

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS**

**MAPEAMENTO DAS TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA  
4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

**PATO BRANCO**

**2022**

**SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS**

**MAPEAMENTO DAS TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA  
4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

***Mapping of Technologies for the Implementation of Industry 4.0 in Brazilian  
Civil Construction***

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia de  
Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DAS TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 29 de Agosto de 2022

Dr. Marcelo Goncalves Trentin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Diego De Castro Fettermann, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Dr. Jose Donizetti De Lima, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 27/09/2022.

## **AGRADECIMENTOS**

Nestes longos 2 anos e 6 meses de mestrado foram muitas pessoas que passaram pelo meu caminho. Primeiramente eu quero agradecer ao Professor Dr. Marcelo Gonçalves Trentin, meu orientador, que aceitou embarcar nessa pesquisa comigo, sabendo do pouco conhecimento que eu tinha em Engenharia de Produção e Sistemas e na Indústria 4.0. Obrigada pelas orientações, pelos elogios e por toda a paciência nessa orientação.

Agradeço também, aos professores Dr. José Donizetti de Lima e Dr. Diego de Castro Fettermann por aceitarem participar da banca de qualificação e defesa e por todos os comentários, orientação e discussões feitas. A todos professores do PPGEPS, principalmente àqueles que tive o prazer de ter aulas, assim como a secretária do curso Adriani Edith Michelin e aos colegas do curso, por todo auxílio e dedicação durante esse mestrado. Também a UTFPR que me acolhe há 16 anos, desde o ensino médio.

Agradeço aos participantes dessa pesquisa, os respondentes do questionário e aos avaliadores do meu instrumento de pesquisa, vocês foram essenciais nesse processo. Aos meus amigos, que de uma forma ou outra colaboraram com esse trabalho, seja convidando para dar uma espairecida, seja lendo e dando dicas nesse trabalho. Principalmente aqueles que me emprestaram um cantinho da casa nos momentos de mudança, Kelli, Lucas, Maycon e Calvin e aqueles que participaram veementemente nessa pesquisa, como o Bruno.

A minha família, mãe, pai, pai2, irmãos, mas principalmente a minha mãe Rosimar, mãe você sempre foi meu suporte, minha base. Obrigada por todos esses anos de dedicação, obrigada por nunca me deixar desistir e, mesmo você não entendendo tudo que está escrito aqui, obrigada por ter me motivado a continuar e por ainda fazer isso, mesmo do outro lado do mundo.

E por fim, agradeço também ao meu marido, Bruno, que nesses 10 anos me ajudou a ser uma pessoa melhor, mais motivada e que me fez ainda mais feliz. Obrigada por todo o apoio, pela paciência, pelo incentivo, pela dedicação e por sempre estar ao meu lado. Você me ajudou a fazer essa pesquisa acontecer.

## RESUMO

A Construção Civil tem grande participação econômica e socialmente para os países. Apesar dessa relevância, sofre com baixos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além de ser uma indústria fragmentada, a qual envolve muitas pessoas durante seu período de vida. Enquanto outros setores industriais já estão evoluindo para era da digitalização, a construção ainda conta com evoluções em matérias-primas e algumas poucas em gerenciamento de obras. Dessa forma, a Indústria 4.0 possui tecnologias que podem auxiliar o processo de digitalização da Construção Civil. Apesar das tímidas evoluções tecnológicas, como a utilização do *Building Modeling Information* (BIM) e de alguns equipamentos autônomos, a Construção Civil ainda tem um longo percurso para ser considerada Construção 4.0. Nesse cenário, o objetivo dessa pesquisa foi propor um mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 nas etapas construtivas da Construção Civil em empresas brasileiras. Para esse fim, foi feito um levantamento bibliográfico abordando as tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial e seus impactos na indústria em geral. Também, quais tecnologias já são abordadas no âmbito da Construção Civil e as dificuldades de inovação e resistências sofridas por esse setor. Com o referencial teórico, foi desenvolvido um questionário que foi encaminhado e respondido por 25 profissionais da Construção Civil, com o objetivo de coletar as percepções dos profissionais, associando as etapas construtivas às tecnologias da Indústria 4.0. Juntamente com a literatura e esse questionário, foi elaborado um instrumento inicial, tratando do ciclo de uma construção, relacionado os domínios da Construção 4.0, conectando com instâncias, atores e tecnologias para que empresas de Construção Civil se ajustem e façam parte desta revolução. A partir dessa proposta preliminar, foi realizada uma avaliação dessa ferramenta por cinco profissionais do setor da Construção Civil, entre engenheiros civis e arquitetos e urbanistas, que avaliaram todo o instrumento, desde a localização das tecnologias até a possibilidade de utilização em empresas da construção civil e sugestões de melhorias. Sendo assim, esse mapeamento se mostrou com potencial de implementação em empresas da construção civil brasileira. Esse instrumento relaciona 46 tecnologias com as etapas construtivas, contribuindo com a literatura, além de promover um instrumento que auxilia a aplicação das tecnologias em empresas de Construção Civil brasileiras.

Palavras-chave: Construção Civil; Indústria 4.0; Construção 4.0; Inovação; Tecnologias.

## ABSTRACT

Civil Construction has excellent economic and social participation for countries. Despite this relevance, it suffers from low investments in research and development and is a fragmented industry that involves many people during its lifetime. While other industrial sectors are already evolving towards the age of digitalization, Construction still has evolutions in raw materials and a few in construction management. In this way, Industry 4.0 has technologies that can help the process of digitization of Civil Construction. Despite the timid technological developments, such as the use of Building Modeling Information (BIM) and some autonomous equipment, Civil Construction still has a long way to go to be considered Construction 4.0. In this scenario, the objective of this research was to propose mapping Industry 4.0 technologies in the constructive stages of Civil Construction in Brazilian companies. To this end, a bibliographic survey addressed the enabling technologies of the fourth industrial revolution and their impacts on the industry in general. Also, which technologies are already discussed in the scope of Civil Construction and the difficulties of innovation and resistance suffered by this sector. With the theoretical reference, a questionnaire was developed that was sent and answered by 25 professionals in Civil Construction to collect the perceptions of the professionals, associating the constructive steps to the technologies of Industry 4.0. Along with the literature and this questionnaire, an initial instrument was developed, dealing with the cycle of Construction related to the domains of Construction 4.0, connecting with instances, actors and technologies so that Civil Construction companies adjust and be part of this revolution. Based on this preliminary proposal, this tool was evaluated by five professionals from the Civil Construction sector, including civil engineers, architects, and urban planners, who assessed the entire instrument, from the location of technologies to the possibility of use in civil construction companies. And suggestions for improvements. Therefore, this mapping proved to have the potential for implementation in Brazilian civil construction companies. This instrument relates 46 technologies with the constructive stages, contributing to the literature and promoting a tool that helps the application of technologies in Brazilian Civil Construction companies.

