

Tecnologias digitais no processo de projeto contemporâneo: potencialidades e desafios à profissão e à academia

Digital technologies in the contemporary design process: potentials and challenges for practice and academia

Paola Zardo 

Andréa Quadrado Mussi 

Juliano Lima da Silva 

Resumo

Este artigo aborda a adoção das tecnologias digitais no processo de projeto da arquitetura, engenharia e construção (AEC), incluindo o *Building Information Modeling* (BIM), a modelagem paramétrica e a fabricação digital. O objetivo do estudo é compreender as implicações da adoção das tecnologias digitais no processo de projeto contemporâneo em contraste com as práticas predominantes no setor, tomando como base para análise o contexto das empresas consideradas *early adopters* desses recursos. Foram aplicados questionários e conduzidas entrevistas com 30 profissionais, bem como entrevistas com 7 pesquisadores, com origens em diferentes países. Como resultados, apresenta-se uma síntese das principais potencialidades e desafios apontados pelos respondentes em relação à adoção das tecnologias digitais, e suas relações com o processo de projeto. Identificaram-se, ainda, lições dos *early adopters* e medidas que podem ser tomadas para viabilizar o alcance das potencialidades das tecnologias digitais na indústria da AEC. Como medidas essenciais estão a elaboração de exigências e regulamentações por parte das autoridades e instituições com vistas à promoção de padrões, a integração da prática profissional com a pesquisa acadêmica e as mudanças na educação dos futuros profissionais.

Palavras-chave: Tecnologias digitais. Processo de projeto. Prática profissional.

Abstract

This paper addresses the adoption of digital technologies in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) design process, including Building Information Modeling (BIM), parametric modeling and digital fabrication. The purpose of the study is to understand the implications of adopting digital technologies in the contemporary design process, based on the context of companies considered early adopters of these resources, in contrast to the prevailing practices of the sector. Questionnaires were applied and interviews were conducted with 30 professionals, as well as with 7 researchers, from different countries. As a result, the study presents a synthesis of the main potentials and challenges pointed out by the respondents regarding the adoption of digital technologies, as well as their relations with the design process. Lessons from the early adopters and measures that can be taken to achieve the potential of digital technologies in the AEC industry were also identified. The essential measures to be taken include the development of requirements and regulations by authorities and institutions aiming at the promotion of standards, the integration of professional practice with academic research and changes in the education of future professionals.

Keywords: Digital technologies. Design process. Professional practice.

¹Paola Zardo
¹Faculdade Meridional
Passo Fundo - RS - Brasil

²Andréa Quadrado Mussi
²Faculdade Meridional
Passo Fundo - RS - Brasil

³Juliano Lima da Silva
³Faculdade Meridional
Passo Fundo - RS - Brasil

Recebido em 11/03/19
Aceito em 14/11/19

Introdução

Os primeiros esforços para o desenvolvimento de ferramentas digitais visando à inserção do computador no processo de projeto datam da década de 1960, com destaque para o sistema precursor dos sistemas *Computer-Aided Design* (CAD) atuais, o Sketchpad, idealizado por Ivan Sutherland, no Massachusetts Institute of Technology (MIT) (MITCHELL, 1990; AISH, 2013). O desenvolvimento do Sketchpad envolvia um processo de interação entre o computador e o projetista e antecipava, em seu sistema de representação, alguns elementos presentes nas ferramentas de modelagem paramétrica disponíveis atualmente (AISH, 2013). Segundo Mitchell (1990), o Sketchpad foi uma introdução antecipada da ideia de que o projeto poderia ser tratado como um processo de edição gráfica de uma base de dados, conferindo ao computador a função de aplicação de algoritmos à representação geométrica.

Devido a sua tamanha complexidade para a época, a primeira geração de sistemas CAD exigia o uso de dispositivos delicados, que requeriam ambientes condicionados, grandes investimentos e operadores especializados, tendo seu custo justificado somente no caso de um uso contínuo e intenso. Em função disso, não se adequavam aos ambientes de projeto existentes até então (MITCHELL, 1990).

Com a chegada dos *personal computers* (PC), na década de 1970, e com os preços mais acessíveis, a partir de 1980, a atenção dos desenvolvedores voltou-se para a comercialização de sistemas mais leves, levando ao lançamento do AutoCAD (AUTODESK, 2018), da Autodesk, em 1982, e a sua posterior extensa disseminação como ferramenta de representação do projeto, que perdura até os dias atuais (MITCHELL, 1990; AISH, 2013).

Todavia, embora tenha promovido a adoção em massa da tecnologia no ambiente de projeto, tal disseminação ocorreu na forma de uma abordagem simplificada das premissas do CAD. Trouxe o computador como uma nova ferramenta para representação do projeto, de modo análogo aos processos manuais em lápis e papel, contrastando com a visão dos idealizadores do CAD, como Sutherland, que o viam como uma forma mais profunda de pensar o projeto, e não simplesmente uma maneira mais adequada de desenhar (AISH, 2013). Em decorrência disso, o CAD, até então, podia ser compreendido como *Computer-Aided Drafting*, de modo que o auxílio do computador para a concepção e o desenvolvimento do projeto ocorria de forma mínima, quando não nula (CELANI, 2002).

Em contraste, ainda na década de 1980, iniciaram-se os primeiros esforços para o desenvolvimento de novas ferramentas digitais voltadas para a modelagem, agora tridimensional, da informação da construção, ou *Building Information Modeling* (BIM). Com posteriores evoluções dessas ferramentas, muitas das ideias originais do CAD foram recuperadas nas atuais plataformas BIM (AISH; BREDELLA, 2017).

A modelagem BIM, diferentemente da representação bidimensional, é orientada ao objeto e envolve relações paramétricas entre diferentes componentes, que permitem realizar ajustes automáticos nas diferentes instâncias projetuais. Além disso, a modelagem da informação possibilita a construção de modelos tridimensionais interdisciplinares de projeto, muito próximos das características reais da futura edificação, o que gera um banco de dados para extrair quantitativos de materiais e analisar diferentes cenários de alterações com maior facilidade (EASTMAN *et al.*, 2011).

Dessa forma, tem-se o contexto digital como um recurso promissor, que vai além da mera representação gráfica de uma ideia e que inicia um processo de mudança da forma como os projetos são desenvolvidos. Houve, ainda, nos últimos anos, a emergência de novas ferramentas digitais, que estreitaram ainda mais a relação entre computador e projetista, em um momento denominado por Aish (2013) de “era do *design computation*”.

Entre os recursos da era do *design computation* está a modelagem paramétrica, que traz o uso de algoritmos à arquitetura, de forma a facilitar a projeção de geometrias complexas e a automatização de tarefas na modelagem computacional. Isso permite otimizar fluxos de trabalho e dinamizar a análise de alternativas. Com as possibilidades de design generativo, o computador emerge como um gerador de soluções, em função de parâmetros inseridos e manipulados pelo projetista, que atua de modo indireto sobre os resultados (FISCHER; HERR, 2001). O *design computation* é intensificado pelos recursos de simulação e otimização, extrapolando a noção do contexto digital como um mero instrumento de representação (CELANI, 2016; AISH; BREDELLA, 2017).

Embora em passos ainda consideravelmente iniciais na prática profissional, também é parte da era do *design computation* a interligação entre softwares computacionais e máquinas de controle numérico, o que faz da fabricação digital um recurso que, compilado com os métodos de projeção, permite a criação de uma cadeia de processos automatizados do projeto à produção (AISH, 2013). Assim, tem-se uma aproximação da

produção ao projeto, trazendo elementos de industrialização à AEC, que se aproxima gradualmente de indústrias como a naval e a aeroespacial (KOLAREVIC, 2001; SCHEURER, 2012).

Bernstein (2018) destaca que as reais fontes catalisadoras da inovação e mudança em determinado sistema derivam das combinações das tecnologias, ao invés da adoção isolada de ferramentas específicas. Dessa forma, verifica-se a importância de contemplar e de explorar o potencial que as tecnologias digitais, combinadas, possuem de promover uma mudança de paradigma no processo de projeto da indústria da AEC.

