

Design computacional: escopo e alcance de uma área em formação

Computational design: scope and reach of an area in formation

Érico Franco Mineiro
Fernando José da Silva

Resumo: O objetivo deste artigo é delinear o escopo e discutir o alcance do design computacional enquanto área em formação no campo do design. A fim de cumprir este objetivo, parte-se de uma contextualização dos principais fatores relacionados à área, em especial, da difusão tecnológica das primeiras décadas deste séc. XXI. Quatro áreas tecnológicas são identificadas a partir desta contextualização: (1) o design paramétrico e generativo, (2) a fabricação digital, (3) os artefatos computacionais e (4) a realidade virtual, aumentada e mista. O *lôcus* particular do caráter computacional é evidenciado em cada uma destas áreas e a partir delas se propõe o delineamento do escopo do design computacional enquanto área em formação. Delineado este escopo, propõe-se o entendimento de que o Design Computacional é todo design que assume o caráter computacional como objeto de projeto particularizado, inerente ao conceito e à concepção de projeto e determinante sobre o artefato concebido. Segue um relato de experiências de inserção acadêmica do design computacional. Por fim, formas de inserção de tecnologias computacionais no design, a potência e o alcance da área em formação são discutidos.

Palavras-chaves: design computacional; design paramétrico; artefatos computacionais; fabricação digital; realidade virtual.

Abstract: The aim of this article is to outline the scope and discuss the reach of computational design as an area in formation in the field of design. In order to fulfill this objective, it starts with a contextualization of the main factors related to the area, in particular the technological diffusion of the first decades of this XXI century. Four technological areas are identified from this contextualization: (1) parametric and generative design, (2) digital fabrication, (3) computational artifacts and (4) virtual, augmented and mixed reality. The particular locus of the computational character is evidenced in each of these areas and from them it is proposed to delineate the scope of computational design as an area in formation. Outlining this scope, it is proposed the understanding that Computational Design is all design that assumes the computational character as a particularized project object, inherent to the concept and conception of the project and determinant of the conceived artifact. Follows an account of experiences in the academic insertion of computational design. Finally, ways of inserting computational technologies in design, the power and reach of the area in formation are discussed.

Keywords: computational design; parametric design; computational artifacts; digital fabrication; virtual reality.

