XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO

VIII ENCUESTRO LATINOAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Do conhecimento à ação: práticas avançadas de gestão da produção
Londrina, Paraná, Brasil. 23 a 25 de Outubro de 2019

DESAFIOS DA GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO 4.0

OVIEDO-HAITO, Ricardo Juan José (1); MORATTI, Tathyana (2); CARDOSO, Francisco Ferreira (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: ricardo.oviedo.haito@ufsc.br (2) Universidade São Judas Tadeu, e-mail: tathyana.moratti@saojudas.br, (3) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e-mail: ff.cardoso@usp.br

ABSTRACT

As in the Industry 4.0, “servitization” and digitalization are associated with the concept of Construction 4.0. The purpose of this paper is to discuss major challenges in the implementation of Construction 4.0 faced by the Brazilian Construction Management practices; grounded on literature review. As a result, challenges related to eleven categories were tabulated in front of four objectives: organizing construction, rationalizing construction, industrializing construction, and “servitizing” and digitalizing Construction Management. The greatest challenge lies in managing the coexistence of different stages of technologies and services, from traditional construction to smart buildings. The main contribution of this paper is the tabulation of different technologies of management, design, construction, maintenance, materials (products), etc. required to achieve Construction 4.0 performance levels.

Keywords: Construction 4.0, Rationalization, Industrialization, Production management.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção representa 8,57% do PIB do Brasil (ABRAMAT, 2018) e cerca de 6% do PIB mundial; e se a sua produtividade ganhasse 1% ao ano pouparia, a nível mundial, uns 100 bilhões de dólares (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). Não obstante, este setor é fragmentado e tradicionalmente conservador, o qual dificulta a inovação (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016) e, portanto, ganhos de produtividade.

Apesar disso, historicamente, mudanças tecnológicas alteraram a maneira como as empresas se relacionam e transacionam entre si e com os seus clientes. Gibb (1999), Nowotarski e Paslawski (2017), Alaloul *et al.* (2018), Silva Junior *et al.* (2018) discutiram diferentes estágios no desenvolvimento da construção, decorrentes de estágios da atividade industrial. Tais estágios são denominados de revoluções industriais (RI). Assim, a primeira RI (século 18) está caracterizada pela mecanização e instalações fabris; a segunda RI caracterizada pela produção seriada em linhas de montagem (século 19); a terceira RI (década de 1970) está caracterizada pela automação e robotização das operações, utilizando tecnologias da informação. Esta robotização vem sendo utilizada na construção civil do Japão desde a década de 1980 (WEBSTER, 1993). Entre outros, tais estágios foram marcados por evoluções na produtividade, qualidade e condições de segurança na produção, bem como pelo aumento no custo da mão de obra e pela diminuição de mão de obra capacitada (GIBB, 1999).

A partir de plataformas como a internet, novas tecnologias e serviços estão alterando o funcionamento da indústria, promovendo a chamada quarta revolução industrial (IR 4.0). Para Nowotarski e Paslawski (2017), o conceito de Indústria 4.0 está relacionado com uma nova forma de organização e gestão da cadeia de valor mediante a integração de equipamentos vinculados por *software* para melhor gerenciar os resultados da produção ao longo do ciclo de vida.

Seguindo a tendência dos demais setores, a construção civil vem se aproximando dos conceitos da Indústria 4.0, criando uma ramificação desta, chamada “Construção 4.0” ou “Canteiro 4.0”, cujas características foram discutidas por diversos autores (ALALOUL *et al.*, 2018; DALLASEGA, RAUCH e LINDER, 2018; FRANK *et al.*, 2019; MIYASAKA, FABRICIO e PAOLETTI, 2018; NOWOTARSKI e PASLAWSKI, 2017; OESTERREICH e TEUTEBERG, 2016; SILVA JUNIOR *et al.*, 2018, entre outros).

Entre os conceitos que estão sendo considerados como os da Construção 4.0 encontram-se: *Building Information Modelling* – BIM; Gestão do Ciclo de Vida; Modularização e Robótica; Tecnologias da Informação e Comunicação; Internet das Coisas e dos Serviços (Dispositivos móveis; *Radio Frequency Identification* - RFId; *Global Positioning System* – GPS; Ultra-wideband – UWB; *Wireless Local Area Network* – WLAN; *Ultrasound*; *Infrared* – IR); Computação em Nuvem; *Big Data*; Indústria Inteligente; Impressão 3D; Sistemas Ciber-Físicos; Análise a partir de visualizações (*Vision analysis*); Realidade Aumentada e Realidade Virtual; e Interação Humano-Computador (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016; LI *et al.*, 2016; DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018). Em outras palavras, a Construção 4.0 se caracteriza por dois elementos: a digitalização e a “servitização”.

Para Alaloul *et al.* (2018), a digitalização está relacionada com a integração dos diferentes agentes e processos da construção mediante o uso e acesso a dados digitais, automação e conectividade. Para Frank *et al.* (2019), a “servitização” vincula-se à evolução desde serviços com baixa digitalização (serviços manuais) para serviços altamente integrados.

