

Capítulo II - Mestre-e de Obras Eletrônico: Uma Proposta de Automação de Canteiros de Oras no Brasil, Tendo Como Base as Tecnologias Internacionais de Indústria 4.0 e Construção 4.0 Divulgadas no período de 2014 a 2019.

Marcia Graziela Salum Turrisi²

Vicente de Lima Gongora³

RESUMO

A Indústria da Construção possui características que dificultam a implementação das técnicas de digitalização da Indústria 4.0. A pesquisa coleta soluções científicas internacionais divulgadas entre 2014 a 2019 e apresenta uma solução de automação de canteiros de obras de edificações escalonáveis horizontais e verticais e de infraestruturas, traduzida para a realidade nacional e passível de ser implementada dentro da realidade de investimentos do setor. Visa também extrair resultados efetivos das implantações obrigatórias de normas e BIM pelo governo, agentes financeiros e contratantes, de forma a reduzir de forma significativa a improdutividade das pequenas e médias empresas do setor, mas que constroem em escala, ainda que pequena. Resultou numa solução conceitual de *IoT* de automação de Canteiros de Obras denominada MESTR-e, o Mestre de Obras Eletrônico, que agrupa técnicas *Lean Construction*, com as da Indústria 4.0 de outras indústrias e em especial técnicas do Setor de Transporte Aéreo, que requer rápida resposta do Campo, pois apresenta alterações constantes com relação ao planejamento.

Palavras-chave: Canteiro de Obras 4.0. Canteiro de Obras Inteligente. Construção 4.0. *IoT* da Construção, MESTR-e

² Graduada em Engenharia Civil pela UEL, Pós-graduada em Economia Empresarial pela UEL e Pós Graduada em Engenharia de Automação Industrial pelo SENAI. E-mail: turri.mg@gmail.com

³ Doutor em Engenharia Elétrica pela USP. Docente na Faculdade da indústria Senai Londrina. E-mail: vicente.gongora@sistemafiep.org.br

MESTRE-E DE OBRAS ELETRÔNICO: BUILDING AUTOMATION PROPOSAL TO BRAZILIAN INDUSTRY, USING INDUSTRY 4.0 AND CONSTRUCTION 4.0 TECHNOLOGY, PUBLISHED BETWEEN 2014 TO 2019.

ABSTRACT

The technical implementation of Industry 4.0 for the Construction Industry is difficult due to its complexity. After selecting and analysing international scientific solutions published between 2014 to 2019, it was suggested an automation solution for local building sites. This solution pretends to attend specifically horizontal and vertical scalable buildings and infrastructures sites. The main goal was to translate the international lately proposed solutions into techniques that could be implemented in brazilian building sites, traditionally known for its low investments in innovation. It also aims to extract effective results from the mandatory implementation of standards and BIM by the government, financial agents and contractors, in order to significantly reduce the unproductiveness of Small and medium-sized enterprises (SMEs). A conceptual IoT solution for Building Site automation called MESTR-e, o Mestre de Obras Eletrônico, was designed. The idea combines Lean Construction methods with some from Industry 4.0. Particularly takes as guide the solutions developed by Air Transport Sector, to solve its constant replanning and reset due its constant changes, several actors and complexity.

Key-words: Building Site 4.0. Smart Site. Construction 4.0. IoT in Construction. SoS. MESTR-e

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretende responder às seguintes questões: (1) É possível criar uma solução de automação de canteiro de obras de custo viável e que possa vir a ser adotada futuramente pelas empresas de pequeno e médio porte do segmento? (2) Quais são as técnicas estudadas pela academia internacional e que apoiam a quarta revolução industrial, principalmente para a Indústria da Construção? (3) Quais destas técnicas poderiam ser adotadas no mercado brasileiro? (4) Em que formato? (5) Quão produtiva é a indústria da construção e quais são suas ineficiências e oportunidades?

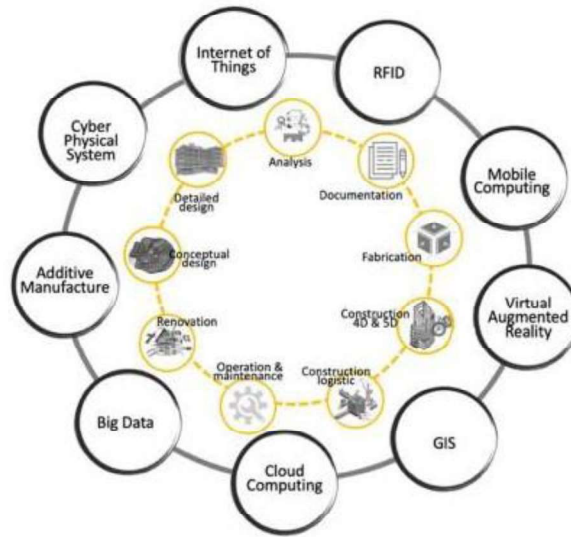
Reunindo-se material teórico suficiente, ou encontrando estudos de casos que respondam a estas e outras questões que surjam no decorrer da pesquisa, pretende-se desta forma descrever a ideia conceitual, que servirá de base a testes futuros, desenvolvimento de produto/serviço de automação do canteiro de obra e comercialização da solução por uma Startup.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Diagnóstico Global da Indústria da Construção

Maskuriy, 2019, mapeou sob três aspectos - tecnologia, segurança e gerenciamento - o estágio da construção civil, através da leitura de 82 artigos publicados entre janeiro de 2015 a maio de 2019 [2]. Em razão da população urbana mundial aumentar em 200.000 pessoas por dia, a demanda por habitação, infraestrutura social, de serviços públicos e de transporte nunca foi historicamente tão alta. Os desafios são internos e externos: fragmentação das informações, respostas e soluções entre os diversos participantes da cadeia, problemas para recrutar uma força de trabalho com o talento, vínculos insuficientes entre contratados e contratantes e transferência inadequada de conhecimento de um projeto ao outro. Ferramentas como escaneamento tridimensional (3D), modelagem de informações da construção (BIM), drones e realidade aumentada atingiram a maturidade do mercado. Ao incorporar essas inovações, Figura 1, as empresas podem explorá-las para aumentar o nível de produtividade, segurança e qualidade e melhorar o gerenciamento de projetos. Mas para se beneficiar deste potencial é necessária uma estratégia de integração entre os diversos envolvidos.

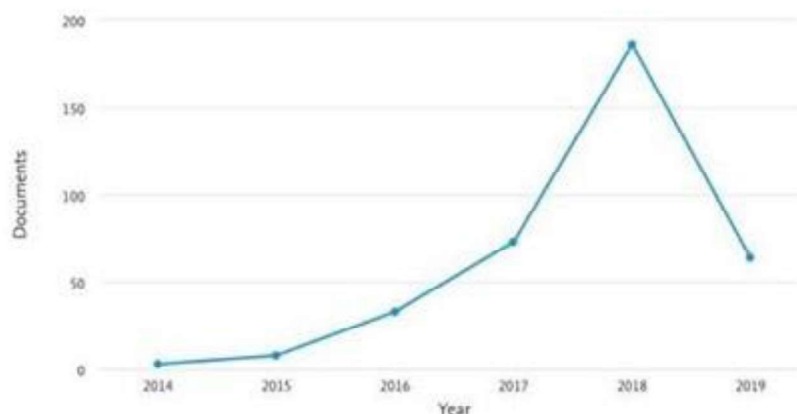
Figura 1 : Sistema conceitual abrangendo as Tecnologias da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de:(Maskuriy, 2019)

Os resultados do mapeamento evidenciam o aumento do interesse pelo tema nos últimos anos, ver Figura 2, mas também a falta de entendimento completo quanto à sua implicação. Os estudos disponíveis são conceituais e apenas estudam a possibilidade de adoção da tecnologia Indústria 4.0 para a Construção e não fornecem estratégias para sua adoção. Das tecnologias existentes, o BIM sobressaiu-se, mas igualmente as discussões estão na fase conceitual. Além disso, faltam estudos sobre os processos de gestão do ciclo de vida geral do empreendimento, bem como o planejamento operacional, tático e estratégico e sistema de sincronização autônomo.

Figura 2: Número de vezes em que a palavra-chave "Indústria 4.0" associada à palavra "Construção" foi usada em artigos científicos durante o período mapeado -

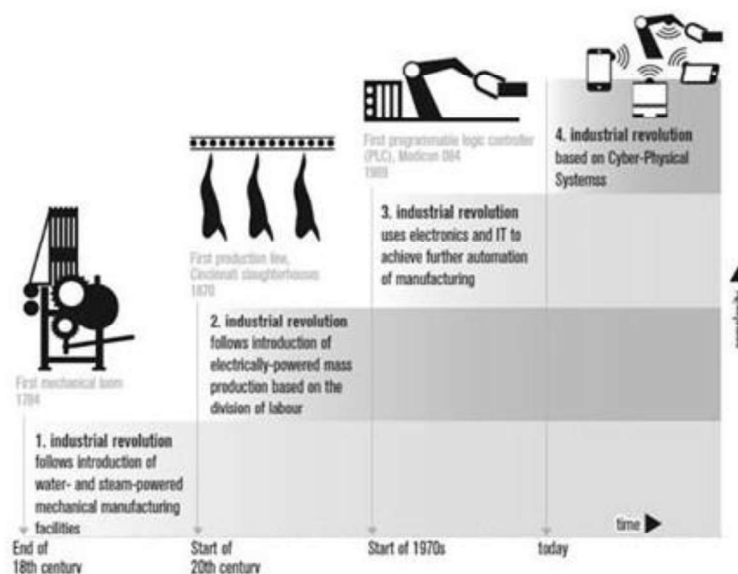


Fonte: Adaptado de: (Maskuriy, 2019)

De acordo com a pesquisa Revolução Industrial IR 4.0: oportunidades futuras e Desafios na indústria da construção, o futuro da indústria da construção está na fabricação de componentes fora do canteiro, na redefinição das composições de serviços, na repetição do design, na montagem dos componentes e no uso dos dados

de operação. Apenas cerca de 30% do tempo da mão é realmente utilizado na execução da tarefa principal, os 70% residuais são ocupados por tarefas consecutivas, movendo insumos, organizando e reorganizando o canteiro de obras e observando recursos e equipamentos. A indústria da construção está na fronteira de uma era industrial inovadora, a quarta revolução industrial ou IR 4.0, digitalizando-a. A criação de um “gêmeo digital” de um edifício permitirá tomada de decisão precisa ao longo do ciclo de vida do empreendimento [5]. Embora o IR 4.0 ainda estar no estágio inicial e o setor da construção se manter significativamente atrás de outras indústrias, haverá gradualmente um número maior de empreendimentos baseados na cooperação e uso de tecnologias. O mercado já oferece tecnologia AR “realidade aumentada”, drones, digitalização e impressão 3D, Modelagem da Informação da Construção (BIM), robôs e outros. É provável que a Indústria da Construção passe a adotar os seis conceitos de *design* da Indústria 4.0: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação ao serviço e modularidade. Na Figura 3 observa-se a evolução da Indústria em direção a um sistema ciberfísico (*cyber-physical system - CPS*) que é um sistema composto por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas. A geração anterior à dos sistemas ciberfísicos é conhecida como sistemas embarcados, e encontraram aplicações em diversas áreas, tais como aeroespacial, automotiva, processos químicos, infraestrutura civil, energia, saúde, manufatura, transporte, entretenimento, e aplicações voltadas ao consumidor. Sistemas embarcados, no entanto, tendem a focar mais nos elementos computacionais, enquanto sistemas ciberfísicos enfatizam o papel das ligações entre os elementos computacionais e elementos físicos (Alaloul, 2018).

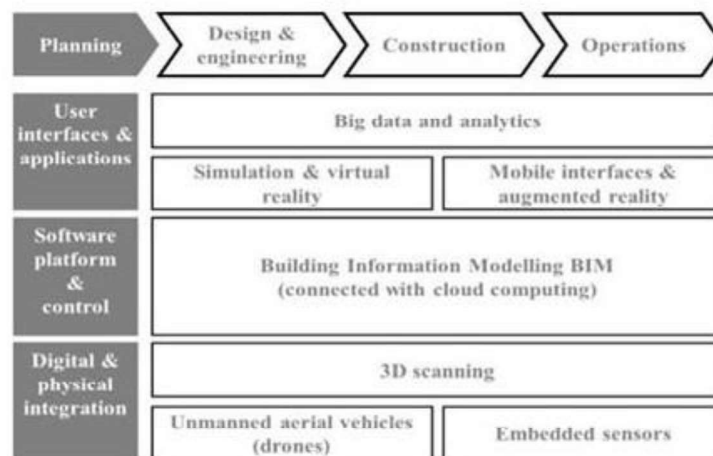
Figura 3: Os 4 estágios das revoluções industriais.



Fonte: Adaptado de (Alaloul, 2018).

As principais tecnologias na conversão da indústria atual ao moldes da Construção 4.0 estão esquematizadas na figura 4, são elas: o uso de big data e *analytics* produzindo novos entendimentos da base de dados coletada nas diversas fases, desde concepção, até operação do empreendimento, o BIM e a capacidade de simulação durante as fases de projeto e planejamento com o uso de realidade virtual e aumentada, reconhecendo interdependências e conflitos e fornecendo instruções no canteiro utilizando-se dos dados em nuvem, conectividade móvel, scanners 3D capazes de construir o modelos-gêmeo digital do empreendimento, os veículos aéreos não tripulados (drones) e sensores. A transformação demanda estratégia entre os diferentes participantes, desde a criatividade das empresas na implementação destas tecnologias de forma individual, a padronização, modularização e pré-fabricação, aumento de cooperação entre fornecedores e clientes da cadeia fragmentada e horizontalizada do setor visando o aprimoramento e simplificação dos sistemas que compõem a edificação e criação e exigência de adoção de novas regras por parte dos governos. A estrutura conceitual proposta de implementação da IR 4.0 (*The Fourth Industrial Revolution - A Quarta Revolução Industrial*), foi dividida em sete etapas , como segue: (1) Criação de bibliotecas de referência e padrões modulares, (2) Eficácia no gerenciamento, (3) Subestrutura de banda larga industrial completa e confiável, (4) Segurança e proteção das informações, (5) Organização e estratégia do trabalho, (6) Treinamento pessoal e aprimoramento contínuo e proficiente, e (7) Melhoria da eficácia do uso de recursos. Desta forma possibilitaria o aprimoramento da operação, ajustes automáticos de cronogramas, readequação da mão obra e insumos e tomadas de decisão assertivas e rápidas (Alaloul, 2018).

Figura 4 Tecnologias digitais da Construção 4.0.



Fonte: Adaptado de (Alaloul, 2018)

O relatório de junho de 2019 do Instituto Mckinsey mostra a tendência para a Construção Modular e para a mudança de Gestão de Projetos para Gestão de Produtos da Indústria da Construção [19]. Esta mudança profunda pode gerar grande impacto na produtividade econômica global já que os empreendimentos modulares

recentes aceleraram os prazos de execução de 20 a 50%, conforme comparação na Figura 5, entre Edifício executado de forma convencional e de forma modular.

Figura 5. Adoção de Construção Modular pode reduzir de 20 a 50% do prazo de execução da Obra.

Using 3-D volumetric modules can deliver 20 to 50 percent schedule compression.

Example apartment-project-construction duration, traditional vs off-site 3-D volumetric, months



¹Overruns of 25-50% of projected construction duration are common.
²Mechanical, electrical, and plumbing.
 Source: Case studies; interviews; McKinsey analysis

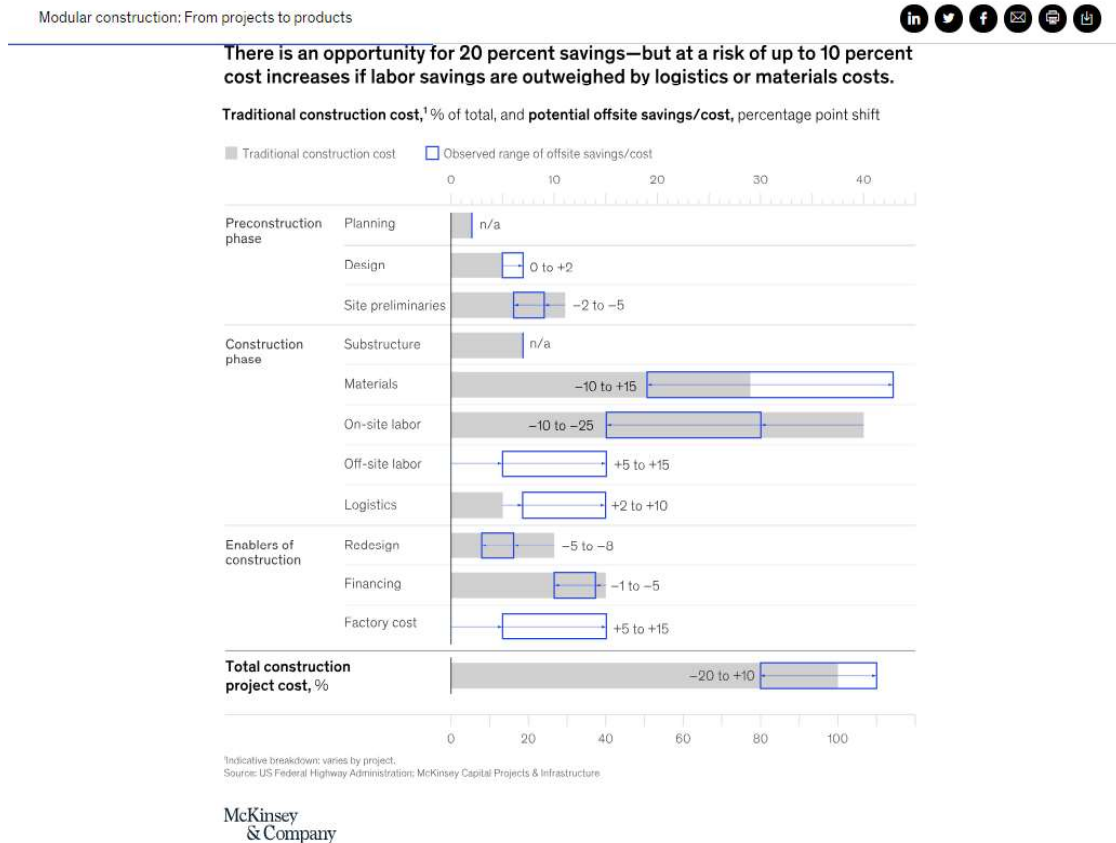


Fonte: Adaptado de (McKinsey, 2019)

Esta abordagem de Construções Modulares também tem o potencial produzir economias de custo significativas, na casa de 20% (ver Figura 6), embora sua aplicação seja ainda exceção nos dias de hoje, sendo apenas relevante na Escandinávia e Japão. Em função das novas tecnologias existentes, é possível que haja um reavivamento. Para combater a velha reputação da habitação pré-fabricada tida como feia, barata e de baixa qualidade, alguns construtores estão vendendo a imagem de Empreendimentos Modulares se utilizarem de alta tecnologia, alta sustentabilidade e design diferenciado. Os dois maiores relacionados com sua adoção são: alta demanda e indisponibilidade e custo de mão de obra qualidade, já que a falta de qualificação da mão de obra representa um risco de incremento do custo total em

10% e não a redução esperada em 20%, com a adoção da Edificação Modular. (McKinsey, 2019)

Figura 6: Com a adoção de Edificações Modulares, o custo de oportunidade de redução é de 20%, mas há um risco de aumento em 10% caso a mão de obra seja desqualificada.



Fonte: Adaptado de (McKinsey, 2019)

O Relatório de 2017 *Reinventing Construction through a Productivity Revolution* do Instituto McKinsey examina as causas de baixo crescimento da produtividade e explore maneiras práticas para melhorar a situação. A produtividade na construção não é uniforme, sendo o Brasil um dos mais improdutivos do mundo, conforme aponta a Figura 7 [20].

Figura 7, Índice de produtividade na Construção - representação por países.