Ainda, deve-se considerar que há mudanças significativas que transpassam o ferramental e atingem questões de natureza cultural. Muitos dos problemas nos processos de projeto tradicionais, que acabam eventualmente transferidos a campo, têm suas causas relacionadas com os métodos de projeto utilizados, ou, pelo menos, são acentuadas por eles. No caso do uso predominante de desenhos para a atividade de projeto, por exemplo, predomina uma cultura de desenvolvimento projetual independente e desconexa dos múltiplos subsistemas que integram uma edificação, o que reflete na interação (ou falta dela) entre os diferentes projetistas (LAWSON, 2005). No processo de projeto predominantemente baseado em papel e na representação, a compatibilização dos diferentes projetos é realizada por meio da sobreposição de pranchas, o que resulta em um trabalho manual significativo, bem como em inúmeros retrabalhos para correções individuais dos projetos, sem mencionar os demais problemas decorrentes das falhas de comunicação (FABRICIO, 2008; BERNSTEIN, 2012).

Com o advento do BIM na prática profissional, incentiva-se o trabalho colaborativo e a integração das partes envolvidas, ou, pelo menos, toma-se conhecimento de sua importância. Além disso, passam a ficar claras as possibilidades de automatização de tarefas que agregam pouco valor às etapas do processo de projeto, como a representação manual de cortes e detalhamentos. A importância da antecipação da compatibilização de sistemas, facilitada pelo uso de modelos digitais da informação, se torna cada vez mais evidente, fazendo emergir oportunidades para a redução da habitual segmentação do processo de projeto tradicional (BERNSTEIN, 2012).

A modelagem paramétrica e o uso de programação fazem emergir características progressivamente interdisciplinares no processo de projeto, bem como algumas mudanças no papel desempenhado pelos projetistas. Estes, por sua vez, precisam adquirir novas competências e desempenhar novas funções para lidar com a complexidade tecnológica e garantir a fluidez dos fluxos de trabalho (WOODBURY, 2010; AISH; BREDELLA, 2017).

A imprescindibilidade da promoção de transformações substanciais ao processo de projeto para acompanhar as evoluções tecnológicas é destacada por múltiplos autores, que enfatizam a necessidade de se promoverem abordagens organizacionais nas quais prevaleça o trabalho em equipe como requisito fundamental para alcançar os benefícios absolutos dessas tecnologias (TOMBESI, 1999; BERNSTEIN, 2012; KEOUGH; HAUCK, 2017; DEUTSCH, 2017). Dessa forma, a ênfase anteriormente dada à ferramenta de representação é transferida para o próprio processo, que se optou por denominar de processo de projeto contemporâneo.

Todavia, as tecnologias digitais ainda não se encontram totalmente difundidas no campo profissional, e isso provavelmente decorre da dimensão de tal transição. Portanto, ressalta-se o termo “*potencial* mudança de paradigma”. Considerando as conclusões de Loveridge (2012), que define mudança de paradigma como algo que exige aceitação em massa, observa-se que ainda não ocorreu tal mudança, uma vez que ainda predominam métodos de desenvolvimento de projetos, materiais e tecnologias tradicionais.

De acordo com a teoria da difusão da inovação de Rogers (1983), existem diferentes níveis de adoção para as inovações entre os indivíduos de determinado sistema. O autor estabelece as seguintes categorias de adotantes:

- (a) *innovators*, que são os primeiros a adotar uma inovação e lançar a ideia em determinado sistema, ainda com elevado grau de incerteza e riscos, o que faz com que precisem ter um controle substancial de recursos financeiros para absorver possíveis perdas. Ao correlacionar a teoria com as tecnologias digitais na AEC, podemos classificar como inovadores as universidades, os laboratórios de pesquisa e as incubadoras de tecnologia, onde existe uma grande liberdade para experimentação;
- (b) *early adopters*, que são considerados líderes de opinião e missionários na disseminação de uma inovação. São vistos como modelos a serem seguidos e adquirem a função de diminuir o nível de incerteza em relação a uma inovação ao adotá-la. Essa categoria remete à adoção das tecnologias digitais em empresas e escritórios de arquitetura e engenharia com atuação de abrangência global e em projetos de maior escala e níveis de investimento;
- (c) *early majority*, que deliberam significativamente sobre uma nova ideia antes de adotá-la, mas ainda o fazem antes das categorias subsequentes;

(d) *late majority*, que são indivíduos céticos, que adotam após a média, em função de necessidades econômicas ou em forma de resposta a pressões do mercado, quando a inovação já pode ser considerada segura, com riscos e incertezas reduzidos; e

(e) *laggards*, que são os que resistem fortemente e só adotam a inovação após ela estar muito difundida (isso se nesse momento ainda pode ser chamada de “inovação”) ou sequer a adotam.

Em relação à AEC, considerou-se que as categorias *early majority*, *late majority* e *laggards* abrangem empresas e profissionais em níveis iniciais ou parciais de adoção das tecnologias digitais, e empresas e profissionais atrelados aos métodos de projeto tradicionais. Babič e Rebolj (2016) analisaram a estabilidade e a persistência das práticas tradicionais em tais parcelas da indústria. Segundo os autores, a cultura predominante é fortalecida por três pilares principais, com fortes relações entre si: regulatório, normativo e cultural/cognitivo. Os autores, à luz destes, explicam as razões da baixa inserção de uma abordagem baseada no uso do BIM, mediante as características que freiam a difusão de novas práticas. Dessa forma, não estão claras para a maior parte do setor as transformações necessárias para alcançar os benefícios das tecnologias digitais.

O principal interesse do presente estudo está em contrastar as realidades do processo de projeto contemporâneo em meio aos *early adopters* das tecnologias digitais ante o processo de projeto aqui tratado como tradicional (baseado na representação 2D e em papel), que predomina no cotidiano de grande parte do mercado, considerando as razões explicitadas pelos autores para sua perpetuação (BABIČ; REBOLJ, 2016).

As possibilidades de obter contribuições ao conhecimento por meio da exploração das características da parcela da prática profissional que se diferencia do restante da indústria são destacadas por Cross (2007). Portanto, o principal objetivo deste estudo é compreender as implicações da adoção das tecnologias digitais ao processo de projeto, tomando como referência o contexto dos *early adopters*. Para isso, foi necessário buscar informações provenientes do extremo mais inovador da indústria, de acordo com as categorias de adotantes apresentadas, e conectá-las com as origens das dificuldades em promover uma transição nas práticas adotadas pelo setor.

Foram reunidos e analisados os pontos de vista de profissionais com experiências em empresas consideradas *early adopters* das tecnologias digitais e de pesquisadores. A decisão por incluir perspectivas oriundas do campo da pesquisa decorre de sua inserção na categoria de *innovators*, segundo a teoria da difusão da inovação, muito próximo da dos *early adopters*, na qual são geralmente originadas ou inicialmente exploradas as inovações posteriormente adotadas na prática profissional. Além disso, há um crescente reconhecimento do papel que a pesquisa desempenha no sentido de apresentar ao meio a aplicabilidade das inovações e as necessidades de adaptação nos processos de trabalho para a obtenção de melhores resultados. Portanto, considerou-se relevante incorporar tal aspecto aos procedimentos metodológicos adotados (HENSEL; NILSSON, 2016).

Método

A pesquisa em questão caracteriza-se como exploratória. As pesquisas exploratórias, de acordo com Breen (2002, p. 138, tradução nossa), têm como objetivo “criar percepções: identificar, definir e ilustrar fenômenos relevantes, explicar características e efeitos e inter(relações)”. Também se classifica como um estudo de campo, que tem como principal objetivo o aprofundamento das questões propostas dentro de determinado universo (GIL, 2008).

Quanto a seu planejamento, o trabalho foi organizado em três etapas principais:

- (a) fundamentação, para delimitação da pesquisa;
- (b) coleta de dados; e
- (c) tratamento e análise dos dados.