Keywords: Civil Construction; Industry 4.0; Construction 4.0; Innovation; Technologies.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 – Segmentação da Cadeira Produtiva da Construção .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2 – Participação da Construção Civil no PIB de 2000 a 2020 .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3 – Participação do PIB da cadeia da Construção Civil (%) .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4 – Comparação Indústria 3.0 e Indústria 4.0.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 5 – Etapas de desenvolvimento do Instrumento .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 6 – Fluxograma da Etapa 3 – Projeto e Desenvolvimento .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 7 – Instrumento Proposto .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 8 – Integrações do Instrumento .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 9 – Instrumento Final .....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Relações Verticais x Relações Horizontais .....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 2 – Tecnologias da Integração Vertical.....</b>	<b>51</b>
<b>Quadro 3 – Conceito e Tecnologias da Integração horizontal .....</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 4 – Associação entre a Integração Horizontal e Vertical.....</b>	<b>53</b>
<b>Quadro 5 – Respostas do Questionário .....</b>	<b>56</b>
<b>Quadro 6 – Tecnologias associadas as Integrações Verticais – Respostas Avaliadores .....</b>	<b>66</b>
<b>Quadro 7 – Integrações Horizontais - Adotado .....</b>	<b>71</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos .....	17
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Delimitação do Trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b>Classificação da Pesquisa</b> .....	<b>20</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização da Dissertação</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Construção Civil no Brasil</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Indústria 4.0</b> .....	<b>25</b>
2.2.1	Pilares da Indústria 4.0.....	29
2.2.2	Impactos da Indústria 4.0 .....	33
<b>2.3</b>	<b>Indústria 4.0 na Construção Civil</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4</b>	<b>Síntese do Capítulo</b> .....	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Design Science Research</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2</b>	<b>Metodologia do Trabalho</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>Comentários do Capítulo</b> .....	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Identificação do problema</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Definição dos Resultados Esperados</b> .....	<b>54</b>
<b>4.3</b>	<b>Projeto e Desenvolvimento</b> .....	<b>54</b>
4.3.1	Estruturação do Questionário .....	54
4.3.2	Aplicação do Questionário.....	55
4.3.3	Construção do Instrumento .....	59
<b>4.4</b>	<b>Avaliação do Instrumento</b> .....	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>Comunicação</b> .....	<b>76</b>
<b>4.6</b>	<b>Análise dos Resultados</b> .....	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A - Resumo das Tecnologias Habilitadoras da Construção</b>	
	<b>4.0</b> .....	<b>93</b>

<b>APÊNDICE B - Questionário .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE C - Roteiro Entrevista Semiestruturada .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE D - Avaliador 01 – Integrações Horizontais .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE E - Avaliador 02 – Integrações Horizontais .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE F - Avaliador 03 – Integrações Horizontais .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE G - Avaliador 04 – Integrações Horizontais .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE H - Avaliador 05 – Integrações Horizontais .....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Responsável por promover o conforto e a praticidade das pessoas, a Construção Civil (CC) é a indústria que fornece recursos para todas as outras indústrias trabalharem, por meio de edifícios, estradas e pontes (BJÖRK, 1999). Além de toda a infraestrutura necessária para o seu funcionamento, como comunicação, eletricidade e água, por exemplo (HÅKANSSON; INGEMANSSON, 2013). Como seus projetos são únicos e possui um *layout* posicional, seu processo produtivo é sempre em locais diferentes e possui um ciclo extenso. A Construção Civil depende de vários fatores para ocorrer, como matéria-prima e mão de obra (BJÖRK, 1999). Como meta dessa indústria, está a conclusão do projeto no prazo e no orçamento planejado, além do padrão de qualidade. Para que isso aconteça, é preciso uma coordenação entre as partes interessadas, fato que não é comum nessa área (ALALOUL; LIEW; ZAWAWI, 2016).

A Construção Civil é considerada uma indústria complexa, dinâmica e fragmentada, principalmente pela divisão dos projetos de construção e da etapa construtiva (ALALOUL; LIEW; ZAWAWI, 2016). Devido ao alto número de indivíduos envolvidos no ciclo produtivo desse setor, os problemas de gerência, de comunicação da cadeia de abastecimento e de foco no cliente tornam essa indústria ineficiente e cara. Além disso, possui uma cultura singular, já que seus projetos são pontuais e seus relacionamentos são temporários (MOHD NAWI; BALUCH; BAHAUDDIN, 2014).

O setor da construção tem papel estratégico na economia de um país, visto que é uma parte que contribui diretamente para a estabilização econômica (CHIA, 2012; ALALOUL; LIEW; ZAWAWI, 2016). Em 2018, a Construção Civil empregava diretamente cerca de 7,3% da população ocupada brasileira (CBIC, 2020). Dados de 2021 afirmam que de janeiro a abril desse ano, o saldo de empregados nesse setor alcançou a marca de 135.083 novos empregos, correspondendo a 14,1% do saldo de empregos formais de todas as atividades no Brasil (CBIC, 2021a).

Apesar desde poder, essa indústria desperdiça 70% do tempo ativo de funcionários com movimentação de matéria-prima, organização e reorganização de canteiro de obras, recursos e equipamentos. Além disso, para que o produto entregue tenha qualidade, é necessária mão de obra especializada, práticas e julgamentos por meio de experiência, habilidades difíceis de automatizar (ALALOUL *et al.*, 2018b).

Ainda que seja um setor relevante para economia dos países, a indústria da Construção Civil sofre com baixos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Oesterreich e Teuteberg (2016) resumem alguns problemas estruturais que causam defasagem nesse ramo: (i) complexidade dos projetos, visto que há envolvimento de várias pessoas e setores em cada obra; (ii) incerteza, cada projeto ou obra é único e isso, por vezes, resulta na falta de especificação de processos e subprocessos; (iii) cadeia de suprimentos fragmentada, existe uma grande variedade de empresas com capacidade limitada de investimento em tecnologia; (iv) pensamento a curto prazo, não investindo em inovações a longo prazo; e (v) cultura, com resistência à mudança.

Concordando com Oesterreich e Teuteberg (2016), Nascimento e Santos (2003) e Gomes e Longo (2020) sintetizam que, essa dificuldade de inovação, vinda dos investimentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), tem como obstáculo a mão de obra absorvida por esse setor, que, no Brasil, é desqualificada e semianalfabeta, de forma a não atender as expectativas inovações modestas. Além de fatores intrínsecos a cadeia produtiva, existem algumas condições externas a essa indústria que acabam por dificultar as inovações, como a falta de regulamentação homogênea para obras, impasses em avaliações e aprovações de novos produtos e processos e retardo nos órgãos fiscalizadores, visto que são poucos aqueles com capacidade de supervisão (CORRÊA *et al.*, 2010).