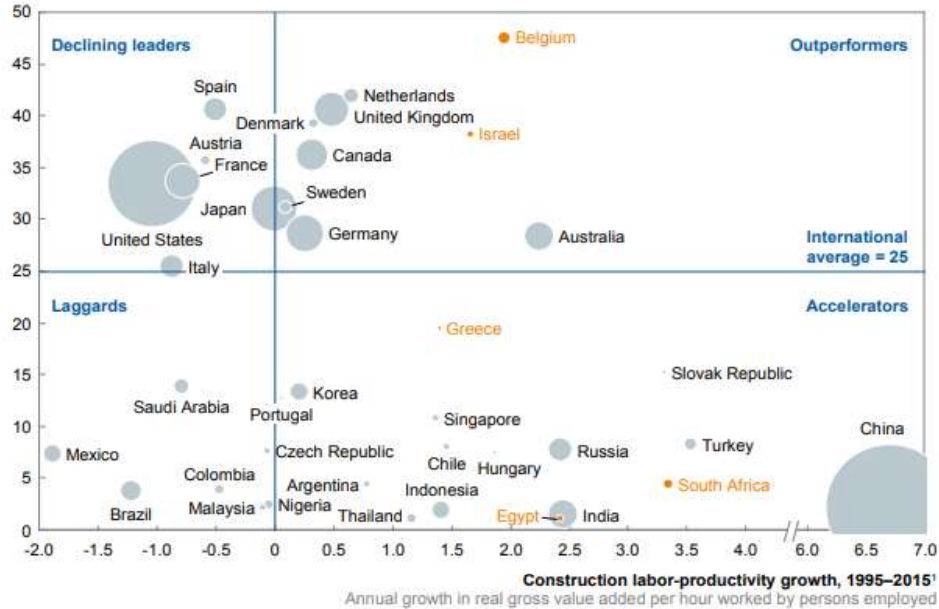
Exhibit E2

A small number of countries have achieved healthy productivity levels and growth rates

- Sector productivity growth lags behind total economy
 - Sector productivity growth exceeds total economy
- Size indicates total country construction investment, 2015** \$ billion

Construction labor productivity, 2015¹

2005 \$ per hour worked by persons employed, not adjusted for purchasing power parity²



1 Countries with a shorter time series due to data availability: Argentina, Australia, Brazil, Chile, Ethiopia, Japan, Mexico, Nigeria, South Africa (1995–2011); Belgium (1999–2014); China, Colombia (1995–2010); Czech Republic, France, Israel, Malaysia, Russia (1995–2014); Egypt (1995–2012); Indonesia (2000–14); Saudi Arabia (1999–2015); Singapore (2001–14); Thailand (2001–15); and Turkey (2005–15).
 2 Published PPPs are either not applicable (i.e., are not for the construction sector specifically or not for a value-added metric) or vary too widely in their conclusions to lend any additional confidence to the analysis.
 SOURCE: OECD Stat; EU KLEMS; Asia KLEMS; World KLEMS; CDSI, Saudi Arabia; Ministry of Labor, Saudi Arabia; WIOD; GGDC-10; Oanda; IHS; ITF; GWI; McKinsey Global Institute analysis

Fonte: Adaptado de (McKinsey, 2017)

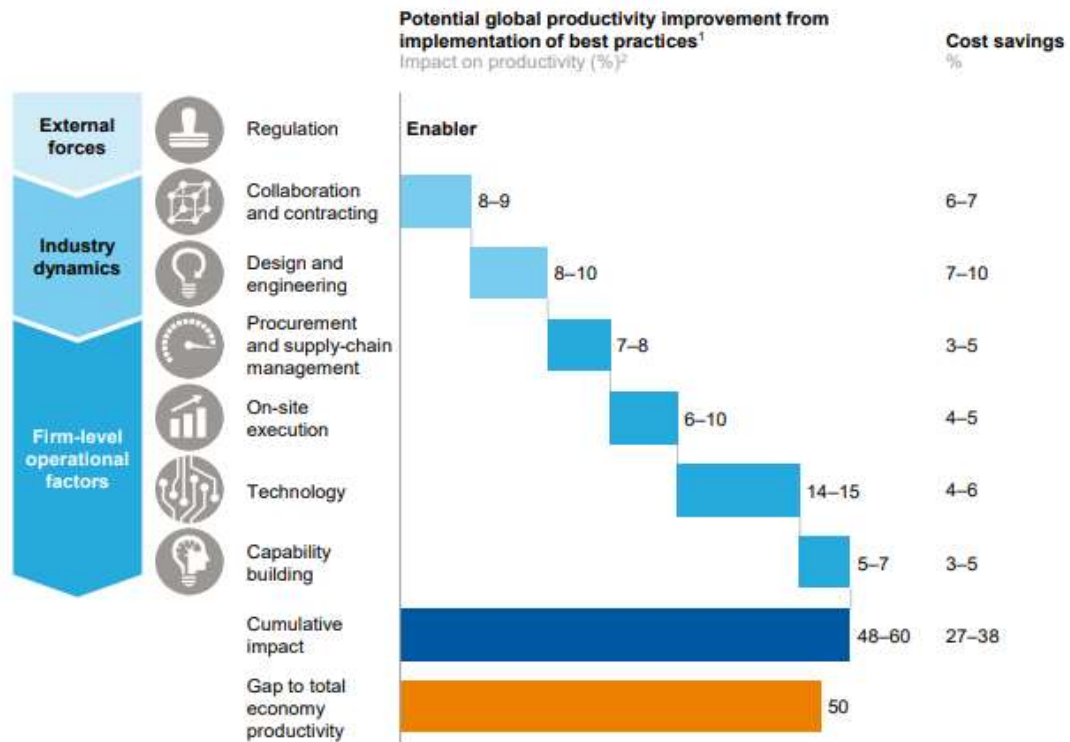
Porém, através do emprego de inovações, o setor tem a oportunidade de obter melhora significativa no índice de produtividade, aumentando-o para 50% a 60%. As inovações envolvem: reformular a regulamentação; reformular a estrutura contratual; implementar reengenharia de processos; melhorar a gestão de supply chain; melhorar a execução no local; infundir tecnologia digital e automação avançada; e capacitar os trabalhadores. Na Figura 8 observa-se os percentuais de redução de custo esperados para a implantação de inovações por cada área mencionada mencionados. (McKinsey, 2017)

Figura 8, Áreas com potencial de inovação na Construção e respectivos índices de redução de custos esperados.

Construction can catch up with total economy productivity by taking action in seven areas

Cascading effect

Regulation changes facilitate shifts in industry dynamics that enable firm-level levers and impact



1 The impact numbers have been scaled down from a best case project number to reflect current levels of adoption and applicability across projects, based on respondents to the MGI Construction Productivity Survey who responded "agree" or "strongly agree" to the questions around implementation of the solutions.
2 Range reflects expected difference in impact between emerging and developed markets.

SOURCE: McKinsey Global Institute analysis

Fonte: Adaptado de (McKinsey, 2017)

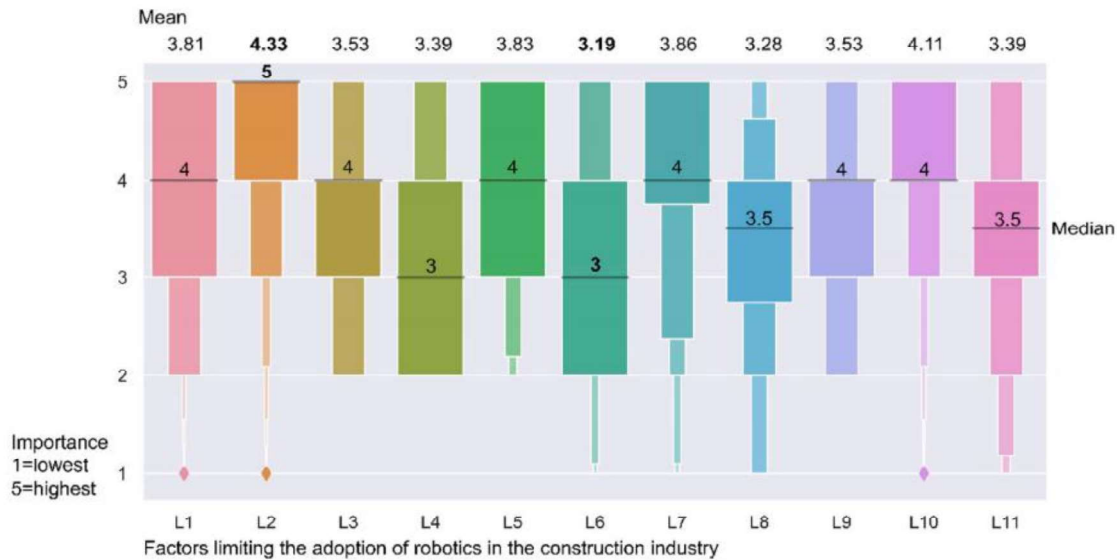
Uma das causas da baixa produtividade do setor é seu baixo investimento em inovação, estando a Indústria da Construção entre as Indústrias menos digitalizadas do mundo, conforme apontado pelo MGI. Na Alemanha, por exemplo, o setor de construção investiu em ativos digitais apenas 0,7% de seu valor agregado bruto por ano, entre 1991 e 2007. Em comparação, o setor financeiro investiu 4,3% e a Manufatura 1,8% no mesmo período. Nos EUA foram investidos 1,5% na Construção, 5,7% no Setor Financeiro e 3,3% no Manufactureiro. Existe uma correlação robusta entre o nível de digitalização em um setor e seu crescimento quanto à produtividade conforme dados coletados em dez anos. Dentro do próprio segmento da Construção existem exemplos comprovados de empresas que alcançaram grandes ganhos proporcionais de produtividade investindo em tecnologia. (McKinsey, 2017)

De acordo com Oyedele, 2019, os fatores que limitam a automação da Construção Civil, são:

- Desafios da força de trabalho
 - Falta de treinamento contínuo - L1
 - Força de trabalho não qualificada
 - Força de trabalho envelhecida
- Desafios econômicos
 - Alto investimento inicial em capital
 - Intensivo de capital
 - Baixo retorno do investimento
 - Modelos de negócios e contratos sufocam colaboração
- Desafios culturais
 - Aversão à mudança
 - Indústria muito estabelecida
 - Segurança no trabalho
 - Interação robô-humano
- Desafios intrínsecos à indústria
 - Indústria fragmentada
 - Setor de projeto
 - Competição intensa
 - Setor de alto risco
 - Lucros baixos
 - Predominância de PME no setor
 - Interesses conflitantes na cadeia de suprimentos
 - Colaboração abaixo da média na cadeia de suprimentos
 - Troca de informações insuficiente
 - Duplicação significativa de esforços
 - Complexidade do produto
 - Uso limitado da modelagem digital
- Desafios de P&D
 - Baixo investimento em P&D
 - Escopo restrito de P&D
 - Fraca cultura de inovação
 - Implementação complexa

O gráfico da Figura 1 ilustra os principais limitadores, que por ordem de importância e significado são: L2 que se refere ao alto investimento de capital inicial; L10 não percebem grande necessidade em melhorar a produtividade; L7 baixos orçamentos de P&D na construção; L5 aversão à mudança; L1 falta de treinamento do pessoal; L3 imaturidade no uso de tecnologias; L9 disponibilidade de mão de obra barata; L4 baixo retorno de investimento; L11 falta de incentivos governamentais; L8 baixo BDI (benefícios e despesas indiretas) nas obras de infraestrutura pública; L6 natureza fragmentada da indústria da construção [25].

Figura 9, Fatores que limitam a adoção de robôs na Construção



Fonte: Adaptado de (Oyedele, 2019)

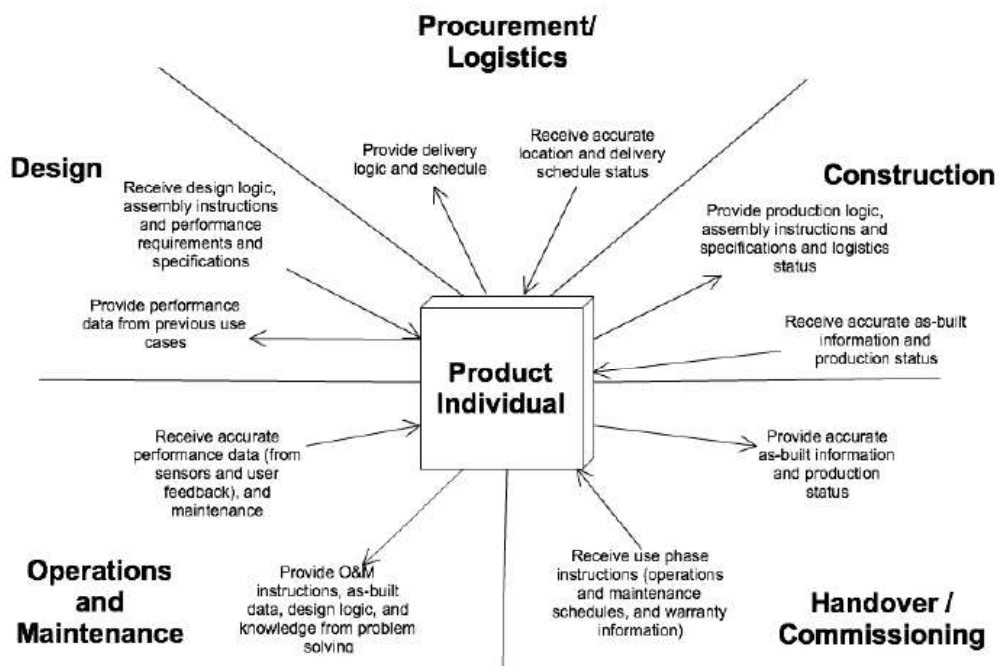
O governo alemão tornou obrigatório o uso do BIM para o planejamento e a realização de projetos de infraestrutura em larga escala a partir de 2021, República Checa 2022, Suécia obrigatório desde 2015, UK desde 2016, Dinamarca desde 2011, Noruega desde 2010, França desde 2017, Irlanda Espanha e Itália desde 2019 [26].

No Brasil, o decreto nº 9.377 de maio de 2018 obriga a modelagem 3D a partir de 2021 para a elaboração de projetos de arquitetura e de engenharia [27].

2.2 - Inovações Teóricas surgidas no mercado internacional da Indústria da Construção nos últimos cinco anos

A última atualização da técnica de gerenciamento da construção se deu com a implantação do Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method*) e do Sistema *Last Planner*®. A cadeia de suprimentos é longa e fragmentada, obrigando um grande número de organizações a se interagirem, causando ineficiência na produção, operação e uso da Edificação durante seu ciclo de vida. O pesquisador Dave, 2015, propõe a adoção pelos participantes do projeto, de um sistema centrado no Produto, utilizando-se de Modelagem de Dados, *IoT*, sistemas de mensagens e aplicação dos conceitos *Lean Construction*, abrangendo o ciclo completo desde o projeto, construção, manutenção e interação com o meio ambiente. Instruções de montagem, sequenciamento, fabricação e as informações sobre a Edificação passam a estar vinculadas ao produto e não mais ao projeto, ou seja, propõem a adoção do *Delivery Product-centric* e não mais o *Project-centric* [6]. A proposta baseia-se nas ideias testadas e adotadas com sucesso na Manufatura, traduzindo-as e expandindo-as ao ciclo de vida completo da Edificação. A visão centrada no produto, como mostrada na Figura 10, cobre o ciclo completo de vida do produto, auxiliando os projetistas a focar no valor agregado ao produto, eliminando assim tarefas desnecessárias, usando a tecnologia BIM, conceitos Lean, *IoT* e Gestão de Custos para a criação, produção e operação do “Produto Inteligente” (Dave, 2015).

Figura 10, Controle Centrado no Produto - *Controle Product-Centric*.



Fonte: Adaptado de (Dave, 2015)

líquidas em 2015. A pressão advinda da competição econômica global, diminuindo margens e limitando acesso aos recursos, deve obrigar as empresas a aumentar o percentual gasto em inovações, dentro dos moldes propostos pela Indústria 4.0. Os números de publicações teóricas e de estudos de casos relacionados a Inovações na Construção Civil entre 2014 a 2016 encontradas por Oesterreich, 2016, estão dispostos na Tabela 1, de forma separada pelos três *Clusters* de tecnologia da Indústria 4.0. *Cluster* C1 se refere à Fábrica Inteligente, C2 a Simulações e Modelagem e C3 Digitalização e Virtualização [7].

Tabela 1 - Tecnologias da Construção 4.0 agrupadas por Clusters C1, C2 e C3 e respectivos números de pesquisas práticas e teóricas publicadas no período de 2014 a 2016.

Cluster	Key technologies and concepts in the context of Industry 4.0	Number of relevant scientific publications	Number of relevant practical publications
Smart Factory (C1)	Cyber-Physical systems (CPS)/ Embedded systems	2	0
	Radio-Frequency Identification (RFID)	11	6
	Internet of Things (IoT)/ Internet of Services (IoS)	0	27
	Automation	21	3
	Modularisation/ Prefabrication	7	4
	Additive Manufacturing	0	8
	Product-Lifecycle-Management (PLM)	2	3
	Robotics	6	13
	Human-Computer Interaction (HCI)	2	1
Simulation and modelling (C2)	Simulation tools/ Simulation models	55	1
	Building Information Modelling (BIM)	30	11
	Augmented/Virtual/Mixed Reality (AR/VR/MR)	18	13
Digitisation and virtualisation (C3)	Cloud Computing	6	5
	Big Data	0	9
	Mobile Computing	2	1
	Social Media	3	6
	Digitisation	4	8
	Total	169	119

Fonte: adaptado de Oesterreich, 2016

A Tabela 2 resume os benefícios a serem alcançados pela Indústria da Construção com a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 separados pelos *Clusters* C1, C2 e C3. E Figura 12 mostra o impacto na Cadeia de Valor, caso a Indústria da Construção venha adotar estas práticas. O Cluster 1, *Smart Factory* (Fábrica Inteligente, ou Construção Inteligente), compreende uma ampla gama de tecnologias e conceitos visando automatizar o processo de construção. A “Integração digital ponta a ponta da engenharia” é descrita como um dos principais recursos da Indústria 4.0. Os *Cyber Physical Systems* (CPS) são sistemas automatizados que permitem a conexão das operações da realidade física com as infraestruturas de computação e comunicação (apud GOMES, 2016). Ao contrário dos sistemas embarcados

tradicionais, que são projetados como dispositivos autônomos, o foco no CPS está na rede com vários dispositivos. São sistemas conectados em rede que se comunicam entre si usando sensores para capturar a informação sobre o que está acontecendo no mundo físico, interpretam esses dados e os disponibilizam em serviços de rede, ao mesmo tempo que usam atuadores que influenciam diretamente os processos no ambiente físico e controlam o comportamento de dispositivos, objetos e serviços. A Identificação por Radiofrequência (RFID) oferece múltiplas soluções para a automação de o processo de construção. Permite rastrear e gerenciar ativos, recursos, componentes de construção pré-fabricados, otimizar cronograma e custo do projeto, gerenciar estoque, atuar na prevenção de roubo, reforçar a segurança no trabalho. A Internet das Coisas e dos Serviços (IoT e IoS) é descrita como uma combinação de sensores como RFID, outros dispositivos de comunicação, aplicativos em nuvem, integração de ERP e tecnologia de inteligência de negócios .Os sensores embutidos em objetos físicos, como por exemplo em equipamentos pesados (guindastes, escavadeiras, carregadeiras), robôs, componentes de construção ou outros conectados à Internet e emitindo dados de desempenho a serem analisados, possibilitando a manutenção preditiva do maquinário, por exemplo. De acordo com um relatório da McKinsey & Company, a tecnologia IoT pode economizar de US \$ 160 bilhões a US \$ 930 bilhões anualmente em canteiros de obras, no entanto essa tecnologia ainda não foi adotada pelas construtoras. Pontos importantes destacados pelo autor relacionados ao *Cluster 1*:

- *Additive Manufacturing* (Manufatura Aditiva - MA) é uma tecnologia que permite automatizar a fabricação de componentes arquitetônicos mais complexos, sem custos adicionais de mão-de-obra, à partir de um modelo digital e impressão 3D.
- A modularização, também conhecida como construção pré-fabricada, refere-se à fabricação de componentes de construção, fora do canteiro de obras, transporte e montagem na obra.
- Embora seja a Robótica uma parte principal do conceito de montagem de fabricação para o setor automotivo, a tecnologia não tem representação na pesquisa e na prática da construção. Esse fato se dá pelo baixo nível de

padronização no processo de construção e pelo ambiente hostil da construção que não fornece o ambiente ideal para robótica.

- *Product-Lifecycle-Management* (PLM - Gestão do ciclo de vida do produto) é um conceito que lida com a integração de todas as informações produzidas em todas as fases de todo o ciclo de vida de um produto. Na prática, o PLM está vinculado ao BIM.
- *Human-Computer Interaction* (HCI) - Interação Homem-Máquina é uma matéria multidisciplinar com enfoque humano, e que agrega conhecimento de diversas áreas exatas e humanas além da computação (como a psicologia, a antropologia, artes, design, ergonomia, sociologia, semiótica, linguística, e áreas afins) para a implementação bem-sucedida da automação.

O *Cluster 2* se refere à simulação e modelagem BIM, VR, AR, MR (realidade virtual, realidade aumentada e realidade mista) através do uso de óculos e capacetes inteligentes, como exemplo HoloLeans, Daqri Smart Helmet, além de outros *wearables*.

O *Cluster 3* se refere à digitalização e virtualização. O uso de soluções baseadas em nuvem permite que todos os participantes do projeto acessem informações de qualquer dispositivo de comunicação com acesso à Internet através de uma plataforma de colaboração podendo compartilhar informações, visualizá-las, gerenciá-las, distribuí-las em tempo real. Pontos importantes destacados pelo autor relacionados ao *Cluster 3*:

- A Computação Móvel, se refere ao uso de dispositivos móveis para apoiar a comunicação e colaboração durante o processo de construção. De acordo com o Relatório de Tecnologia da Construção de 2015, 97,6% dos profissionais da construção pesquisados usam smartphone e 69,4% deles usam tablet para finalidades de trabalho.
- O uso de mídia social é uma maneira eficaz de melhorar o processo de produção fragmentado já que a grande quantidade de participantes diferentes do projeto requer uma plataforma como uma rede para conectar, interagir e obter informações compartilhamento, como por exemplo o PlanGrid.

- Digitalização é o processo de conversão de informações de um formato físico para um digital e que melhora os processos de negócios.

