CONSTRUCAO 4.0 – VIRTUALIZACAO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

FERREIRA JR, Claudio B. (1); CORRÊA, Fabiano (2)

(1) Coordenação de Curso de Engenharias, Universidade de Guarulhos, engcivil.dutra@ung.br;

(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP, fabiano.correa@usp.br

Resumo: *Com o surgimento da quarta revolução industrial e das tecnologias associadas a ela, os envolvidos na construção civil tem nova oportunidade de se modernizar. O objetivo deste trabalho é aplicar os conceitos da indústria 4.0 (especificamente a virtualização) na proposição de um sistema de simulação dos métodos e processos construtivos, que possibilitará a integração com modelos BIM. Segundo o método do Design Science Research, propostas de representação para simulação da dinâmica dos processos de produção vêm sendo desenvolvidas e avaliadas, com base em dados coletados manualmente e por meio de redes de sensores. Estão sendo considerados neste trabalho dois levantamentos de dados (em obras) ocorrido manualmente entre 2011 e 2015 e com duas redes de sensores distintas, em 2018. Os resultados permitiram avaliar o grau de detalhamento possível das atividades simuladas pelas diferentes representações, e associar o detalhe à utilidade de predição do modelo. Como contribuição, pretende-se fomentar a discussão de uma biblioteca digital de processos construtivos (simulação), com a finalidade de dar suporte a automação de etapas de processos de levantamento e troca de informação, ao acompanhamento das atividades de execução da obra, ao planejamento da obra, e a otimização dos recursos com vistas a aumentar a produtividade durante a fase de produção e construção da obra.*

Palavras-chave: *Modelagem da Informação da Construção, Simulação a eventos discretos, Virtualização, Canteiro 4.0.*

Área do Conhecimento: Tecnologia de sistemas construtivos

1 INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, doravante chamada de Indústria 4.0, emerge em um cenário onde a informação está largamente difundida e disponível a uma parcela significativa da sociedade. A chamada era da informação, explora uma quantidade imensurável de dados que em poucos segundos podem ser transmitidos a qualquer lugar do planeta. O desenvolvimento tecnológico, base para a Indústria 4.0, caracterizou-se por computadores cada vez mais potentes capazes de processar a enorme quantidade de informação. Entretanto, a necessidade de espaços físicos para armazenar e processar informações (documentos, plantas etc.) é imensa, sendo que pouco a pouco é substituída por outra nova tecnologia, que impulsionou exponencialmente o desenvolvimento da Indústria 4.0, a Digitalização das Informações ou Virtualização. Neste contexto, relevante para a indústria dos mais diferentes setores, pergunta-se qual o impacto destas tecnologias para a construção industrializada. Como a Modelagem da Informação da Construção (BIM) tira proveito do fenômeno da virtualização do produto da construção, a edificação, resta o problema, pouco abordado na literatura científica (AKANMU, ANUMBA, & MESSNER, 2013), de como integrar estes esforços com outras tecnologias, em particular da simulação de processos construtivos?

O objetivo deste trabalho é analisar e discutir as diferentes representações empregadas em pesquisas prévias e em curso para simulação de métodos e processos construtivos, à luz de um *framework* que possibilitará a integração dos modelos BIM, e de seus fluxos de trabalho, com a criação de uma biblioteca digital de processos construtivos (simulação). A finalidade das simulações é de dar suporte a automação de etapas de processos de levantamento e troca de informação, ao acompanhamento das atividades de execução da obra, ao planejamento da obra, e a otimização dos recursos com vistas a aumentar a produtividade durante a fase de produção e construção da obra. Será usada a definição do Design digital, simulação e integração como sendo; “conceitualização e construção digital de um protótipo virtual, ou de um processo virtual, alcançado por meio de simulação computacional de um produto ou processo físicos” (FIESP 2017).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Barros (1996) já dizia em sua época que diferenças marcantes da Industria da construção civil, quando comparada a outras indústrias, podem ser descritas como um ciclo de desenvolvimento de produto longo (concepção, projetos, aprovações, construção, uso e operação), sofrendo alterações mercadológicas a medida que este se modifica, e que seu produto é fixo, enquanto a fábrica (canteiro de obra) se modifica ao longo do tempo para se adaptar a etapa de produção, trazendo limitantes tecnológicos.