Protocolo de coleta de dados

Foram realizados procedimentos de coleta com profissionais com experiências em empresas consideradas *early adopters* das tecnologias digitais na AEC e com pesquisadores autores de publicações relacionadas ao escopo desta pesquisa.

Profissionais

Para a esfera da prática profissional, identificaram-se, primeiramente, empresas que possuem experiência na adoção de BIM, modelagem paramétrica e fabricação digital simultaneamente, por meio de publicações que abordam a adoção das tecnologias digitais na prática profissional, incluindo artigos científicos, livros e relatórios de premiações, de origem predominantemente internacional. Ressalta-se que o uso majoritário de materiais internacionais está diretamente relacionado com o fato de predominarem em meio aos *early adopters* empresas estrangeiras.

A partir disso, pelo histórico em rede profissional (LinkedIn) e e-mails fornecidos nos sites oficiais das empresas, contataram-se profissionais que trabalham ou que já trabalharam nelas, os quais foram convidados a participar do estudo. Não foi estabelecido critério de cargo ou tempo de experiência, de modo a reunir diferentes perspectivas acerca do processo de trabalho. Dessa forma, fez-se o uso de amostragem por acessibilidade ou conveniência (GIL, 2008). Além disso, foram solicitadas indicações de possíveis outros respondentes no ambiente de trabalho deles, fazendo também o uso da técnica de amostragem por bola de neve.

Os instrumentos para coleta de dados utilizados foram questionários por formulário on-line e, em casos excepcionais, por opção e disponibilidade dos participantes, entrevistas por videoconferência. O questionário utilizado é semiestruturado, constituído por questões majoritariamente abertas, o que permitiu que os participantes deliberassem acerca dos tópicos abordados e eventualmente trouxessem novos elementos e direções à análise. Uma vez que o contexto analisado – a prática dos *early adopters* – corresponde a uma pequena parcela da indústria, considerou-se que a mecanização do processo de resposta poderia limitar o surgimento de aspectos relevantes a serem discutidos.

As questões foram agrupadas nos blocos temáticos: informações gerais do respondente (cargo e tempo de trabalho na empresa), para caracterização da amostra; características do processo de projeto mais digital do qual o respondente já fez parte na empresa em que trabalha ou trabalhou (etapas, atividades desempenhadas, ferramentas e agentes envolvidos); e impactos, potencialidades e desafios das tecnologias digitais.

O foco principal deste artigo reside nas três questões que compõem o último bloco temático, direcionadas para as opiniões dos profissionais acerca do uso das tecnologias digitais no processo de projeto, a saber: “Quais foram as principais mudanças/impactos para o processo de projeto desde a adoção das tecnologias digitais?”; “Quais foram as maiores dificuldades/problemas encontradas na adoção das tecnologias digitais?”; e “De que forma as tecnologias digitais contribuíram para os resultados do produto final?”.

Para as entrevistas, foram mantidos os mesmos eixos temáticos do questionário. Todavia, devido a sua característica informal, também foram explorados os novos tópicos que surgiram em meio às respostas, bem como foram feitas algumas perguntas personalizadas para a experiência do entrevistado, sempre visando à possível identificação de novos elementos pertinentes à análise dos resultados.

De acordo com as características da análise qualitativa apresentadas por Gil (2008), adotou-se o critério do estado de saturação dos dados para encerramento dos procedimentos de coleta, em conformidade com análises preliminares dos resultados.

Pesquisadores

Buscou-se reunir, na segunda instância da coleta de dados, opiniões de pesquisadores com áreas de atuação relacionadas às tecnologias digitais que possuíssem maior bagagem teórica, mesmo que, por vezes, estivessem inseridos simultaneamente no contexto da prática profissional acerca da disseminação das tecnologias digitais na indústria e seus efeitos sobre o processo de projeto.

Foram considerados autores e pesquisadores com publicações ou apresentações relacionadas ao escopo deste estudo os que tiveram materiais consultados na etapa de fundamentação, incluindo também palestrantes de congressos recentes (a partir de 2015) das associações da área de *Computer Aided Architectural Design* (CAAD) (CUMULATIVE..., 2017), que tenham tratado de tópicos relacionados ao escopo da pesquisa em suas apresentações.

O contato também foi feito por e-mail e rede profissional, com uma exceção, de convite presencial. Os instrumentos de coleta de dados utilizados foram entrevistas semiestruturadas por correio eletrônico (e-mail) e entrevistas semiestruturadas e informais (videoconferência).

Nas entrevistas realizadas por e-mail, após o primeiro contato e o aceite de participação do pesquisador, foi enviado um conjunto de perguntas abertas, tendo em vista a identificação de possíveis novos aspectos

pertinentes à análise. As perguntas incluídas na análise são: “Como as tecnologias digitais (BIM, modelagem paramétrica e fabricação digital) influenciam a estrutura do processo de projeto na indústria da AEC? Na sua opinião, quais são as principais transformações nas etapas e nos fluxos de trabalho?”; “Como você acha que as tecnologias digitais influenciam o modo como as partes envolvidas se comunicam e colaboram?”; “Na sua opinião, quais são os maiores obstáculos à adoção em massa das tecnologias digitais na indústria da AEC?”. Da mesma forma que com os profissionais, as entrevistas informais por videoconferência seguiram o mesmo roteiro das realizadas por e-mail, com acréscimo de questões para aprofundamento dos tópicos levantados nas respostas.

Os convites e a condução de entrevistas foram interrompidos ao atingir-se o estado de saturação dos dados obtidos, mediante análises parciais dos resultados.

Tratamento e análise

A terceira e última etapa da pesquisa compreende o tratamento e a análise dos dados, que ocorreram de acordo com as etapas do processo de análise qualitativa descritas por Gil (2008): redução dos dados, apresentação e conclusão/verificação.

A redução consiste na seleção e na simplificação dos dados originais para organizá-los “de acordo com os temas ou padrões definidos nos objetivos originais da pesquisa” (GIL, 2008, p. 175). Para tal, utilizou-se a técnica de codificação temática, desenvolvida com o auxílio do software da categoria CAQDAS (*Computer-Aided Qualitative Data Analysis Softwares*) MAXQDA (MAXQDA, 2018).

Na plataforma, foram compilados os documentos de texto referentes aos questionários respondidos e às transcrições das entrevistas. A partir de então, os documentos passaram por rodadas de codificação de texto, às quais se deu continuidade até esgotar as possibilidades de redução das informações a categorias específicas.

Os códigos preliminares foram criados de acordo com os eixos temáticos abordados nos questionários e entrevistas. O eixo temático analisado trata dos impactos, potencialidades e desafios das tecnologias digitais.

Foram criados códigos secundários correspondentes às subcategorias “potencialidades” e “desafios”, e conduziu-se um novo processo de codificação do material, conforme ilustra a Figura 1. Na sequência, análises individuais das planilhas com todos os segmentos de texto associados a cada subcategoria, geradas pelo software utilizado, possibilitaram a identificação de novas subcategorias de forma indutiva (GIL, 2008).

Assim, as potencialidades das tecnologias foram então codificadas de acordo com as seguintes classes de aspectos recorrentes nos resultados:

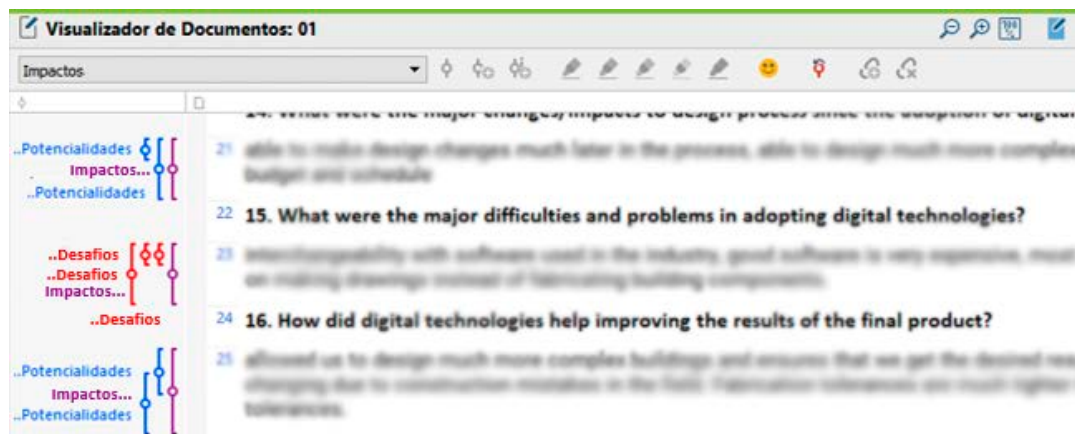
- (a) custo e cronograma;
- (b) produtividade, exploração e precisão nas soluções projetuais;
- (c) disponibilidade e transparência de informações;
- (d) compartilhamento, colaboração e integração entre os envolvidos;
- (e) racionalização e economia na construção;
- (f) complexidade e customização das soluções; e
- (g) visualização e apresentação do projeto.