A aplicação destes conceitos da Construção 4.0 afeta a cadeia de valor da construção civil. Entre os benefícios que a Construção 4.0 pode proporcionar encontram-se: melhoria na qualidade do produto, diminuição do tempo de comercialização, aumento da colaboração entre as empresas, redução do prazo da obra e a execução da obra abaixo do valor de orçamento, assim como, melhorias no desempenho das empresas (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016; DALLASEGA, RAUCH e LINDER, 2018).

Apesar de o quarto estágio da revolução industrial estar se materializando em alguns setores da economia, seus benefícios não estão consolidados, nem menos são fáceis de serem alcançados. Na construção civil desafios relacionados com as anteriores revoluções industriais estão longe de serem de amplo domínio do Setor. Para Miyasaka; Fabricio; Paoletti (2018), este cenário se complica por fatores como: “...*ambiente de trabalho, que, em geral, é pouco estruturado... envolve objetos pesados, elementos com grande tolerância, baixos níveis de padronizações, insuficientes níveis de industrialização e pré-fabricação, além do [grande] número de atores*”, fato que dificulta ainda dominar a produção das obras.

Tais pendências afetam a indústria da construção, gerando desafios relacionados à baixa qualidade, estouro de prazo e de orçamento, bem como a falta de integração dos agentes, a qual impacta na produtividade e na capacidade de inovar deste setor (CARDOSO, 2012). Tudo isso altera os resultados dos serviços e os papéis que os agentes da cadeia produtiva desempenham.

Também há dificuldades perante as diferenças tecnológicas entre atores do Setor e as suas tecnologias. Por exemplo, Böke; Knaack; Hemmerling (2019) destacam o incremento quanto ao escopo funcional das partes da obra, com ênfase nas envoltórias (fechamentos externos) de edificações, fato que eleva as exigências de desempenho funcionais, requer novas técnicas e métodos, bem como novas formas de construí-los. Na prática, isto afeta, por exemplo, a forma de se integrar uma estrutura de concreto feita de forma tradicional com uma fachada inteligente, esta última possuindo várias das características do Canteiro 4.0.

Ainda quanto às exigências ligadas aos terceiro e quarto estágio da indústria, Shen *et al.* (2010) discutem alguns dos empecilhos para atendê-las, entre eles: a fragmentação entre os agentes e a dificuldade para coletar e armazenar dados dos diferentes agentes e etapas dos empreendimentos e a falta de padronização de como essa informação é coletada e compartilhada tanto a nível dos projetos (obras) quanto na indústria.

Dada à emergência das características vinculadas à Construção 4.0, pouco já foi pesquisado sobre a forma de incorporá-las e em quais aspectos estas impactam a cadeia de valor do Setor. Assim, o objetivo deste artigo é discutir os desafios da implementação da Construção 4.0 na gestão da produção.

Entende-se por gestão da produção, ou numa denominação mais completa, por sistema de gestão da produção, como sendo, segundo Cardoso (1996), o “modo de articulação entre um sistema de operações físicas de produção (considerando-se suas dimensões técnico-sociais) e um sistema de operações de gestão, de pilotagem, de controle, de avaliação dos resultados (considerando-se suas dimensões técnico-organizacionais)”. Ela abrange atividades e processos que vão da definição da estratégia de gestão de obra à sua gestão propriamente dita, passado pelas de planejamento e programação da produção e pelas de definição da estratégia de produção e logística. Considera, igualmente, atividades e processos tanto a montante da execução da obra, com as ligadas ao Projeto, quanto as a jusante, ligadas à Manutenção do bem construído. Neste artigo, os termos gestão da produção e gestão da construção são equivalentes.

2 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo e responder à questão da pesquisa, foi utilizada a revisão bibliográfica, pois tanto a Indústria 4.0 quanto a Construção 4.0 são temas emergentes com poucas aplicações que na prática estejam integradas e em funcionamento no Setor. Para tanto, publicações científicas foram procuradas em catálogos como os do *Google Scholar* e *Web of Science*. As buscas foram feitas mediante combinações de palavras-chave em inglês (p.ex. *Industry 4.0; BIM; Construction; Supply chain; Integration; Information Technologies; Systems applications in construction; Automation; Performance monitoring, Metamaterials, Vision analysis*, etc.) e o termo “Canteiro 4.0”, em português.

Também foram procuradas fontes do mercado e de instituições vinculadas à construção, pois trazem dados e informações recentes sobre as ações emergentes do Canteiro 4.0. A seleção dos artigos foi mediante amostragem proposital do tipo intensivo, e aplicando a técnica da bola de neve (PATTON, 1990). Assim, três critérios foram utilizados para a seleção dos artigos: a) sua relação com aspectos da Indústria 4.0 e com as mudanças que esse conceito está trazendo; b) sua contribuição com informações relevantes para fundamentar a discussão aqui proposta; c) a possibilidade de identificar outros trabalhos, ou palavras-chave, que atendam os dois requisitos acima. Cinquenta e cinco artigos cumpriram esses critérios, dos quais os dados foram extraídos.