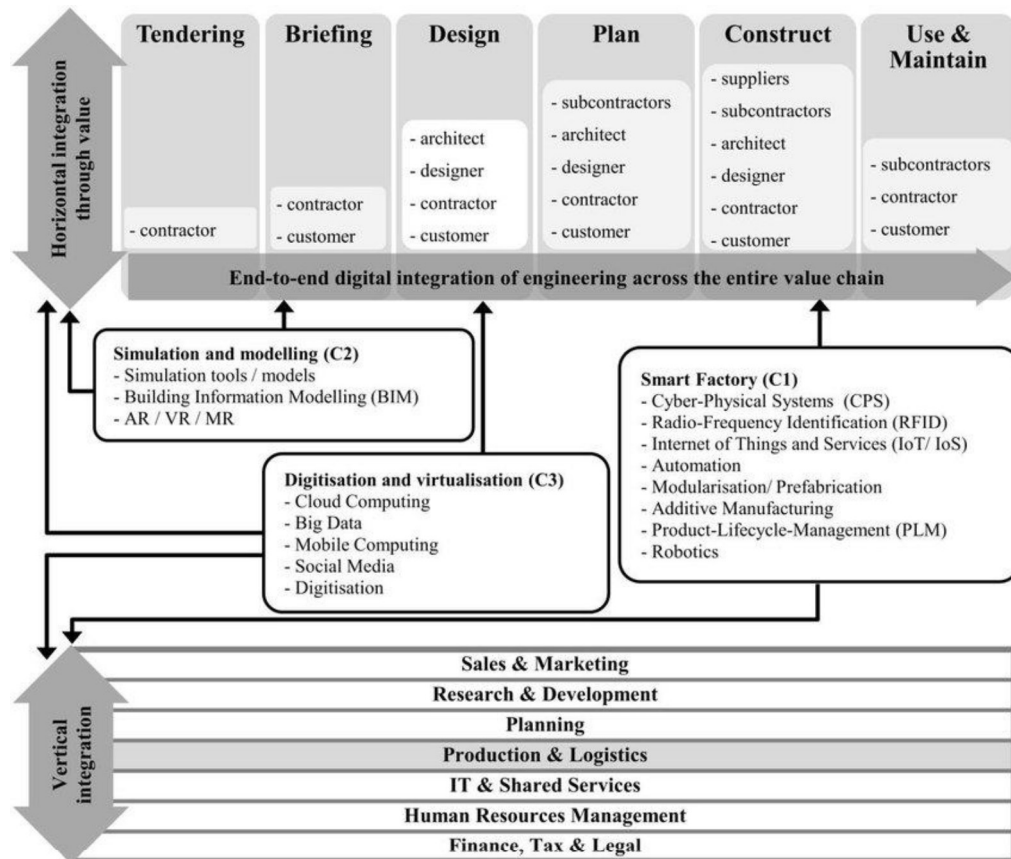
Tabela 2 - Benefícios a serem alcançados pela Indústria da Construção com a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 contidas nos Clusters C1, C2 e C3.

Benefits of Industry 4.0 for the construction industry.

Implications I: Benefits	Perspective
	P E S T E L
<ul style="list-style-type: none"> • Cost savings: The automation of labour-intensive processes, e.g. through the use of robotics or automated workflows results in a reduction of labour costs [52]. Additionally, the automated tracking of equipments and materials by using embedded sensors can help to reduce material costs [30]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Time savings: Innovative manufacturing technologies and concepts like Prefabrication or Additive Manufacturing enable the construction of buildings in matter of days, faster than conventional construction methods [36], [41]. 	
<ul style="list-style-type: none"> • On-time and on-budget delivery: In the past, delivery of construction projects on time and on budget has been proven to be a challenging task. The use of BIM can help to decrease project delivery time and keep projects under budget [58]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Improving quality: The use of BIM and other simulation technologies has been mentioned to increase the quality of the building, as errors can be avoided in the early stages by simulating the whole construction process [84]. Furthermore, Big Data analytics can help project managers to make more effective and well-informed decision based on historical data [68]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Improving collaboration and communication: Due to the high amount of project participants involved in each construction project, cloud- and BIM-based platforms or social media apps can efficiently improve collaboration and communication even across company borders [63], [66]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Improving customer relationship: By applying simulation technologies like Augmented Reality, Virtual Reality and Mixed Reality in combination with mobile devices or wearable computing, construction companies are able to provide project owners greater insights into the details and design of a building before it is built [58]. Thus, customers can be involved in the planning process for a better customisation of the building. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Enhancing safety: The high number of articles for safety management reveals that safety is one of the most important issues in construction. Due to its hazardous work environment, the construction industry is well known for its high rate of work injuries and accidents [54]. Accordingly, many different approaches are presented by researchers and practitioners to improve construction safety, e.g. through virtual safety training [85], using risk maps for avoiding work accidents [86] or using wearable technologies like Smart Glasses or Smart Helmets [87]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Improving the image of the industry: The construction industry is well known for its harsh working environment and its low level of digitisation. Thus, it is suffering from a poor employer image and often struggles to attract talented recruits to their workforce. The digital transformation of the whole industry can help to improve its image [88]. 	x
<ul style="list-style-type: none"> • Improving sustainability: The building and construction sector is responsible for high carbon dioxide emissions, caused by its energy consumption and high level of waste during its construction processes [89]. In order to handle these environmental problems, several approaches have been proposed for construction waste minimisation [90], for reducing project emissions through strategic project management [91] or for using BIM to create design alternatives [76]. 	x

Fonte: Adaptado de(apud GOMES, 2016).

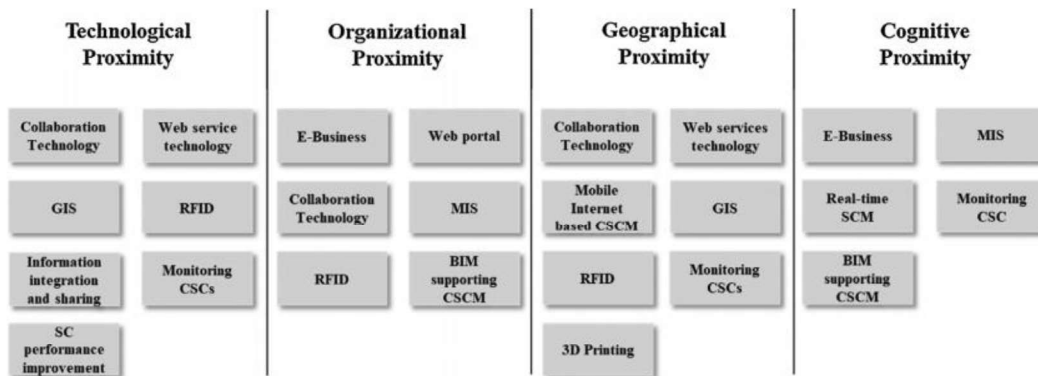
Figura 12 - Impacto causado pela adoção das Tecnologias da Indústria 4.0 na Cadeia de Valor da Indústria da Construção.



Fonte: Adaptado de (Apud, Gomes 2016).

Construction supply chains (CSCs - Cadeias de fornecimento de construção) geralmente consistem em produção sob encomenda, em que o ponto de encontro entre Fornecedores da Cadeia se dá apenas no Canteiro de Obra [8]. As relações, portanto, são geralmente pontuais, temporárias, fragmentadas, instáveis e ineficientes onde as questões relacionadas à proximidade entre os *players* é pertinente. O conceito de proximidade é multifacetado envolvendo questões geográficas, organizacionais, cognitivas, dimensões sociais, culturais, institucionais e tecnológicas e é o fator determinante de transferência de conhecimento, inovação e cooperação Inter organizacional. A Figura 13 fornece uma visão geral dos conceitos da Indústria 4.0 na indústria da construção das dimensões de proximidade. Essa estrutura auxilia empresas a implementar ações e projetos que incrementem a proximidade tecnológica, organizacional, geográfica e cognitiva (Dallasega, 2018).

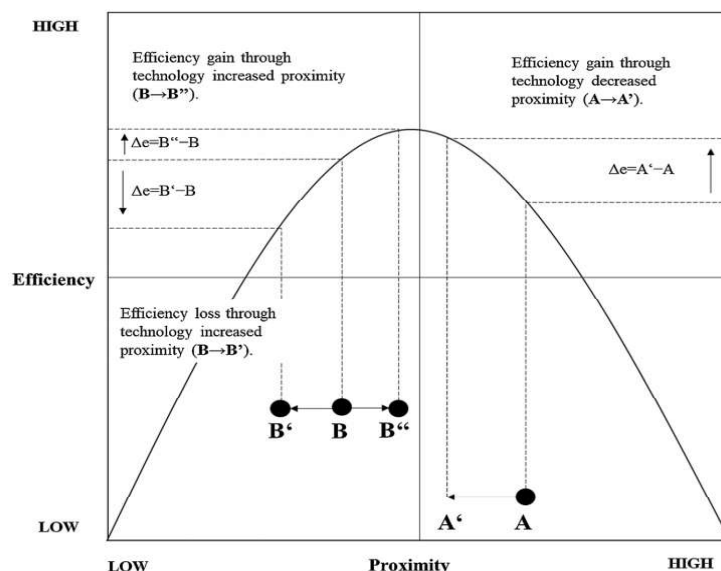
Figura 13 - Estrutura de Proximidade na Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de (Dallasega, 2018)

O setor de construção é orientado a projetos e suas parcerias na cadeia de suprimentos são temporárias, os conceitos da Indústria 4.0 têm influência significativa nas dimensões tecnológicas, organizacionais, geográficas e cognitivas de proximidade, no entanto, o impacto desses conceitos na proximidade cultural, institucional e social parece insignificante. O “paradoxo da proximidade” de Boschma aponta que embora a proximidade possa ser crucial para que os atores se conectem e troquem informações e conhecimentos, muita proximidade pode dificultar a descoberta de soluções inovadoras. Na Figura 14 observa-se a hipótese que existem limites para a proximidade que levam à perda de eficiência.

Figura 14 - Ganhos de eficiência com o aumento ou diminuição da proximidade.

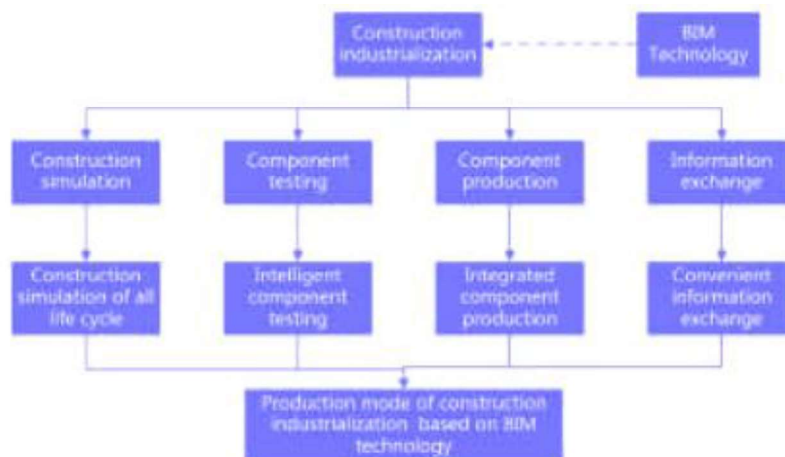


Fonte Adaptado de (Dallasega, 2018).

Desde que a estratégia "Indústria 4.0" foi proposta pela Alemanha em 2013, outros países apresentaram suas próprias versões nacionais: EUA possuem o

"Industrial Internet Project", a França adota a "Nouvelle France Industrielle"; a Grã Bretanha lançou o "British Industrial 2050 Strategy "; o Japão propõe a "Society 5.0" ; a China propôs o plano "Made in China 2025" ; o Brasil busca adotar o Plano Nacional para Indústria 4.0. E o BIM passa a ser o centro desta estratégia, em que governos passam a obrigar o uso desta tecnologia inicialmente em obras públicas. No entanto existem inúmeros obstáculos para a implementação na Indústria da Construção Chinesa [11]. Conforme Figura 15, o autor dividiu estes avanços necessários em: simulação de construção; teste de componentes; produção de componentes; troca de informações; simulação do ciclo de vida completo do Empreendimento; testes de componentes inteligentes; produção integrada dos componentes; troca de informações necessárias no momento da necessidade. O autor sugere que a tecnologia AR seja integrada ao BIM, para que seja possível alcançar as metas governamentais de eficiência impostas à Indústria (Junjie Li, 2016).

Figura 15: Sistema de Construção Industrializada baseada em BIM.

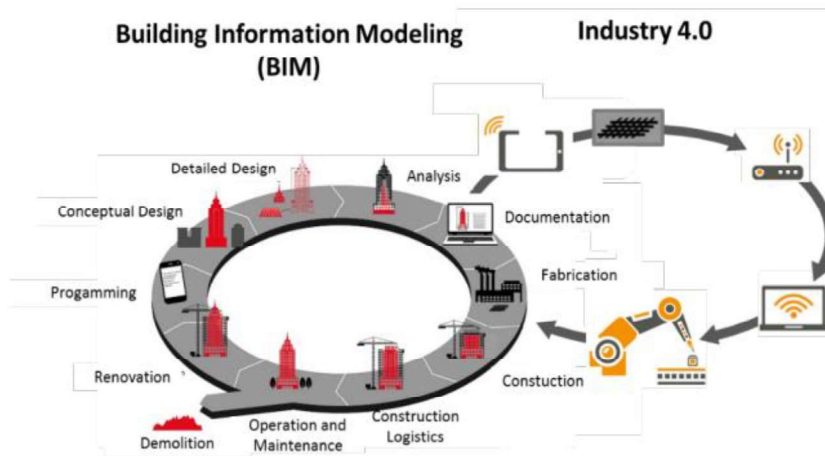


Fonte: Adaptado de (Junjie Li, 2016)

A mudança BIM de 2D/3D para n-D prevista em lei para alguns países demanda uma tecnologia cuja base de dados seja ativa e não mais passiva como outrora, já que a manutenção do gêmeo digital do empreendimento sofrerá mudanças ao longo do tempo, gerando enormes quantidades de dados. O Big Data exigirá especialistas e novos processos internos, mas trará oportunidades em termos decisórios, de potencial de melhorias e de criação. Aplicação de BIM e técnicas da Indústria 4.0 são complexas porém promissoras e requerem equipes multidisciplinares [16]. Embora tenha havido avanços significativos nas duas disciplinas, existe uma lacuna para aplicação de ambas na Indústria da Construção. O estudo aplica Estratégias de Game, Colaboração em tempo próximo ao real e Realidade Mista para solucionar este gap, conforme esquema apresentado na Figura 16 em que há a associação do

Building Information Modeling 5 (BIM5), que busca gerar a representação digital de todos os aspectos de uma construção e de todo o ciclo de vida do empreendimento (concepção planejamento, construção, operação, gerenciamento de instalações, refurbish e demolição), com a Indústria 4.0, BIM para o design e Indústria 4.0 para a operação (De Lange, 2017).

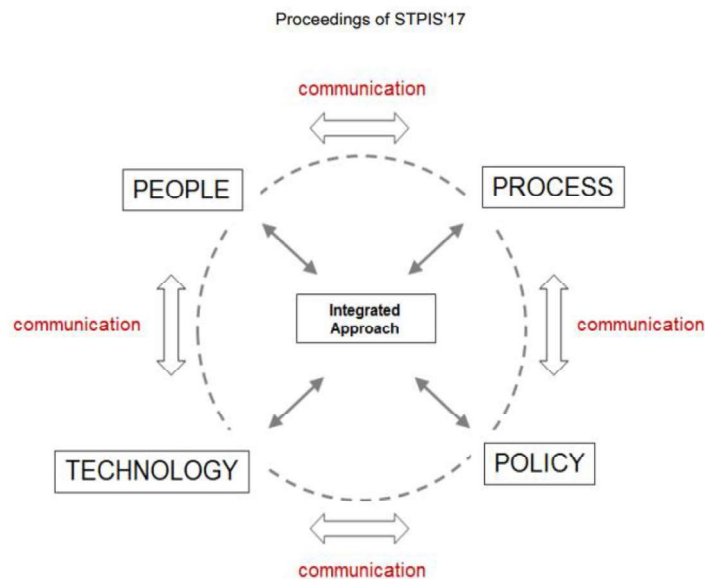
Figura 16. Conexão do BIM 5 da Construção Civil com Técnicas da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de (De Lange, 2017)

Para que esta interligação seja alcançada, o autor propõem uma abordagem sócio-técnica. Conforme Figura 17, sugere que a comunicação é a malga que liga processos, pessoas, tecnologia e política organizacionais, possibilitando atender com eficiência os anseios do crescente mercado de Customização em Massa (CM) (De Lange, 2017).

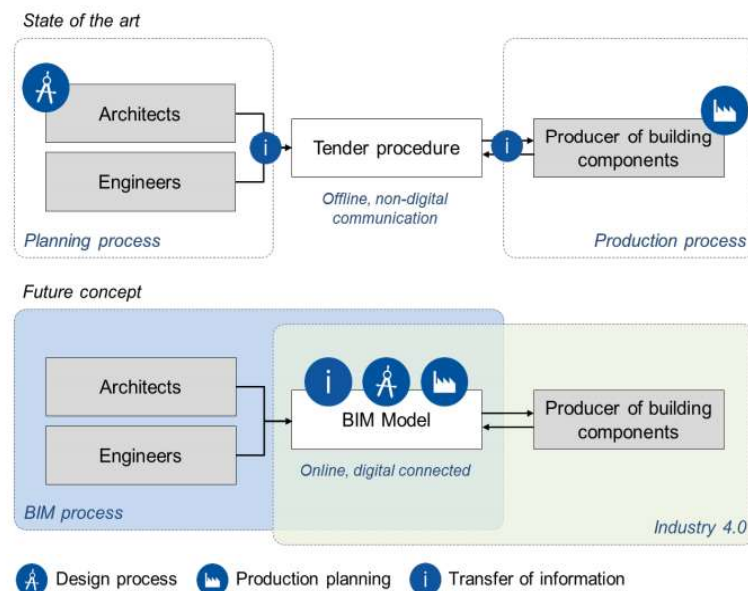
Figura 17, Processo, política, tecnologia e pessoas unidos pela comunicação.



Fonte: Adaptado de : (De Lange, 2017)

As ferramentas sócio-tecnológicas de colaboração em tempo próximo ao real utilizadas foram de MR (Mixed Reality) e SyncMeta, de código aberto, (<https://github.com/rwth-acis/syncmeta>). Possibilitou e integrou acesso pelos diversos dispositivos móveis, tais como smartphones, tablets, óculos inteligentes, wearables, notebooks, computadores com projetores, headsets e outros mais sofisticados, remotamente ou fisicamente no canteiro de obras via Web. Para treinamento e conscientização do conceito BIM entre todos os participantes (arquitetos, engenheiros, mestre, operários, empreiteiros) foi inicialmente criado um jogo com peças de Lego. Durante o workshop cada participante recebeu uma cor específica, ou peça específica associada a uma orientação particular individual. Os participantes desconheciam o projeto completo e tinham como meta a montagem da estrutura completa em total silêncio. Na Figura 18 observa-se a reestruturação de comunicação entre participantes utilizando as ferramentas sócio tecnológicas (De Lange, 2017).

Fig. 18. Comunicação digital reestruturada entre os participantes.



Fonte: Adaptado de (De Lange, 2017)

O teste da abordagem sociotécnica foi efetuado para uma reforma no castelo Birlinghoven (no campus da Fraunhofer FIT). Na Tabela 3 são descritas cada uma das ferramentas sociotécnicas a serem utilizadas em cada uma das diferentes fases da Obra (De Lange, 2017).

Tabela 3. Ferramentas sociotécnicas propostas para cada uma das fases da Reforma da Edificação.