Mesmo que essa atividade não acompanhe o desenvolvimento tecnológico das indústrias manufatureiras, a Construção Civil está embarcando na era da digitalização por meio da utilização de *Building Modeling Information* (BIM) (ALALOUL *et al.*, 2020; KLINC, ROBERTO; TURK, 2019; MASKURIY *et al.*, 2019b; MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016), Identificação por Radiofrequência (RFID), computação em nuvem (GASPERIN; SCHENATTO, JOSÉ, 2018), equipamentos autônomos e materiais de construção avançados (ALALOUL *et al.*, 2018c). No entanto, ainda é vista como um setor conservador e não tecnológico (HÅKANSSON; INGEMANSSON, 2013).

Apesar de ter evoluções em gestão, como utilização da filosofia do *Lean Construction* e do BIM diferentemente de outras indústrias, as inovações voltadas à Construção Civil são relacionadas à melhoria de materiais, como revestimentos, melhorias em estruturas, concreto, madeira, entre outros. Enquanto outras indústrias têm inovações voltadas para utilização de tecnologias da informação, a Construção

Civil ainda utiliza os mesmos maquinários e continua sendo um setor que é considerado semiartesanal em seus projetos (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

Para que a Construção Civil possa acompanhar as outras indústrias no desenvolvimento tecnológico, é necessário que os conceitos da Indústria 4.0 sejam adaptados e aplicados, transformando desde a concepção de estruturas até a forma de utilizá-las. Dessa maneira, os impactos serão significativos na redução de orçamento de uma construção, na utilização de materiais ecologicamente corretos, além da otimização de recursos (ALALOUL *et al.*, 2018c).

A quarta revolução industrial, diferentemente das outras três revoluções anteriores, muda a forma como os estágios industriais são operados com objetivo de melhorar o desempenho de toda a indústria e não apenas uma etapa. Para isso, são utilizadas integrações da tecnologia da informação em todo o processo produtivo (NOWOTARSKI; PASLAWSKI, 2017). Sistemas Ciber Físicos de Produção (CPPS), Inteligência Artificial (IA), *Big Data* e *Big Data Analytics*, *Blockchain*, *Internet of Things* (IoT), *Digital Twins* e Interação Humano-Computador (HCI) são tecnologias utilizadas para atender a Indústria 4.0 (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

Essa transformação, que leva como princípio a digitalização da indústria, tem como finalidade uma produção versátil e eficiente. Por meio de tecnologias, métodos e ferramentas habilitadoras dessa revolução, as indústrias podem reduzir os custos e reduzir o tempo de produção de suas mercadorias, com consequente melhoria da qualidade, eficiência operacional e aumento da produtividade (LU, 2017).

De acordo com Alaloul *et al.* (2018b), a utilização da Indústria 4.0 na Construção Civil promove a evolução em: (i) digitalização da produção, por meio da organização e planejamento da construção; (ii) automação, por meio da coleta de informações no canteiro de obras e utilização de máquinas; e (iii) conexão do canteiro a uma cadeia de abastecimento e promover a troca de informações de forma automática.

O mundo está evoluindo no uso de tecnologias na Construção Civil. De Amorim *et al.* (2021) apontam a China como o país mais desenvolvido nesse setor. Em 2013, o Reino Unido lançou o documento “*Construction 2025*”, em que aponta estratégias para os países evoluírem e ficarem na vanguarda da construção nos próximos anos (HM GOVERNMENT, 2013). O governo do Japão lançou o “*i-Construction*” com três passos para evolução da Construção Civil no país: uso de tecnologias de informação na Construção Civil, padronização das especificações e o

balanceamento de pedidos de construção ao longo do ano (TATEYAMA, 2017). Já no Brasil, em 2021, estava sendo implantado o NESCOR 4.0 (Núcleo de Engenharia e Construção), iniciativa para estudos e pesquisas de Construção 4.0 (CONSTRUÇÕES, 2021).

A partir de análise de literatura, Oesterreuch e Teuteberg (2016) apontam em seu estudo que os Estados Unidos da América é o país com maior número de publicações científicas sobre a Construção Civil e a Indústria 4.0. Seguido de Reino Unido, China, Canadá e Austrália. Nessa pesquisa que apresenta os dez países que mais publicam, o Brasil não está incluído. De acordo com Amorim *et al.* (2021), o Brasil possui uma defasagem de adoção de novas tecnologias devido a necessidade de importação de tecnologias, evidenciando a necessidade de novos estudos e pesquisas nesse ramo. Apesar disso, iniciativas foram tomadas para a melhoria da estrutura tecnológica da Construção Civil, buscando acompanhar os outros países nessa área, como melhorias em regulamentações e técnicas e implementação de novas tecnologias como o BIM (CORRÊA *et al.*, 2010).

Neste contexto, a Construção Civil ainda está distante da evolução tecnológica da indústria manufatureira, tendo a necessidade de compreender os métodos de implantação da Indústria 4.0 nas empresas brasileiras deste setor. Para evolução dessa indústria, ainda é necessário estudar as aplicações das tecnologias habilitadoras desta revolução neste ambiente, ainda carente de inovações.

Diante do exposto, nota-se a necessidade do desenvolvimento de orientações que norteiem e auxiliem a implantação da Indústria 4.0 nas empresas de Construção Civil brasileiras. Estas orientações são importantes para a promoção de avanços neste setor, contribuindo com a sua evolução e disponibilização dos benefícios desta revolução para os trabalhadores e usuários deste ramo da engenharia. Dessa forma, a questão de pesquisa que norteia este estudo se constitui em: “Quais implantações tecnológicas auxiliam as empresas de Construção Civil, do ramo de edificações, a ingressarem na Indústria 4.0?”.

## **1.1 Objetivos**

Esse capítulo apresenta os objetivos geral e específicos dessa pesquisa, os quais foram direcionadores no desenvolvimento desta pesquisa.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste estudo é apresentar um mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 com potencial aplicação para etapas construtivas das empresas de Construção Civil, adequado à realidade brasileira.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Visando atender ao objetivo geral desse estudo, tem-se como objetivos específicos:

1. Levantar as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas etapas construtivas da Construção Civil;
2. Verificar a adequação das tecnologias da Indústria 4.0 com potencial aplicação da Construção Civil por meio da análise de especialistas da área;
3. Visualizar as necessidades e dificuldades das empresas de Construção Civil em implementar a Indústria 4.0 no Brasil.