Ao comparar os dados, foi percebida a sua variação desde tecnologias avançadas (p.ex. *metamateriais*) até as mais básicas (serviços quase-artesanais), e que este padrão se repetia nos serviços, materiais, processos, etc. Webster, em 1993, comparou as tecnologias vinculadas com a construção dos Estados Unidos com aquelas do Japão. Segundo Cox e Ireland (2002), a indústria da construção é composta de várias cadeias de suprimentos. A partir destes autores, desafios para modernizar foram tabulados em função dos quatro estágios de desenvolvimento da construção e onze categorias deles extraídas, conforme mostrado No Quadro 1.

3 RESULTADOS

No Quadro 1 mostram-se desafios para desenvolver a construção relacionados com os quatro estágios das revoluções industriais discutidas neste artigo. Assim, por exemplo, em um cenário possível, haverá disponibilidade de simulação da produção em ambiente virtual para uma instalação de fachada inteligente em estrutura de concreto moldada com fôrmas executadas a partir de tábuas, executada de maneira tradicional. Outro exemplo seria a disponibilidade de rastreamento do fluxo de componentes para execução de parede de alvenaria tradicional, cujos blocos não são padronizados.

O fato de haver tecnologias disponíveis com potencial de aumentar os patamares de qualidade e produtividade não implica no seu uso com sucesso. Barros (1996) já discutia a necessidade de coordenação, desenvolvimento e incorporação de tecnologias na construção mediante um processo de racionalização. O mesmo se aplica para produtos de fabricantes de materiais e componentes relacionadas com a modularização da construção.

Outro grande benefício do Canteiro 4.0 advém do potencial de serviços relacionados com a digitalização da produção. Assim, por exemplo, serviços tradicionais como os de fiscalização, monitoramento e acompanhamento de obra podem ser total ou parcialmente substituídos por levantamentos de dados automatizados, em tempo real. O Quadro 1 mostra estas e outras possibilidades elencadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma construção mais produtiva e de maior qualidade começa a ser associada com a sua digitalização e o desenvolvimento de serviços, que caracterizam a Construção 4.0. Neste artigo foram elencados desafios para alcançar quatro objetivos vinculados à gestão da construção: Organizar a construção, Racionalizar a construção, Industrializar a construção e Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção. Assim, o maior desafio enfrentado para alcançar o chamado Canteiro 4.0 está na coexistência de diferentes estágios de tecnologias e serviços, das mais tradicionais às mais avançadas (p.ex. qualificação de mão de obra, padronização de materiais, modularização, gerenciamento usando realidade virtual e aumentada, edifícios inteligentes, etc.). Nem todas as tecnologias e serviços atuais serão substituídas por aquelas advindas do Canteiro 4.0. Há que se preocupar em organizar as suas operações e integrá-las, na medida do possível, na era digital. A principal contribuição do trabalho é a tabulação de diferentes tecnologias de gestão, projeto, construção, manutenção, materiais (produtos), etc. necessárias para alcançar os patamares de desempenho da Construção 4.0. Sugere-se para trabalhos futuros discutir para onde orientar o desenvolvimento da construção, adequando etapas, tecnologias construtivas e de gestão atuais com aquelas emergentes.

Quadro 1: Desafios associados a quatro estágios ou revoluções industriais (RI) para viabilizar a Construção 4.0