Limitantes tecnológicos, arquitetônicos e mercadológicos devem ser analisados e compatibilizados antes que o produto seja finalizado. Condicionantes mercadológicas determinam o ritmo de trabalho nas etapas iniciais, onde projetos, mesmo em fase de construção, podem ser parcialmente alterados. Condicionantes tecnológicas podem influenciar no tempo de construção ou impedir que determinada alteração possa ser realizada e condicionantes arquitetônicos podem influenciar diretamente na qualidade e desempenho do produto, tornando-o inadequado. Essas características, por si só, já demonstram a necessidade de uma metodologia integradora que consiga transitar entre cada uma desses limitantes, associá-las, compatibilizá-las e prever o comportamento do produto final.

A adoção e/ou transformação dos processos no ciclo de vida da edificação quando do uso de ferramentas computacionais e modelos BIM (*Building Information Model*) (EASTMAN et al., 2008) cumpre esse papel, quando traz a informação para dentro do processo de concepção de produto.

2.1 BIM

O BIM é, de acordo com Eastman et al. (2008), “uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção”. O conceito BIM, de acordo com esta definição, envolve TECNOLOGIAS e PROCESSOS que devem ser usados na produção, comunicação e análise dos modelos de construção.

Checcucci (2019), ao analisar a produção acadêmica em torno do tema BIM, afirma que apesar de existirem experiências de sucesso no país, a adoção do BIM se encontra ainda em seus estágios iniciais. Em seu trabalho, a autora destaca 9 categorias conceituais:

> ***Ensino*** *(8,4%)**: aqueles que tratam de disciplinas que adotam a modelagem; experiências de implantação em cursos e outras questões relacionadas com o ensino e aprendizagem de BIM;*
>
> ***Avaliação do BIM*** *(9,1%)**: pesquisas que discutem vantagens e desvantagens da modelagem; de suas ferramentas; interoperabilidade entre programas; fazem comparativos com métodos tradicionais de trabalho e uso de ferramentas CAD; estudam adoção no mercado da Construção Civil etc.;*
>
> ***Implantação*** *(8,4%)**: trabalhos que tratam de adoção de BIM em empresas; formas de contratação; Integrated Project Delivery (IPD) e temas correlatos;*
>
> ***Projetação*** *(39,9%): trabalhos que tratam desta etapa do ciclo de vida da edificação;*
>
> ***Obra*** *(10,5%)**: trabalhos que tratam do planejamento, da gestão, do controle da construção e/ou BIM 4D;*
>
> ***Orçamentação*** *(4,2%)**: pesquisas que tratam de extração de quantitativos, definição de orçamento de obra e/ou BIM 5D;*
>
> ***Usos por terceiros*** *(6,3%)**: pesquisas que tratam do uso do BIM por entidades públicas ou de avaliação para, por exemplo, analisar o projeto para licitação; aprovar em órgãos públicos; obter certificação ambiental; fiscalizar obras; dentre outros;*
>
> ***FM*** *(7,0%)**: trabalhos que discutem questões relacionadas com o pós-obra, gestão, operação, manutenção da edificação e/ou Facility Management (FM);*
>
> ***BIM +*** *(6,3%): Nesta categoria foram classificados trabalhos centrados na discussão da relação ou integração de BIM com outras tecnologias, como Realidade Aumentada (RA) ou Virtual (RV); modelos de nuvens de pontos; Internet das Coisas (IoT); sistemas generativos de modelagem geométrica; fabricação digital, dentre outros.*

O texto acima apresenta o percentual de trabalhos acadêmicos dentro de cada classificação. Nota-se que a maior concentração de trabalhos acadêmicos está na etapa de desenvolvimento de projeto (projetação) com ênfase no ciclo de vida e compatibilização de projetos. As pesquisas na área do presente artigo ainda são quase incipientes no Brasil, perfazendo apenas 16,8% do total (Obras e BIM +). Além disso, as pesquisas

existentes se concentram na geração de modelos tridimensionais projetados no tempo (4 dimensões), demonstrando graficamente a aplicação do projeto no cronograma da obra.

Entretanto, modelos de simulações que associam Projetação, Orçamentação, Obra e BIM +, parecem distantes da realidade brasileira. Sob esse conjunto de conceitos, neste artigo deseja-se propor a Virtualização.