## 1.2 Justificativa

A Construção Civil é um dos setores que mais movimentam a economia mundial. De acordo com o DataSebrae (SEBRAE, 2020), a Construção Civil no Brasil é o quarto setor com maior quantidade de empresas, 1.482.331 em maio de 2020, representando 7,71% de todas as empresas do Brasil, isso sem considerar as indústrias relacionadas a esse setor. Assim como no Brasil, a Construção Civil na União Europeia (UE) e nos Estados Unidos da América (EUA), é responsável por empregar a maioria da mão-de-obra desses países. Além disso, a Construção Civil participa de 4 a 9% do PIB dos países da UE, enquanto nos EUA, participava de 8,47% (MELLO; AMORIM, 2009).

De acordo com os mesmos autores, a indústria da Construção Civil Brasileira, quando comparada a UE e os EUA, é considerada de baixa eficiência, já que corresponde a 15% da produtividade americana de forma que duas obras levam 3 vezes mais tempo do que as obras dos EUA e 2 vezes mais que a UE. Já a produtividade da EU, quando feita a mesma comparação com os EUA, corresponde a 75% da produtividade dos EUA, país que tem a Construção Civil como uma atividade que influencia fortemente sua economia.

E, apesar dessa relevância, ainda carece de investimentos e inovações (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Mesmo com a disparidade econômica e de eficácia, as dificuldades enfrentadas por essas três economias são parecidas, como problemas com a qualificação da mão-de-obra, a segurança do trabalho e as empresas desse setor são pequenas e médias empresas, sofrendo com baixos investimentos em inovação e em tecnologias de informação (MELLO; AMORIM, 2009).

As dificuldades para a inovação são diversas, entre elas, é importante destacar que esse setor da economia possui características singulares tal como cada construção é única, personalizada de acordo com a necessidade do cliente. Também, o relacionamento no ciclo de vida da construção ocorre entre vários atores, já que hoje ocorre a terceirização das etapas produtivas. Desse modo, não possui uma integração de informações adequada, dificultado a transparência das etapas da obra, ocasionando atrasos e maiores custos (MUNOZ-LA RIVERA *et al.*, 2020; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Além disso, You e Feng (2020) apontam que os recursos de construção, complexidade e alta incerteza e ambiente de construção de alto risco são limitadores para implantação de processos inteligentes.

A Indústria 4.0 foi decisiva para integrar todas as informações pertinentes a manufatura, como produtividade e qualidade, de uma forma única e centralizada, conectando máquinas, dispositivos, sensores e pessoas (ALMADA-LOBO, 2016). Esse objetivo de integração gerou a necessidade da aquisição de dados em tempo real para monitoramento de equipamentos e processos, assim como posições desde matéria-prima até o produto acabado. Com o exemplo de sucesso de outras indústrias e visando atingir essas evoluções, a Construção Civil tem empregado tecnologias de informação com o objetivo de ampliar seu processo de digitalização (PERERA *et al.*, 2020; YOU; FENG, 2020).

A Indústria 4.0 tem poder de revolucionar a Construção Civil quando da aplicação de seus pilares nesse setor. Ainda que seja possível verificar empregos de alguns pilares, como *Internet of Things* (IoT), simulação, entre outros, na indústria da construção, o *Building Information Modeling* (BIM) tem tomado a atenção total dessa estratégia. Porém, outras tecnologias também podem auxiliar a implementação da Indústria 4.0 na Construção Civil, como exemplo tem-se o *Digital Twins* que permite uma relação quase em tempo real do mundo físico com o virtual, obtendo informações que o BIM não permitiria. Dessa forma, a construção perde oportunidades de

melhorias de processos e possibilidade de expansão por adotar apenas algumas tecnologias da Indústria 4.0. E para que a Construção Civil possa se tornar uma Construção 4.0, é indispensável que a Construção Civil possua domínio das funções, dos pilares e toda integração, interna e externa à uma obra, que a Indústria 4.0 promove (ZABIDIN; BELAYUTHAM; IBRAHIM, 2020). Para que a transformação digital aconteça nesse setor é preciso integração de metodologias e tecnologias para a digitalização, de forma a envolver desde produtos até o ambiente construído nas cadeias de valor da Construção Civil (MÉDA *et al.*, 2020).

Sendo assim, existe a necessidade e carência de informações que norteiem a implantação das novas tecnologias. O instrumento proposto por essa pesquisa, propiciará que empresas da Construção Civil brasileiras acessem e direcionem a transformação destas organizações. Será possível sua utilização para a evolução tecnológica atingindo a Construção Civil 4.0, integrando o ciclo da construção.

Fornoso (2003) afirma que a Construção Civil poderia se beneficiar das tecnologias de informação aplicadas em seus processos gerenciais, por meio da inclusão de todos os setores envolvidos no gerenciamento de obras. Desse modo, esse instrumento auxilia na melhoria da produtividade e custos nas obras da Construção Civil, já que faz a integração de todos os setores e instâncias envolvidas em uma obra. Também, facilita a aplicação das tecnologias por apresentá-las diretamente aplicadas às etapas construtivas. A consequência disso são obras com mais eficiência e menos desperdício, objetivos da Construção Civil.

Além dessas contribuições práticas, a ferramenta proposta por essa dissertação contribui para a área acadêmica de forma a associar as tecnologias com etapas definidas de obras, os *clusters* em que as tecnologias estão incluídas, além de apresentar os atores participantes das obras. Sendo assim, apresenta uma estrutura que poderá suportar trabalhos futuros de implementação da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira.

### **1.3 Delimitação do Trabalho**

Este trabalho de pesquisa tem como escopo um mapeamento que facilite a implementação de tecnologias para que as empresas consigam evoluir, migrando para a fase da Indústria 4.0 na Construção Civil em ambientes de obra de edificações. Dessa forma, esse trabalho está direcionado ao levantamento das tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas à fase da obra em si, presentes na Construção Civil. Assim,

atende às etapas necessárias à construção de uma edificação. Conceituação e pós-obra não estão consideradas neste estudo.

Dado ao prazo da pesquisa e complexidade envolvida, não será possível acompanhar a implementação efetiva do instrumento proposto. Este estudo está limitado a sua construção, apresentação, orientações e levantamentos necessários. Ainda permitirá que empresas interessadas se adequem aos conceitos e exigências da Indústria 4.0.