Item / Categoria	Desafios da 1ª RI Organizar a construção	Desafios da 2ª RI Racionalizar a construção	Desafios da 3ª RI Industrializar a construção	Desafios da 4ª RI (e posteriores) Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção
Organização e gestão	<p>Incorporação pela Engenharia das técnicas de produção</p> <p>Organização, padronização e controle de processos construtivos</p> <p>Organização do canteiro de obras</p> <p>Planejamento físico da produção</p> <p>Padronização de serviços tradicionais de fiscalização, controle e teste da produção</p> <p>Qualificação dos agentes (projetistas, fornecedores, construtoras, etc.)</p> <p>Homologação de sistemas construtivos</p>	<p>Racionalização e tomada de decisões antecipadas para o projeto e manufatura de componentes</p> <p>Implantação de Tecnologias construtivas racionalizadas</p> <p>Incorporação de técnicas organizacionais da indústria seriada <i>lean production / lean construction</i>; TQM e Sistemas de Gestão certificados ou não (Qualidade, saúde e segurança, meio ambiente); etc.</p> <p>Organização e logística do canteiro de obras e do local de produção fora da frente de serviço</p> <p>Surgimento de serviços especializados relacionados com a gestão das diferentes etapas da cadeia de valor da construção (p.ex. projetista de projeto para produção; “coordenador e compatibilizador de projeto” etc.)</p> <p>Uso de indicadores (qualidade, produtividade, perdas, etc.)</p>	<p>Gerenciamento de interferências (entre organizações e elementos / partes físicas das obras)</p> <p>Gestão por indicadores</p> <p>Organização e logística do canteiro de obras e do local de produção fora do canteiro de obras</p>	<p>Criação, integração e gestão de novos modelos de negócios, de serviços e papéis (p.ex. integrador)</p> <p>Interdependência e mudança no relacionamento (colaborativo) entre agentes (não é uma dependência linear, como existe na representação da cadeia produtiva)</p> <p>Uso intensivo de plataformas de <i>Enterprise resource planning</i> – ERP</p> <p>Uso intensivo de cenários / Simulação da produção em ambiente virtual (Projeto, Construção, manutenção)</p> <p>Gestão usando realidade virtual e aumentada</p> <p>Gestão do processo de produção das obras em tempo real (incluindo serviços como planejamento, inspeção, fiscalização, movimentação de materiais, etc.)</p> <p>Capacitação de mão de obra e de profissionais do setor</p> <p>Migração para serviços digitais: Fiscalização, medição, monitoramento remoto das obras, controle de avanço físico, Monitoramento dos ecossistemas de suprimento das obras (fornecedores e subcontratados), controle de movimento e consumo de materiais, monitoramento das condições segurança e saúde no trabalho, simulação de desempenho e teste do produto construído, segurança cibernética</p>
Tecnologia da informação	<p>Uso de tecnologia CAD 2D em projetos</p> <p>Uso de softwares de planejamento e orçamento</p>	<p>Uso de tecnologia CAD 3D em projetos</p> <p>Sistematização e integração de processos de gestão visando interoperabilidade</p>	<p>Uso de <i>palms, tablets, smart phones</i>, etc.</p> <p>Transferência eletrônica de informação</p>	<p>Produto (Obra) modelado (<i>Building information modeling</i> - BIM) / Modelo único (<i>Global model</i>) e conectado mediante <i>Cloud computing</i></p> <p>Padronização nas estruturas de dados habilitando interoperabilidade</p>

Continua [1/5]

Quadro 1: Desafios associados a quatro estágios ou revoluções industriais (RI) para viabilizar a Construção 4.0

Item / Categoria	Desafios da 1ª RI Organizar a construção	Desafios da 2ª RI Racionalizar a construção	Desafios da 3ª RI Industrializar a construção	Desafios da 4ª RI (e posteriores) Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção
	Uso de planilhas para controle	Desenvolvimento de novas ferramentas para a elaboração de projetos de canteiros e de projetos de produção e para o estudo de fases de obras	Gerenciamento de documentação Implementação de ERP	Aquisição de dados e digitalização em tempo real (p.ex. uso de sensores, reconhecimento de objetos e extração de dados geométricos e outros atributos) Computação na nuvem para serviços <i>Machine Learning, Big data and analytics</i> Aumento de TI nas atividades do ciclo de vida da construção / Uso de aplicativos móveis (<i>Apps</i>) Integração de ERP (sistemas) das empresas atuantes no ecossistema da obra, visando interoperabilidade
Projeto	Elaboração de Manual de projeto Integração / coordenação de etapas de projeto e construção Especificações de materiais, equipamentos e procedimentos construtivos	Construtibilidade Engenharia simultânea Compatibilização Coordenação modular (e padronização de tamanho do módulo) Projeto para a Produção Definição de escopos de projeto Projeto visando desempenho Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	Projeto para automatização Modularização (pré-fabricação de painéis, sistemas modulados, e módulos inteiros) Estabelecimento de tolerâncias para fabricação de componentes e para sua instalação Projeto de movimentação e encaixe de elementos modulares	Casa Ativa, Adaptável e Regenerativa; subsistemas inteligentes (p.ex. fachadas); <i>Smart cities</i> Projeto virtual (<i>Virtual design and construction - VDC</i>), formalizando o desenvolvimento colaborativo do projeto (<i>design</i>) Elaboração automatizada de projetos Incremento do escopo funcional de partes das obras e, portanto, do escopo do projeto
Manufatura	Normatização e padronização de materiais e componentes	Fábricas com linhas de produção mecanizadas orientadas à produção em massa	Fábricas com equipamentos e máquinas controladas digitalmente Automatização e robotização da produção	Macrointegradores: “Loja de Casa” Impressão 3D Aumento de colaboração / parcerias com empresas de materiais de construção para a produção de subsistemas modulares e ou inteligentes Fábricas com equipamentos e máquinas controladas por inteligência artificial

Continuação [2/5]

Quadro 1: Desafios associados a quatro estágios ou revoluções industriais (RI) para viabilizar a Construção 4.0