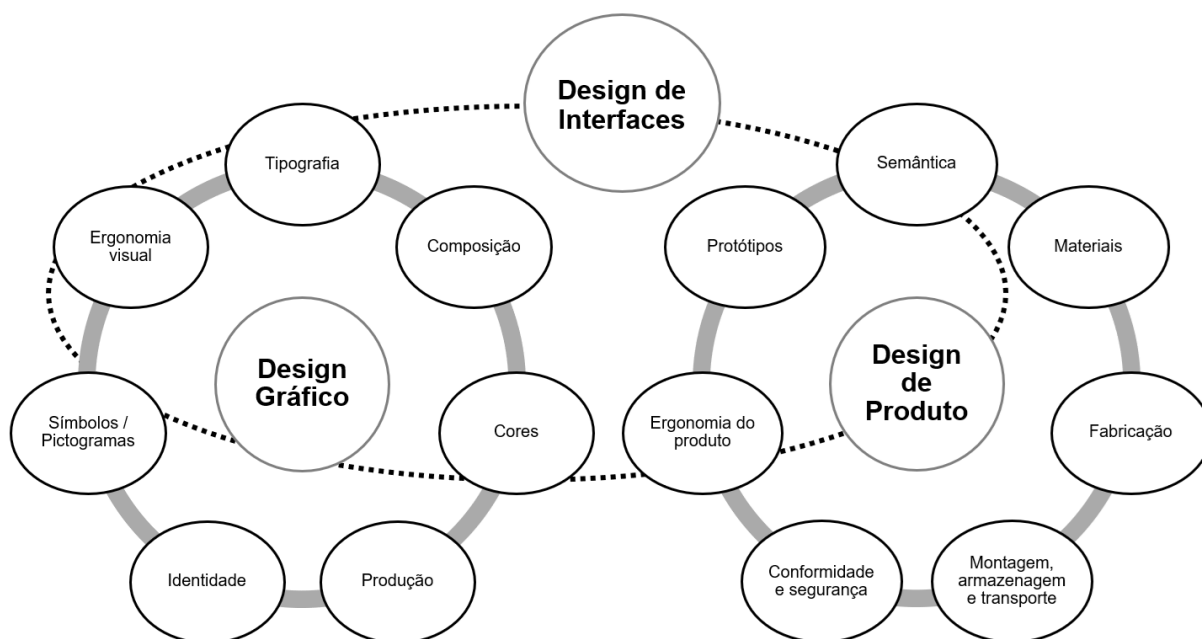
Do design ao design computacional

Duas das subdisciplinas do campo do design mais proeminentes se desenvolveram como áreas de pesquisa, de ensino e da prática profissional tendo como objetos de análise e de projeto, os produtos estáticos, mecânicos, elétricos e eletrônicos – o design de produtos – e a produção visual estática e dinâmica – o design gráfico. Até meados da década de 1990 design de produto e design gráfico se encontravam nos projetos integrados de embalagens (gráfico e estrutural), de sinalização, expositivos, e em manifestações de design de grandes organizações e grandes eventos.

A popularização e o desenvolvimento dos computadores em seus variados formatos propiciaram o acesso aos programas de computador que foram facilmente absorvidos pelas subdisciplinas do design enquanto ferramentas digitais de apoio aos projetos, mas mais do que isso, provocaram o surgimento do design de interação como nova área de interesse para o design, o que implicou no resgate, na reformulação e em novas articulações entre conhecimentos que até então haviam sido desenvolvidos - e encontravam suas aplicações - confinados nas áreas subdisciplinares do design gráfico e de produtos.

Se os conhecimentos sobre composições, *grids*, cores e tipografia eram evidentemente necessários para o design das interfaces digitais, o que se sabia sobre interações físicas e cognitivas, controles, mostradores e sistemas ergonômicos, na mesma medida, precisava ser acessado, reorganizado e aplicado. Os sistemas homem-máquina passaram a ser entendidos como sistemas humano-computador, o pixel e outros novos aspectos técnicos foram assimilados e as fronteiras subdisciplinares do design começaram a esmaecer com a chegada do design de interação (Figura 1). Desde então muitos nomes e estrangeirismos diferentes foram atribuídos às práticas deste design, muitas vezes mascarando repetições e, poucas vezes, trazendo novidades substanciais.

Figura 3: O design de interfaces provocou movimentos interdisciplinares internos ao campo. Fonte: Elaborado pelos autores.



A pesquisa em design reconheceu este fenômeno. Dykes, Rodgers e Smyth (2009) caracterizaram o esmaecimento das fronteiras disciplinares históricas do design a partir de evidências observadas nas práticas contemporâneas de design e em padrões fluidos que operam dentro e através das

especialidades tradicionais, assim como pelo trabalho junto a outras áreas, como a computação e as artes. O esmaecimento das fronteiras internas e externas do design também foi registrado por Celaschi, Formia e Lupo (2013) que observaram que nas práticas profissionais contemporâneas designers poderiam se manter situacionistas, sem questionar as escolas tradicionais, agir em uma integração mediada de diferentes tipos de conhecimentos e especialidades, ou ainda, assumir um papel disruptivo, um experimentador que usa a lógica das ciências e a lógica das artes justapostas, ignorando restrições disciplinares e metodológicas.

Após a popularização das interfaces digitais nas telas, há pouco mais de uma década teve início um fenômeno global de difusão de tecnologias cujo acesso esteve restrito, por quase meio século, a especialistas em indústrias de alta tecnologia e a pesquisadores em centros avançados de universidades de ponta. Esse fenômeno permanece em curso e permitiu a ampliação do acesso a equipamentos de Controle Numérico Computadorizado (CNC), impressoras 3D e plataformas de programação de microchips para eletrônica digital. Paralelamente, foram desenvolvidas plataformas tecnológicas para programação criativa e para o design paramétrico, que permitiram modos de criação de algoritmos relativamente amigáveis para designers, artistas e outros profissionais que não se formaram em ciência da computação.