Quanto aos desafios, verificou-se que poderiam ser compilados nas seguintes categorias de aspectos:

- (a) sociais e culturais;
- (b) de integração, compartilhamento e gerenciamento de dados; e
- (c) relacionados aos softwares.

Após o processo de redução, tem-se a etapa de apresentação dos dados, que consiste em sua organização de modo a possibilitar uma análise sistemática (GIL, 2008). As respostas foram organizadas em quadros contendo a síntese das principais potencialidades e desafios, organizados de acordo com as categorias mencionadas.

Figura 1 - Codificação dos documentos de texto no MAXQDA



A terceira e última etapa da análise qualitativa, segundo Gil (2008), é a de conclusão/verificação, na qual se confere significado aos dados obtidos. Ainda conforme aponta o autor, a principal ferramenta intelectual na análise qualitativa é a comparação, e os dados podem ser comparados com modelos já definidos, com dados de outras pesquisas e também com os próprios dados. Assim, foram observadas as correlações e divergências entre os dados obtidos, incluindo comparações com relação ao referencial teórico do estudo, para as análises e conclusões que serão apresentadas.

Resultados e discussão

Caracterização da amostra

Profissionais

Foi contatado, entre abril e julho de 2018, um total de 263 profissionais, dos quais 30 (11,40%) participaram do estudo e tiveram suas respostas incluídas na análise, contabilizando 28 questionários respondidos e duas entrevistas realizadas por videoconferência.

Entre os profissionais estão gerentes, coordenadores de projetos e gerentes/coordenadores BIM (10), designers (8), arquitetos (6), diretores (5), engenheiros (3) e consultores (3). Alguns deles assumem mais de uma função. Os profissionais possuem experiências em um total de 17 empresas identificadas como *early adopters* e atuam nos seguintes países: Estados Unidos (16), Reino Unido (7), Holanda (3), Austrália (1), Alemanha (1), Itália (1) e Dinamarca (1).

Pesquisadores

Sete pesquisadores de um total de 30 convidados participaram do estudo, sendo 2 entrevistas realizadas por videoconferência e 5 por e-mail. Os pesquisadores A, D e G atuam nos Estados Unidos, um deles professor universitário e fundador de uma incubadora de tecnologia, com histórico de atuação na prática profissional, e dois desenvolvedores de produtos e tecnologias para o processo de projeto na AEC.

O pesquisador B, que atua na Bélgica, é professor universitário e consultor na área de BIM. O entrevistado C é professor universitário e pesquisador no Reino Unido. O pesquisador D atua em consultoria para materialização de projetos complexos por meio de métodos computacionais e reside na Alemanha. E, por último, a pesquisadora F é professora do ensino superior no Brasil.

Resultados: potencialidades e desafios

As potencialidades e os desafios identificados nos resultados obtidos estão sintetizados nos Quadros 1 e 2 respectivamente, subdivididos de acordo com as categorias do processo de codificação. Destacam-se nos quadros os aspectos em que as opiniões de profissionais e pesquisadores convergiram, bem como as especificidades de cada categoria de participantes.

Na Figura 2 apresenta-se a frequência de cada categoria de potencialidades e desafios entre os participantes.

Análise e discussão

Potencialidades e contrastes nas práticas adotadas

De acordo com a Figura 2, a categoria de potencialidades relacionadas a custo e cronograma foi a mais frequente no grupo de profissionais e o terceiro aspecto mais comentado pelos pesquisadores. Verifica-se pelo Quadro 1 que ambos os grupos destacaram a antecipação da resolução de problemas durante o processo de projeto, possibilitada pelo uso das tecnologias digitais. Embora existam especificidades nos grupos de participantes, os aspectos apontados não se mostram divergentes, mas, sim, complementares. Por exemplo, profissionais apontaram o controle contínuo de custo e redução dos custos e prazos da construção, fatores que podem derivar da construção virtual em n dimensões por meio das ferramentas digitais, mencionada pelos pesquisadores.

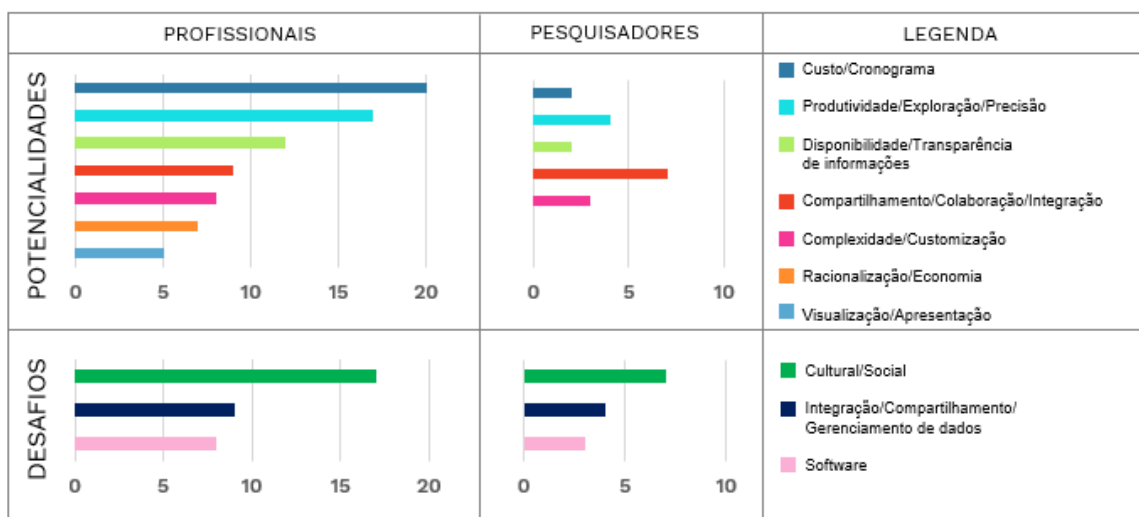
Quadro 1 - Potencialidades da adoção das tecnologias digitais