Item / Categoria	Desafios da 1ª RI Organizar a construção	Desafios da 2ª RI Racionalizar a construção	Desafios da 3ª RI Industrializar a construção	Desafios da 4ª RI (e posteriores) Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção
Construção	Organização pela engenharia de Tecnologias construtivas tradicionais (p.ex. preparo de concreto em obra; fôrmas de madeira para estrutura de concreto)	Incorporação de Tecnologias construtivas racionalizadas (p.ex. família de blocos para alvenaria estrutural; argamassa industrializada; aço pré-cortado e pré-dobrado; sistemas estruturados de fôrmas; fôrmas metálicas; pré-fabricação de lajes; <i>kits</i> de instalações elétricas e hidráulicas; etc.)	Implantação de Tecnologias construtivas industrializadas (base: uso de elementos / subsistemas da construção pré-montados, pré-fabricados; p.ex. banheiros em módulos pré-fabricados, painéis pré-fabricados de fachada) Uso de robótica na construção Redução no consumo de mão de obra (no canteiro de obras)	Tecnologias construtivas de Canteiro 4.0 e superiores Flexibilização da produção industrializada pela customização e uso de módulos tridimensionais Automação do processo construtivo (p.ex. Movimento de terra com equipamentos autônomos) Localização de pessoas, equipamentos e materiais em tempo real Subsistemas inteligentes (p.ex. fachadas adaptáveis) Componentes e subsistemas executados em impressoras 3D
Manutenção	Padronizar processos de manutenção, incluindo procedimentos de assistência técnica	Construção projetada para sua manutenção (p.ex. antes da concretagem da estrutura incluir elementos de fixação para os sistemas de lavagem de fachadas) Manual do usuário e projetos <i>as built</i>	Uso de robótica na manutenção	Sistemas de gerenciamento de facilidades integrando projeto, execução e pós-obra (informações digitais) “Zero” Resíduo, “Zero” Manutenção (Sistemas biomiméticos de construção) Indústrias de reciclagem e tratamento de rejeitos Uso de tecnologias de reconhecimento de objetos para atualização de modelos <i>as built</i>
Tipos de Contratos e relações entre os agentes da cadeia produtiva / ecossistemas	Padronização e Normatização nas relações contratuais Sistemas tradicionais de contratação Estabelecimento de normas e regulações prescritivas	Definição de escopos de contratação vinculados, principalmente, com profissões emergentes	(Sub)contratação integrada entre agentes da interface projeto - suprimentos - construção -manutenção Estabelecimento de normas e regulações por desempenho	Contratação baseada em desempenho (<i>performance-based contracting</i>), transparência e anticorrupção; <i>compliance</i> Desenvolvimento de novas relações e regras de apropriação de valor entre os agentes participantes da construção Internacionalização, <i>Global sourcing</i> ; <i>e-business</i> Normas de construção consistentes (e de consenso) e processos de aprovações eficientes Responsabilidade socioambiental nas contratações

Continuação [3/5]

Quadro 1: Desafios associados a quatro estágios ou revoluções industriais (RI) para viabilizar a Construção 4.0

Item / Categoria	Desafios da 1ª RI Organizar a construção	Desafios da 2ª RI Racionalizar a construção	Desafios da 3ª RI Industrializar a construção	Desafios da 4ª RI (e posteriores) Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção
Integração das Cadeias de suprimentos / ecossistemas da construção	Certificação, normatização e padronização de materiais, componentes, procedimentos e empresas	Formação de algumas parcerias com o objetivo de racionalizar a produção Avaliação e qualificação de fornecedores Alteração no paradigma dos agentes em tirar vantagem da relação Logística de suprimentos	Digitalização e coordenação entre agentes Formação de parcerias estratégicas com o objetivo de agregar valor aos negócios Preocupação dos agentes em manter relacionamentos de médio e longo prazo	Integração do ciclo de vida da construção e dos processos entre empresas dos ecossistemas da obra Integração entre informações, operações e relações entre os diferentes envolvidos em ecossistemas de suprimentos relativas a <i>clusters</i> de tecnologias, e com outras indústrias Cotações, Ordens de compras / pedidos de materiais automatizados
Materiais (Produtos)	Padronizar produção de Materiais a granel (em estado bruto)	Componentes / Elementos pré-montados	Elementos / subsistemas da construção pré-montados, pré-fabricados (fora do local de integração no canteiro) Produtos e sistemas sustentáveis	Materiais e componentes “inteligentes” que mudam suas propriedades (p.ex. flexíveis, reconfiguram sua geometria) a partir de transmissão remota (sensores); Meta e nano materiais; como os materiais reprogramáveis (p.ex. tintas que mudam de cor), materiais <i>auxéticos</i> (módulo de Poisson negativo)
Equipamentos	Mecanização das operações de transformação nos canteiros de obras	Mecanização e sistemas de transporte	Robotização	Equipamentos para a produção: (máquinas semiautônomas ou teledirigidas e sensores de transmissão de dados) e de levantamento de dados para tomada de decisões (relacionadas com: multimídia, geoespaciais, imagem, realidade aumentada); entre outros Equipamentos de construção dirigidos por controle remoto: uso de veículos aéreos não-tripulados (Drones ou quadricópteros), sensores inteligentes, câmeras, equipamentos de comunicação por radiofrequência (RFID, UWB e WLAN), dispositivos móveis (p.ex. celular), <i>Scanner 3D / Vision analysis</i> , ultrassom, GPS, GIS

Continuação [4/5]

Quadro 1: Desafios associados a quatro estágios ou revoluções industriais (RI) para viabilizar a Construção 4.0