Assim se configurou um cenário no qual uma matriz de tecnologias promissoras para apoiar práticas de design se fez disponível em três eixos proeminentes: o design paramétrico e generativo, os artefatos com computação embarcada e as tecnologias de fabricação digital. A estes eixos se juntaram as tecnologias de digitalização tridimensional, a realidade virtual, mista e aumentada, e sobre estas tecnologias são produzidos artefatos que muitas vezes não se enquadram em categorias existentes (Figura 2).

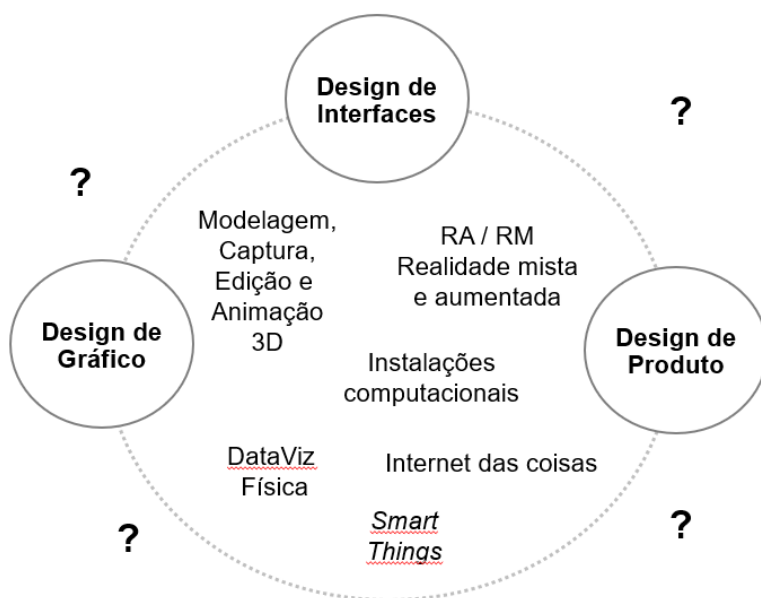


Figura 3: O design contemporâneo nem sempre se enquadra em categorias conhecidas. Fonte: Elaborado pelos autores.

A difusão tecnológica da qual trata esta seção diz respeito, portanto, à difusão de aparatos para a experimentação exploratória, com os quais se pode explorar espaços de soluções/oportunidades em ambientes tecnológicos que estiveram, até então, restritos a pesquisadores e desenvolvedores em grandes empresas e centros de pesquisa de ponta. A prototipagem de baixa fidelidade, rápida

e de baixo custo, ganha novos significados no ambiente virtual, com o design paramétrico e generativo; no ambiente físico, com a fabricação digital; e materializa protótipos de objetos computacionais, com a computação embarcada e a eletrônica digital.

Comunidades de prática se formaram em torno destas tecnologias, nas quais há evidente disponibilidade em compartilhar conhecimentos, compartilhar experimentos e tecer colaborações. No entanto, observa-se que proliferam nestas comunidades aplicações superficiais conduzidas por amadores; explorações parciais confinadas em projetos específicos; e outras, estritamente técnicas, sem que se possa reconhecer com clareza razoável sua aplicabilidade. Ou seja, muito do potencial decorrente da apropriação destas tecnologias em práticas de design de alto nível permanece inexplorado, incipiente e pouco ou nada documentado.

Assim, uma quantidade imensa e ainda pouco explorada de questões de ordem metodológica (relacionadas ao desenvolvimento experimental), de caracterização, utilidade e usabilidade dos artefatos produzidos, das relações entre projeto e produção, bem como dos efeitos pós-adoção destas tecnologias pelo campo do design permanecem sem resposta.

Por outro lado, algumas comunidades acadêmicas têm discutido as oportunidades produzidas por esta difusão tecnológica em congressos internacionais, particularmente sobre computação criativa (C&C, ICC), design paramétrico e fabricação digital (ACADIA, ASCAAD, CAADRIA, eCAADe, SiGraDi, CAAD futures) e interfaces físicas em sistemas humano-computador (CHI, TEI, DIS). Ainda assim, muito do que estes eventos organizam são compilações de iniciativas particulares de desenvolvimento experimental exploratório, uma produção que permanece dispersa e distante de uma discussão no campo do design. Como pode se dar a apropriação destas tecnologias computacionais pelas práticas de design de alto nível, e o que essa integração é capaz de produzir, são perguntas cujas respostas ainda dependem de esforços de pesquisas.