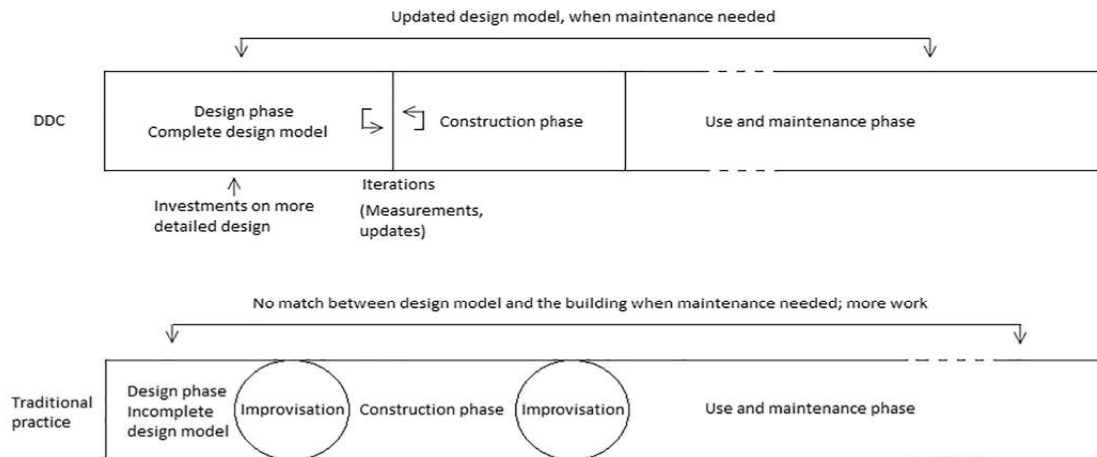
Building Phases	Socio-Technical Aspects	Proposed Tools
Project set-up	interviewing possible project partners team communication (all) selecting suitable project partners	human resources workshop serious gaming workshop human resources workshop
Planning	team communication (all) simulating, optimizing and adjusting presentation skills looping & evaluation knowledge documentation knowledge	serious gaming workshop MR visualization & communication public relation workshop process workshop administrative workshop
Construction	team communication (all) simulating building methods simulating construction simulation time & costs	serious gaming workshop remote communication support MR communication, issue tracking human resources workshop
Fabrication	team communication (all) simulating digital fabrication	serious gaming workshop mixed reality machine operation, remote maintenance & quality control
Operation/FM	team communication (user & planner) operate & service building parts	serious gaming workshop MR tools, e.g. remote maintenance
Reuse/Demolition	team communication (constructor & planner) disassemble building parts (objects)	serious gaming workshop MR communication decision support tools

Fonte: Adaptado de (De Lange, 2017)

A improvisação durante o processo construtivo é frequente e gera ineficiência e. É resultante das situações não planejadas, ou por tempo e verbas insuficientes para planejamento, ou por falta de projeto detalhado, além de outras. O *Direct Digital Construction* (DDC) pretende eliminar a necessidade de improvisação no canteiro, mantendo o controle digital das operações através do *design* completo, automatizando a construção [23]. As técnicas já timidamente hoje utilizadas, tais como, BIM (*Building Information modeling*), VDC (*Virtual Design and Construction*) e DDM (*Direct Digital Manufacturing*), não alcançam o canteiro de obra. O DDM, desenvolvido nas indústrias de transformação, é uma técnica importante da Indústria 4.0, de manufatura aditiva, através de CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing) e CAE (Computer-Aided Engineering) que reduz tempo e o custo necessários para o design e fabricação de itens individuais, elimina a necessidade de ferramentas e oferece possibilidades de personalização para satisfazer os diferentes requisitos dos clientes de forma eficaz, mas que devido à alta variabilidade, a desconexão entre os diversos atores e ao baixo nível de maturidade digital em que se encontra a indústria da construção, tem sua adoção inviabilizada. O DDC permitir lidar com altos níveis de personalização e atividades de montagem no canteiro de obra. Implementação

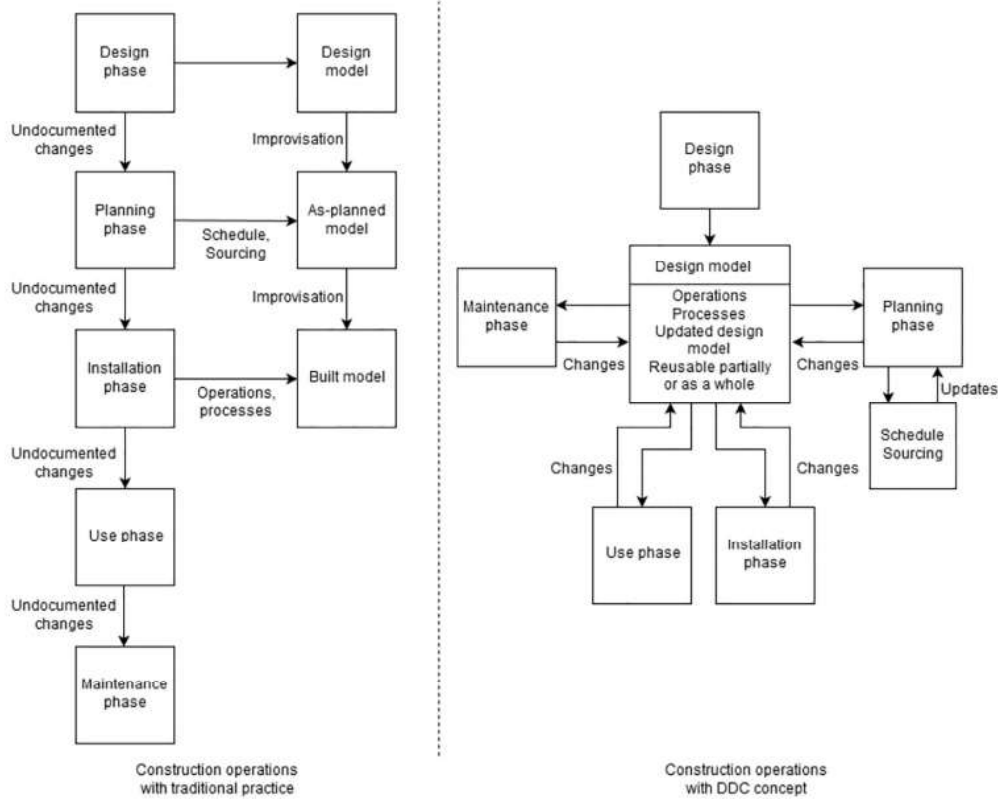
parcial do DDC para projeto e montagem de estrutura, por exemplo, já existem, no entanto para a adoção completa será necessária a mudança da forma de gestão, saindo do gerenciamento de projetos para uma gestão orientada à solução. A pesquisa de Tetik, 2019, analisou seis casos de implementação do DDC. Num dos casos, uma estação robótica no canteiro contendo 600 pontos de medições automáticas, confrontam o real com o gêmeo digital, monitorando e interferindo a execução, qualquer distorção é feita de forma sincronizada, no modelo ou no campo, dependendo da decisão visando à correção necessária, resultando num as-built em tempo real. A tradição de que subcontratados podem controlar a qualidade de seu trabalho de forma individual foi alterada e parte do trabalho passou para os projetistas. A empresa gastou em detalhamento de projeto aproximadamente 10.000 h adicionais, num projeto residencial de 300.000 pés quadrados e valor orçamentário de US \$ 150 milhões. As horas adicionais gastas na fase de projeto, no entanto, resultaram numa economia final de US \$ 2,5 milhões para o proprietário e aumento de 20% no lucro para a construtora, além dos ganhos observados com a qualidade. A comparação entre a modelagem DDC com a prática de modelagem tradicional pode ser vista na Figura 19 A e B onde observa-se a eliminação da improvisação, o aumento do detalhamento de projetos e estudos iniciais considerando as melhores práticas baseadas em modelos anteriores, a inclusão de trabalhos de projetistas durante toda a execução e envolvimento de todos os atores numa plataforma única. Os autores sugerem que futuramente seja empregado o Design Paramétrico no DDC, numa tentativa de redução da complexidade e diminuição de volume de horas de detalhamento de projetos. A manufatura aditiva e a impressão 3D também apresentam oportunidades para a expansão do DDC.

Figura 19 A, Esquema do DDC em comparação com a prática tradicional.



Fonte: Adaptado de (Tetik, 2019).

Figura 19 B, Esquema do DDC em comparação com a prática tradicional.



Fonte: Adaptado de (Tetik, 2019)

Dallasega, 2018, utiliza-se do conceito “*pitching*” da Produção Enxuta, que divide grandes tarefas da construção em sub-tarefas controláveis, para tanto demanda melhora no planejamento, readequação dos recursos nas tarefas, a criação de um sistema de informação que controle o progresso do projeto e dê *feedbacks* em tempo real, aumentando assim a capacidade de intervenções de correções oportunas e

eficazes. Os métodos atuais de planejamento e controle de obras são as planilhas em MS Excel, MS Project, o *Last Planner*, o *Takt-Time* e a verificação do percentual executado da tarefa, comparado com o valor orçado pelo *Earned Value Analysis* (EVA), são insuficientes. Tomando emprestada as técnicas de resposta rápida do Setor de Transporte Aéreo para atender as mudanças frequentes de horários, o Setor da Construção poderia assim resolver as questões de replanejamento colaborativo cíclico, controle e readequação dos recursos para a execução de atividades com o fluxo sincronizado das informações via IoT, em tempo real. Dallasega propõe desta forma um método eficiente de planejamento e monitoramento para empresa ETO (*Engineer to Order*) que agrupa algumas técnicas do *Lean Construction* (LPS, LBMS, Takt-Time Planning) combinadas com o monitoramento em tempo real [24].

2.3 - Inovações Práticas surgidas no mercado internacional da Indústria da Construção nos últimos cinco anos

As APIs (*Interface de Programação de Aplicativos*) do BIM 360 permitem que sejam desenvolvidos aplicativos integrados à plataforma Autodesk BIM 360, ampliando assim soluções no ecossistema de construção, são elas [3]:

- API de administração de conta do BIM 360 automatiza a configuração de projetos, a atribuição de administradores de projeto e o gerenciamento de diretórios de membros e empresas parceiras. Sendo possível sincronizar dados com sistemas externos.
- API de gerenciamento de documentos do BIM 360 acessa, carrega e compartilha planos 2D, BIMD e quaisquer outros documentos do projeto, maximizando a colaboração.
- Forge Viewer possibilita visualização dos modelos BIM 360 em seu próprio aplicativo
- API de problemas do BIM 360 cria, rastreia e atualiza problemas de design e segurança
- API de listas de verificação do BIM 360 rastreia, classifica e filtra informações.
- API de coordenação de modelos do BIM 360 (beta) fornece acesso total ao conjunto de serviços usado pelo aplicativo web de coordenação BIM 360, permitindo que os usuários detectem e gerenciem os problemas que surgem quando modelos 3D de diferentes disciplinas de design são combinados em um espaço unificado.

O openBIM [4] é uma iniciativa da buildingSMART e de diversas empresas líderes do mercado de software. É uma abordagem universal, aberta, e capaz de

compreender multi-versões e multi-formatos, não apenas para a colaboração em projetos, mas também para a entrega da obra, operação e manutenção dos ativos. O objetivo é que a Indústria da Construção possa usar uma linguagem comum entre cliente e equipes comerciais e de suprimentos durante o processo de contratação, execução e pós entrega, fazendo comparações, equalizações e compatibilizações com maior rapidez e qualidade de dados. A buildingSMART tem como visão a plena realização dos benefícios sociais, ambientais e econômicos de uma infraestrutura compartilhável aberta e a incorporação de informações de construções em todo o mundo. Tem como missão disseminar o uso de padrões de dados abertos, durante todo o ciclo construtivo e pós entrega, com padronização de processos, fluxos de trabalho e procedimentos para o openBIM, permitindo assim a transformação digital da Indústria da Construção, beneficiando todos os diretamente envolvidos e os indiretamente, incluindo a sociedade.

VEO (Virtual Engineering Object) é uma representação de um artefato de engenharia que encapsula todo o conhecimento acumulado do ciclo do produto (concepção-uso-descarte), adicionando, armazenando, melhorando e compartilhando conhecimento baseado em experiência, de maneira semelhante a que faria um especialista [10]. O VEO é uma especialização dos CPS (Cyber Physical Systems) e utiliza a técnica de representação do conhecimento SOEK-DDNA, uma combinação do SOEKS (Set of experience knowledge structure - Conjunto de Estruturas do Conhecimento e Experiências para gerenciamento de conhecimento explícito) e DDNA (Decisão DNA - sendo DNA uma metáfora ao DNA humano que acumula informações genéticas). O (VEP - processo de engenharia virtual) se refere a acumulação do conhecimento do planejamento à fabricação, contendo todas as operações necessárias do chão de fábrica bem como suas sequências de fabricação e maquinário e recursos utilizados. As Tabelas 4 e 5 se referem ao requerimentos e fases para a implementação do VEO/VEP (Shafiq, 2015).

Tabela 4 - Requerimento para implantação do VEO/VEP.

CPS	Key Aspects	VEO/VEP features
Design requirements	Interoperability	Product self-awareness (history, status, location, delivery strategy and service) Throughout linking product virtual model and situational physical status. Resource/energy efficiency and sustainable production
	Virtualization	Empowering end users in the final product configuration. Generation of production and manufacturing working options. Accounting for time and cost.
	Decentralization	Analytics of production and manufacturing data. Real-time mixing of production data with engineering design data. User interface dynamic adaptation of information to user profile, devices, and context.
	Real-Time Capability	Emergence of new operational models Optimized decision making
	Service Orientation	Individualized product tracking and as underlying connection layer between factories and products.
	Modularity	Personalization and flexibility Dynamic resource visualization and creation of decisional footprints at the factory and machine levels.

Fonte: Adaptado de Shafiq, 2015.

Tabela 5 - Etapas de implantação do VEO/VEP.

Implementation phases	Vertical integration	Virtual environments. Virtual scenarios for new ways of planning production, especially suitable for dynamic and fast changes. Scenarios for testing different configurations
		Real-time representation of production. Visualizing flows of information, material, and knowledge in the factory. not only physical representation.
		End user interfaces. Editing configurations in demanding work conditions, such as production lines.
	Horizontal integration	Natural flow of a persistent and interactive virtual model throughout entire Product life-cycle.
		Virtual production planning by coupling of production process and product models.
	End-to-end integration	Augmented reality (AR) for process and resources/objects.
		Intelligent streaming/search to improve decision making.
		Preserving critical features for tasks while allowing interaction among VEOs.

Fonte: Adaptado de Shafiq, 2015

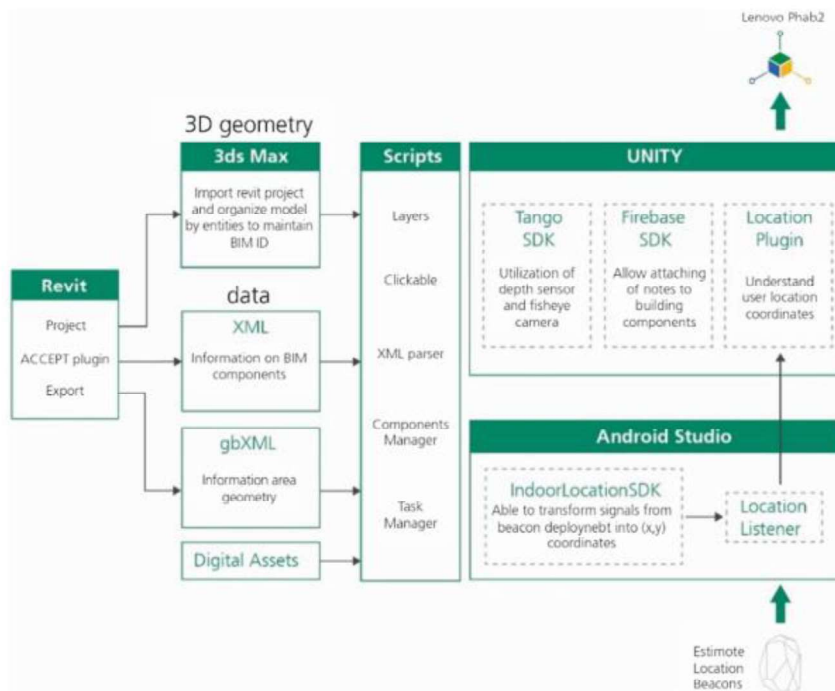
O Protótipo AR4Construction *Research Project* se trata de um aplicativo AR de Gerenciamento de Obras que pretende disseminar as informações entre os operários no momento e local em que elas sejam necessárias [15]. E requer que:

- Os usuários do aplicativo sejam os próprios operários do canteiro de obras;
- O BIM 3D seja explorado durante o deslocamento dos operários na obra, sendo que a posição do operário deve corresponder à mesma posição no projeto BIM;
- Seja capaz de filtrar os componentes relevantes do edifício (por exemplo, paredes, pisos, janelas);
- Informações dos componentes relevantes possam ser acessadas pelos operários até o nível de detalhe, incluindo documentos informativos anexos;
- Sejam visualizadas as tarefas a serem concluídas com relação à posição do trabalhador no modelo BIM

Na Figura 20 vê-se que a solução AR4Construction parte de projetos efetuados no Revit, cujos arquivos são então exportados e importados para o aplicativo desenvolvido na plataforma de games Unity, na linguagem C para a interface do celular Lenovo Phab 2 Pro, que é integrado no AR Tango da Google, produto este que foi descontinuado em 2018. Adotou-se a base de dados Tango API e Firebase SDK e foram utilizados *scripts* denominados *Layers*, *Cliccable*, *XML Parser*, *Components Manager* e *Task Manager*. A solução conta ainda com a tecnologia de sensoriamento *iBeacon* e *Indoor Positioning System* (IPS, Sistema de Posicionamento de Interiores)

e um *script* próprio no *Android Studio* denominado pelo autor de *Location Listener*, que transformou o sinal do *Beacon* em coordenadas. Para o IPS foram usados BLE (*Bluetooth Low Energy*) e *Estimote Location Beacon*. A implementação do protótipo foi efetuada na cozinha do laboratório de Fraunhofer na Itália e o autor sugere que seja implementada no Canteiro de Obras para avaliação de seu potencial numa implantação em escala real. (Schweigkofler, 2018).

Figura 20 - Fluxograma da Plataforma do AR4Construction.



Fonte: Adaptado de Fraunhofer Italia - Schweigkofler, 2018.

O BIM-Waste, Add-in do Revit, possibilita o Gerenciamento de Resíduos na Construção (CW - *Construction Waste*) já na fase da Concepção do Empreendimento, técnica denominada *Design-out-Waste (DoW)*. Contou com o método híbrido *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*, que se trata da junção do *Fuzzy Inference System (FIS)*, resolvendo questões de imprecisões e incertezas, com *Artificial Neural Networks (ANN)*, que possui boa capacidade de aprendizado [17]. A Tabela 6 apresenta uma compilação das técnicas existentes de inteligência artificial e seus pontos fracos e fortes apontados por diversos autores.

Tabela 6 - Comparação de técnicas de inteligência artificial.

AI Techniques	Description	Key Strengths	Key Limitations	Example
Machine Learning Techniques	Machine Learning techniques learn from data	Inherent abilities to handle uncertainty and to perform efficiently with incomplete data	Lack technical justification for results and decisions	Artificial Neural Network (ANN), Fuzzy Logic (FL), Support Vector Machines (SVM), Rule-based Learning (RBL), Association Rule learning (ARL)
Knowledge Based systems	Knowledge based systems mimic human domain experts in finding solutions to complex problems.	Knowledge based possess strong explanation abilities	Knowledge based systems have poor learning and knowledge discovery abilities	Expert Systems (ES), Rule Based Reasoning (RBS), Case Based Reasoning (CBR), Semantic Networks (SN), Ontologies
Evolutionary algorithms	Evolutionary techniques are bio-inspired AI techniques that use heuristics to find solution to highly complex problems	Evolutionary techniques require little domain-specific information and they are easy to implement.	Heuristics used in evolutionary techniques are very difficult to generalise	Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimisation (ACO), Artificial Bee Colony (ABC), Particle Swarm Optimisation (PSO), Differential Evolution (DE), Evolutionary Programming (EP)
Hybrid systems	Hybrid systems integrate multiple AI techniques to provide synergetic solution to a specific problem	Hybrid Systems overcomes specific limitations of individual techniques and to combine their strengths	Hybrid systems could be complex to design and implement.	Neuro-Fuzzy systems (NN+FIS), Genetic Fuzzy Systems (EC+FS), Fuzzy Expert Systems (FIS-ES), Evolutionary Neural Networks (EC+NN)

Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

Na Tabela 7, observa-se o emprego da inteligência artificial especificamente na Indústria da Construção (Akinade, 2017).

Tabela 7 - Inteligência Artificial utilizada em Pesquisas relacionadas à Construção.

AI Technique	Area of Study and Source	Technique
Machine Learning	Cost estimation (Wilmot and Mei, 2005)	ANN
	Cost estimation (An <i>et al.</i> , 2007)	SVM
	Cost estimation (Petroutsatou <i>et al.</i> , 2011)	ANN
	Cost estimation (Jafarzadeh, Ingham and Wilkinson, 2014)	ANN
	Time-Cost estimation (Hola and Schabowicz, 2010)	ANN
	Prediction of cost performance (Son, Kim and Kim, 2012)	SVM
	Interval cost estimation (Cheng and Hoang, 2014)	SVM
	Building energy performance assessment (Kabak <i>et al.</i> , 2014)	FS
Knowledge Based Systems	Construction cost estimation (Ji, Park and Lee, 2011)	CBR
	Cost estimation for public road planning (Choi <i>et al.</i> , 2013)	CBR
	Construction bid decision making (Chua, Li and Chan, 2001)	CBR
	Overcoming problems in pavements (Mosa <i>et al.</i> , 2013)	ES
	Checking of models and schedules (Zhang <i>et al.</i> , 2013)	DSS
	Cost estimation (Kim and Kim, 2010)	CBR
	Building cost estimation (Lee, Kim and Yu, 2014)	Ontology
Evolutionary Algorithms	Cost estimation (Kim <i>et al.</i> , 2013)	CBR
	Cost optimization (Augusto, Mounir and Melo, 2012)	GA
	Construction time-cost optimization (Li and Wang, 2009)	ACO
	Optimization of composite structures (Omkar <i>et al.</i> , 2011)	ABC
	Optimising building thermal design (Wright, Loosemore and Farmani, 2002)	GA
	optimizing supply locations (Tam, Tong and Chan, 2001)	GA
	Time-cost-resource optimization (Ghoddousi <i>et al.</i> , 2013)	GA
	Water resource management (Afshar <i>et al.</i> , 2015)	ACO
Hybrid Systems	Construction time-cost optimization (Zhang and Ng, 2012)	ACO
	Estimating Construction Waste (Lee, Kim and Kim, 2016)	ANN+ACO
	Optimization for building retrofit (Asadi <i>et al.</i> , 2014)	GA+ANN
	Prediction of cost estimates (Kim, Seo and Kang, 2005)	ANN+GA
	Cost estimation (Yu and Skibniewski, 2009)	ANN+FS
	Cost estimation (Cheng, Tsai and Hsieh, 2009)	ANN+GA+FS
	Time-cost-quality trade-off in construction	FS+PS
	Prediction of cost and schedule (Zhang and Xing, 2010)	ANN+SVM
Construction cost estimation (Cheng and Hoang, 2014)	LS+SVM	