Item / Categoria	Desafios da 1ª RI Organizar a construção	Desafios da 2ª RI Racionalizar a construção	Desafios da 3ª RI Industrializar a construção	Desafios da 4ª RI (e posteriores) Digitalizar e “servitizar” a gestão da construção
Mão de obra	Mão de obra própria (pouco) qualificada Formação específica e polivalente Padronização dos processos de trabalho	Mão de obra subcontratada qualificada em especialidades Uso de Empresas de execução especializada de serviços de obras	Mão de obra subcontratada qualificada em especialidades Uso de Empresas de execução especializada de serviços de obras Treinamento e requalificação de mão de obra e profissionais	Empresas com mão de obra qualificada em novas competências / profissões emergentes (p.ex. montador de esquadrias geradoras de energia; cientistas de dados para construção; coordenador de robótica, etc.) Novas necessidades de treinamento, capacitação, certificação de mão de obra e de profissionais nas diferentes etapas do ciclo de vida das obras (Projeto, construção, fabricação, manutenção, etc.) Nova fragmentação do trabalho (incorporação da chamada “ <i>Gig economy</i> ”) na terceirização de serviços na construção Igualdade de gênero

Fonte: Os autores a partir de: Ahmed *et al.* (2018); Alaloul *et al.* (2018); Bilal *et al.* (2016); Böke, Knaack e Hemmerling (2019); Brady, Davies e Gann (2005); Cardoso (1997); CBIC (2018); Costin *et al.* (2018); Cox e Ireland (2002); Dadhich, Bodin e Andersson (2016); Dallasega, Rauch e Linder (2018); Dimitrov e Golparvar-Fard (2014); Frank *et al.* (2019); Frow *et al.* (2014); Gibb (1999); Hadidi, Assaf e Alkhiami (2017); Hamid, Tolba e El Antably (2018); Hamledari, McCabe e Davari (2017); Han e Golparvar-Fard (2017); Hughes e Kabiri (2013); Jacobsson, Linderoth e Rowlinson (2017); Lagüela *et al.* (2013); Lavikka *et al.* (2018); Leuschner, Rogers e Charvet (2013); Li *et al.* (2016); Liu *et al.* (2018); Ma *et al.* (2018); Maciel (2018); Martinez *et al.* (2008); Martínez-Rojas, Marín e Vila (2015); Miyasaka, Fabricio e Paoletti (2018); Mutzel, MacNaughton e Sonkusale (2012); Naboni e Mirante (2015); Naboni, Sartori e Mirante (2018); Nowotarski e Paslawski (2017); O'Connor, Rusch e Schulz (1987); Oesterreich e Teuteberg (2016); Omar e Nehdi (2016); Pam *et al.* (2018); Qamar *et al.* (2018); Ren *et al.* (2018); Sabbatini (1989); Shen *et al.* (2010); Silva Junior *et al.* (2018); Tang e Akinci (2012); Tang *et al.* (2010); Tatari, Castro-Lacouture, Skibniewski (2008); Tserng *et al.* (2009); Volk, Stengel e Schultmann (2014); Wang, Hu e Zhou (2017); Wang, Zhang e Teizer (2015); Webster (1993); World Economic Forum (2016); Yang *et al.* (2015); Zhang e Arditi (2013)

Continuação [5/5]

REFERÊNCIAS

- ABRAMAT. **Perfil da cadeia produtiva da construção Ed. 2018 - Indicadores ref 2017**. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/site/lista.php?secao=9>, acesso em 10/01/2019.
- AHMED, V., AZIZ, Z., TEZEL, A., RIAZ, Z. Challenges and drivers for data mining in the AEC sector. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 11, p. 1436-1453. 2018.
- ALALOUL, W. S., LIEW, M. S., ZAWAWI, N. A. W. A., MOHAMMED, B. S. Industry revolution IR 4.0: future opportunities and challenges in construction industry. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL, OFFSHORE & ENVIRONMENTAL ENGINEERING - ICCOEE 2018, Kuala Lumpur, Malaysia, 2018. **Proceedings: MATEC Web of Conferences**, EDP Sciences, 2018, Vol. 203, p. 02010.
- BARROS, M.M.S.B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. 422p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- BILAL, M. *et al.* Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. **Advanced engineering informatics**, v. 30, n. 3, p. 500-521. 2016.
- BÖKE, J., KNAACK, U., HEMMERLING, M. State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems. **Intelligent Buildings International**, v. 11, n. 1, p. 27-45. 2019.
- BRADY, Tim; DAVIES, Andrew; GANN, David. Can integrated solutions business models work in construction?. **Building Research Information**, v. 33, n. 6, p. 571-579. 2005.
- CARDOSO, F. F. Estratégias empresariais e novas formas de racionalização da produção no setor de edificações no Brasil e na França. Parte 1: O ambiente do setor e as estratégias empresariais. **Estudos Econômicos da Construção**, São Paulo, 1996(2), pp. 97-156.
- CARDOSO, F. F. Estratégias empresariais e novas formas de racionalização da produção no setor de edificações no Brasil e na França. Parte 2: do estratégico ao tático. **Estudos Econômicos da Construção**, SindusCon-SP, São Paulo, 1997.
- CARDOSO, F. F. (Coordenação). **Oficinas Antac – CBIC: Formulação de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para Construção. Síntese e Relatos das Oficinas 1 a 5**. Porto Alegre: Antac – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, novembro 2012. p.102.
- CBIC. **Habitação 10 anos no Futuro – Relatório Final – Onde estamos e para onde podemos ir**. 2018. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/05/CBIC-Habitacao_Rlatorio_Final.pdf. Acesso em: 30/03/2019.
- COSTIN, A., ADIBFAR, A., HU, H., CHEN, S. S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—literature review, applications, challenges, and recommendations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 257-281. 2018.
- COX, A. IRELAND, P. Managing construction supply chains: the common sense approach. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 9 n. 5/6, pp. 409 - 418. 2002.
- DADHICH, S., BODIN, U., ANDERSSON, U. Key challenges in automation of earth-moving machines. **Automation in Construction**, 68, p. 212-222. 2016.
- DALLASEGA, P., RAUCH, E., LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 99, p. 205-225. 2018.