A problemática aponta para uma área do design que se encontra em formação, ainda que de maneira dispersa e pouco conectada, que pode ser chamada de Design Computacional. O uso corrente do termo design computacional se relaciona estreitamente com o design paramétrico, generativo e auxiliado por algoritmos, ainda que persista certa confusão terminológica (Caetano, Santos, Leita, 2020). Neste trabalho argumenta-se que a fabricação digital, que já é frequentemente associada ao design paramétrico, bem como as interfaces físicas computacionais e as vertentes de realidade virtual, aumentada e mista, podem ser incorporadas no mesmo arcabouço, desde que estejam de fato integradas às práticas da concepção em design.

Assim, se vê no Design Computacional uma área que integra a capacidade computacional e o algoritmo às práticas de design, não apenas como recursos de apoio, mas como parte do próprio projeto, que encontra sua razão de ser na exploração do espaço de oportunidades e soluções decorrentes desta integração. Neste sentido este artigo tem como objetivo delinear o escopo e discutir o alcance do Design Computacional enquanto área em formação. Para tanto, inicialmente o escopo da área é discutido a partir de referencial teórico; em seguida é feito um relato de experiências de inserção do design computacional no ensino acadêmico; por fim são discutidos a potência e o alcance do design computacional enquanto área em formação.

O escopo do design computacional

O Design Computacional emerge como um conceito que agrega o design paramétrico, o design generativo e o design algorítmico (ou design auxiliado por algoritmos). Ao menos até a atualidade estas temáticas têm sido muito mais exploradas pelo campo da arquitetura do que pelo campo do design. Contudo, progressivamente a pesquisa e o ensino em design têm incorporado estas temáticas. Ainda que de maneira lenta e pouco conectada, práticas de design paramétrico começam a explorar interesses típicos do campo do design, das relações entre artefatos e usuários, por exemplo, em direção ao que se espera das práticas profissionais de alto nível, incluindo a multiplicidade de aspectos culturais, mercadológicos, fabris, de distribuição e relativos à customização em massa (Mineiro; Magalhães, 2019).

A fabricação digital proporciona o ambiente tecnológico para a materialização daquilo que é concebido por estas abordagens de design computacional. Se por um lado é bastante raro encontrar o design paramétrico ou generativo materializado em processos tradicionais de fabricação industrial, por outro lado, tecnologias de fabricação digital são frequentemente usadas para materializar designs gerados por algoritmos.

No início da difusão das tecnologias de fabricação digital, os sistemas CAD convencionais foram identificados como o principal gargalo para exploração da potencialidade dos sistemas de fabricação digital (Gibson, Rosen, Stucker, 2010). As abordagens de design paramétrico e generativo se revelaram alternativas para resolver esta questão e se alinharam de tal modo com a fabricação digital que a associação entre fabricação digital e abordagens de design paramétrico ou generativo é recorrente em publicações acadêmicas que tratam do design computacional. Ao menos em parte isto se deve à facilidade com que as tecnologias de fabricação digital propiciam variedade em uma produção de baixa escala, ou em outras palavras, a variedade não aumenta custos, como ocorre em sistemas de produção tradicionais, o que só é possível pelo caráter computacional da fabricação digital, controlada por computador (Lipson, Kurman, 2013).

Assim sendo, fica claro que a associação entre design paramétrico ou generativo e fabricação digital favorece as explorações em ambos ambientes tecnológicos, o que já não se percebe com tanta facilidade quando a concepção do design se dá em ambientes CAD convencionais ou quando a produção se dá em sistemas produtivos tradicionais. A associação é tão evidente e recorrente que a fabricação digital poderia ser facilmente pensada em uma mesma área do design que contemple o design paramétrico e generativo, o design computacional.

No campo do design, uma terceira área tecnológica que pode ser percebida no mesmo escopo é o design de artefatos computacionais, também chamada de computação física. Nestes artefatos sistemas computacionais são embarcados em um objeto real. O espectro de aplicações abrange os vestíveis (*wearables*), as interfaces tangíveis, a Internet das Coisas (IoT) e outros temas análogos (Kuniavsky, 2010).