Esse trabalho está voltado para as empresas de Construção Civil de edificações residenciais e comerciais brasileiras em geral, não abrangendo aquelas que atuam em construções conhecidas como pesadas, explanado no Capítulo 2. Esta delimitação ocorre em função do conhecimento, abordagens e avaliações realizadas. Em decorrência disso, apesar da possível replicação desse estudo, não é possível generalizar a aplicação para todas as situações vivenciadas. Adaptações poderão ser requeridas no caso de outras realidades, uma vez que cada empresa tem seu nível de maturidade tecnológica e de aplicação de tecnologias habilitadoras correspondentes à Indústria 4.0.

#### **1.4 Classificação da Pesquisa**

Utilizando conceitos expostos por Turrioni e Mello (2012), essa dissertação tem natureza aplicada, visto que busca aplicações práticas da teoria encontrada na literatura, a partir de um mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0 orientadas a aplicação em etapas construtivas em empresas de Construção Civil. De acordo com esses autores, esse tipo de pesquisa tem como objetivo soluções de problemas que acontecem no dia a dia.

Em relação aos objetivos, esse estudo se caracteriza como exploratório, já que o assunto é novo e pouco discutido na literatura. Gil (2008) afirma que a pesquisa exploratória é àquela que “fórmula problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” por meio de desenvolvimento, esclarecimento e modificação conceitos e ideias.

A abordagem do problema é classificada como qualitativa, que tem como atributo a relação entre o ambiente e o sujeito, além de ter como fonte de coleta de dados o espaço de trabalho e como coletor o próprio pesquisador (TURRIONI; MELLO, 2012). Sendo assim, se justifica essa abordagem pela coleta de dados que

será por meio de entrevistas semiestruturadas da pesquisadora diretamente com o respondente da empresa.

A metodologia adotada nessa pesquisa foi a de levantamento de campo, uma vez que esse método interroga diretamente as pessoas pelo conhecimento que elas possuem (GIL, 2008). Desse modo, o estudo busca identificar e ajustar a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nas etapas construtivas na Construção Civil brasileira.

### **1.5 Organização da Dissertação**

Essa dissertação está construída em 5 capítulos. No Capítulo 1 foi apresentada a introdução, objetivos geral e específicos, justificativa, delimitação do tema e classificação da pesquisa, além da organização da dissertação.

O Capítulo 2 traz a revisão bibliográfica, em que são expostos os conteúdos discutidos pelos pesquisadores, dando embasamento a pesquisa. Este Capítulo é caracterizado com a Construção Civil no Brasil, conceitualização da Indústria 4.0, as tecnologias habilitadoras dessa indústria e a Construção 4.0.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia seguida para a realização do estudo e demais passos seguidos. O Capítulo 4 foi apresentado os resultados e discussões, obtidos com a pesquisa em campo, além da comparação com àqueles já estudados na literatura.

Já o Capítulo 5, trouxe as principais conclusões dessa pesquisa. Em que aponta dificuldades de implementação, além dos benefícios visualizados mediante essa pesquisa. E em seguida, as referências utilizadas nesse estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo tem como objetivo embasar teoricamente essa pesquisa. Sendo assim, primeiramente é caracterizada a Construção Civil no Brasil, abordando dados brasileiros que evidenciem a importância dessa indústria para o país. Além disso, apresenta a conceitualização da Indústria 4.0, apontando tecnologias habilitadoras e impactos que a Indústria 4.0 proporciona para indústrias. E, por fim, a Indústria 4.0 na Construção Civil ou Construção 4.0, em que são abordadas as tecnologias e impactos, que a adoção dessas, possibilitam na Construção Civil.

### 2.1 Construção Civil no Brasil

O ser humano sempre precisou se abrigar em locais, como cavernas, para se proteger do clima e dos animais. Os relatos históricos apontam que as técnicas e materiais de construção foram evoluindo com o tempo, como exemplo tem-se as construções da pré-história com estruturas de madeira e cobertura em palha ou folhas com argila, colmo ou pele de animais, entre outros tipos de abrigos. Na idade antiga, em que surgiram as primeiras civilizações, as habitações eram construídas com pedra e argila e, em alguns locais, há informações de casa em madeira (LOURENÇO; BRANCO, 2012). Conforme a necessidade e disposição de materiais e ferramentas, a Construção Civil foi se consolidando e se tornando essencial para o desenvolvimento das civilizações (JESUS *et al.*, 2018).

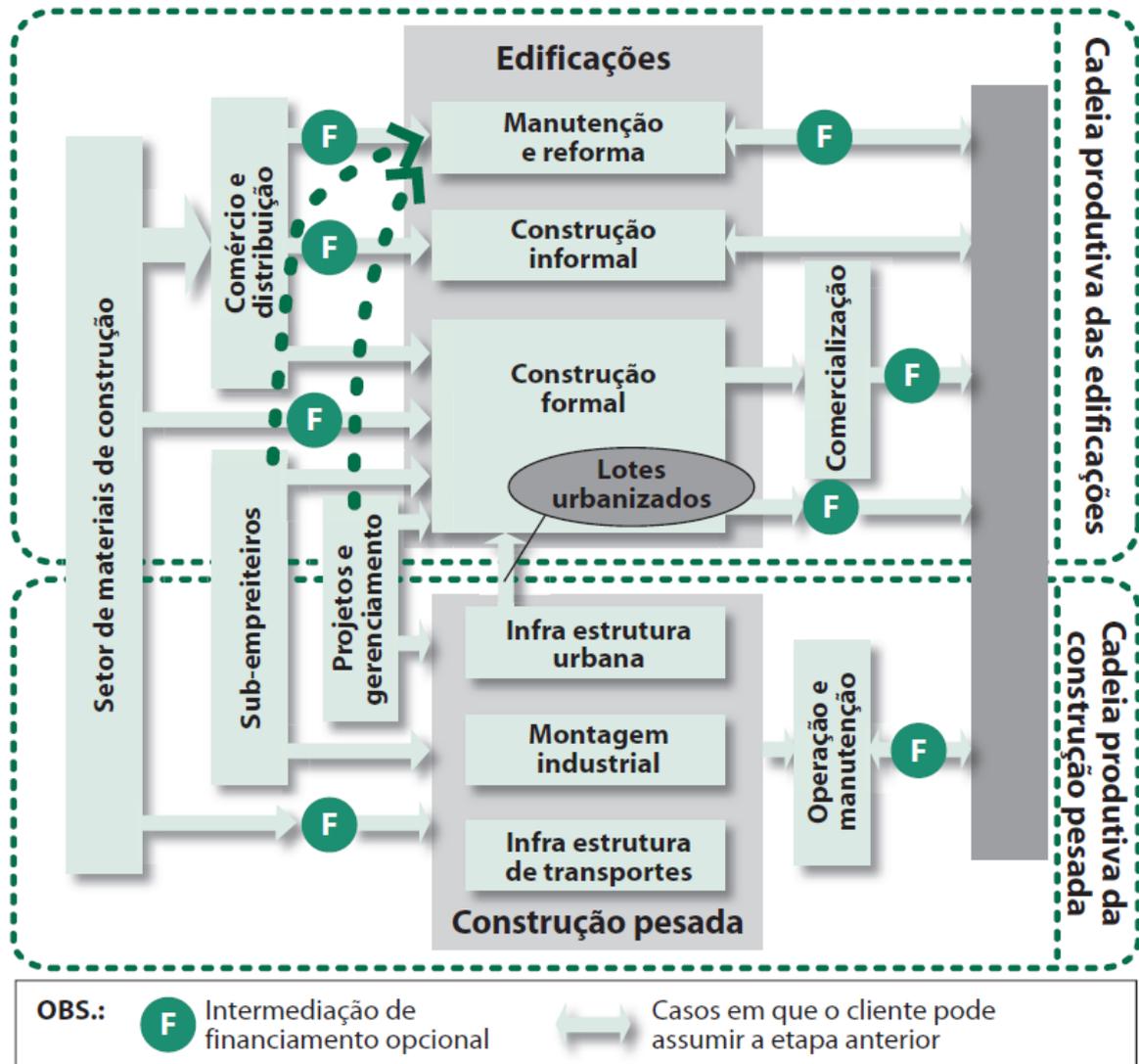
Por vezes, a Construção Civil é planejada como um processo estruturado, linear e previsível, de forma a conseguir gerenciar de maneira ordenada (WOOD; GIDADO, 2008). Porém, é sabido que esse setor não atende a essas expectativas, pois, diferentemente dos produtos da manufatura, suas entregas são específicas em características e localização, sendo assim uma indústria complexa e segmentada (MAJROUHI SARDROUD, 2015), também definida como única e não seriada (FIESP, 2008).