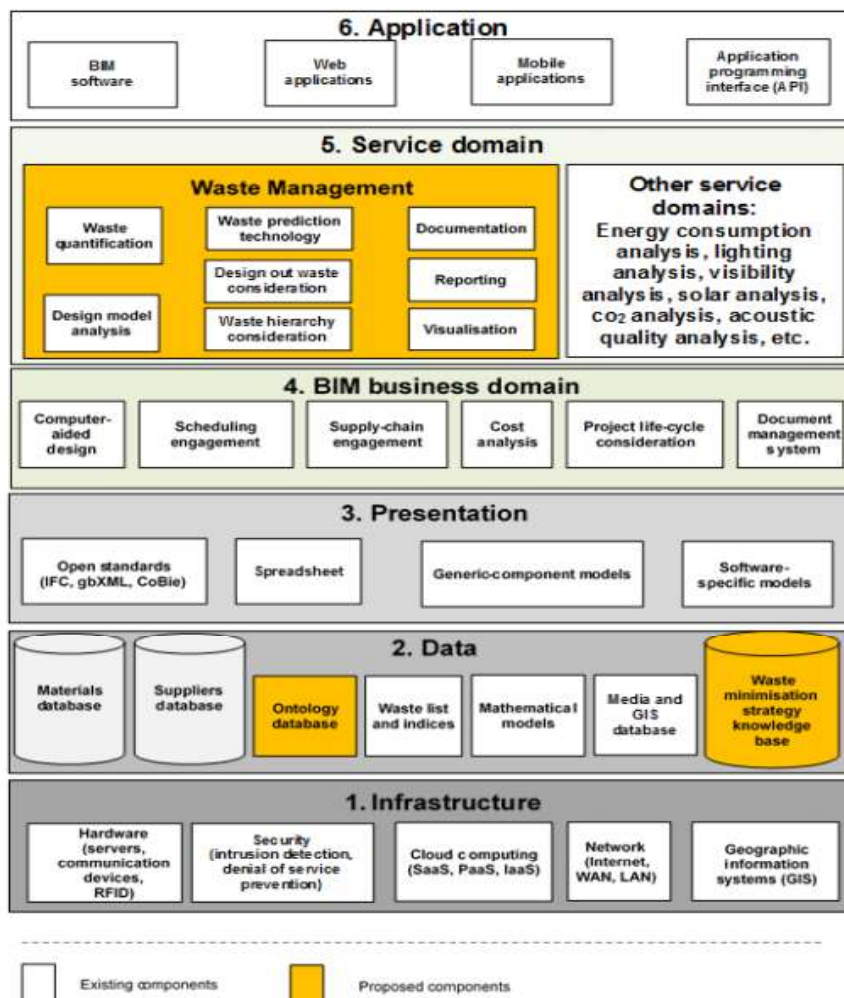
ANN – Artificial Neural Networks, SVM – Support Vector Machines, FS – Fuzzy System, CBR – Case Based Reasoning, ES – Expert Systems, DSS – Decision Support Systems, GA – Genetic Algorithm, ACO – Ant Colony Optimisation, ABC – Artificial Bee Colony, PS – Particle Swarm, LS – Least Square

Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

Dentre as cinco metodologias de fabricação de softwares existentes: Modelo em Cascata, Desenvolvimento Incremental, Desenvolvimento Espiral, Desenvolvimento Ágil de Software (Método Ágil) e *Rapid Application Development* (RAD - Desenvolvimento Rápido de Aplicação), optou-se na criação do BIM-Waste pelo RAD, sendo este a melhor opção para projetos de pequena a média escala, de curta duração, em que os objetivos e os grupos de usuários estejam bem definidos e sejam capazes de interagir na co-criação da ferramenta, em que haja necessidade de tempo de entrega rápida, redução nos custos de desenvolvimento e mitigação. A solução completa foi desenvolvida em cinco camadas, algumas existentes e outras complementares (em laranja), que podem ser vistas na Figura 21: (1) Camada de

infraestrutura que contém tecnologias corporativas físicas e virtuais, ou seja, nuvem, redes, hardware e tecnologias GIS; (2) Camada de dados que fornece o conhecimento compartilhado usado na tomada de decisões ao longo do ciclo de vida do edifício; (3) Camada de apresentação contendo os padrões abertos de BIM, garantindo a interoperabilidade do sistema e a transparência na troca de dados; (4) Camada de domínio comercial do BIM que define os principais recursos do BIM (5) Camada de domínio de serviço que define conceitos e funcionalidades BIM para analisar e simular desempenho de um projeto de construção, principalmente focado na análise e gerenciamento de resíduos de construção; (6) Camada de aplicativo que permite que várias partes interessadas acessem serviços específicos. (Akinade, 2017)

Figura 21 - Estrutura do sistema de gerenciamento de resíduos de construção baseado em BIM.

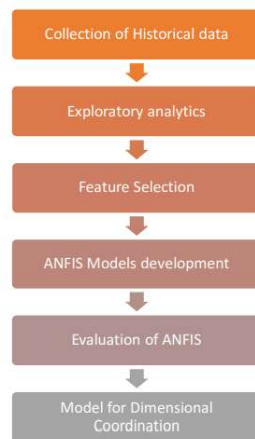


Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

Para a construção do AI foram utilizados dados confiáveis de resíduos de construção de 117 Empreendimentos relevantes do Reino Unido, efetuada uma

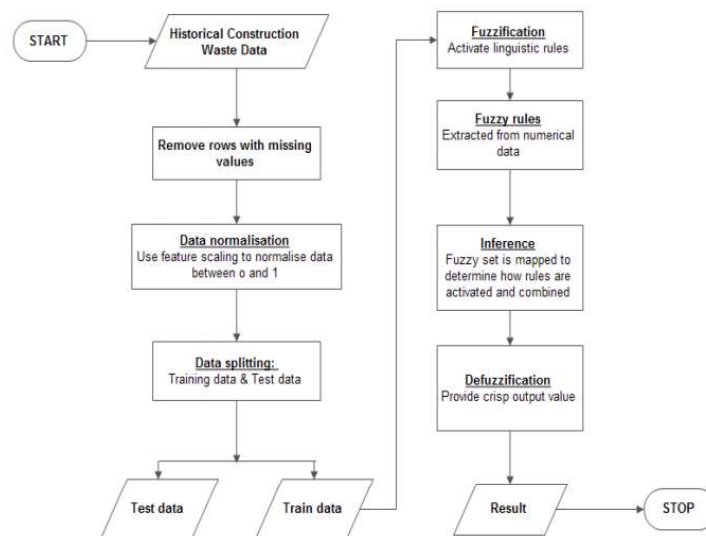
análise exploratória destes dados, analisadas frequências e distribuição dos dados, e aplicados métodos estatísticos para o desenvolvimento do modelo preditivo. Em seguida os dados foram normalizados e divididos em dados de treinamento e teste, aplicando-se o Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). As etapas do desenvolvimento do AI podem ser vistas na Figura 22. O Fluxograma de treinamento do AI, com modelos matemáticos efetuado no MatLab, pode ser visto na Figura 23. Dos quatro parâmetros previamente definidos, apenas dois mostraram-se relevantes quanto à redução de desperdícios: área e formato do empreendimento (Akinade, 2017).

Figura 22 - Etapas de Criação do AI para o BIM-Waste.



Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

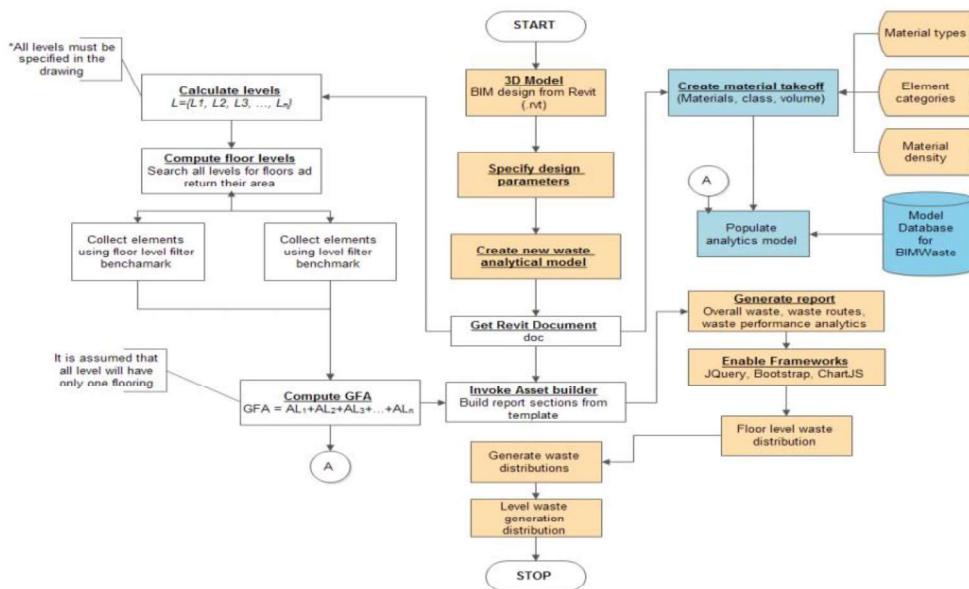
Figura 23 Fluxograma de treinamento do AI para o BIM-Waste - Modelo de Desenvolvimento do ANFIS.



Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

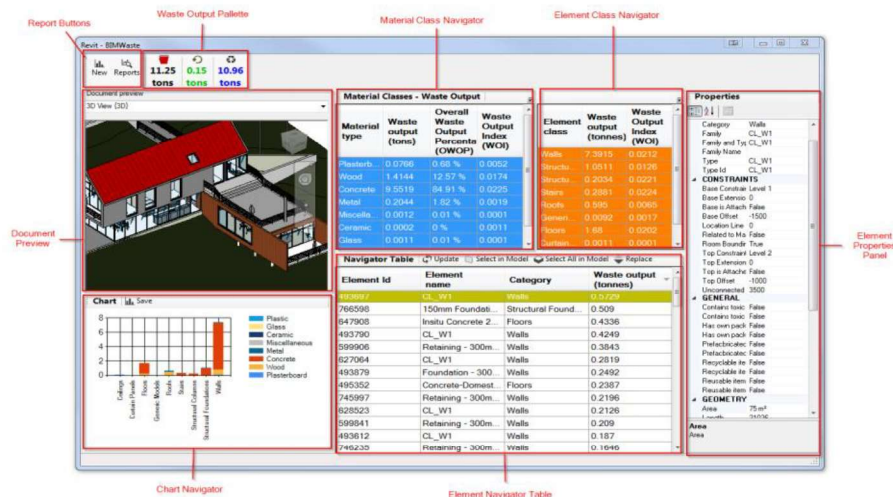
Na Figura 24, mostra-se o Fluxograma do BIM-Waste, e na Figura 25, uma tela de uso do Plugin no Revit com a caixa de diálogo do Consultor de Design para a Otimização de especificação de material visando a redução de desperdícios. O autor parte da premissa de que embora o Lean Construction propõem a redução de desperdícios não materiais, como os associados ao transporte, tempo perdido, subutilização, treinamento inadequado e espera, os materiais são os de maior representatividade na meta de redução dos 30% estimados de perda total de recursos aplicados na Indústria da Construção. (Akinade, 2017)

Figura 24 Fluxo de Processo do Plugin REVIT BIM-Waste.



Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

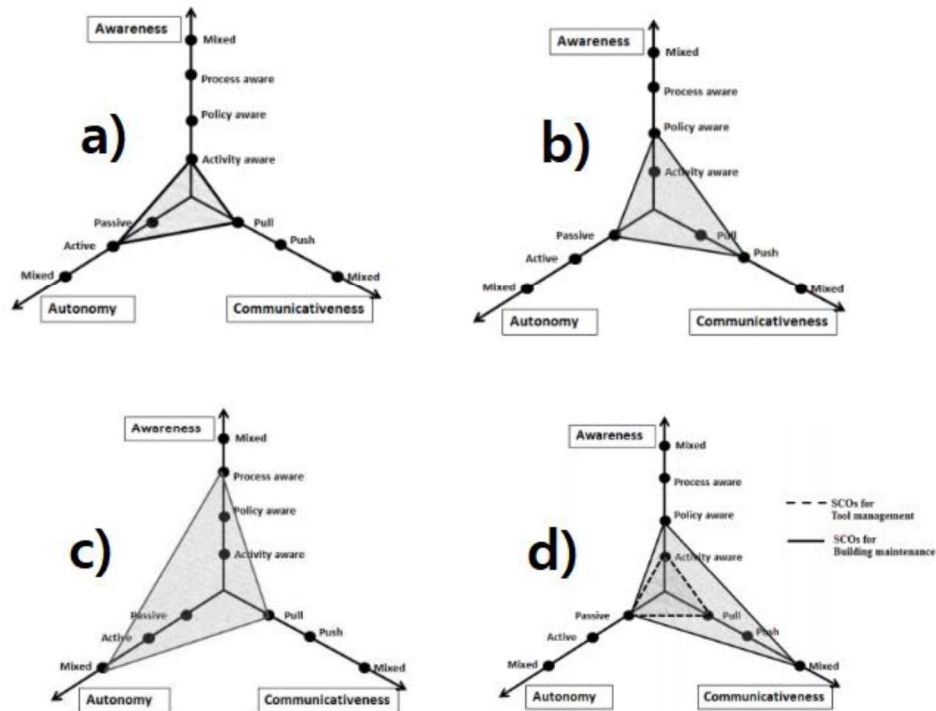
Figura 25 - Tela do Plugin REVIT BIM-Waste.



Fonte: Adaptado de (Akinade, 2017)

SCOs (*Smart Construction Objects*) são os recursos da construção, tais como equipamentos e materiais, que são transformados em “*smart*” com a adição de tecnologia de sensoriamento, processamento, computação, rede e respostas, de forma a torná-los autônomos e capazes de se interagirem. Pelo fato do modelo de gerenciamento da Indústria da Construção ser tradicionalmente *people-centric*, as decisões efetuadas não são infalíveis e muitas vezes se mostram ineficientes [18]. Os SCOs, surgem para atender esta demanda. Eles devem possuir três características fundamentais: *awareness* (reconhecimento), *communicativeness* (comunicação - transmissão) e *autonomy* (autonomia). O processo *awareness* possibilita que os objetos possam reconhecer o canteiro de obras, os outros objetos e o fluxo de atividades ao longo do tempo. Podem, por exemplo, orientar montagens de pré moldados de forma ideal, conforme planejado e em tempo real, usando tecnologias de detecção ou posicionamento. Podem inclusive propor caminhos alternativos, ou o melhor caminho em caso de contingência, já que são capazes de confrontar em tempo real a execução com o planejado. *Communicativeness* (comunicação) entre os objetos e as pessoas podem ser de dois modos: “*pull*” (puxada) ou “*push*” (empurrada). O “*pull*” ocorre quando o usuário solicita a informação, o “*push*” quando o objeto emite alertas ou envia informações relevantes ao usuário final através de tecnologias tais como: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, near field communication (NFC), Internet-based services (ISS) e redes ad hoc. *Autonomy* (autonomia) se refere à capacidade de uma SCO de executar ações auto direcionadas ou alertar as pessoas para ações adicionais com base em regras predefinidas. A autonomia pode ser ativa, ou seja, auxiliando usuários nas tomadas de solução através de emissões de alertas e sugestões ou ativa, com a capacidade de criar e executar planos de ação em tempo real sem envolvimento de usuários. Exemplo: desligamento automático de maquinário em caso de sobrecarga ou outros emergenciais. Usualmente as três propriedades da SCO são usadas de forma cooperativa. Na Figura 26, cada uma destas propriedades são mensuradas para a adoção dos SCOs, para atender as diferentes gestões da Construção: a) logística e *supply chain*; b) segurança; c) processo, com maior necessidade de autonomia; d) manutenção, com maior necessidade de comunicação (Niu, 2016).

Figura 26 - Três propriedades principais do SCO mensuradas para os diversos aspectos de gestão do empreendimento: (a) logística e *supply chain*; (b) segurança; (c) processo; (d) manutenção.



Fonte: Adaptado de (Niu, 2016)

Para os SCO é adotado o formato padrão IFC (*Industry Foundation Classes*). A Figura 27 mostra parte de um arquivo ifcXML contendo informações de montagem inteligente de uma fachada pré-fabricada. Os atributos de informações que descrevem quem criou e modificou o objeto pela última vez, são armazenados na tag *OwnerHistory* em *IfcRoot*. Parâmetros e propriedades da fachada também podem ser restringidas para edição, com marcação somente para leitura. As propriedades são descritas e armazenadas na tag *IfcApplication* e mantém informações do aplicativo compatível com IFC. Pode-se incorporar outros aplicativos operacionais e hardwares. Nesse caso, por exemplo, a comunicatividade da fachada é feita através de uma conexão Bluetooth. As tags ifcXML armazenam informações que descrevem aplicativos para ativar o módulo Bluetooth. A Figura 28 mostra o fluxo de trabalho pretendido para a montagem inteligente de fachadas pré-fabricadas.

Figura 27 - Parte do arquivo ifcXML que contém os parâmetros e propriedades de um smart fachada pré-fabricada.

```

<ex:iso_10303_28>
...
<IfcOwnerHistory>
  <IfcActorResource>
    <OwningUser>SmartConstruction</OwningUser>
    <LastModifyingUser>PrefSupplier001</LastModifyingUser>
  </IfcActorResource>
  <IfcStateEnum>READONLY</IfcStateEnum>
  <IfcChangeActionEnum>ADDED</IfcChangeActionEnum>
</IfcOwnerHistory>

<IfcApplication>
  <IfcLabel>
    <ApplicationFullName>BluetoothActivated</ApplicationFullName>
    <Version>Verison001</Version>
    <Description>ActivateBluetoothModule</Description>
  </IfcLabel>

  <IfcIdentifier>
    <ApplicationIdentifier>SmartCarServer001</ApplicationIdentifier>
  </IfcIdentifier>

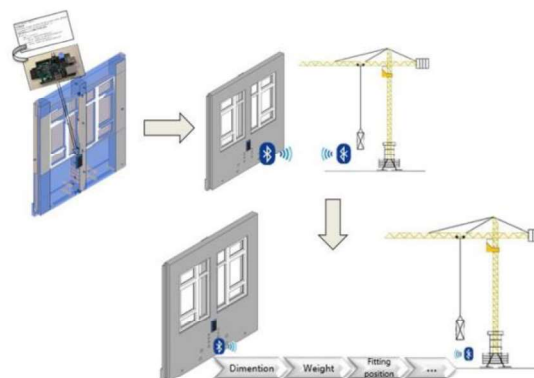
  <IfcLabel>
    <ApplicationFullName>GetConnected</ApplicationFullName>
    <Version>Verison001</Version>
    <Description>GetConnectedWithSCS001</Description>
  </IfcLabel>

  <IfcLabel>
    <ApplicationFullName>SendingBasicInfo</ApplicationFullName>
    <Version>Verison001</Version>
    <Description>SendingBasicInfoforToSCS001</Description>
  </IfcLabel>
</IfcApplication>
...
</ex:iso_10303_28>

```

Fonte: Adaptado de (Niu, 2016).