- DIMITROV, A., GOLPARVAR-FARD, M. Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 1, p. 37-49. 2014.
- FRANK, A. G., MENDES, G. H., AYALA, N. F., GHEZZI, A. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 141, p. 341–351. 2019.
- FROM, P. *et al.* Value propositions: A service ecosystems perspective. **Marketing Theory**, v. 14, n. 3, p. 327-351, 2014.
- GIBB, A. G. **Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly and modularisation**. John Wiley Sons. 1999.
- HADIDI, L., ASSAF, S., ALKHIAMI, A. A systematic approach for ERP implementation in the construction industry. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, n. 5, p. 594-603. 2017.
- HAMID, M., TOLBA, O., EL ANTABLY, A. BIM semantics for digital fabrication: A knowledge-based approach. **Automation in Construction**, v. 91, p. 62-82. 2018.
- HAMLEDARI, H., MCCABE, B., DAVARI, S. Automated computer vision-based detection of components of under-construction indoor partitions. **Automation in Construction**, v. 74, p. 78-94. 2017.
- HAN, K. K., GOLPARVAR-FARD, M. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study. **Automation in Construction**, v. 73, p.184-198. 2017.
- HUGHES, W.; KABIRI, S. **Performance-based contracting in the construction sector**. Technical Report. University of Reading, Reading. (A report for Transport for London). pp. 40. 2013.
- JACOBSSON, M., LINDEROTH, H. C., ROWLINSON, S. The role of industry: an analytical framework to understand ICT transformation within the AEC industry. **Construction management and economics**, v. 35, n. 10, p. 611-626. 2017.
- KOSKELA-HUOTARI, K., EDVARDSSON, B., JONAS, J. M., SÖRHAMMAR, D., WITELL, L. Innovation in service ecosystems—Breaking, making, and maintaining institutionalized rules of resource integration. **Journal of Business Research**, v. 69 n. 8, p. 2964-2971. 2016.
- KROPP, C., KOCH, C., KÖNIG, M. Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences. **Automation in Construction**, v. 86, p. 11-32. 2018.
- LAGÜELA, S., DÍAZ-VILARIÑO, L., MARTÍNEZ, J., ARMESTO, J. Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. **Automation in Construction**, v. 31, p. 230-240. 2013.
- LAVIKKA, R., KALLIO, J., CASEY, T., AIRAKSINEN, M. Digital disruption of the AEC industry: technology-oriented scenarios for possible future development paths. **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 11, p. 635-650. 2018.
- LEUSCHNER, R., ROGERS, D. S., CHARVET, F. F. A meta-analysis of supply chain integration and firm performance. **Journal of Supply Chain Management**, v. 49 n. 2, p. 34-57. 2013.
- LI, H., CHAN, G., WONG, J. K. W., SKITMORE, M. Real-time locating systems applications in construction. **Automation in Construction**, v. 63, p. 37-47. 2016.
- LIU, C. W., WU, T. H., TSAI, M. H., KANG, S. C. Image-based semantic construction reconstruction. **Automation in Construction**, v. 90, p. 67-78. 2018.