Além disso, Corrêa *et al.* (2010) e Rigby e Garvin (2012) resumem essa indústria como um setor que possui um conjunto único de condições, já que envolve várias áreas de atuação, como fornecedores de materiais, proprietários, contratados, projetos, orçamento e cronogramas, compras, entre outros.

Como a construção civil é um setor amplo e muito diversificado, a literatura apresenta essa cadeia dividida em três segmentos: materiais de construção,

edificações e construção pesada, como apresentado na Figura 1 (FIESP, 2008; CORRÊA *et al.*, 2010).

Figura 1 – Segmentação da Cadeira Produtiva da Construção



Fonte: Fiesp (2008)

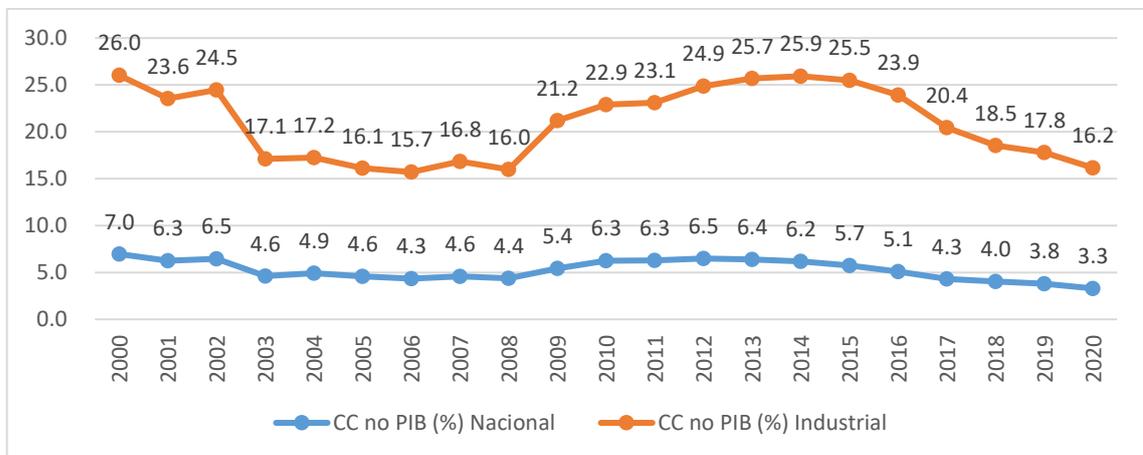
O sub-setor de materiais de construção é responsável pela produção de matéria-prima para as obras (CORRÊA *et al.*, 2010). Segundo a FIESP (2008) “O sub-setor de materiais apresenta uma estrutura industrial bastante sofisticada, à exceção de alguns segmentos extrativos, como areia, madeira e outros com alta taxa de informalidade, como a cerâmica vermelha”.

A construção pesada é referente a obras de infraestrutura, obras relacionadas a transporte, como ferrovias, rodovias e portos, e estrutura urbana, como central de abatecimento de água e redes de esgoto, além das usinas de geração de energia. Já

o subsetor de edificações abrange obras residenciais, comerciais e públicas, atendendo todas as etapas de uma edificação, desde a concepção até a manutenção e reformas (CORRÊA *et al.*, 2010).

Essa indústria influencia diretamente a economia de um país. No Brasil, o Produto Interno Bruto (PIB) em 2020, último relatório de dados disponíveis, a construção civil participa com 3,3% do PIB nacional e com 16,2% do PIB industrial. Apesar dessa contribuição, pela série histórica apresentada desde 2000, a participação da construção civil no PIB nacional nunca esteve tão baixa (CBIC, 2021b), conforme apresentado na Figura 2.

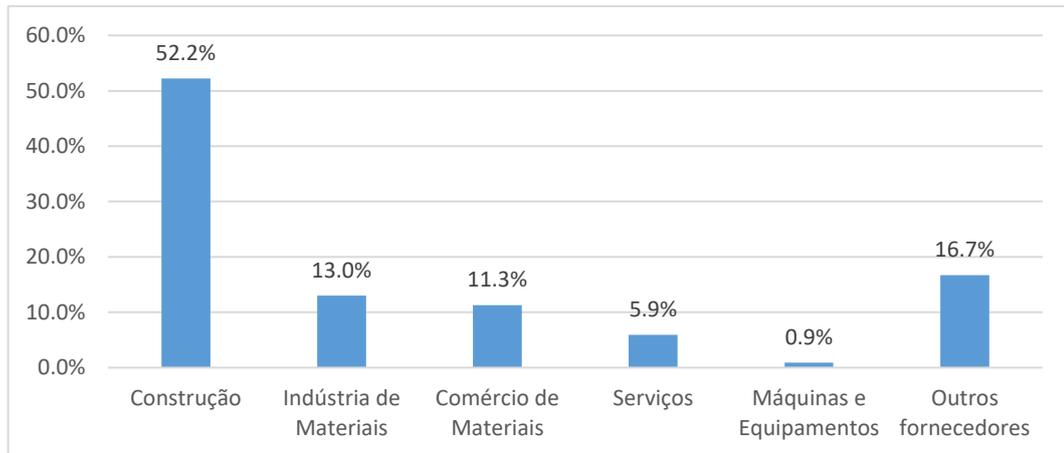
**Figura 2 – Participação da Construção Civil no PIB de 2000 a 2020**



