade. Inevitavelmente, são procedimentos experimentais que envolvem tentativas, erros e acertos. Reconhece-se a dificuldade de integrar efetivamente o público na apropriação da fabricação digital e realizar mudanças sistêmicas. Além disso, dá-se atenção demasiada às aplicações e pouca reflexão crítica sobre os sentidos de uso da tecnologia: o “porque” que não é apenas explicação dos resultados, mas deve englobar os processos e direcionamentos. Futuramente, com base no plano de trabalho proposto, podem ser desenvolvidas métricas para análise e maturidade dos modelos subsidiárias da estrutura de trabalho. Além disso, cabe pensar em modelos localmente plausíveis para a geração de cadeias de digitalização e ecossistemas de construção 4.0.

Agradecimentos. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2017/04946-7.

Referências

- Bonsiepe, G. (2012). *Design como prática de projeto*. Edgard Blücher.
- Dagnino, R. (Org.). (2009). *Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade*. IG/UNICAMP.
- Feenberg, A. (1999). *Questioning Technology*. Routledge.

- Felipe, B. L., & Nome, C. (2020). Digital Fabrication Techniques: A systematic literature review. In *Proceedings of the XXIV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, (pp. 9–16). Editora Edgard Blucher. <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-2>
- Fressoli, M., Arond, E., Abrol, D., Smith, A., Ely, A. & Dias, R. (2014) When grassroots innovation movements encounter mainstream institutions: implications for models of inclusive innovation. *Innovation and Development*, 4(2), 277-292. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2014.921354>
- Hui, Y. (2020). *Tecnodiversidade*. Ubu Editora.
- Manzini, E. (2015). *Design when everybody designs: an introduction to design for social innovation*. MIT Press.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803–815. <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Scheeren, R. (2021) *Digital fabrication in South America: laboratories, strategies, processes and artifacts for design, architecture and construction*. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo), São Carlos, 2021.
- Scheeren, R., Herrera, P. C., Sperling, D. (2019). Evolving stages of digital fabrication in Latin America Outlines of a research and extension project. In *Proceedings of 37 eCAADe and XXIII SIGraDi Joint Conference*, (pp. 797-808). Editora Edgard Blucher, 2019. https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_519
- Sperling, D. M., Herrera, P. C., & Scheeren, R. (2020) Fabricating (Other) Computations: Digital Fabrication and Technological Appropriation in Latin America. *Dearq*, 27, 76-87. <https://doi.org/10.18389/dearq27.2020.06>
- Straub, J. (2015). In search of technology readiness level (TRL) 10. *Aerospace Science and Technology*, 46, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.07.007>
- Tlostanova, M. (2017). On decolonizing design. *Design Philosophy Papers*, 15(1), 51–61. <https://doi.org/10.1080/14487136.2017.1301017>
- Yuan, P. F., Menges, A., & Leach, N. (Eds.). (2018). *Digital Fabrication*. Tongji University Press.