Figura 28 Fluxo de trabalho pretendido para a montagem inteligente de fachadas pré-fabricadas

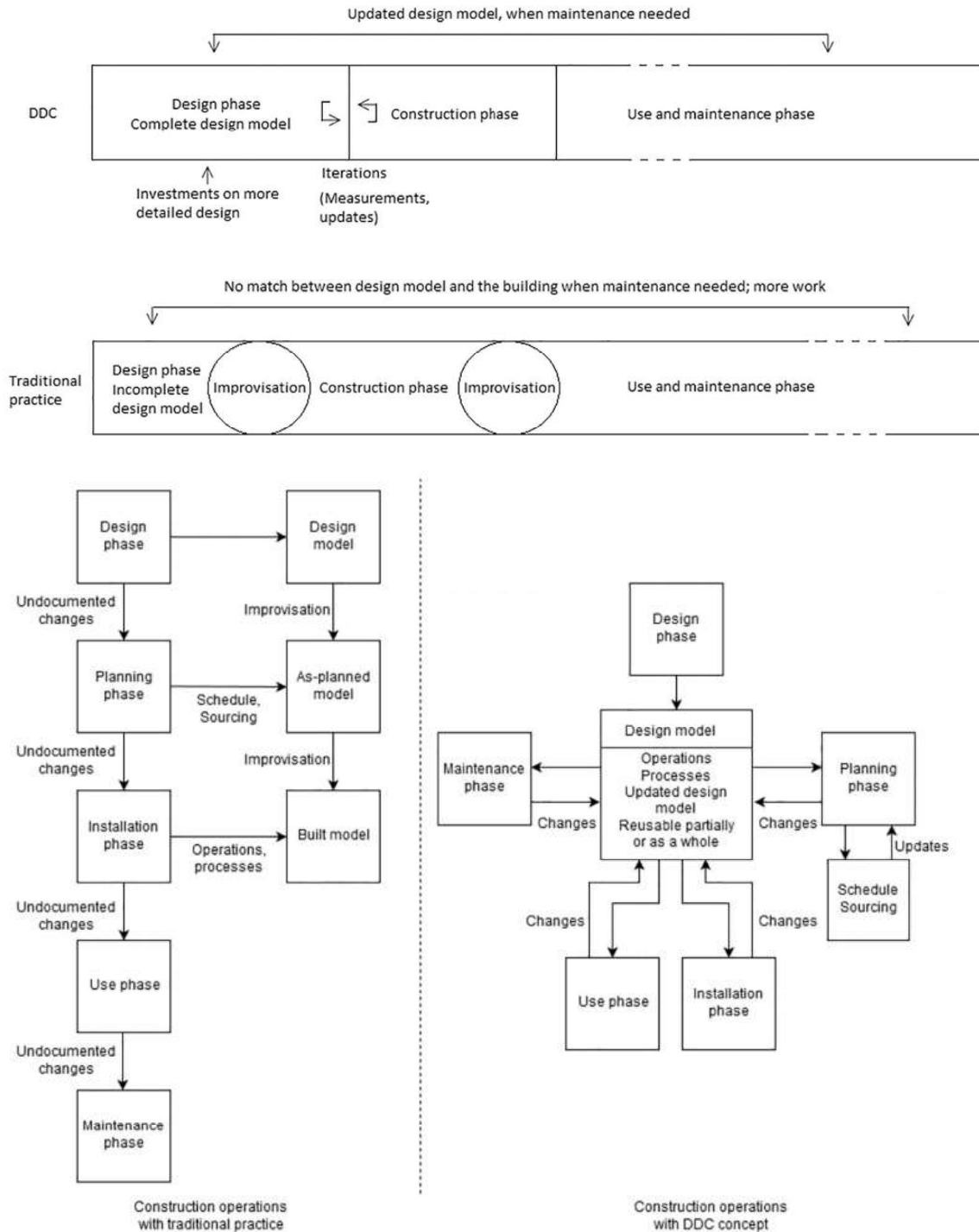


Fonte: Adaptado de (Niu, 2016)

A improvisação durante o processo construtivo é frequente e gera ineficiência e. É resultante das situações não planejadas, ou por tempo e verbas insuficientes para planejamento, ou por falta de projeto detalhado, além de outras. O *Direct Digital Construction* (DDC) pretende eliminar a necessidade de improvisação no canteiro, mantendo o controle digital das operações através do *design* completo, automatizando a construção [23]. As técnicas já timidamente hoje utilizadas, tais como, BIM (*Building Information modeling*), VDC (*Virtual Design and Construction*) e DDM (*Direct Digital Manufacturing*), não alcançam o canteiro de obra. O DDM, desenvolvido nas indústrias

de transformação, é uma técnica importante da Indústria 4.0, de manufatura aditiva, através de CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing) e CAE (Computer-Aided Engineering) que reduz tempo e o custo necessários para o design e fabricação de itens individuais, elimina a necessidade de ferramentas e oferece possibilidades de personalização para satisfazer os diferentes requisitos dos clientes de forma eficaz, mas que devido à alta variabilidade, a desconexão entre os diversos atores e ao baixo nível de maturidade digital em que se encontra a indústria da construção, tem sua adoção inviabilizada. O DDC permitir lidar com altos níveis de personalização e atividades de montagem no canteiro de obra. Implementação parcial do DDC para projeto e montagem de estrutura, por exemplo, já existem, no entanto para a adoção completa será necessária a mudança da forma de gestão, saindo do gerenciamento de projetos para uma gestão orientada à solução. A pesquisa de Tetik, 2019, analisou seis casos de implementação do DDC. Num dos casos, uma estação robótica no canteiro contendo 600 pontos de medições automáticas, confrontam o real com o gêmeo digital, monitorando e interferindo a execução, qualquer distorção é feita de forma sincronizada, no modelo ou no campo, dependendo da decisão visando à correção necessária, resultando num as-built em tempo real. A tradição de que subcontratados podem controlar a qualidade de seu trabalho de forma individual foi alterada e parte do trabalho passou para os projetistas. A empresa gastou em detalhamento de projeto aproximadamente 10.000 h adicionais, num projeto residencial de 300.000 pés quadrados e valor orçamentário de US \$ 150 milhões. As horas adicionais gastas na fase de projeto, no entanto, resultaram numa economia final de US \$ 2,5 milhões para o proprietário e aumento de 20% no lucro para a construtora, além dos ganhos observados com a qualidade. A comparação entre a modelagem DDC com a prática de modelagem tradicional pode ser vista na Figura 29 onde observa-se a eliminação da improvisação, o aumento do detalhamento de projetos e estudos iniciais considerando as melhores práticas baseadas em modelos anteriores, a inclusão de trabalhos de projetistas durante toda a execução e envolvimento de todos os atores numa plataforma única. Os autores sugerem que futuramente seja empregado o Design Paramétrico no DDC, numa tentativa de redução da complexidade e diminuição de volume de horas de detalhamento de projetos. A manufatura aditiva e a impressão 3D também apresentam oportunidades para a expansão do DDC.

Figura 29 - Esquema do DDC em comparação com a prática tradicional.



Fonte: Adaptado de (Tetik, 2019)

Dallasega, 2018, utiliza-se do conceito “pitching” da Produção Enxuta, que divide grandes tarefas da construção em sub-tarefas controláveis, para tanto demanda melhora no planejamento, readequação dos recursos nas tarefas, a criação de um

sistema de informação que controle o progresso do projeto e dê *feedbacks* em tempo real, aumentando assim a capacidade de intervenções de correções oportunas e eficazes [24]. Os métodos atuais de planejamento e controle de obras são as planilhas em MS Excel, MS Project, o *Last Planner*, o *Takt-Time* e a verificação do percentual executado da tarefa, comparado com o valor orçado pelo *Earned Value Analysis* (EVA), são insuficientes. Tomando emprestada as técnicas de resposta rápida do Setor de Transporte Aéreo para atender as mudanças frequentes de horários, o Setor da Construção poderia assim resolver as questões de replanejamento colaborativo cíclico, controle e readequação dos recursos para a execução de atividades com o fluxo sincronizado das informações via IoT, em tempo real. Dallasega propõe desta forma um método eficiente de planejamento e monitoramento para empresa ETO (*Engineer to Order*) que agrupa algumas técnicas do *Lean Construction* (LPS, LBMS, Takt-Time Planning) combinadas com o monitoramento em tempo real.

2.5 - Implementações referentes à Construção 4.0 ocorridas nos últimos cinco anos

O projeto interdisciplinar “*build4future*”[1] do Instituto Fraunhofer Innovation Engineering Center (IEC), da Free University of Bolzano, da KlimaHaus Agency, da TIS Innovation Park e de doze pequenas e médias construtoras do sul do Tirol, seus clientes e fornecedores teve como objetivo inicial a troca de experiências e conhecimentos práticos e teóricos na rede de colaboração. Com o “*build4future*” chegou-se à conclusão de que os benefícios no segmento só poderão ser alcançados com a otimização de toda a cadeia de valor da construção, partindo do planejamento à construção, ao uso do edifício. Somente através da visão ampliada sistêmica será possível proporcionar a melhor eficiência de custos, tempos de construção mais curtos e melhoria da qualidade da construção. A colaboração no “*build4future*” elevou o nível de inovação e fortaleceu de forma sustentável o setor da construção no Sul do Tirol, que passou gradualmente, após 2014, a ter maior fatia do mercado europeu. As pesquisas científicas da região também aumentaram em quantidade e qualidade, embora ainda haja *gap* e portanto extenso potencial para a criação de métodos e ferramentas adequados e viáveis às pequenas e médias empresas do setor da Construção Civil, já que a maioria das soluções disponíveis buscam atender as grandes empresas, que possuem maior capacidade de investimento em inovações. As pequenas e médias empresas são no entanto mais flexíveis e contam com ambientes menos rígidos e portanto mais propícios à criatividade, mas não programas

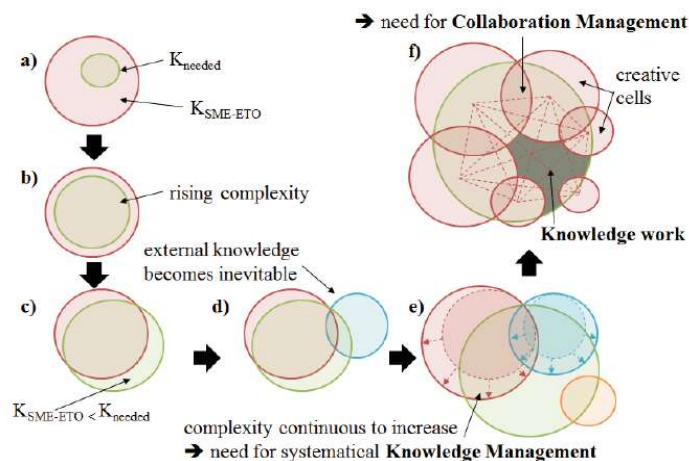
de gestão e capital suficiente que possam atrair, manter e aprimorar funcionários altamente qualificados e ferramentas sofisticadas.

As tendências para o setor da construção, identificadas na pesquisa de Rauch 2014, mostram a transformação da tradicional Indústria da Construção para uma indústria de conhecimento intensivo, *Knowledge Intensive Business Services (KIBS)* :

- Novas ocupações e perfis de trabalho devem ser criados em energia, meio ambiente e tecnologias de reciclagem.
- O trabalho do conhecimento está aumentando devido à globalização e uso de materiais inovadores e altamente complexos, complexidade de gestão e aumento de know-how e especialistas.
- Pequenas empresas de construção abandonam o uso do "mestre construtor" e passam a adotar "técnicos", necessitando de novos requisitos, treinamentos e desenvolvimento de funcionários e empresários.
- A indústria da construção está se reorganizando rapidamente, demandando melhorias em logística, processo e conscientização organizacional.
- Aumento da demanda de maior cooperação entre as partes envolvidas, sendo algumas delas: planejadores, arquitetos, engenheiros, fornecedores de materiais, empresas de construção e empreiteiros.

As pequenas e médias empresas não possuem conhecimento do processo global de concepção, construção e manutenção de um Empreendimento, sendo necessário recorrer a diversos parceiros, técnicos, fornecedores de materiais e empreiteiros. Este caráter multidisciplinar impossibilita a transferência contínua de conhecimento e gera ineficiências. As partes envolvidas protegem seu conhecimento especialista para a sobrevivência na cadeia. Mas as questões ambientais e de proteção climática têm pressionado a tradicional Indústria da Construção Civil a se inovar com rapidez, obrigando as partes a uma maior colaboração. As PMEs da Construção enfrentam a crescente necessidade de gestão de conhecimento com ferramentas inadequadas.

Figura 30: Modelo teórico do sistema para melhorar a gestão do conhecimento em pequenas e médias empresas ETO - *Engineer to Order*

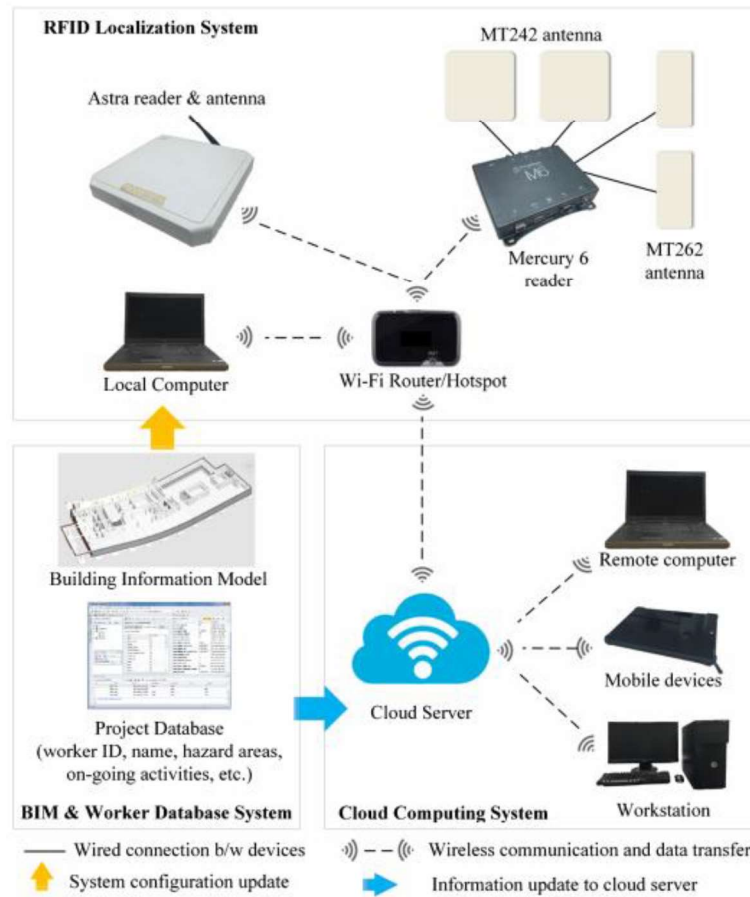


Fonte: Adaptado de (Rauch, 2014)

A Figura 30 contém um modelo visando melhorar esta gestão, propondo a criação de células de interação para a Gestão do Conhecimento. O conhecimento (K) das pequenas e médias empresas e das ETOs - *Engineer to Order* (KSME-ETO) terá que ser maior que o conhecimento necessário (K_{needed}). O Projeto “*build4future*” não apenas apresentou ganhos durante a implementação, como também nos anos posteriores, com a intensificação da formação de parcerias e redes de relacionamento na região do Tirol. O Modelo vem de encontro ao surgimento no mercado das plataformas que prometem contribuir com a necessária interação, tais como o BIM 360 API da Autodesk e o openBIM da buildingSMART.

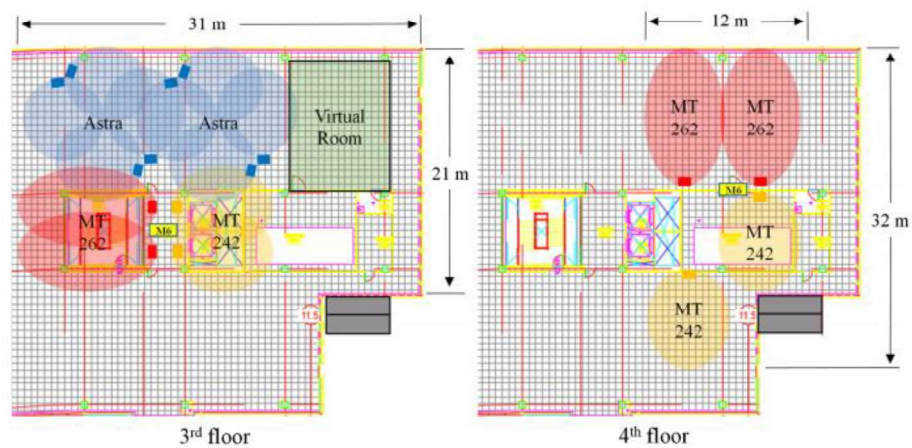
Fang, 2016, analisou um aplicativo de gerenciamento de construção de localização em tempo real com o uso de RFID [9]. Na Figura 31 visualiza-se um sistema de localização RFID projetado para coletar dados de localização de trabalhadores no canteiro de obra se utiliza de diferentes tipos de antenas, leitores e RFID. O sistema emprega dois tipos de leitores, Astra-NA e Mercury 6 da ThingMagic (Woburn, Massachusetts). Os leitores Astra integram uma antena na unidade para que possa servir como leitor e antena. Os leitores Mercury 6 podem conectar até quatro antenas de diferentes faixas. As antenas RFID MT 242 e MT 262 de Mti (Rosh-Ha'Ayin, Israel) podem se conectar ao Mercury 6 tornando possível cobrir uma grande área de detecção (Figuras 32 e 3). O sistema utiliza etiquetas RFID passivas com a frequência de operação de 860–960 MHz. Três etiquetas foram colocadas em torno de cada capacete para garantir que pelo menos um tag possa ser detectado pelas antenas de qualquer direção (Figura 34). Os leitores Mercury 6 e Astra transmitem dados sem fio através da WLAN e roteadores Wi-Fi transmitem dados da rede local para um servidor na nuvem (NETGEAR, San Jose, Califórnia). Embora todos os dados de localização sejam enviados ao servidor em nuvem por processamento, um computador local foi usado para configurar e calibrar o sistema em casos de emergência. Dados de localização do trabalhador obtidos pelo sistema de localização RFID contém dados brutos de detecção, incluindo número de etiqueta, registro de data e hora indicação de intensidade do sinal recebido (RSSI), ID da antena etc. As antenas RFID emitem ondas de rádio continuamente e coletam informações de etiquetas com uma frequência de 10 Hz. O sistema transmite a localização dados para o sistema de computação em nuvem em tempo real. O sistema RFID proposto localiza itens rastreados com base em sua proximidade com antenas. Este método não usa o RSSI para estimar a distância do sinal e sim usa o valor do RSSI para comparar a proximidade das antenas adjacentes dos itens a serem rastreados. Esse método é menos sensível a problemas como ondas propagação e reflexão difusa. Em média, o sistema desenvolvido realizou um posicionamento dos trabalhadores a uma taxa média de acurácia de 88,1%, média de precisão de 84,7% e revocação de 89,6% (Fang, 2016).

Figura 31 - Estrutura de sistema de localização BIM e RFID na nuvem.



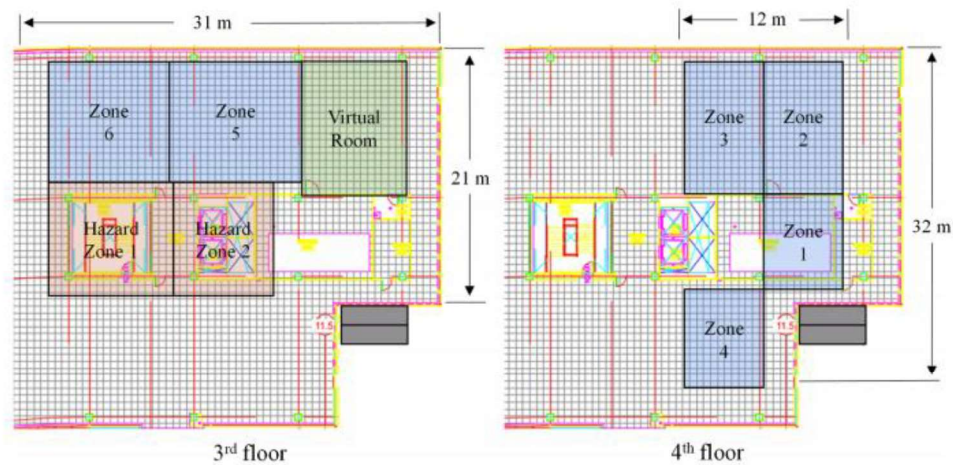
Fonte: Adaptado de (Fang, 2016)

Figura 32 - Layout de antenas e leitores RFID no terceiro e quarto andares.



Fonte: Adaptado de (Fang, 2016).

Figura 33 - Localização e classificação da zona de detecção no terceiro e quarto andares



Fonte: Adaptado de (Fang, 2016)

Figura 34 - (a) e (b) instalação de antena RFID para configuração de zona; (c) configuração da sala virtual; (d) etiquetas passivas montadas em um capacete de segurança.



Fonte: Adaptado de (Fang, 2016)

O laboratório eLUX Lab da Universidade de Brescia oferece uma abordagem para a conexão de dados de sensores com projetos em BIM disponibilizados em plataformas abertas de colaboração. Em razão dos planos da Comissão Europeia para o setor da construção de diminuir os níveis de CO₂ em 88-91% em comparação com 1990, a solução IoT proposta por Scheffer, 2018 visa auxiliar na otimização do uso de energia de edifícios já executados e entregues. Os tipos de sensores adotados, vistos na Tabela 8, foram: de presença, de iluminação, de temperatura (tanto interna, quanto externa), de umidade, de CO₂. A coleta de dados foi efetuada por WIFI, conforme Figura 35, com dados salvos a cada 15 minutos. Na Figura 36 observa-se a transação e integração de dados entre sensores, base de dados, plataforma BIM, ferramenta de análise e gerenciamento de dados e software supervisor desenvolvido

em Python. O estudo conclui que o teste feito em laboratório deva ser aplicado na prática em razão do alto potencial de otimização energético observado [12].

Tabela 8 - Tipos de Sensores Adotados pela e LUX LAB.

<i>Control</i>	<i>Function</i>	<i>Sensor typology</i>	<i>Type</i>
Lighting	Presence	Presence	L ₁
	Daylighting control	Illuminance	L ₂
Ventilation	Air control	Inlet air temperature	V ₁
		Outdoor air temperature	V ₂
		Relative humidity	V ₃
Heating	Emission control	Presence, CO ₂ , ventilation and conditioning damper	H ₁
Cooling	Emission control	Presence, CO ₂ , ventilation and conditioning damper	C ₁

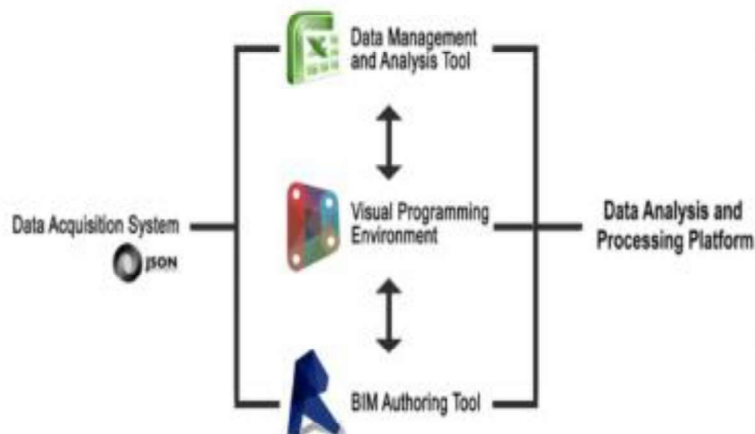
Fonte: Adaptado de (Scheffer, 2018)

Figura 35 Estrutura de comunicação contendo acesso WIFI, sensor Z-wave de coleta de concentração de CO₂ e gateway Z-wave.



Fonte: Adaptado de (Scheffer, 2018)

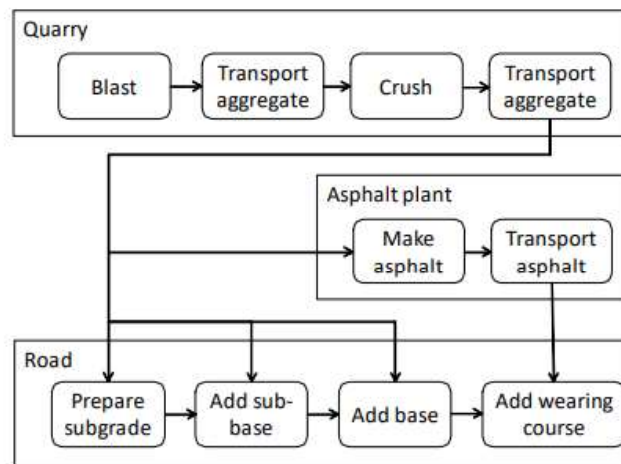
Figura 36 - Fluxo de transação de Dados através dos aplicativos utilizados.