Categorias	Convergências	Especificidades	
		Profissionais	Pesquisadores
Custo e cronograma	<ul style="list-style-type: none"> Antecipação da tomada de decisão e da resolução de problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> Controle contínuo de orçamento e cronograma. Redução de custos e prazo de construção/fabricação. 	<ul style="list-style-type: none"> Construção virtual em n dimensões.
Produtividade, exploração e precisão	<ul style="list-style-type: none"> Uso de modelagem procedural e simulações – maior exploração das soluções. Automatização da representação, quantitativos e compatibilização de interferências. Análise e previsão de desempenho. 	<ul style="list-style-type: none"> Aproximação dos modelos com a realidade – simulação de condições reais e desenvolvimento de protótipos. Documentação precisa, eficiente e consistente. Pré-fabricação – precisão no processo construtivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Melhor desenvolvimento e formulação de projetos – processo mais denso. Uso de regras, parâmetros e processos generativos. Distanciamento de trabalho manual.
Disponibilidade e transparência de informações	-	<ul style="list-style-type: none"> Clareza de dados e detalhes – redução de dúvidas e erros de execução. Transparência – decisões mais bem informadas e coordenação do trabalho das partes. 	<ul style="list-style-type: none"> Acesso aos dados em diferentes locais e dispositivos. Aumento do fluxo das informações.
Compartilhamento, colaboração e integração	<ul style="list-style-type: none"> Amplificação da colaboração (mais conveniente, frequente e fluida) e transição do trabalho isolado para um pensamento colaborativo. Comunicação mais precisa e mais clara. 	<ul style="list-style-type: none"> Resultados mais integrados. Promoção de ciclos de feedbacks para tomada de decisão. Oportunidades de trabalhar com parceiros em outras localidades geográficas. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de <i>Common Data Environments</i> (CDE), incluindo repositórios na nuvem para compartilhamento de arquivos. Abrangência multidisciplinar das tecnologias. Convergência das atividades e etapas.
Complexidade e customização	<ul style="list-style-type: none"> Novas possibilidades formais - geometrias complexas. Ampliação do escopo criativo. 	<ul style="list-style-type: none"> Customização em massa. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de soluções customizadas.
Racionalização e economia	-	<ul style="list-style-type: none"> Redução do desperdício de materiais e investimentos. Fluxos de trabalho economicamente mais eficientes. Racionalização de geometrias em componentes, impressão 3D em escala real e construção robótica. 	-
Visualização e apresentação	-	<ul style="list-style-type: none"> Melhor visualização das soluções projetuais – <i>renders</i> mais avançados, recursos de realidade virtual e protótipos físicos. Melhoria da compreensão e comunicação com os envolvidos. 	-

Quadro 2 - Desafios na adoção das tecnologias digitais

Categorias	Convergências	Especificidades	
		Profissionais	Pesquisadores
Social/Cultural	<ul style="list-style-type: none"> Falta de profissionais com conhecimentos, competências e habilidades necessárias. Resistência cultural e pragmatismo de profissionais e empresas quanto à nova mentalidade e às novas práticas de trabalho que se fazem necessárias. Falta de compreensão das implicações das tecnologias digitais. <ul style="list-style-type: none"> Necessidade de investimentos em treinamento acadêmico e profissional. Dificuldades na interface entre os envolvidos – elevada fragmentação dos métodos de trabalho utilizados/choque entre gerações. <ul style="list-style-type: none"> Tempo requerido para treinamento/atualizar-se nas novas ferramentas. 	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade para mostrar ao cliente benefícios tangíveis da adoção das tecnologias digitais. Sub ou supervalorização da tecnologia. Dificuldade de implantar o pensamento colaborativo. Dificuldades relacionadas com a autoria dos projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de habilidade de aplicação dos conhecimentos em múltiplos projetos – duplicação de trabalho. Profissionais enxergam programação como algo especializado, e não como parte integral do processo. <ul style="list-style-type: none"> Pouco investimento de tempo na etapa de projeto. <ul style="list-style-type: none"> Falta de líderes com flexibilidade para experimentação dentro das empresas.
Integração, compartilhamento e gerenciamento de dados	<ul style="list-style-type: none"> Falta de padrões para troca de dados. Fragmentação da indústria – muitas empresas diferentes atuam em um mesmo projeto – dificuldades de compartilhamento e de integração de envolvidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade para mesclar novas tecnologias com métodos e fluxos não sincronizados. Dificuldade em gerenciar os dados e as informações – verificação, armazenamento, manipulação e disponibilização. 	<ul style="list-style-type: none"> Adoção segmentada das tecnologias para tarefas isoladas e sem associação dos elementos do projeto. Persistência de estruturas contratuais conservadoras.
Softwares	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de interoperabilidade. Complexidade das ferramentas – falta de praticidade e de usabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos custos das plataformas. Excesso de opções disponíveis – dificuldade para acompanhar lançamentos e atualizações. 	<ul style="list-style-type: none"> Competitividade entre softwares. Direitos ambíguos de uso de dados.

Figura 2 - Frequência das categorias de potencialidades e desafios entre participantes



Ainda considerando o custo, a categoria de potencialidades para racionalização e economia, que trata mais especificamente do processo construtivo, identificada apenas nas respostas dos profissionais, reforça que a

adoção das tecnologias digitais pode constituir um recurso para ir ao encontro das crescentes demandas por viabilidade, velocidade e qualidade simultâneas na AEC (DEUTSCH, 2017). Foram apontadas a redução no desperdício de materiais, a melhora na eficiência dos fluxos de trabalho e a racionalização dos componentes construtivos, com recursos de fabricação digital e construção robótica.

No âmbito das abordagens construtivas, tem-se as potencialidades de complexidade e customização. As especificidades incluem a customização em massa para o grupo de profissionais e o desenvolvimento de soluções customizadas, de acordo com os pesquisadores. Embora o segundo aspecto seja mais abrangente que o primeiro, há uma equivalência entre eles. Cabe destacar que a inserção da customização em massa na indústria da AEC confronta sistemas construtivos e tipologias predominantes em partes do setor, como a predominância do concreto armado *in loco* em determinadas localidades, por exemplo. Além disso, a customização em massa não é algo recorrente na AEC, mas, sim, uma característica predominante de outras indústrias, como a naval e a aeroespacial, o que sugere uma aproximação da produção do setor à industrialização, conforme abordam Kolarevic (2001) e Scheurer (2012), e reflete na necessidade de adoção de processos correspondentes.

Na mesma categoria, têm-se como convergências as novas possibilidades formais e geometrias complexas, bem como a abertura do escopo criativo. Com ferramentas de modelagem paramétrica, por exemplo, soluções geométricas antes inimagináveis se tornam possíveis, conforme apontado pelos profissionais, o que consequentemente abre o escopo criativo, dada a constatação, na prática, de que muitas limitações de materialização antes existentes podem ser superadas.

A categoria de produtividade, exploração e precisão foi a segunda mais frequente nas respostas de ambos os grupos, conforme a Figura 2. Entre as convergências estão o uso da modelagem procedural, o aumento da exploração das soluções, as possibilidades de prever o desempenho da edificação e a automatização de tarefas. Algumas das especificidades apontadas pelos profissionais complementam as convergências, como a aproximação dos modelos à realidade e as possibilidades de simulação. Tem-se também a precisão na documentação, uma vez que plantas baixas, cortes e elevações podem ser automaticamente extraídos de modelos digitais, o que reduz a susceptibilidade a erros humanos de representação. Os profissionais também destacaram a precisão construtiva dos elementos pré-fabricados, visto que, com a pré-fabricação, o processo construtivo pouco se baseia na interpretação humana da documentação de projeto. Pesquisadores apontaram uma melhor formulação do projeto, que pode derivar da exploração, uma vez que inviabiliza a tomada de decisão baseada apenas na experiência do projetista, bem como o distanciamento do trabalho manual (automatização). O grupo também enfatizou o uso de regras, parâmetros e processos generativos, que são recursos de exploração e estão relacionados com a modelagem procedural.

A terceira categoria mais frequente em ambos os grupos foi a de disponibilidade e transparência de informações, embora não tenham sido constatadas convergências nos aspectos apontados. O grupo de profissionais enfatizou novamente a redução de erros de execução e dúvidas, porém, agora, à luz das informações disponíveis no processo de projeto. A transparência de dados foi outro fator mencionado pelo grupo, que a relacionou com decisões mais bem informadas e com o fortalecimento do trabalho colaborativo, o que, por sua vez, facilita a coordenação do trabalho dos múltiplos envolvidos no projeto e na construção do empreendimento. Semelhantemente, as especificidades do grupo de pesquisadores incluem o acesso às informações em diferentes locais e dispositivos e o aumento no fluxo das informações entre as partes. Portanto, observa-se que as especificidades para essa categoria também ocorrem de forma complementar: profissionais destacam a disponibilidade de informações, e pesquisadores a facilidade de acesso a elas, e ambos os grupos consideram que há um fomento à integração do trabalho.