**Fonte: Adaptado de CBIC (2021)**

A justificativa dessa queda da participação do PIB nacional e industrial tem como um dos fatores a pandemia do COVID-19, que ocasionou problemas de oferta e demanda em razão das flutuações cambiais, além de problemas logísticos de entrega de matérias-primas (ABRAMAT, 2020a). Além disso, devido ao isolamento social e paralisação das atividades, houve aumento no desemprego do Brasil, acarretando uma recessão econômica não apenas na Construção Civil, mas em todos os setores econômicos do país (CBIC, 2020).

Em seus relatórios, a ABRAMAT (2020b) apresenta a cadeia da construção civil dividida em construção, indústria de materiais, comércio de materiais, serviços, máquinas e equipamentos e outros fornecedores. A Figura 3 apresenta a participação do PIB total da cadeia da construção civil, em 2019, de cada um desses subsetores. Percebe-se que a construção é aquela que tem maior participação com 52,2%.

**Figura 3 – Participação do PIB da cadeia da Construção Civil (%)**

Fonte: ABRAMAT (2020b)

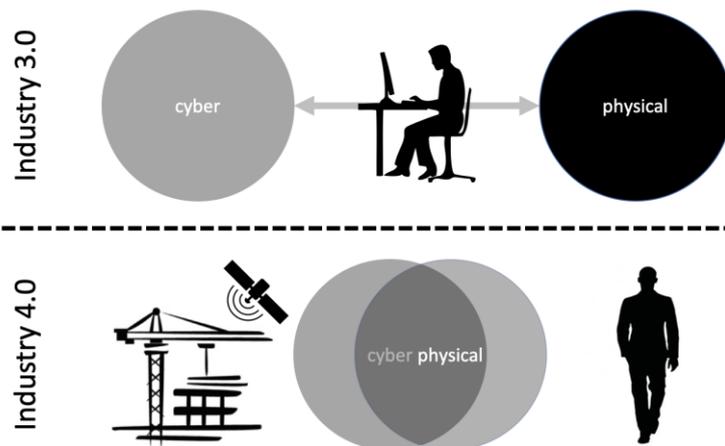
Quando se aborda a empregabilidade no setor da construção civil, de acordo com as estatísticas apresentadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2018 essa indústria abrangia cerca de 7,30% da mão de obra empregada no Brasil, com um total de 7.617.875 trabalhadores (CBIC, 2018). Esse índice já alcançou 8,67% em 2014, que se manteve parcialmente estável desde 2012 em que a mão de obra ocupada era de 8,50% (CBIC, 2018). Isso se justifica pela liberação de financiamentos habitacionais, com recursos do FGTS e programa minha casa minha vida (ABRAMAT, 2015).

## 2.2 Indústria 4.0

No decorrer das décadas, a indústria passou por transformações significativas, mudando formas de trabalho e de produção, as conhecidas revoluções industriais (ALALOUL *et al.*, 2018c). A primeira revolução industrial foi caracterizada pela mecanização, que aconteceu no final do século XVIII, em que as máquinas a vapor evoluíram a produção de artesanal para um tear mecânico, com a necessidade de ser assistida por humanos. Na virada do século XX, a segunda revolução industrial teve como princípio a difusão da eletricidade, mudando a forma de produção de uma produção artesanal para uma produção em série, ainda com supervisão humana. Já a próxima transformação, que ocorreu em meados da década de 1970, teve como característica a informatização da produção, possibilitando ao controle do maquinário de forma digital, resultando na automação da manufatura (KLINC; TURK, 2019).

A quarta revolução industrial conhecida como Indústria 4.0, surgiu no século XXI, é definida como o controle total do ciclo de vida dos produtos, desde sua concepção até o pós-venda, focado totalmente nas necessidades do cliente (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Essa nova revolução é descrita como “a digitalização da indústria em geral” (ALALOUL *et al.*, 2018c). Diferente das outras três revoluções industriais em que novos produtos ou máquinas inovadoras foram inseridas, a quarta tem o objetivo de maior produtividade e qualidade de produtos e serviços, através da integração de informações entre máquinas, sensores, dispositivos e pessoas (ALMADA-LOBO, 2016). A principal diferença entre a terceira e a quarta revolução industrial, é que a terceira era necessária uma pessoa para mediar um mundo virtual com o real, enquanto na quarta essa cópia digital virtual tem autonomia, como apresentado na Figura 4 (KLINC; TURK, 2019).

**Figura 4 – Comparação Indústria 3.0 e Indústria 4.0**



**Fonte: Klinc e Turk (2019).**

A Indústria 4.0 permite que as empresas façam previsões antes de tomar decisões específicas (ALMADA-LOBO, 2016), isso está sendo possível devido a introdução da Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), e serviços (IoS) nos ambientes manufatureiros (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Henning, Woahlter e Helbig (2013) afirmam que para que essa nova revolução seja implementada, a conectividade será evidente através da utilização de redes que conectem todas as máquinas, sistemas de armazenamentos e instalações da produção por meio de sistemas ciber-físicos (CPS). Esses sistemas permitem não

apenas o controle dos processos, mas também a tomada de decisões descentralizadas através de uma reprodução do mundo real em um mundo virtual, possibilitando a integração de todos os atores envolvidos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). Lee, Bagheri e Kao (2015) afirmam que CPS tem duas funções essenciais: conectividade avançada em que “garante a aquisição de dados em tempo real do mundo físico e o *feedback* de informações do ciberespaço” e “gerenciamento inteligente de dados, análise e capacidade computacional que constrói o espaço cibernético”.