- MA, X., XIONG, F., OLAWUMI, T. O., DONG, N., CHAN, A. P. Conceptual framework and roadmap approach for integrating BIM into lifecycle project management. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 6, p. 05018011. 2018.
- MACIEL, Alex Roda. **Automação do processo de corte e dobra de armaduras para estruturas de concreto integrada ao processo BIM**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2018.
- MARTINEZ, S., JARDON, A., NAVARRO, J. M., GONZALEZ, P. Building industrialization: robotized assembly of modular products. **Assembly Automation**, v. 28, n. 2, p. 134-142. 2008.
- MARTÍNEZ-ROJAS, M., MARÍN, N., VILA, M. A. The role of information technologies to address data handling in construction project management. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 4, 04015064. 2015.
- NASSAR, K. Application of data-mining to state transportation agencies' projects databases, **ITcon**, v. 12, pp. 139-149. 2007.
- MIYASAKA, E. L., FABRICIO, M. M., PAOLETTI, I. Industry 4.0 and the Civil Construction in Brazil. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, XXII, São Carlos, 2018. **Anais [...]**, Editora Edgard Blücher, 2018, p. 6.
- MUTZEL, Chris; MACNAUGHTON, Sam; SONKUSALE, Sameer. Paint-on metamaterial: Low cost fabrication of absorbers at X band frequencies. *In*: IEEE/MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST. Montreal, QC, Canada, 2012. **Proceedings [...]**, IEEE, p. 1-3.
- NABONI, R., MIRANTE, L. Metamaterial computation and fabrication of auxetic patterns for architecture. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, XIX, Florianópolis, Brasil. **Anais [...]**, Editora Edgard Blücher, 2015, p. 129–136.
- NABONI, Roberto; SARTORI, Stefano; MIRANTE, Lorenzo. Adaptive-Curvature Structures with Auxetic Materials. Advanced Materials Research. **Trans Tech Publications**, vol. 1149, p. 53-63. 2018.
- NOWOTARSKI, P., PASLAWSKI, J. Industry 4.0 concept introduction into construction SMEs. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, vol. 245, n. 5, p. 052043. 2017.
- O'CONNOR, J. T., RUSCH, S. E., SCHULZ, M. J. Constructability concepts for engineering and procurement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 113, n. 2, p.235-248. 1987.
- OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. p.121-139. 2016.
- OMAR, T., NEHDI, M. L. Data acquisition technologies for construction progress tracking. **Automation in Construction**, v. 70, p. 143-155. 2016.
- PAN, M., LINNER, T., PAN, W., CHENG, H., BOCK, T. A framework of indicators for assessing construction automation and robotics in the sustainability context. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 82-95. 2018.
- PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation and research methods** (2nd ed.). Newbury Park, CA: Sage. 1990.
- QAMAR, I. P., GROH, R., HOLMAN, D., ROUDAUT, A. HCI meets Material Science: A Literature Review of Morphing Materials for the Design of Shape-Changing Interfaces. *In*: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, Montreal QC, Canada, 2018. **Proceedings [...]**, 2018, ACM, p. 374.

REN, X., DAS, R., TRAN, P., NGO, T. D., XIE, Y. M. Auxetic metamaterials and structures: A review. **Smart materials and structures**, v. 27, n. 2, p. 023001. 2018.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. 321p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1989.

SHEN *et al.* Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. **Advanced engineering informatics**, v. 24, n. 2, 196-207. 2010.

SILVA JUNIOR, D. S., DO SANTOS, I. L., SOUZA, J. D. J. F., FARIAS, R. R. As inovações tecnológicas na prestação de serviços na construção civil como justificativa do rompimento para o sétimo período da administração da produção. *In*: 29º ENANGRAD - ENCONTRO NACIONAL DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, São Paulo. 2018. **Anais [...]**, 2018, 18 p.

TANG, P., AKINCI, B. Automatic execution of workflows on laser-scanned data for extracting bridge surveying goals. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 4, p. 889-903. 2012.

TANG, P., HUBER, D., AKINCI, B., LIPMAN, R., LYTLE, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in construction**, v. 19, n. 7, p. 829-843. 2010.

TATARI, Omer; CASTRO-LACOUTURE, Daniel; SKIBNIEWSKI, Mirosław J. Performance evaluation of construction enterprise resource planning systems. **Journal of Management in Engineering**, 2008, vol. 24, n. 4, p. 198-206. 2008.

TSERNG, H. P., YIN, S. Y., SKIBNIEWSKI, M. J., LEE, M. H. Developing an ARIS-house-based method from existing information systems to project-based enterprise resource planning for general contractor. **Journal of construction engineering and management**, v. 136, n. 2, p.199-209. 2009.

VALERO, E., ADÁN, A., CERRADA, C. Evolution of RFID applications in construction: A literature review. **Sensors**, v. 15, n. 7, p.15988-16008. 2015.

VOLK, R., STENGEL, J., SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. **Automation in construction**, v. 38, p. 109-127. 2014.

WANG, J., ZHANG, S., TEIZER, J. Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. **Automation in Construction**, v. 49, p. 250-261. 2015.

WANG, Z., HU, H., ZHOU, W. RFID enabled knowledge-based precast construction supply chain. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 6, p. 499-514. 2017.

WEBSTER, A. C. Japanese building design and construction technologies. **Journal of professional issues in engineering education and practice**, v. 119, n. 4, p. 358-377. 1993.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the future of construction**. 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/projects/future-of-construction>. Acesso em: 22/04/2019.

YANG, J., PARK, M. W., VELA, P. A., GOLPARVAR-FARD, M. Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 2, p. 211-224. 2015.

ZHANG, C., ARDITI, D. Automated progress control using laser scanning technology. **Automation in construction**, v. 36, p.108-116. 2013.