A categoria de colaboração, compartilhamento e integração traz fatores que reforçam as informações apresentadas na categoria anterior. Embora seja a principal entre o grupo de pesquisadores, foi apenas a quarta categoria mais presente nas respostas dos profissionais. Se considerarmos os desafios que serão tratados no item subsequente, é possível que isso derive dos obstáculos ainda encontrados pela prática para o trabalho colaborativo. Apesar disso, o aumento da colaboração e melhoria da comunicação fomentados pelas tecnologias digitais é consenso entre os participantes. Nas especificidades, verifica-se que os profissionais constataram resultados mais integrados e a promoção de ciclos de feedback para a tomada de decisão conjunta, sugerindo que há um compartilhamento da responsabilidade pelas soluções adotadas. Também foi reportado aumento nas oportunidades para trabalhar com parceiros em outras localidades geográficas, o que é recorrente na prática dos *early adopters* e pode ser fomentado pelo uso de repositórios comuns. Os repositórios comuns podem ser repositórios na nuvem, conforme destacaram os pesquisadores. O segundo grupo também apontou a abrangência multidisciplinar das tecnologias e a convergência de atividades e etapas. A mitigação da divisão do trabalho em tarefas isoladas e sequenciais foi destacada por ambos os grupos.

A comunicação entre os envolvidos no processo de projeto, portanto, é aprimorada com o uso das tecnologias digitais. Uma melhora significativa na comunicação também foi reportada pelos profissionais na categoria de visualização e apresentação do projeto, a qual não foi abordada nas respostas dos pesquisadores. Segundo os participantes, os recursos avançados para apresentação e visualização, como *renders* e realidade virtual, por exemplo, aprimoram a compreensão de outras partes das soluções propostas, o que facilita a comunicação, principalmente com o cliente. A importância de uma boa comunicação e da participação do cliente foi muito enfatizada pelos profissionais em meio às respostas fornecidas.

Verifica-se que existem contrastes entre as constatações dos participantes com a cultura predominante em grande parte do setor da AEC em escala global. Dois aspectos bastante enraizados na cultura da AEC que conflitam com as informações apresentadas até então são a predominância de projeções ortogonais impressas como principal recurso de análise e documentação de projetos, e a adoção de processos fragmentados diretamente associados a ela (BABIĆ; REBOLJ, 2016).

Babić e Rebolj (2016) enfatizam o fato de a documentação tradicional ser perpetuada por tratar-se de uma forma de delimitar a responsabilidade das partes envolvidas, bem como de reduzir o projeto a uma solução absoluta e definitiva, uma vez que impressa e assinada, simplificando os processos de trabalho, o que consolida sua fragmentação. Com base nos resultados, a melhora na comunicação e compreensão dos envolvidos com o uso de novos recursos de visualização e apresentação enfatiza que a predominância do uso de projeções ortogonais na AEC não decorre necessariamente de constituírem a maneira mais adequada de comunicar os resultados de projeto aos demais envolvidos.

Além disso, grande parte das potencialidades constatadas pelos participantes implica em uma mudança acentuada da configuração do trabalho e na adoção de processos holísticos e não absolutos, com compartilhamento de responsabilidades na tomada de decisão, inviabilizando processos sequenciais e irreversíveis. É provável, por exemplo, que a menção pelos participantes a fluxos de trabalho economicamente mais eficientes com o uso das tecnologias digitais esteja relacionada com o resultante aprimoramento da comunicação entre os envolvidos. Muitos dos problemas de projeto ou que surgem na etapa de construção são produtos das falhas de comunicação. Com a integração, problemas nas interfaces entre os sistemas podem ser antecipados e resolvidos ainda no desenvolvimento do projeto, o que inevitavelmente reflete na eficiência dos fluxos subsequentes e na redução de custos não previstos.

Embora a realidade de grande parte do mercado ainda seja discrepante do cenário exposto, os resultados do estudo, respaldados por constatações baseadas em experiências reais de profissionais e no conhecimento de pesquisadores, mostram que a transformação das práticas e métodos de trabalho fomentadas pelas tecnologias pode trazer melhorias aos resultados de projeto e construção. No entanto, os esforços para inserir novas práticas no setor, que confrontam o paradigma predominante, ainda são amplos. Dessa forma, cabe aprofundar os desafios identificados nas respostas obtidas.

Desafios, lições dos *early adopters* e medidas identificadas

Houve nos resultados um consenso geral de que aspectos socioculturais constituem os principais e mais graves desafios relacionados à adoção das tecnologias digitais na AEC. As convergências entre ambos os grupos de participantes para a categoria englobam a falta de profissionais com conhecimentos, competências e habilidades necessárias; a resistência cultural da indústria; a falta de compreensão das implicações da tecnologia; os reduzidos investimentos em treinamento; as dificuldades na interface entre empresas ou gerações; e a falta de tempo para treinamento/atualização.

Para os profissionais, são desafios as dificuldades para enfatizar os benefícios ao cliente; a sub e a supervalorização da tecnologia, relacionadas com a falta de compreensão de suas implicações; e aspectos de autoria, que também dificultam o trabalho colaborativo e o compartilhamento de informações. Os pesquisadores apontaram a falta de habilidade para escalar os conhecimentos aos demais projetos, sem duplicação de trabalho, e a inércia dos profissionais em termos de capacitação para uso das ferramentas digitais, como o domínio da programação, por exemplo, por serem algo especializado, e não como uma competência de projetistas. Outro fator muito importante pontuado pelos pesquisadores foi a falta de líderes com flexibilidade para experimentação nas empresas.

Convergências e especificidades da categoria social/cultural evidenciam a importância da educação para catalisar as transformações necessárias no setor. Medidas relacionadas à educação adquirem extrema relevância para que a formação dos futuros profissionais inclua, além dos artefatos que podem ser produzidos por meio das ferramentas digitais, reflexões acerca das transformações que estas trazem à cultura da indústria, o que foi enfatizado por Bernstein (2018), uma vez que a falta de compreensão de suas implicações foi

considerada um desafio. Ainda, competências e habilidades exigidas pelas novas abordagens processuais precisam ser contempladas. Ruschel, Andrade e Morais (2013) já enfatizavam a importância de modificar a educação no cenário brasileiro em relação ao BIM. Essa medida contribuiria tanto para a falta de profissionais capacitados para implementação das ferramentas digitais, quanto para mitigar as dificuldades de integração, compartilhamento e gerenciamento de dados, categoria de desafios que será abordada na sequência. Dois pesquisadores participantes do estudo relataram acreditar que mudanças substanciais à prática profissional na AEC possuem caráter geracional e não disruptivo, pois só devem ocorrer com a troca de gerações.

Em contrapartida, segundo Babič e Rebolj (2016), a formação dos futuros profissionais ainda tem elementos que perpetuam o cenário existente, pois o ensino, por vezes, é direcionado à inserção dos futuros profissionais no mercado de trabalho. Ao mesmo tempo, tal perpetuação pode gerar certa estagnação dentro das empresas atuantes, o que agrava a resistência às novas práticas. Isso condiz com outro desafio associado, que é o choque entre gerações, a falta de abertura para inserir ideias inovadoras na prática já consolidada, conforme ressaltaram os participantes. Portanto, a mudança na mentalidade e o desenvolvimento de competências não se restringe aos futuros profissionais, embora sejam de suma importância. É preciso, além disso, promover incentivos para que profissionais atuantes também compreendam as transformações decorrentes da adoção conjunta e holística das tecnologias digitais, e tomem conhecimento das potencialidades que podem ser alcançadas com a evolução das práticas predominantes.

Uma forma de ir ao encontro da flexibilização da prática é a aproximação com a pesquisa acadêmica, visando reduzir incertezas e riscos em relação às inovações, o que pode ser considerada outra grande lição dos *early adopters* a ser estendida aos demais níveis do setor. Entre os profissionais entrevistados no estudo, por exemplo, há um largo percentual de doutores, bem como existem cargos voltados para a pesquisa dentro das empresas analisadas, e algumas funcionam também como incubadoras de novas soluções tecnológicas.