2.2 Virtualização

Para Gibson (1966) *apud* Brandão (2018), a virtualização pode definir-se como uma camada abstrata que pode ser representada como um processo de implementação de um conjunto de tecnologias capazes de "camuflar as características físicas dos recursos" da forma como habitualmente interagem entre si. Dessa forma, um local físico (por exemplo um empreendimento de construção civil) pode ser virtualizado se seus processos internos forem digitalizados e um modelo virtual for desenvolvido. Essa camada virtual aplicada sobre o empreendimento físico se torna a base operacional onde diversos outros processos podem ser simulados, testados e melhorados antes de sua implantação.

Para tanto, a camada de virtualização deve ser similar ao real tanto quanto possível, e estabelecer padrões de entrada de dados, direcionar aplicações; em outras palavras, desenvolver uma arquitetura de dados que permita que aplicações compatíveis possam interagir no sistema e entre si sem comprometer o empreendimento físico.

3 MÉTODO

Por meio do *Design Science Research*, foi feita uma análise comparativa de representações anteriores de processos construtivos, montadas a partir de dados coletados seja manualmente, seja por meio de redes de sensores. Para tal análise, foram também realizados uma revisão bibliográfica pertinente ao assunto, uma versão atualizada de proposta de *framework* e a continuidade ao estudo de caso apresentado pelos autores em Oliveira *et al.* (2019).

4 RESULTADOS

4.1 Definindo Construção e Canteiro 4.0

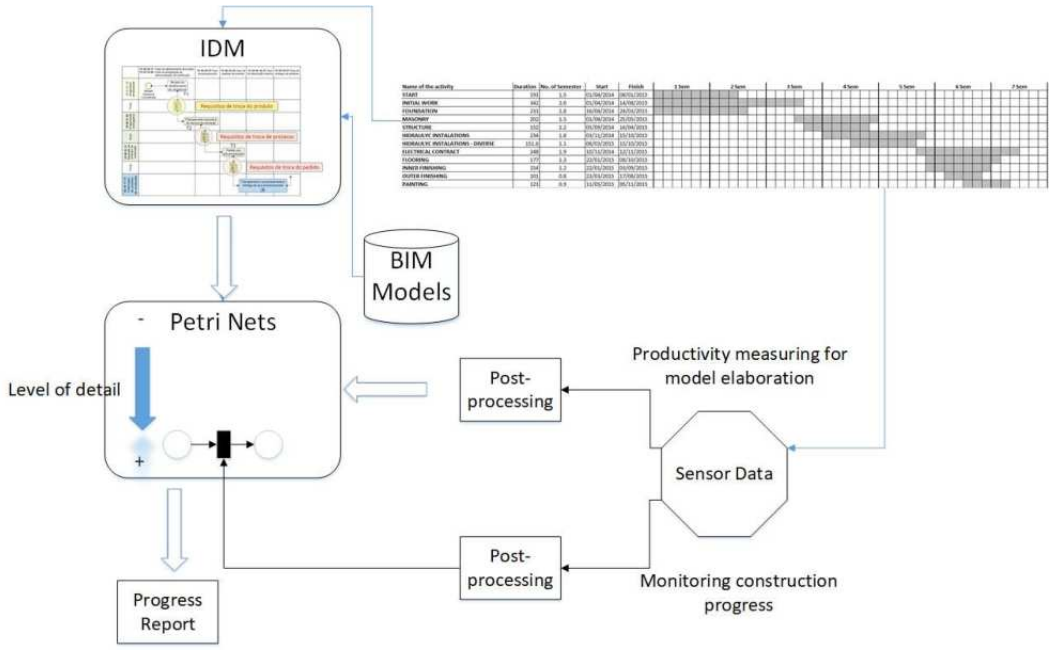
A indústria da construção civil emerge como um amplo celeiro de possibilidade de aplicação para as tecnologias associadas ao conceito de Indústria 4.0, por apresentar um amplo espectro de características que vão desde pré-industriais (manufatureiras) até o estado da arte em termos de tecnologia de desenvolvimento de materiais e sistemas construtivos.