Fonte: Adaptado de (Scheffer, 2018)

O setor de construção que inclui atividades de construção edifícios, estradas, ferrovias, energia, comunicação, infraestrutura, água e esgoto e ampla gama de atividades especializadas é responsável por 13% do PIB global e tem impacto ambiental significativo sendo responsável por 5 a 10% das emissões totais de gases de efeito estufa. Uma pesquisa financiada pela Vinnova, Agência de Inovação da Suécia, aplicou o Lean Construction e um método baseado em Design Science denominado SoS (system-of-systems) para a construção de rodovias, ferrovias e pistas de aeroportos, que é um importante subdomínio da indústria da construção e que envolve principalmente a adoção de máquinas de movimentação de terras [13] (Axelsson, 2018).

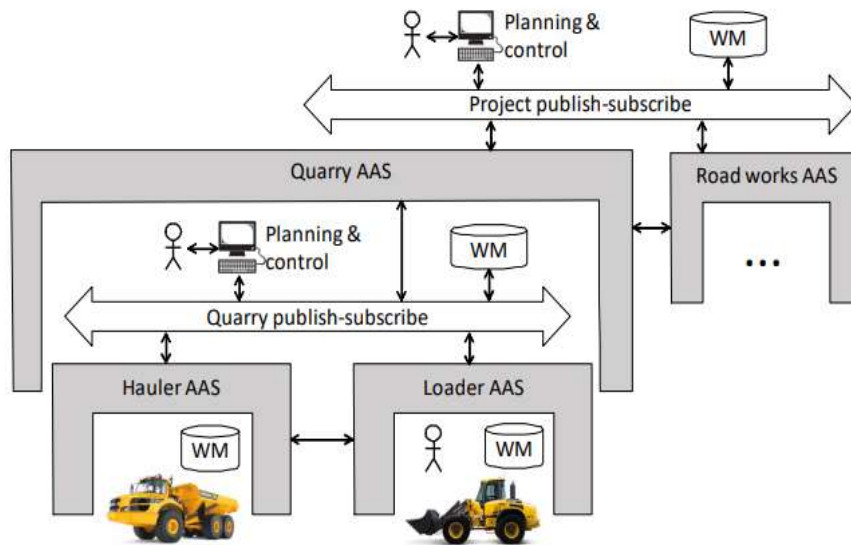
Figura 37 - Processo de Construção de Estradas .



Fonte: Adaptado de (Axelsson, 2018)

Para cada etapa do processo apresentado na Figura 37 identificou-se os resíduos para cada uma das sete categorias de desperdícios do Sistema Lean e foram mapeadas as possíveis soluções buscando eliminar estes desperdícios ou reduzi-los. Com base no diagnóstico criou-se o esquema SoS, conforme Figura 38, contendo a hierarquia e a interação dos diversos elementos do sistema complexo de Construção de Estradas. Este sistema pode servir de base a estudos posteriores que visem a redução de desperdícios no Setor de Infraestrutura (Axelsson, 2018).

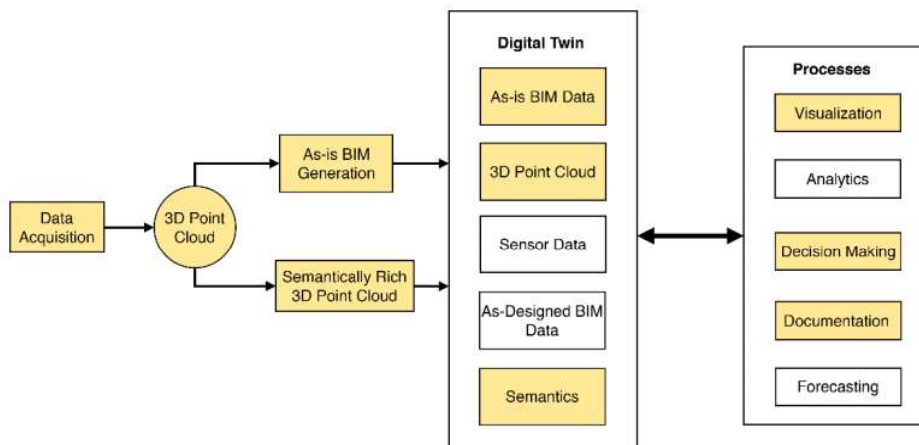
Figura 38 - Decomposição Hierárquica SoS para a Construção de Estradas



Fonte: Adaptado de (Axelsson, 2018)

O uso do BIM para o FM (Facility Management, Gestão de Estruturas ou Gestão de Facilities) tem se mostrado inviável, pois requer esforços constantes e intensos na atualização do projeto original, gerando diversos As-is (As-Built, “Como Construído”), em função das constantes mudanças na Operação e Manutenção (O&M) que acontecem durante o ciclo de vida de um edifício [14]. Para resolver esta questão, criou-se uma solução conforme esquema na Figura 39, que utiliza sensoriamento remoto, métodos baseados em fotometria e algoritmos de aprendizado de máquina, permitindo assim a criação e manutenção de um Digital Twin (DT - Gêmeo Digital do Empreendimento). (Trapp, 2018).

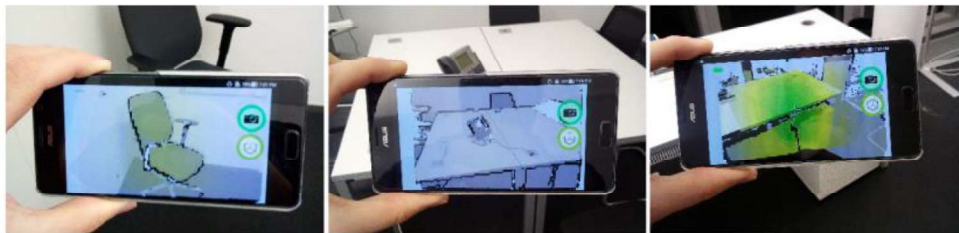
Figura 39 - Ilustração mostrando o fluxo de processo para a criação do DT (Gêmeo Digital do Empreendimento) a ser utilizado na Gestão de Facilities.



Fonte: Adaptado de (Trapp, 2018)

Para a captura de imagens, ver Figura 40, foram utilizados celulares, o aplicativo Dot3D (desenvolvido pela DotProduct LLC) e o Tango da Google, projeto AR (*Augmented Reality*) da Google oferecido entre 2014 a 2018, mas descontinuado quando os novos celulares foram lançados com a funcionalidade já nativa (Trapp, 2018).

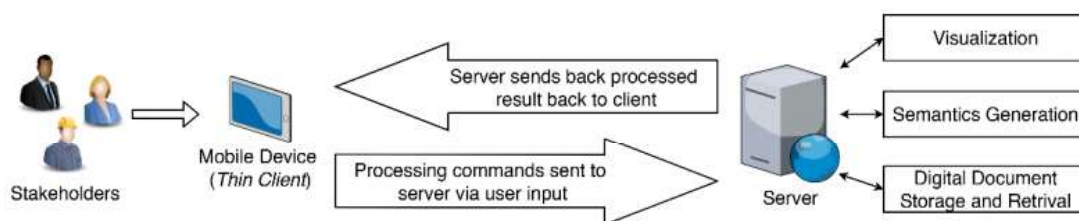
Figura 40, Captura de imagens pelo celular, Tango e Dot3D.



Fonte: Adaptado de (Trapp, 2018)

Projetos originais em BIM não seriam obrigatoriamente necessários na criação do DT, mas seu resultado final dependerá de uma série de fatores quanto à qualidade e quantidade de imagens coletadas nos pontos e os métodos de segmentação e a estrutura da Point Cloud Library (Biblioteca de Nuvem de Pontos) e algoritmos Deep Learning utilizados na reconstrução do BIM e posteriormente podendo ser acessados por celulares e tablets conforme Figura 41 (Trapp, 2018).

41 Esquema Service-Oriented Architecture (SOA - Arquitetura Orientada a Serviços) para a visualização do BIM reconstruído em formato aberto IFC (*Industry Foundation Classes*).

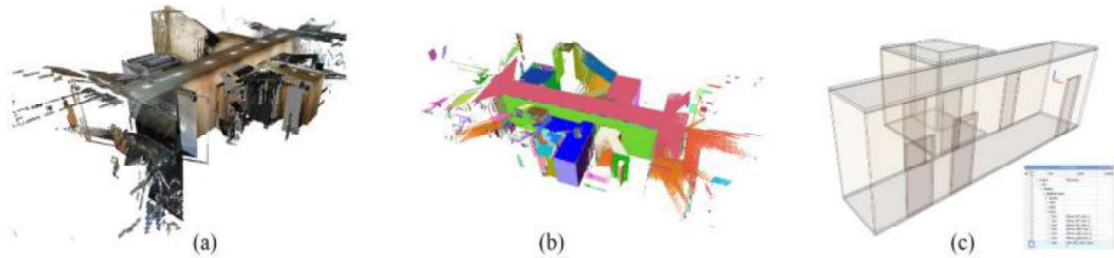


Fonte: Adaptado de (Trapp, 2018)

Os resultados de reconstrução das imagens podem ser vistos na Figura 42, um corredor de escritório digitalizado usando um scanner a laser e na Figura 43, uma sala contendo móveis onde foi usada a técnica de classificação de múltiplas visualizações, contendo na varredura 27331 pontos 3D capturados pelo celular através do aplicativo Tango. Os resultados são razoavelmente satisfatórios e apontam para a possibilidade

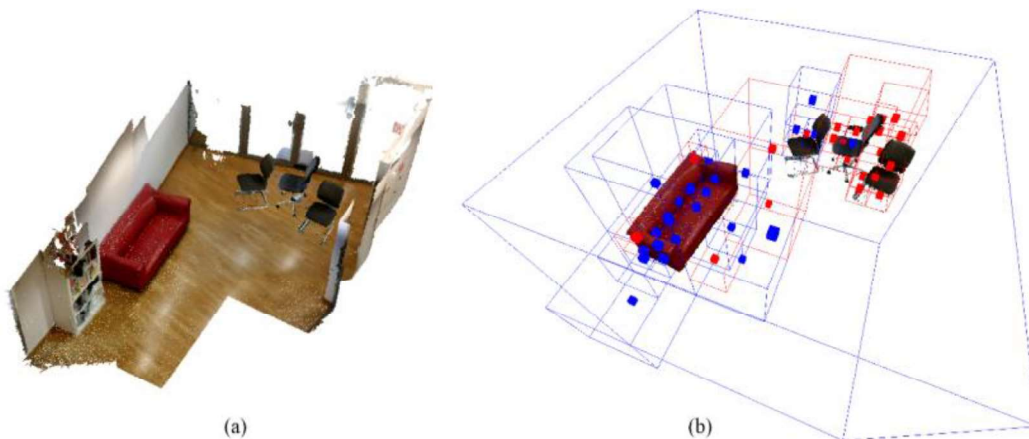
de uma criação de solução viável de atualização do As-is gêmeo digital para a Gestão de *Facilities* (Trapp, 2018).

Figura 42, (a) Pontos originais; (b) Pontos segmentados, onde as diferentes cores representam os diferentes clusters no banco de dados; (c) Resultados iniciais da segmentação e reconstrução de um corredor de escritório a partir de uma nuvem de pontos 3D no LOD-300.



Fonte: Adaptado de (Trapp, 2018)

Figura 43, (a) Imagem de input de uma área interna mobiliada de um escritório; (b) Dados de saída da classificação, em que os cubos indicam possíveis localizações espaciais do mobiliário.



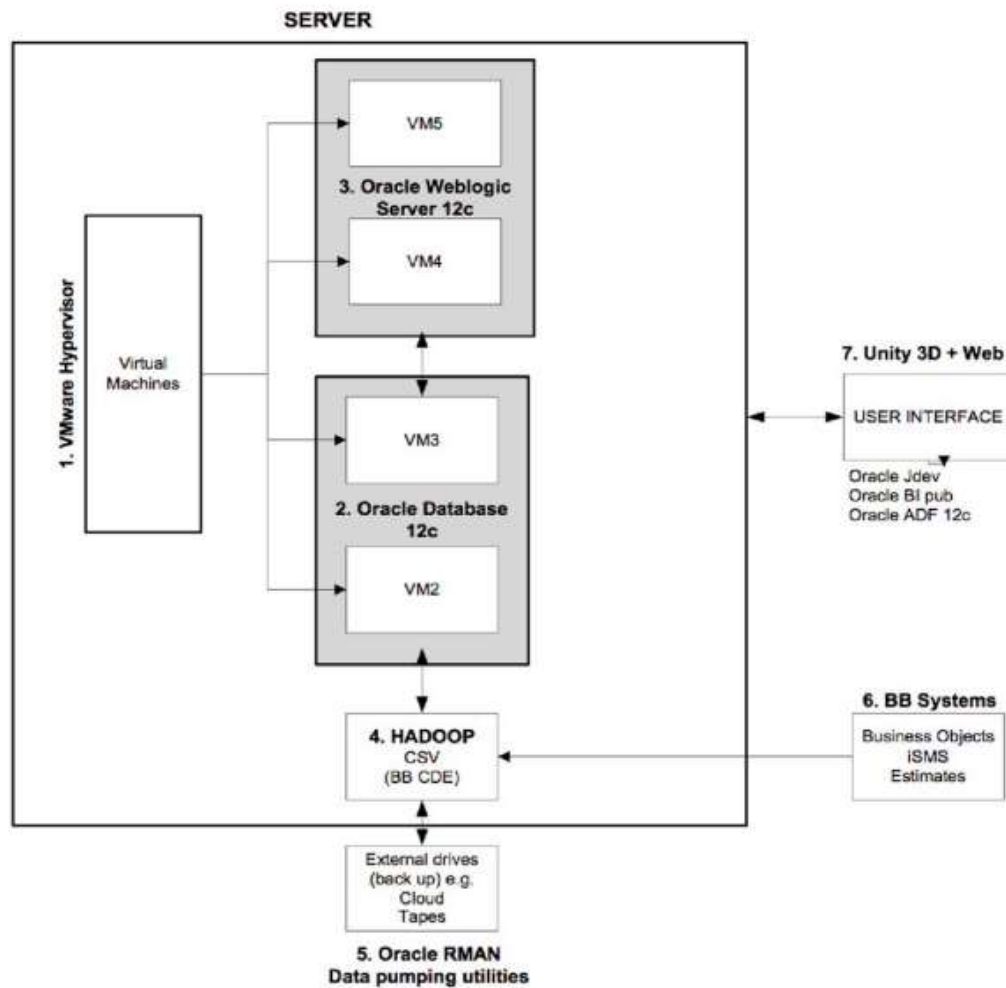
Fonte: Adaptado de (Trapp, 2018)

O núcleo do conceito de Big Data inclui os seguintes aspectos: 'Volume', 'Velocidade' e 'Variedade', para descrever as características da Informação; 'Tecnologia' e 'Métodos analíticos', para descrever os requisitos necessários para fazer uso adequado dessas informações; "Valor", para descrever a transformação de informações em insights que podem criar valor econômico para empresas e sociedade [21]. Big Data é o ativo de informação caracterizado por um volume, velocidade e variedade tão altos que requer tecnologia e métodos analíticos específicos para sua transformação em valor (Mauro, 2016).

Através do BigData, SQL e especialistas do segmento, foram investigadas as margens de lucro de empreendimentos diversos e observou-se que varia

significativamente de acordo com os atributos dos projetos. A adoção do BDI (benefícios e despesas indiretas) previamente estipulado e posteriormente monitorado não é confiável, visto que a maioria dos empreendimentos apresentam margens planejadas totalmente distintas das finais [22]. Os benchmarks do setor são obsoletos e, na maioria das vezes, incapazes de capturar nuances específicas do empreendimento. Extraídos de diversos sistemas, tais como Telematics, Oracle financials, CRM, Google Earth, KML, Business Objects, General Ledger, Mobile Inventory, Project Control Database, Procurement & Payments System, Job Costing Reports, Primavera, e Digital Briefcase, foram analisados e classificados por especialistas, por vários atributos e associados aos seus respectivos impactos nas margens de lucro. Os 2.709 projetos inicialmente analisados continham 5,7 milhões de células. Alguns dos atributos de classificação foram regiões, tipos de cliente, consumo de energia, datas de início e término, fluxos de trabalho, tipos de trabalho e tipos de empreendimentos. A lista final conteve 1.048 projetos. Na Figura 44 observa-se a Arquitetura de Desenvolvimento Proposta para o Protótipo que incluem: 1.) *Hypervisor* da VM configurado em um host independente com especificações elevadas, ou seja, CPU *Quad Core*, memória 128G e armazenamento de 20 TB; 2) duas VMs (primária e em espera) foram usadas para gerenciar servidor da Web e de banco de dados, garantindo proteção de dados e disponibilidade máxima; 3) Servidor de banco de dados Oracle 12c com o *Real Application Cluster (RAC)*; 4) VM *Cluster Hadoop* para armazenar diversos dados provenientes de sistemas externos, principalmente como arquivos CSV no HDFS (*Hadoop Distributed File System*) para processamento em paralelo; 5) Sistemas externos e *backups*; 6. *Interface BI (Business Intelligence)*; 7) *Interface* do usuário (M. Bilal, et al., 2019)

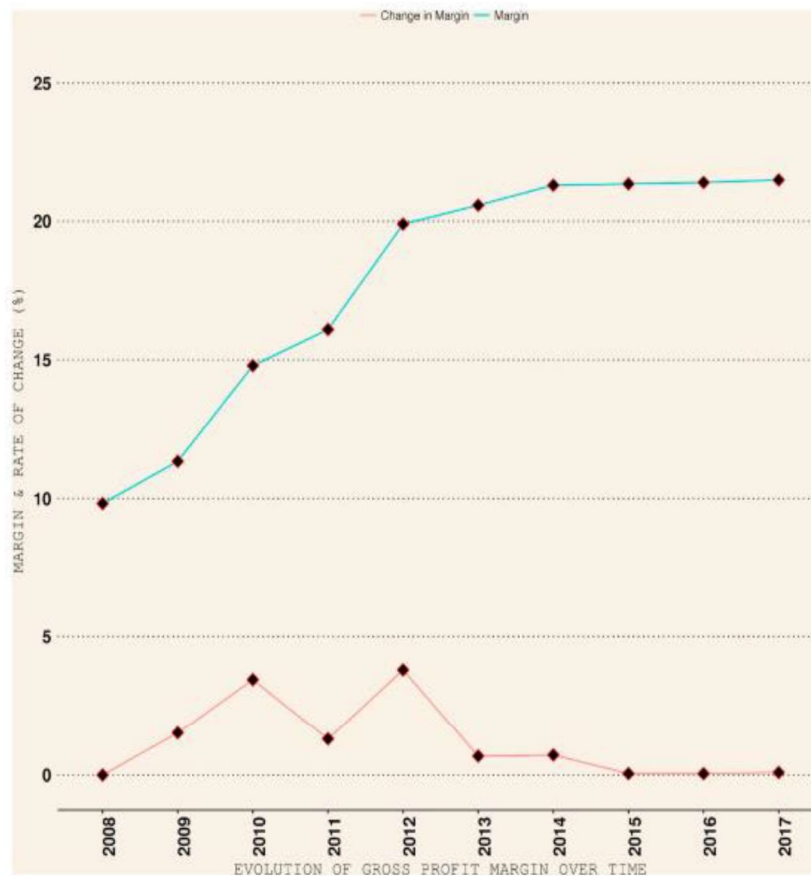
Figura 44 - Arquitetura de Desenvolvimento Proposto.



Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

As margens mediana e média de lucro são de 19,46% e 21,48% respectivamente. Sua proximidade indica que a distribuição de dados é sólida para a modelagem preditiva. No entanto, a propagação de dados é representada por um intervalo de 93,81% (projetos com grandes perdas) a 100% (projetos com lucros enormes), com um grande desvio padrão de 26,58%. 793 projetos tiveram lucro e 250 projetos tiveram prejuízos. Ocorreu flutuação estatisticamente significativa entre os projetos que apresentam prejuízos com relação aos que obtiveram lucro. A Figura 45 mostra a variação sofrida ao longo dos últimos dez anos, apontando para um aumento gradual da margem de lucro e estabilização após 2014 (M. Bilal, et al., 2019).

Figura 45 - Variação de Margens de Lucro ao Longo do Tempo



Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

Quando analisadas por região, conforme Tabela 10, excetuando a Região 1, a maioria das regiões sofreu perdas, sendo que a Região 4 sofreu perda extrema e lucro extremo. Aplicou-se o teste ANOVA resultando em $P r = (4.514 \ 11)$, revelando variação estatística significativa, mostrando que as regiões influenciam o lucro de margens distintamente (M. Bilal, et al., 2019).

Tabela 10 Variação na Margem de Lucro por diferentes regiões.

Summary statistics based on region.