Destacam-se alguns exemplos de iniciativas para estreitar relações entre prática e pesquisa:

- (a) o grupo Smartgeometry (SMARTGEOMETRY, 2018), que inclui professores, membros de grandes escritórios de arquitetura e instituições de ensino, para a promoção de workshops e conferências com foco no uso da matemática e da computação;
- (b) a promoção pelo Royal Institute of British Architects (RIBA) (2013), no Reino Unido, de parcerias, incentivos financeiros e novos formatos de formação de doutores (SAMUEL, 2017); e as parcerias, nos Estados Unidos, entre o AIA e a Association of Collegiate Schools of Architecture (ACSA) (FISCHER, 2017); e
- (c) periódicos com abordagens mistas (TECHNOLOGY..., 2019; ARCHITECTURAL..., 2019) visando alcançar público-alvo tanto na pesquisa quanto na prática profissional (FISCHER, 2017).

A categoria de integração, compartilhamento e gerenciamento de dados fortalece os pontos destacados até então. Os aspectos convergentes destacam a falta de padrões para troca de dados e para a elevada fragmentação da indústria, que também dificulta a organização da troca de informações. As dificuldades em mesclar novas tecnologias e fluxos de trabalho não sincronizados são desafios constatados pelos profissionais. Ao passo que a disponibilidade de dados e informações propiciada pelas tecnologias digitais foi considerada uma potencialidade, profissionais também reportaram dificuldade em gerenciar a abundância de informações geradas pelas tecnologias digitais. Observa-se que isso não se restringe a empresas em processo inicial de implantação, uma vez que os participantes têm experiências também em empresas que já atingiram um nível de adoção muito superior.

O grupo de pesquisadores destacou como desafio a adoção segmentada das tecnologias para tarefas isoladas, sem mudanças nas práticas e métodos de trabalho, com foco em abordagens colaborativas e integradas, e a persistência de estruturas contratuais conservadoras. Verifica-se que alguns dos fatores dessa categoria também poderiam ser enfrentados por meio da educação dos profissionais, como a capacidade de gerenciamento de dados e, novamente, a compreensão de que as tecnologias digitais exigem uma abordagem holística; portanto, o foco nas ferramentas e a adoção segmentada para tarefas pontuais pouco justificam os esforços e investimentos.

Quanto às estruturas contratuais, embora tal fator não tenha sido citado pelos profissionais, o grupo apontou a fragmentação do envolvimento das partes, que poderia ser reduzida com a adoção de outros formatos de contrato. Verifica-se que existem abordagens contratuais integradas que poderiam ter sua adoção incentivada nas demais parcelas do setor, como o Integrated Project Delivery (IPD) (AMERICAN..., 2007). Para tal, destaca-se a importância das medidas governamentais e institucionais visando orientar e regulamentar a

transformação digital no setor, de modo a reduzir a resistência e auxiliar na promoção de padrões para as trocas de dados e condução do processo de projeto.

O governo britânico, por exemplo, exige desde 2016 o uso de BIM com no mínimo o nível 2 de maturidade, segundo categorização de níveis adotada pelo National Building Specification (NBS). O nível 2, segundo o National Building Specification (2018a), inclui o trabalho colaborativo, com todas as partes utilizando modelos tridimensionais, compartilhando informação por meio de formatos comuns, como o Industry Foundation Classes (IFC) (BUILDINGSMART, 2018) ou Construction (to) Operations Building Information Exchange (COBie) (NATIONAL..., 2017), que devem ser suportados pelas ferramentas utilizadas. Uma série de regulamentações foi lançada no país, estabelecendo padrões, especificações e diretrizes relacionadas ao trabalho colaborativo e aos requisitos de informação a serem atendidos. Uma pesquisa apresentada pelo Relatório Nacional de BIM (NATIONAL..., 2018b) mostra em 2018 um crescimento de 12% no uso de BIM, o maior crescimento anual desde 2014. Os resultados também indicam que dentro de 3 a 5 anos é possível atingir 90% de adoção.

Além disso, grande parte dos profissionais britânicos participantes do estudo forneceram informações com similaridades expressivas entre si e com o plano de trabalho e recomendações do RIBA, sugerindo uma padronização nos processos adotados, mesmo em se tratando de profissionais com experiências em empresas diferentes. Dessa forma, a promoção de regulamentações, orientações e exigências adequadamente elaboradas também pode tanto reduzir a fragmentação dos processos quanto constituir uma referência para a organização do escopo de atuação das diversas partes envolvidas em um mesmo projeto.

A falta de esforços governamentais e institucionais também reflete nos baixos incentivos econômicos às empresas e profissionais para embarcar no contexto digital, que carrega custos diversos. Segundo a pesquisadora F, no caso do Brasil, por exemplo, os aspectos financeiros são fatores determinantes para a baixa difusão das tecnologias digitais. Seria de suma importância a inserção e multiplicação de incentivos econômicos como medida para promover treinamentos e flexibilizar os formatos de contrato.

Por último, tem-se a categoria menos frequente de desafios, relacionados aos softwares, que compila como convergências os problemas de interoperabilidade e a complexidade das ferramentas. A baixa frequência dos fatores mencionados nas respostas dos participantes evidencia o quanto a adoção das tecnologias digitais envolve muito além das ferramentas, e que a ideia de que basta adquirir um novo software para se beneficiar de suas potencialidades deve ser desmistificada. Para os profissionais, os altos custos das ferramentas e a diversidade de opções disponíveis são desafios da categoria. O grupo de pesquisadores, por sua vez, aponta a competitividade entre desenvolvedores, que dificulta a interoperabilidade, e os direitos ambíguos de uso de dados, que podem desencorajar a adoção por parte dos profissionais.

Quanto aos desafios apresentados, conclui-se que há uma convergência entre as categorias em que foram agrupados e os campos do BIM propostos por Succar (2009):

- (a) políticas, relacionadas à parte sociocultural;
- (b) processos, que engloba integração, compartilhamento e gerenciamento; e
- (c) tecnologias, relacionada com a categoria de software, sugerindo que a subdivisão do autor também se aplica às demais tecnologias.

Ressalta-se que as medidas sugeridas e pontuadas até então apontam para uma total e simultânea mobilização e atuação dos agentes (*players*) indicados para cada campo, e enfatizam as existentes sobreposições que o autor destaca entre eles. O autor cita, por exemplo, situações que exigem esforços de mais de um campo, como o desenvolvimento de padrões para compartilhamento de arquivos, o que envolve os agentes de políticas (pesquisadores e criadores de políticas) e de tecnologia (os desenvolvedores de softwares). Outro exemplo aplicável é o de uma instituição composta de profissionais (agentes do campo de processo), que gera políticas, como guias e melhores práticas.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal compreender as implicações da adoção das tecnologias digitais no processo de projeto, tomando como referência o contexto dos *early adopters*. Foram compiladas e analisadas as perspectivas de profissionais com experiências em empresas inovadoras e de pesquisadores da área. Apresentaram-se as seguintes categorias de potencialidades: custo e cronograma; produtividade, exploração e precisão; disponibilidade e transparência de informações; compartilhamento, colaboração e integração;

complexidade e customização; racionalização e economia; e visualização e apresentação. Os desafios incluem as categorias:

- (a) social/cultural;
- (b) integração, compartilhamento e gerenciamento de dados; e
- (c) softwares.

Para cada categoria, identificaram-se fatores convergentes entre os grupos de participantes, bem como suas especificidades.

Em suma, os resultados apontam que as tecnologias digitais (BIM, modelagem paramétrica e fabricação digital) constituem potenciais recursos para mitigar muitas das ineficiências derivadas da cultura enraizada no setor da AEC, que inclui a frequente fragmentação do processo de projeto e o desenvolvimento e documentação projetual baseados em projeções ortogonais, cujas razões para perpetuação foram explicitadas por Babič e Rebolj (2016). Todavia, reforçando o que concluem os autores (BABIČ; REBOLJ, 2016) para o BIM, porém incluindo também modelagem paramétrica e fabricação digital, bem como as colocações de Bernstein (2012), os resultados do estudo apontam que é improvável que grandes transformações sejam alcançadas com a adoção de ferramentas digitais se não houver uma movimentação a favor da promoção de mudanças substanciais às práticas adotadas, incluindo principalmente a promoção de abordagens processuais holísticas e integradas, com mentalidades e métodos de trabalho correspondentes.