Apesar de começar a aparecer nas mídias a ideia de uma versão 4.0 para a construção, pouco se foi formalizado a respeito (Abiola Akanmu, Chimay Anumba, & John Messner, 2013)(Oesterreich & Teuteberg, 2016). Para facilitar o entendimento da proposta, o termo CONSTRUÇÃO 4.0 será aqui usado como uma associação dos princípios da indústria 4.0 aplicadas aos processos produtivos que ocorrem tanto fora quanto dentro do canteiro de obra, e CANTEIRO 4.0 para designar um canteiro de obras que adota diferentes tecnologias computacionais, sensores (drones inclusive), bem como máquinas ou robôs com diversos graus de autonomia.

4.2 Proposta de *framework* – Implementação da Simulação dos Processos Construtivos

A Figura 1 representa o *framework* para a implementação das tecnologias associadas ao conceito de Construção 4.0. Essencial para o seu funcionamento é a existência de sensores apropriados para capturar a dinâmica dos processos de produção, de bases de dados históricas de informações correlacionadas, de modelos BIM do edifício a ser construído (*BIM Models*), do cronograma da obra, de um diagrama do fluxo de informação durante os processos de produção (IDM), de um modelo para simulação a eventos discretos dos processos de produção (Petri Nets), tendo como um de seus resultados um relatório automático do avanço da obra (OLIVEIRA et al., 2019).

Figura 1. Framework proposto para integração de modelos BIM com processos construtivos.



Fonte: Oliveira et al., 2019

O elemento central deste *framework*, a simulação dos processos de produção (representado no diagrama pelos elementos cronograma da obra, IDM e Petri Nets), vem sendo desenvolvido desde 2017 (CORREA & MACIEL, 2018), mas conta também com estudos anteriores, de trabalho em campo, desenvolvidos pelo primeiro autor deste artigo (OLIVEIRA et al., 2019). O objetivo final é criar uma metodologia para derivar novas simulações para os diversos processos de produção existentes, a partir de informações e dados em uso nos dias de hoje.

Em meados de 2008, a construtora "A", especializada no segmento de alto padrão decidiu ingressar no mercado popular utilizando a alvenaria estrutural como sistema construtivo a adotado. Apesar da viabilidade econômica nas obras iniciais ter sido positiva, um problema persistia: mão de obra. Durante o processo de produção da tipologia padrão adotada, etapas pontuais (porém fundamentais no processo construtivo - grauteamento) empregavam uma grande quantidade de mão de obra não especializada (serventes) que, após o termino da mesma, se via ociosa até que essa etapa novamente fosse necessária, o que ocorria apenas 6 dias ao longo do mês.

Após 2 anos, no limiar de lançamento de outro empreendimento, buscou-se no mercado projetistas que trabalhassem com o conceito de racionalização construtiva, para que elaborasse uma segunda proposta de projeto para fins comparativos ao modelo tradicional adotado pela empresa. De imediato, foi solicitado ao novo projetista a redução do volume do "graute" utilizado no projeto, para evitar ociosidade de mão de obra.

Uma vez o novo projeto entregue, o setor de orçamento quantificou e orçou os itens constatando uma economia de R$175.997,19 em cada torre, somente considerando materiais de construção, nesse momento não se pode prever o comportamento da mão de obra, porém os valores já viabilizavam a troca de projetista.

Oliveira *et al.* (2019), em seu trabalho, apresentam um processo de simulação de uma obra em alvenaria estrutural da construtora "A", onde, após um levantamento extensivo de dados, um simulador de produção desenvolvido em excel foi analisado e comparado com um *software* de simulação existente no mercado. Esse simulador (em excel), tinha como premissa fundamental que alterações no projeto interferiam diretamente na execução (produção) e que, uma vez analisado o histórico de produção da construtora frente a esses projetos e alterações, era possível determinar o ritmo de produção, fluxo de materiais, operários envolvidos, logística vertical e horizontal e gargalos quanto a *layout* de canteiro de obras.