Já se observa a inserção de artefatos computacionais na pesquisa em design e suas implicações têm sido discutidas (Giaccardi, 2019). Bruns, Ossevoort e Petersen (2021), por exemplo, percebem que os artefatos computacionais carregam atributos únicos de expressividade com implicações para as interações humano-computador.

Nos artefatos da computação física um algoritmo é processado dentro do objeto, assim é, portanto, senão objeto de projeto, ao menos parte essencial do projeto, bem como do próprio conceito de design.

Uma quarta e última área tecnológica compreende as vertentes nas quais se cria uma camada de interação computacional imersiva (Realidade Virtual - RV), associada (Realidade Aumentada - RA) ou justaposta (Realidade Mista - RM) ao mundo real. Neste agrupamento o caráter computacional também está na essência daquilo que é projetado, o objeto de projeto (p.e. uma simulação, um aplicativo de treinamento ou um jogo sério) e suas mecânicas são estreitamente conectados com o aparato computacional que o executa.

Para o campo do design faz sentido pensar o design computacional como uma área cujo escopo compreende estes espaços tecnológicos. A ampliação do design de produtos para o design de produtos computacionais seria uma trajetória lógica e previsível, assim como se pode entender o design para realidade virtual, aumentada ou mista, como um desdobramento do design de interfaces. Deste modo um empenho crítico-reflexivo para delinear o design computacional como área em formação poderia facilmente agrupar estas quatro áreas temáticas em uma matriz tecnológica, sendo que o *locus* do caráter computacional em cada área é um dos seus aspectos particulares, como evidencia o Quadro 1.

*Quadro 1: Locus do caráter computacional em uma matriz tecnológica
Fonte: Elaborado pelos autores.*

Design paramétrico e generativo	Fabricação digital	Artefatos computacionais	Realidade virtual, aumentada e mista
Computação no apoio ao projeto	Computação na fabricação	Computação embarcada no objeto / em rede	Computação no programa e na plataforma de execução / uso

Delineado este escopo, pode-se entender o Design Computacional como o design que assume o caráter computacional, ou o algoritmo, como objeto de projeto particularizado, inerente ao conceito e às concepções do projeto e determinante sobre o artefato concebido.

Inserção do design computacional no ensino em design da UFMG

Nesta seção são relatadas experiências de inserção do design computacional em atividades de ensino na UFMG. Na graduação, estas experiências se deram, em especial, em uma disciplina obrigatória, a Oficina Integrada.

Na estrutura curricular do Curso de Graduação em Design da UFMG os quatro primeiros períodos podem ser entendidos como um ciclo de fundamentação; no terceiro ano do curso (5º e 6º períodos) os estudantes optam por um percurso formativo e as turmas se dividem em disciplinas de design de produto e design gráfico, práticas de projeto e de oficina em design. No 7º período, que antecede apenas o trabalho de conclusão de curso, os estudantes se reencontram nas disciplinas Projeto Integrado e Oficina Integrada (Figura 3). Este é, portanto, um momento especial no curso, em que conhecimentos e técnicas de design gráfico e de produto são articulados em experiências práticas. Na Oficina o foco é no desenvolvimento de modelos e representações.