Regions	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Region 1	2	0.19	£0.55	0	£0.29	0.01	61.22	48.89	26.65	95.79
Region 2	313	30.01	£1217.10	10.31	£229.32	11.46	30.09	32.65	-92.23	100
Region 3	277	26.56	£4195.26	35.53	£738.06	36.9	20.09	23.41	-92.74	90.24
Region 4	37	3.55	£586.54	4.97	£97.49	4.87	18.98	16.48	-1.82	77.41
Region 5	187	17.93	£1904.80	16.13	£314.04	15.7	17.62	18.48	-57.4	70.91
Region 6	195	18.7	£3827.93	32.42	£615.83	30.79	15.14	24.12	-93.81	100
International	32	3.07	£75.86	0.64	£5.33	0.27	10.91	26.95	-44.67	97.39

Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

Ao ser analisado o impacto da margem por tipo de projeto, ver A Tabela 11, constatou-se que os os projetos *greenfield* (de incorporação), apresentaram maiores margens quando comparados com os *brownfield* (*retrofit*). Os especialistas destacaram que projetos brownfield são suscetíveis a enormes excedentes de custos (M. Bilal, et al., 2019).

Tabela 11 Variação na Margem de Lucro por tipos de Empreendimentos.

Summary statistics based on project type.

Project type	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Greenfield	940	90.12	£9316.81	78.9	£1656.82	82.83	22.4	27.12	-93.81	100
Brownfield	103	9.88	£2491.25	21.1	£343.54	17.17	13.11	19.15	-54.71	88.81

Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

Projetos de cabeamento cobrem 73,54% do total dos projetos de Distribuição, e apresentam o maior lucro médio de 52,3%, conforme Tabela 12, (M. Bilal, et al., 2019).

Tabela 12 - Variação na Margem de Lucro por Projetos de Distribuição de Energia.

Summary statistics based on workstream.

Work stream	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Transmission	209	20.04	£4364.90	36.97	£897.83	44.88	23.37	24.85	-93.81	100
Cabling	767	73.54	£7038.92	59.61	£1046.26	52.3	21.16	26.98	-92.74	100
Substations	67	6.42	£404.23	3.42	£56.27	2.81	19.21	27.29	-37.12	97.39

Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

A Tabela 13 mostra estatísticas resumidas de margens de lucro nas categorias Setores, Serviços, Tipos de Contratos e Duração e suas respectivas subcategorias. As subcategorias dos Setores são: (i) Energia, (ii) Estradas e rodovias, (iii) Telecomunicações, (iv) Transporte e (v) Outros. Em termos de valor total do projeto, 88,59% são do setor de Energia, que respondeu por 90,88% da rentabilidade, com lucro mediano de 22,75% e médio de 21,48%. Para Telecoms o lucro cai drasticamente. Destaque para a subcategoria Pré Construção que apresentou a menor lucratividade, mas também o menor número de projetos. Quanto à duração, projetos com mais de sete anos apresentaram alta lucratividade, bem como os de curto prazo apresentaram baixa lucratividade (M. Bilal, et al., 2019).

Tabela 13 Variação na Margem de Lucro por Setores, Serviços, Tipos de Contratos e Duração.

Summary statistics based on sector.

Sector Types	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Others	60	5.75	£640.92	5.43	£103.77	5.19	25.33	34.78	-93.81	100
Power & Energy	883	84.66	£10,460.55	88.59	£1817.96	90.88	22.75	25.39	-92.23	100
Telecom	47	4.51	£416.83	3.53	£66.35	3.32	8.45	36.29	-92.74	59.2
Roads & Highways	43	4.12	£235.15	1.99	£5.43	0.27	8.12	9.99	-28.82	19.9
Transport	10	0.96	£54.6	0.46	£6.84	0.34	5.25	35.12	-91.98	32.2

Summary statistics based on work type.

Work Types	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Maintenance	307	29.43	£653.52	5.53	£142.81	7.14	29.01	34.33	-93.81	100
Preconstruction	8	0.77	£27.61	0.23	£4.16	0.21	26.99	14.7	5.69	43.96
Supply Only	38	3.64	£106.0	0.9	£8.34	0.42	23.52	33.24	-15.53	97.39
Refurbishment	300	28.76	£5426.16	45.95	£1018.94	50.94	18.46	22.72	-92.74	99.2
New Build	390	37.39	£5594.77	47.38	£826.1	41.3	17.56	19.79	-91.98	95.79

Summary statistics based on contract types.

Contractual Types	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Alliance Agreement	6	0.58	£46.08	0.39	£23.04	1.15	43.67	16.67	13.85	56.59
Schedule of Rates	355	34.04	£1258.59	10.66	£217.95	10.9	26.33	32.71	-93.81	100
Lump Sum	307	29.43	£2876.94	24.36	£488.84	24.44	22.17	23.51	-91.98	97.39
Early Contract Involvement	4	0.38	£12.34	0.1	£2.12	0.11	21.32	12.29	5.69	35.09
Framework Agreement	48	4.6	£388.98	3.29	£83.47	4.17	19.79	14.42	-29.74	49.42
Traditional	144	13.81	£3151.15	26.69	£689.8	34.48	18.83	24.04	-92.74	78.4
Target Cost	24	2.3	£357.07	3.02	£52.25	2.61	15.32	9.57	4	39.59
Remeasurable	37	3.55	£774.25	6.56	£102.37	5.12	14.35	15.56	-43.67	55.35
Cost Reimbursable	77	7.38	£2207.80	18.7	£221.28	11.06	12.21	20.79	-32.45	99.2
Design & Build	26	2.49	£584.08	4.95	£108.23	5.41	10.58	23.12	-36.52	73.52
Construct Only	10	0.96	£130.49	1.11	£8.54	0.43	10.57	28.11	-36.14	52.91
Supply Only	3	0.29	£13.93	0.12	£1.36	0.07	7.48	16.18	-7.32	24.76
Term Maintenance	2	0.19	£6.35	0.05	£1.11	0.06	-1.41	38.24	-28.45	25.63

Summary statistics based on project duration.

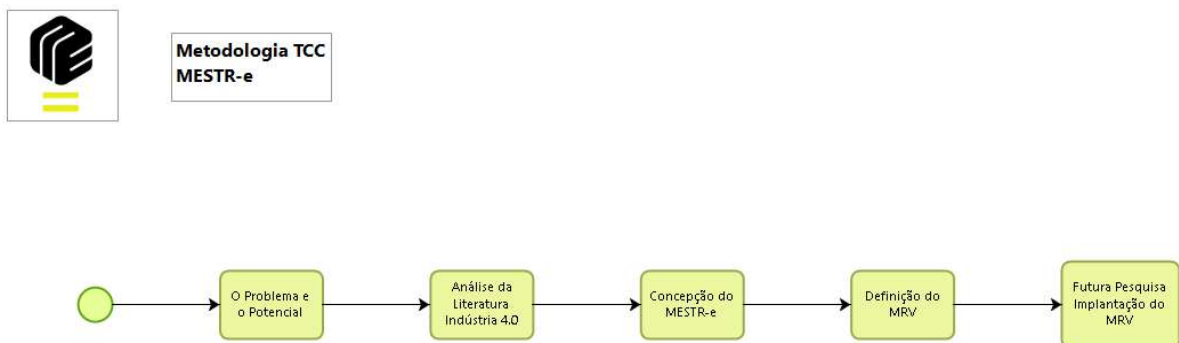
Project Duration	Number of Projects		Project Value		Profit Made		Summary Stats of Gross Profit Margin (%)			
	By Value	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	By Value (in 100 k)	By (%)	Average	SD	Min	Max
Upto 3 year	347	33.27	4185.25	35.44	666.61	33.32	27.62	25.15	10.5	100
Upto 4 year	220	21.09	4162.08	35.25	925.14	46.25	25.3	16.43	-71.38	53.76
Upto 2 year	31	2.97	151.14	1.28	0.93	0.05	24.47	36.18	-10.37	68.9
Upto 1 year	78	7.48	400.81	3.39	26.72	1.34	19.97	31.82	-50.31	69.59
Upto 5 year	200	19.18	1564.74	13.25	135.83	6.79	16.75	19.31	0.54	68.56
Upto 6 year	69	6.62	423.69	3.59	40.73	2.04	14.44	21.51	-4.29	44.5
7 year & above	98	9.4	920.33	7.79	204.4	10.22	6.02	43.93	-93.81	35.47

Fonte: Adaptado de (M. Bilal, et al., 2019)

3. METODOLOGIA

Partiu-se dos problemas observados nos Canteiros de Obras Residenciais e de Infra Estrutura dos estados MS, PR e SP que possuíam sistema ERP Mega ou Sienge, comparando-os com os canteiros de obra do estado de Baden-Württemberg na Alemanha, fase anterior à esta pesquisa e nela não descrita. Para a fase descrita neste estudo, a seguinte, foram coletadas informações de relevância internacional voltadas à Construção 4.0. Os trinta materiais relevantes permanecidos após filtro inicial em que outros quatorze trabalhos foram descartados, quer por repetição, ou por se tratar de técnicas já conhecidamente adotadas antes de 2014, foram categorizados em: (1) diagnóstico da situação da indústria da construção; (2) inovações internacionais teóricas; (3) inovações internacionais práticas; (4) estudos de casos internacionais da Construção 4.0. As etapas do processo da pesquisa podem ser vistas na Figura 46. A idéia MESTR-e foi desenvolvida de forma macro. Reduziu-se o conceito inicial ao seu mínimo valor e o produto mínimo viável (MVP), estando este em vias de ser implementado numa obra residencial vertical. Futuras pesquisas pretendem analisar os resultados do MVP e ampliá-lo, de forma a dar início à tentativa de comercialização da solução.

Figura 46 - Metodologia da Pesquisa durante o curso de Pós Graduação em Engenharia de Automação Industrial da Faculdade da Indústria SENAI Londrina.



Fonte: Dos autores.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A falta de um sistema eficiente de medição e aferição do desempenho e progresso de uma obra gera uma distância entre a obra e os seus administradores, resultando em ineficiência de diversas naturezas. O progresso de uma obra de construção civil e o seu devido gerenciamento pelo construtor podem obter melhores resultados se auxiliados pela tecnologia IoT, com informações sendo colhidas automaticamente, e pelo emprego de AI na formação de relatórios, análises, previsões e auditorias, sempre em tempo próximo ao real. Esta coleta de dados ilustra um cenário fidedigno ao real possibilitando ao construtor, à distância, analisar e decidir melhor onde alocar e quando realocar os recursos disponíveis: capital, mão-de-obra, matéria prima e tecnologia, mantendo a qualidade, os preço e prazos definidos.

Investiu-se R\$ 599,1 bilhões em construção no ano passado. Pesquisas mencionam desperdícios no setor entre 30% a 58%. O MESTR-e pretende contribuir com a redução destes percentuais. MESTR-e é uma solução de automação de canteiros de obras composta de eletrônicos (sensores RFID, leitores, drones e outros), software, algoritmos de inteligência artificial, BigData IoT e processo que visa automatizar o acompanhamento das obras, os controles, medições, auditorias, análises de performance e benchmarking.

Como pré-requisito para sua adoção a Construtora deverá ter ao menos o planejamento da Obra em MS Project ou Excel, levando em consideração as técnicas da Construção Enxuta, tais como Takt e Linhas de Balanço e designar os recursos para atividades, recursos estes que receberão sensores de posição ativos ou passivos. O fluxo completo da Figura 47 mostra a solução de implantação numa construtora que possui BIM 5D e ERP (*Enterprise Resource Planning*) implantados e interligados. O confronto o previsto x realizado em tempo real poderá portanto se dar entre o gêmeo digital e obra, na melhor opção, ou entre atividades planejada x atividades realizadas na solução mínima.

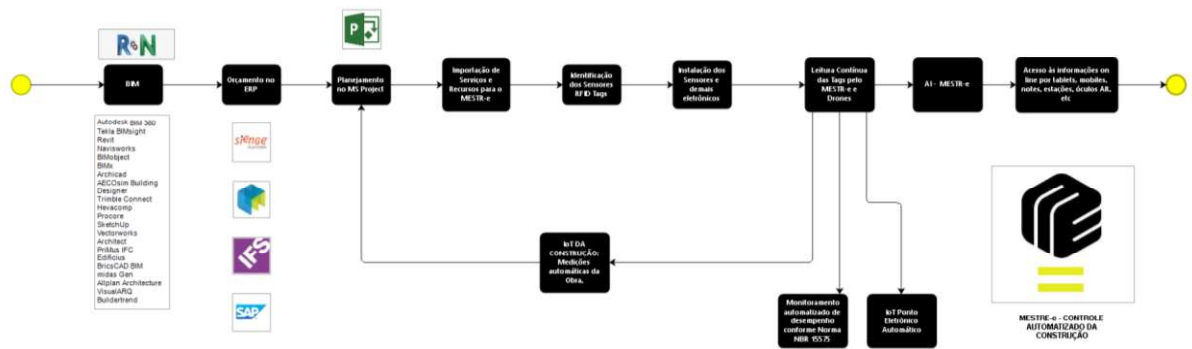
Através do MESTR-e, se projeta introduzir um processo inovador na observação, acompanhamento, fiscalização, auditoria e predição de obra impactando nos (i) Índices de retorno financeiro; na (ii) Comunicação em tempo real entre canteiro de obra e supervisão; nas (iii) condições de trabalho; na (iv) Eficiência energética; no (v) Desempenho e Resultados e no (vi) Progresso em tempo real da execução da

construção.

Sensores UHF- RFID serão instalados durante as fases previamente determinadas e sinalizarão os principais itens de gerenciamento e controle. Operarão em frequência conforme os padrões globais de redes sem fio (Wan (IEEE 802.20 / 3GPP, Edge (GSM); Man (IEEE 802.16) / FTS Hipfrman & Hiperaccess; Lan (IEEE 802.11 ou Pan (IEEE 802.15 ; Bluetooth / ETSI hiperpan).

Em tempo próximo ao real, os dados coletados pelos sensores serão transmitidos sem fio para a base de análise que se integrará ao MS Projet e ERPs Mega, Sienge e IFS, em diversas interfaces à escolha do usuário final.

Figura 47. Solução de implantação.



Fonte: Dos autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução MESTR-e visa melhorar a *performance* no canteiro de obra. Sua concepção foi possível à partir da observação de canteiros de obras alemães e chão de fábrica da indústria automotiva alemã e revisão bibliográfica de material acadêmico internacional de pesquisas voltadas à Indústria 4.0. MESTR-e combina as técnicas de digitalização e virtualização com as práticas *Lean Construction* e flexibilidade e resposta rápida nas ações do Setor de Transporte Aéreo. Procura inserir todos os envolvidos, incluindo principalmente o operário e os recursos das atividades numa única plataforma digital, gerando e entregando informações comparativas e preditivas em tempo real aos envolvidos. Muito embora a adoção da solução possua tendência de gerar ganhos significativos de produtividade e qualidade, sua adoção requererá uma mudança de paradigma pelo setor, já que este mantém a característica de baixo investimento em inovação, por possuir o Brasil uma alta disponibilidade de mão de obra barata em razão do atual cenário econômico e ainda pelo fato do setor manter o baixo emprego de horas nas fases iniciais de projeto, orçamento planejamento pelas empresas do setor, pela manutenção do sistema construtivo artesanal pelo construtor brasileiro, para citar alguns dos empecilhos em sua adoção. No entanto a criação de um MVP de baixo custo, com o uso de eletrônicos existentes no mercado, deve permitir a rápida constatação futura da viabilidade da solução. Outro aspecto que provavelmente favorecerá a implantação futura do MESTR-e é a obrigatoriedade do uso do BIM pelo governo, além da previsão de barateamento de aquisição de eletrônicos, sensores, armazenamento de dados e outros acessórios e tráfego da comunicação digital.

REFERÊNCIAS

- [1] Knowledge work and knowledge management in small and medium sized engineer-to-order enterprises. Matt, Dominik & Rauch, Erwin & Dallasega, Patrick. (2014). Knowledge work and knowledge management in small and medium sized engineer-to-order enterprises.
- [2] Maskuriy, Selamat * , Ali , Maresova & Krejcar , 2019 - Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?
- [3] Autodesk, BIM 360 API. Disponível online, acessado em 17/11/2019: <https://forge.autodesk.com/en/docs/bim360/v1/overview/introduction/>
- [4] OPENBIM. Disponível online, acessado em 17/11/2019: <https://www.buildingsmart.org/about/vision/>
- [5] Alaloul, W.S.; Liew, M.S.; Amila, N.; Abdullah, W.; Mohammed, B.S. Industry Revolution IR 4.0: Future Challenges in Construction Industry Opportunities and. MATEC Web Conf. 2018, 02010, 1–7.
- [6] Dave, B.; Kubler, S.; Pikas, E.; Holmström, J.; Singh, V.; Främling, K.; Koskela, L. Intelligent Products: Shifting the Production Control Logic in Construction (With Lean and BIM). In Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 29–31 July 2015; pp. 341–350.
- [7] Oesterreich* & Teuteberg, 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
- [8] Dallasega,* , Raucha & Linderb, 2018. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review

- [9] Fang, Y., Cho, Y. K., Zhang, S., & Perez, E. (2016). *Case Study of BIM and Cloud-Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 05016003.doi:10.1061/(asce)co.1943-7862.0001125
- [10] Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). *Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0*. *Procedia Computer Science*, 60, 1146–1155.doi:10.1016/j.procs.2015.08.166
- [11] Li, J.; Yang, H. A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0. MATEC Web Conf. 2016
- [12] Scheffer, M.; Konig, M.; Engelmann, T.; Tagliabue, L.C.; Ciribini, A.L.C.; Rinaldi, S.; Pasetti, M. Evaluation of Open Data Models for the Exchange of Sensor Data in Cognitive Building. In Proceedings of the 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Brescia, Italy, 16–18 April 2018
- [13] Axelsson, Jakob & Fröberg, Joakim & Eriksson, Peter. (2018). Towards a System-of-Systems for Improved Road Construction Efficiency Using Lean and Industry 4.0. 576-582. 10.1109/SYSOSE.2018.8428698.
https://www.researchgate.net/publication/326949888_Towards_a_System-of-Systems_for_Improved_Road_Construction_Efficiency_Using_Lean_and_Industry_4_0
- [14] Trapp, M.; Richter, R. Towards The Generation of Digital Twins for Facility Management Based on 3D Point Clouds Urban Analytics View project Visual Analytics for Sensor Data View project Vladeta Stojanovic Hasso Plattner Institute. In Proceedings of the ARCOM 2018: 34th Annual Conference, Belfast, UK, 3–5 September 2018.

[15] Schweigkofler, A.; Monizza, G.P.; Domi, E.; Popescu, A.; Ratajczak, J.; Marcher, C.; Riedl, M.; Matt, D. Development of a digital platform based on the integration of augmented reality and BIM for the management of information in construction processes. In Proceedings of the IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Turin, Italy, 2–4 July 2018;

[16] De Lange, P.; Bähre, B.; Finetti-Imhof, C.; Klamma, R.; Koch, A.; Oppermann, L. Socio-Technical challenges in the digital gap between building information modeling and industry 4.0. CEUR Workshop Proc. 2017,

[17] Akinade, O.O. Bim-Based Software for Construction Waste Analytics Using Artificial Intelligence Hybrid Models; University of the West of England: Bristol, UK, 2017

[18] Niu, Y.; Lu, W.; Chen, K.; Huang, G.G.; Anumba, C. Smart Construction Objects. J. Comput. Civ. Eng. 2016, 30, 04015070. 2016

[19] McKinsey, Capital Projects & Infrastructure Modular construction: From projects to products by Nick Bertram, Steffen Fuchs, Jan Mischke, Robert Palter, Gernot Strube, and Jonathan Woetzel - McKinsey & Company, 2019. Disponível online, acessado em 22/12/2019:

<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20NEW/Modular-construction-from-projects-to-products-full-report-NEW.ashx>

[20] McKinsey, Reinventing Construction through a Productivity Revolution - McKinsey & Company, 2017. Disponível online, acessado em 14/11/2019:

<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx>

[21] De Mauro, Andrea & Greco, Marco & Grimaldi, Michele. (2016). A formal definition of Big Data based on its essential features. Library Review. 65. 122-135. 10.1108/LR-06-2015-0061.

[22] Bilal, Muhammad & Oyedele, Lukumon & Kusimo, Habeeb & Owolabi, Hakeem & Akanb, Lukman & Ajayi, Anuoluwapo & Akinadé, Olúgbéngá & Davila, Manuel. (2019). Investigating profitability performance of construction projects using big data: A project analytics approach. Journal of Building Engineering. 26. 100850. 10.1016/j.job.2019.100850.

https://www.researchgate.net/publication/334201799_Investigating_profitability_performance_of_construction_projects_using_big_data_A_project_analytics_approach

[23] Tetika* , Peltokorpia, Seppänen & Holmström. Direct digital construction: Technology-based operations management practice for continuous improvement of construction industry performance, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518310914>

[24] Dallasega*, Rauch & Frosolini . A Lean Approach for Real-Time Planning and Monitoring in Engineer-to-Order Construction Projects. 2018

[25] Delgado, Oyedele*, Ajayi, Akanbi, Akinade, Bilal & Owolabi, 2019. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry specific challenges for adoption.

[26] Cloudalize, Digital Transformation. Disponível online, acessado em 19/11/2019:

<https://www.cloudalize.com/blog/bim-landscape-europe/>

[27] Jusbrasil, Decreto 9377/18 | Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018.

Disponível online, acessado em 14/11/2019:

<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/579674718/decreto-9377-18>

[28] Stojanovic, Vladeta & Trapp, Matthias & Hagedorn, Benjamin & Klimke, Jan & Döllner, Jürgen. (2019). Sensor Data Visualization for Indoor Point Clouds. 10.5194/ica-adv-2-13-2019.

[29] Thuy Duong Oesterreich*, Frank Teuteberg. 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. 2019

[30] SyncMeta - Near real-time collaborative modeling framework. Disponível online, acessado em 19/11/2019: <https://github.com/rwth-acis/syncmeta>