Nessa primeira experiência em **Modelagem de Sistema Construtivo** para fins de simulação computacional, alguns dados coletados manualmente (não apresentados em Oliveira et al. (2019)), deixaram claro que a necessidade de interação entre o engenheiro gerente da obra e o simulador. Por exemplo: Qual o motivo do atraso nas obras? (hipótese inicial: qualidade do empreiteiro). Para responder a essa pergunta o simulador filtrou os tempos de maiores paradas de produção e seus respectivos registros de anomalias Baseado nos dados obtidos, pôde-se constatar que a falta de material (69,5 horas), falhas de equipamentos

(57 horas) e fatores climáticos (40 horas) foram os principais responsáveis pelos atrasos de produção. O fator climático foi excluído da análise por não poder ser objeto de melhoria (por se tratar de uma obra de alvenaria estrutural, a execução da estrutura ocorre a céu aberto).

Ao separar três anomalias – Mão de obra (5 horas) foi acrescida a pedido da gerência da obra– a quantidade total de horas é de 281. Usando a produtividade medida da obra, assim como a quantidade de oficiais que aturam no momento da coleta de dados durante a execução da alvenaria estrutural, a quantidade de serviço que se poderia realizar no período analisado (cerda de 810 horas ou aproximadamente 11 dias) seria de 1475m², ou 1,66 pavimentos.

Dentre o tempo do início do estudo aos resultados apresentados aqui e em Oliveira et al. (2019), passaram-se 10 anos, tempo relativamente extenso quando comparado apenas ao ciclo de projeto e execução de obras. A aplicação das análises acima, resultou em um ganho de produtividade global na ordem de 30%, assim como uma economia direta de 15% de gastos com materiais.

5 CONCLUSÃO

A proposta da criação de uma camada virtual (Framework) onde haja uma biblioteca de processos construtivos, que possa ser utilizada para prever o comportamento da produção ainda na fase decisória de projeto, que tenha o BIM como repositório das informações da construção e possa conversar com os demais "atores" envolvidos no processo da construção, aqui se entende como uma evolução natural e fundamental para o desenvolvimento da Construção 4.0, fazendo com que os 10 anos de pesquisas e análises possam ser reduzidos a poucos dias.

Assim sendo, a proposta base nesse trabalho (próximas etapas) consiste em desenvolver um modelo virtual (virtualização), de um empreendimento da construção civil (Edificação) onde, através da informações de modelos BIM, se possa simular todo o processo desde a concepção arquitetônica (compatibilização), a implementação de novos sistemas construtivos, prevendo impactos no gerenciamento da produção (canteiro).

Como expectativa, espera-se que a virtualização aplicada a indústria da construção civil possa prover em tempo hábil, redução de custos através da resolução de gargalos e dificuldade.

6 REFERÊNCIAS

AKANMU, Abiola; ANUMBA, Chimay; & MESSNER, John (2013). Scenarios for cyber-physical systems integration in construction. ITcon. Retrieved from https://www.itcon.org/paper/2013/12

BRANDÃO, Pedro R, Virtualização: Fundamentos, Kriativ tech edição n6 ISSN 1646-9976 DOI: https://doi.org.br/10.31112/kriativ-tech-2018-01-01.

BARROS, Mercia Maria Bottura de, Metodologia para implantação de tecnologias construtivas industrializadas na produção de edifícios, São Paulo 1996, Tese apresentada a escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Construção Civil

CHECCUCCI, Érica de Sousa. Teses e dissertações brasileiras sobre BIM: uma análise do período de 2013 a 2018 e019008-7 | PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 10, p. e019008, 2019, ISSN 1980-6809

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey:John Wiley & Sons, 2008.

FIESP 2017 – DECONTEC, Departamento de competitividade e Tecnologia, Cadernos FIESP sobre Manufatura Avançada e Indústria 4.0 disponível em

<http://hotsite.fiesp.com.br/industria40/cadernos/Caderno2_Tecnologias_e_Exemplos_da_4_Revolucao_Industrial.pdf> acessada em 02/04/2019

CORREA, F. & MACIEL, A. A Methodology for the Development of Interoperable BIM-based Cyber-Physical Systems. Publicado em: *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (ISARC), 2018.

OESTERREICH, T. D., & TEUTEBERG, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. Computers in Industry, 83, 121–139. https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2016.09.006

OLIVEIRA, et al 2019, Simulation of construction processes as a link between BIM models and construction progression on-site publicado em Advances in informatics on computing in civil and construction engineering ISBN 978-3-030-00219-0 DOO https://doi.org.br/10.1007/978-3-030-00220-6