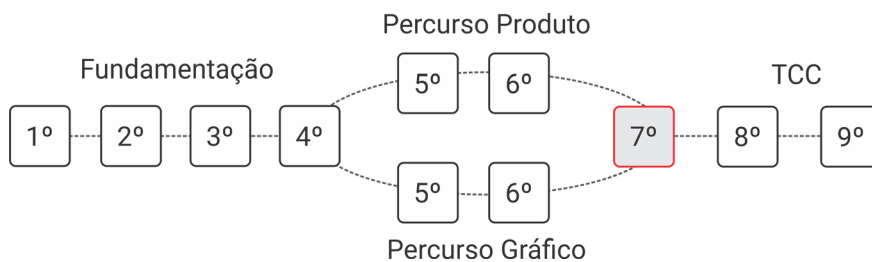
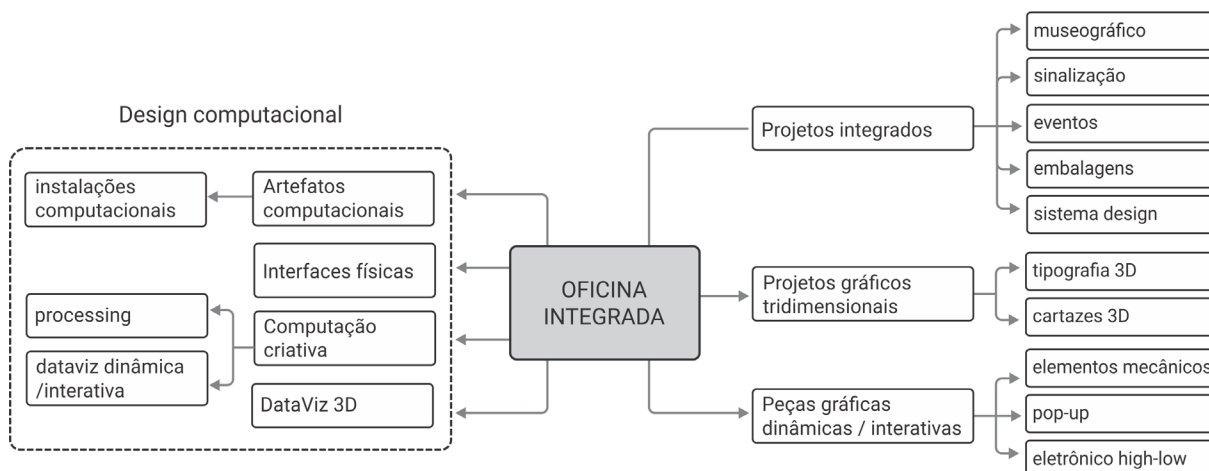


Figura 3: Oficina Integrada na estrutura curricular do CGDesign / UFMG. Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos últimos cinco anos (2019-2023) as turmas de Oficina Integrada seguiram uma estrutura de três unidades. Em um primeiro momento os estudantes conduziram estudos de casos curtos sobre design integrado contemporâneo, na segunda unidade fizeram explorações introdutórias em plataformas tecnológicas, sendo que estas duas primeiras unidades funcionaram como uma preparação para a terceira unidade, na qual estudantes colocam em prática atividades de desenvolvimento experimental de modelos e representações de design integrado.

A primeira unidade é concluída pelos estudantes com um seminário que revela um panorama de design integrado contemporâneo e uma diversidade de artefatos que inclui projetos integrados convencionais (museografia, sinalização, embalagens e sistemas design), projetos gráficos tridimensionais (tipografia e cartazes 3D), peças gráficas dinâmicas e interativas (com elementos mecânicos, *pop-ups*, e circuitos eletrônicos simples); visualizações de dados, computação criativa, interfaces físicas e artefatos computacionais (instalações e objetos com computação embarcada (Figura 4).

Figura 4: Artefatos recorrentes nos estudos de caso da Oficina Integrada. Fonte: Elaborado pelos autores.



Exposto o panorama nos seminários, os estudantes elaboram propostas relacionadas com os artefatos que conheceram para desenvolverem modelos e representações. Boa parte destas propostas requer práticas de design computacional (Figura 4), muitos destes trabalhos são focados na exploração de plataformas tecnológicas como o Processing e o Arduino, outros articulam técnicas tradicionais de modelagem de design de produto com técnicas de design gráfico.

Para que obtenham as competências técnicas mínimas para iniciar seus trabalhos, a segunda unidade da disciplina oferece oportunidades de aprendizagem orientada, alinhada com os temas

escolhidos pelos estudantes. Na terceira e última unidade os estudantes conduzem atividades de desenvolvimento experimental e produzem modelos e representações alinhados com suas propostas iniciais.

Enquanto os artefatos relacionados com o escopo do design computacional são muitas vezes apoiados por tecnologias simulação ou de materialização contemporâneas, como a impressão 3D e a usinagem CNC, os artefatos que não se relacionam com o design computacional são frequentemente produzidos com apoio de tecnologias de produção tradicionais, como a termoformagem e equipamentos elétricos manuais e de bancada.

Além das experiências em Oficina Integrada, foram ofertadas turmas optativas de Design Paramétrico para a graduação e as turmas da disciplina Design para Tecnologias Emergentes, no Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da UFMG. As turmas de Design Paramétrico oferecem uma introdução ao tema e práticas iniciais orientadas, também baseadas em experimentos exploratórios. A disciplina é estruturada em três unidades, sendo a primeira introdutória, a segunda com o tema design paramétrico para usabilidade e a terceira, design paramétrico para fabricação digital.