Em consonância com Succar (2009), que aborda o BIM em específico, os resultados apontam, também para a modelagem paramétrica e para a fabricação digital, em que são necessários o reconhecimento e a mobilização multidirecional por parte de diferentes agentes de mudança, incluindo autoridades, instituições, universidades, educadores, empresas e os próprios profissionais, por meio da promoção de medidas que puderam ser identificadas. Tais medidas incluem o fomento às regulamentações e exigências para padronizar aspectos do processo de projeto e promover incentivos à adoção das tecnologias digitais, a aproximação da prática profissional com a pesquisa acadêmica e as mudanças na educação dos profissionais.

A principal contribuição da pesquisa reside em trazer à tona constatações das camadas mais inovadoras da indústria e evidenciar ao setor as possibilidades concretizadas com as tecnologias digitais, mas também as contrapor com os esforços que são necessários para alcançá-las, promovendo uma reflexão acerca de sua dimensão e desmistificando o grande papel comumente atribuído apenas às ferramentas. Um diferencial do estudo a ser destacado é a abrangência global, devida à compilação de perspectivas com origens em diferentes países, bem como de profissionais e pesquisadores.

Ressalta-se que, para o campo profissional, reuniram-se perspectivas e opiniões de determinada amostra de profissionais, não havendo contato direto com as empresas, o que constitui uma limitação do estudo. Por isso, recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de estudos de campo em empresas consideradas *early adopters*, para aprofundar e reavaliar os resultados apresentados. Além disso, recomenda-se também que as medidas apontadas sejam aprofundadas e que estratégias para colocá-las em prática sejam exploradas.

Referências

- AISH, R. First build your tools. In: PETERS, T.; PETERS, B. **Inside smartgeometry**. Chichester: John Wiley & Sons, 2013.
- AISH, R.; BREDELLA, N. The evolution of architectural computing: from building modelling to design computation. **arq: Architectural Research Quarterly**, v. 21, n. 1, p. 65-73, 2017.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated Project Delivery: a guide**. 2007. Disponível em: https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD_Guide_2007.pdf. Acesso em: 9 jan. 2018.
- ARCHITECTURAL RESEARCH QUARTERLY. **Arq.: Architectural Research Quarterly**. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/arq-architectural-research-quarterly>. Acesso em: 7 mar. 2019.
- AUTODESK. **AutoCAD**. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>. Acesso em: 26 maio 2018.
- BABIČ, N. Č.; REBOLJ, D. Culture change in construction industry: from 2D toward bim based construction. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, p. 86-99, 2016.
- BERNSTEIN, P. **Architecture | Design | Data: practice competency in the era of computation**. Birkhauser, 2018.

- BERNSTEIN, P. Intention to artifact. In: MARBLE, S. (ed.). **Digital Workflows in Architecture: designing design: designing assembly: designing industry**. Basel: Birkhäuser, 2012.
- BREEN, J. Designerly enquiry. In: JONG, T. M.; VOORDT, Theo J. M. van der. (ed.). **Ways to study and research: urban, architectural and technical design**. Delt: Delft University Press, 2002.
- BUILDINGSMART. **BuildingSMART**. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- CELANI, M G. C. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. Cambridge, 2002. 201 f. Tese (Doutorado em Arquitetura: Design & Computation) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2002.
- CELANI, M. G. C. Computação. In: BRAIDA, F.; LIMA, F.; FONSECA, J.; MORAIS, V. (org.). **101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital**. São Paulo: ProBooks, 2016.
- CROSS, N. From a design science to a design discipline: understanding designedly ways of knowing and thinking. In: MICHEL, R. (ed.). **Design research now**. Birkhäuser Verlag AG, 2007.
- CUMULATIVE INDEX ABOUT PUBLICATIONS IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN. **CumInCAD**. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/>. Acesso em: 18 mar. 2017.
- DEUTSCH, R. **Convergence: the redesign of design**. Chichester: John Wiley & Sons, 2017.
- EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
- FABRICIO, M. M. O arquiteto e o coordenador de projetos. **Pós – Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 22, p. 26-50, dez. 2008.
- FISCHER, T.; HERR, C. M. Teaching generative design. In: INTERNATIONAL GENERATIVE ART CONFERENCE, 4., Milão, 2001. **Proceedings [...]** Milão: Politécnico di Milano, 2001.
- FISHER, T. Research and architecture's knowledge loop. **Technology|Architecture + Design**, v. 1, n. 2, p. 131-134, nov. 2017.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HENSEL, M. U.; NILSSON, F. **The changing shape of practice: integrating research and design in architecture**. London: Routledge, 2016.
- KEOUGH, I.; HAUCK, A. From pencils to partners: the next role of computation in building design. **Architectural Design**, v. 81, n. 3, p. 74-81, may/jun. 2017.
- KOLAREVIC, B. Designing and manufacturing architecture in the digital age. **Architectural Information Management**, v. 5, p. 117-123, 2001.
- LAWSON, B. **How designers think: the design process demystified**. 4. ed. Oxford: Architectural, 2005.
- LOVERIDGE, R. A. **Process bifurcation and the digital chain in architecture**. Lausana, 2012. 233 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Ciências da Cidade) – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausana, 2012.
- MAXQDA. **MAXQDA**. Disponível em: <https://www.maxqda.com/>. Acesso em: 2 ago. 2018.
- MITCHELL, W. J. Afterword: the design studio of the future. In: CAAD FUTURES, Boston, 1989. **Proceedings [...]** Boston: The MIT Press, 1990.
- NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **BIM Levels explained**. 2018a. Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **National BIM Report 2018**. 2018b. Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>. Acesso em: 18 jul. 2018.
- NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **The 20 key BIM terms you need to know**. 2017. Disponível em: <https://www.thenbs.com/knowledge/the-20-key-bim-terms-you-need-to-know>. Acesso em: 14 jul. 2018.
- ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 3. ed. New York: The Free Press, 1983.
- ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS. **Plan of work**. 2013. Disponível em: <https://www.ribaplanofwork.com/About/Concept.aspx>. Acesso em: 9 jan. 2018.

- RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X de; MORAIS, M. de. O ensino do BIM no Brasil: onde estamos? **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2013.
- SAMUEL, F. Supporting research in practice. **The Journal of Architecture**, v. 22, n. 1, p. 4-10, 2017.
- SCHEURER, F. Digital craftsmanship: from thinking to modeling to building. In: MARBLE, S. (ed.). **Digital workflows in architecture: designing design - designing assembly - designing industry**. Basel: Birkhäuser, 2012.
- SMARTGEOMETRY. **Smartgeometry**. Disponível em: <https://www.smartgeometry.org/>. Acesso em: 2 jul. 2018.
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.
- TECHNOLOGY|ARCHITECTURE + DESIGN. **Technology | Architecture + Design**. 2019. Disponível em: <https://tadjournal.org/>. Acesso em: 7 mar. 2019.
- TOMBESI, P. The carriage in the needle: building design and flexible specialization systems. **Journal of Architectural Education**, v. 52, n. 3, p. 134-142, 1999.
- WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Oxon: Routledge, 2010.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de financiamento 001. Os autores agradecem aos participantes do estudo e à Capes.

Paola Zardo

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Faculdade Meridional | Rua Senador Pinheiro, 304 | Passo Fundo - RS - Brasil | CEP 99070-220 | Tel.:(54) 3045-6100 | E-mail: pazardo@gmail.com

Andréa Quadrado Mussi

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Faculdade Meridional | E-mail: andrea.mussi@imed.edu.br

Juliano Lima da Silva

Escola de Engenharia | Faculdade Meridional | E-mail: juliano_lima_silva@hotmail.com

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.