Nas turmas de Design para Tecnologias Emergentes, na pós-graduação *stricto sensu*, é apresentada aos estudantes a noção de design como dimensão da inovação, ao lado da tecnologia e da mercadologia. Nesse sentido, o design pode assumir dois papéis preponderantes, o primeiro, enquanto dimensão de apoio à inovação tecnológica ou mercadológica, o segundo, enquanto dimensão em que se dá a inovação, a inovação orientada (ou dirigida) pelo design. Como as turmas são formadas por pessoas com origens acadêmicas e profissionais diversas, elas são apresentadas aos processos e metaprocessos do design, à experimentação em design e à pesquisa e prática em design na contemporaneidade. Nestas turmas o design computacional é introduzido e discutido, em particular o design paramétrico, generativo e a fabricação digital.

As experiências de inserção do design computacional no ensino na UFMG terminaram coroadas com alguns poucos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) em design computacional. Com temas propostos pelos próprios estudantes, já foram realizados TCCs nas áreas de design paramétrico para joalheria, design paramétrico para o setor moveleiro, computação criativa aplicada à visualização musical e artefatos computacionais para o cotidiano.

Para além das experiências de ensino, há pesquisas concluídas e outras em andamento, com a participação de estudantes de graduação em iniciação científica.

Potência e alcance do design computacional

Podem ser pensadas diferentes formas de inserção de tecnologias computacionais nas práticas de design. A primeira, análoga ao uso corrente dos sistemas digitais, consiste em adotar as tecnologias computacionais estritamente como ferramentas de apoio para atividades tradicionais de design, em seu sentido metodológico convencionado e disciplinar. Deste modo os recursos do design computacional podem ampliar as possibilidades de se alcançar resultados previsíveis.

Em uma inserção intermediária se permite que as tecnologias computacionais afetem as práticas de design tradicionais que, presumivelmente, assumiriam um caráter experimental mais do que o rigor metodológico. Neste caso, designers assumem uma postura aberta não somente à

invenção, mas também às descobertas, às surpresas desejáveis que podem emergir ao longo do próprio processo de design.

Em um terceiro modo, as práticas de design são baseadas nas tecnologias computacionais e, de fato, exploram os espaços de oportunidades (ou de soluções) particulares às tecnologias empregadas e abertos por elas. Certamente este é o modo de inserção mais desafiador e com maior potencial de produzir resultados inovadores e surpreendentes. Desafiador, uma vez que requer proficiência nos ambientes tecnológicos de concepção; potente, uma vez que faz trazer à luz justamente aquilo que o design computacional pode oferecer de único, que não seria possível de outra maneira ou em outros contextos.

Sobre os artefatos produzidos pelo design computacional há duas perspectivas mais significativas. Com frequência são concebidos artefatos que não se enquadram facilmente em categorias conhecidas, o que acaba sendo um indicativo do potencial inovador destas práticas. Em outra perspectiva, propõe-se a lente da inovação dirigida pelo design, de acordo com a qual o design é a dimensão da inovação em que se dá a novidade e aquela que produz valor para usuários, consumidores e *stakeholders*. Embora o potencial inovador do design computacional seja evidente, sua inserção em processos de desenvolvimento comerciais ainda é vista em iniciativas isoladas, portanto, seu alcance ainda é curto.

Ao menos em parte esta limitação de alcance no campo do design se deve aos requisitos de aprendizagem, nem sempre acessíveis ou facilmente inseridos no ensino de graduação, por exemplo. Há, inclusive, alguma resistência de estudantes à ideia de aprender a programar. De outro lado, há também uma estrutura necessária ao ensino, que envolve equipamentos, manutenções preventivas e corretivas, bancadas, componentes e pessoal, técnico e docente, preparados para essas atividades de ensino.

Reconhecer o design computacional como uma área que por definição agrega o design paramétrico, a computação criativa, as interfaces tangíveis, a computação física e o design para fabricação digital, faz sentido, não apenas para promover uma desfragmentação e estimular a área em formação como, mais do que isso, induzir novos arranjos nesta matriz tecnológica e a decorrente produção de novos artefatos que não seriam possíveis sem estas articulações.

O design computacional enquanto área de pesquisa e desenvolvimento experimental tem na produção de novos conhecimentos, portanto, a potencialidade de ampliar o alcance da própria produção do design, com reflexos no ensino e nas práticas profissionais.

Considerações finais

Recentemente plataformas de Inteligência Artificial (AI) têm se difundido e algumas aplicações no campo do design estão começando a ser experimentadas. A inteligência artificial, no entanto, não foi considerada como parte do escopo do design computacional pelos seguintes motivos. Primeiro, os algoritmos destas plataformas não são acessíveis, portanto, esbarra-se na impossibilidade de uma atuação propositiva significativa no seu modelo e o algoritmo não é, de fato, objeto de projeto. Segundo, há questões amplas e muito relevantes em fase inicial (ou mesmo preliminar) de discussão, como atribuições autorais, entre outras questões éticas. Por fim, há a questão do determinismo tecnológico, que diz respeito ao quanto das decisões projetuais é transferido para a

tecnologia, aspecto que parece ser ainda mais importante quando se trata das novas plataformas de IA.

No entanto, ainda que de maneira tímida, recursos computacionais de IA têm sido inseridos nas práticas de design paramétrico. Nestes casos em que são intencionalmente inseridos em um algoritmo que é objeto de projeto, faria sentido considerar a inclusão no escopo do design computacional. Este, contudo é certamente um esforço crítico-reflexivo a ser desenvolvido em trabalhos futuros.

Referências

- BRUNS, M.; OSSEVOORT, S.; PETERSEN, M. Expressivity in Interaction: a framework for design. *In: CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Yokohama: ACM, 2021.
- CAETANO, I.; SANTOS, L.; LEITAO, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. **Frontiers of Architectural Research**, v. 9, n. 2, p. 287-300, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>.
- CELASCHI, F.; FORMIA, E.; LUPO, E. From Transdisciplinary to Undisciplined Design Learning: educating through/to disruption. **Strategic Design Research Journal**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2013.
- DYKES, T. H.; RODGERS, P. A.; SMYTH, M. Towards a New Disciplinary Framework for Contemporary Design Practice. **CoDesign**, v. 5, n. 2, p. 99-116, 2009.
- GIACCARDI, E. Histories and futures of research through design: From prototypes to connected things. **International Journal of Design**, v. 13, n. 3, p. 139-155, 2019.
- GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing**. New York: Springer, 2010.
- KUNIAVSKY, M. **Smart things: ubiquitous computing user experience design**. Massachusetts: Elsevier, 2010.
- LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated: the new world of 3d printing**. Indianapolis: Wiley, 2013.
- MINEIRO, É.; MAGALHÃES, C. Design paramétrico e generativo: modos de explorar a complexidade. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.14, n. 2, p. 6-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.151419>.

Sobre os autores

Érico Franco Mineiro é doutor em Design pela PUC-RIO (2016), Mestre em Engenharia de Produção pela UFMG (2011), graduado em Desenho Industrial – Projeto de Produto pela UEMG (2004). professor no curso de Graduação em Design e no Mestrado em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da UFMG. atua principalmente nos temas de pesquisa em design computacional, design paramétrico, design para fabricação digital, design e inovação e design estratégico.

E-mail: ericomineiro@ufmg.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2243839138089949>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1991>

Fernando José da Silva, doutor em Engenharia de Estruturas pela UFMG (2014). Pós-doutorado na Universidade da Beira Interior, UBI, Portugal (2019). é professor associado da UFMG, atuando no curso de Graduação em Design, e na Pós-Graduação na linha de Pesquisa Design e Educação, Programa de Mestrado Profissional em Educação e docência Promestre, da Faculdade de Educação da UFMG. possui graduação (1997) e Mestrado (2003) em Desenho Industrial, Projeto do Produto, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). tem experiência na área de Processos em Design, desenvolve Pesquisas em Design e Biomimética e coordena o Laboratório de Experimentação Digital (LED) do curso de design (EA-UFMG).

E-mail: fernandojsilva@ufmg.br

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3555794031729684>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6031-6977>