Por meio de sistemas ciber-físicos, as informações da cadeia de valor de uma empresa são conectadas a todos os participantes do processo produtivo, por meio de protocolos de internet. A análise de dados permite com que falhas sejam previstas, possibilitando melhorias na eficiência em processos, aumentando a produtividade da manufatura com rapidez e flexibilidade. Essa nova forma de interagir com os dados faz com que empresas mudem a maneira de trabalhar, com adaptação facilitada a mudanças, tornando o mercado mais competitivo (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

A Indústria 4.0 tem como premissa que todas as informações necessárias na vida do produto sejam compartilhadas. Para isso, a integração de sistemas precisa ocorrer. Essa integração pode ser feita de forma horizontal e vertical (SURI *et al.*, 2017). A integração horizontal é aquela que acontece na rede de valor, caracterizada pela integração de sistemas de informação e de dados de toda a cadeia de produção (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016), permitindo a transparência e melhorado respostas a falhas e problema de equipe (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021). Visando essa integração, são soluções a serem implementadas: (i) cadeia de suprimentos inteligentes, de forma a garantir que necessidade do cliente seja atendida; (ii) modelo de negócio otimizado, com o objetivo de desenvolver novas habilidades necessárias para a Indústria 4.0; e (iii) gestão da tecnologia de informação, certificando a proteção dos dados envolvidos no produto (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

A integração vertical é a integração entre os vários níveis dentro da mesma empresa (SURI *et al.*, 2017), que tem como alvo um ambiente de manufatura inteligente mediante a integração de sistemas e processos de tecnologia de informação e fluxo de dados dentro da empresa (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Para isso, é necessário que ocorra a integração de tecnologias de informação. Para isso, é necessário que exista uma estrutura de rede confiável e novas estruturas de tecnologia de informação que não sejam fragmentadas. Dessa forma, a análise e gerenciamento de dados é importante, pois a Indústria 4.0 gera dados diversos que,

devido a sua estrutura, precisa ser transformado para entregar alguma informação relevante, e a computação em nuvem, que permite o acesso dos dados de qualquer lugar para consulta de qualquer ator envolvido na rede de valor (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

Essas duas formas devem ser baseadas em padrões para que ocorra de forma eficiente (SURI *et al.*, 2017). Por meio da integração horizontal e vertical de sistemas de todo o ciclo produtivo, é possível obter informações de todos os setores de uma empresa, além de dados de toda a linha produtiva vertical a ela (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Além dessas integrações, Oesterreich e Teuteberg (2016) e Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) indicam a importância da integração digital de ponta a ponta por meio da engenharia, habilitados pelos sistemas ciber-físicos e com objetivo de facilitar a produção customizada e reduzir custos de produção, participando de toda a cadeia de valor de um produto (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Gestão da inovação e gestão do ciclo de vida são duas premissas a serem cumpridas, de forma que a primeira permite processos de inovação abertos e flexíveis, com participação de toda rede de valor, e a segunda utiliza dados em tempo real para tomada de decisões eficientes (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

Em complementação, no estudo de Hermann, Pentek e Otto (2015), são apontados seis princípios que apoiam a Indústria 4.0. São eles:

- i. Interoperabilidade – todos os sistemas CPS podem se comunicar uns com os outros dentro da planta fabril;
- ii. Virtualização – processos físicos são simulados em um mundo virtual, em que os CPS têm domínio sobre esses processos, podendo, por exemplo, emitir alertas quando algo não está acontecendo como o esperado;
- iii. Descentralização – devido a demanda de produtos singulares torna-se difícil a centralização do controle de todo o processo. Dessa forma, é necessário a descentralização coordenada por CPS. Essa descentralização não precisa ser física, mas sim lógica. Almada-Lobo (2016) complementa que se um CPS tem capacidade de se conectar a um sistema físico centralizado, ele pode estar localizado em qualquer local;

- iv. Capacidade em tempo real – coleta e análise de dados em tempo real;
- v. Orientação de serviço – CPS, serviços das empresas e os trabalhadores estão disponíveis na internet dos serviços (IoS) podendo ser utilizados por pessoas dentro e fora das empresas; e
- vi. Modularidade – fácil adaptação as mudanças de requisitos.

Devido a possibilidade de uma produção completamente integrada, automatizada e com fluxo otimizado (RÜSSMANN *et al.*, 2015), os benefícios que a Indústria 4.0 pode proporcionar são: aumento na digitalização da fábrica, produção flexível e eficiente, aumento de eficiência do custo e do tempo, com consequente melhora no produto final, além do crescimento da produtividade (LU, 2017). Ainda, auxilia no avanço da autonomia, transparência, previsibilidade e rastreabilidade da manufatura (SANTOS; MARTINHO, 2020).

#### 2.2.1 Pilares da Indústria 4.0

Rüssmann *et al.* (2015) apontam que a indústria 4.0 é sustentada por nove pilares: (i) Análise de dados e *Big Data*; (ii) robôs autônomos; (iii) simulações; (iv) integração de sistemas; (v) Internet das Coisas (IoT); (vi) segurança de informação; (vii) nuvem; (viii) manufatura aditiva; e (ix) realidade aumentada. Já Klinc e Turk (2019) sugerem seis pilares: Internet das Pessoas (IoP), Internet das Coisas (IoT), Robotização e Manufatura Auxiliada por Computador (CAM), Gêmeo Digital, Computação Cognitiva e Computação em Nuvem. Alguns desses pilares já têm sido utilizados na manufatura. Porém, na Indústria 4.0, eles trabalham em conjunto com máquinas e humanos, proporcionando uma transformação na produção, otimizando de forma integrada e automatizada todo o processo produtivo (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Devido a quantidade expressiva de dados que são gerados pela integração dos sistemas, máquinas, sensores, entre outros (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018), o primeiro pilar, *Big Data*, tem por objetivo de auxiliar na tomada de decisões em tempo real, melhorando os produtos produzidos pela indústria (BAHRIN *et al.*, 2016). Apesar de não haver um consenso de definição de *Big Data* na literatura, definem por V's. Russom (2011) utiliza 3 Vs como definição – velocidade, volume e variedade. Enquanto Lomotey e Deters (2014) adicionaram veracidade e valor, totalizando 5 V's. As definições dos V's para esses autores são complementares. Velocidade é a

agilidade da coleta e processamento dos dados (RUSSOM, 2011). Valor é a qualidade da informação gerado pelos dados, se é valiosa ou não (LOMOTHEY; DETERS, 2014). Variedade é a diversidade de tipos de dados coletados. Já a veracidade é a precisão desses dados (LOMOTHEY; DETERS, 2014). E por fim, volume é relativo à quantidade de dados coletados (RUSSOM, 2011).

Enquanto o *Big Data* é constituído de técnicas e tecnologias para coleta de grandes quantidades, variedades, complexidade e velocidade de dados, a análise de dados ou *Big Data Analytics*, é utilizado para processar, analisar e gerar informações por meio desses dados coletados (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021). Para isso, são utilizados métodos matemáticos avançados, por meio de máquinas de aprendizagem, inteligência artificial e algoritmos de otimização meta-heurísticas (CHOU *et al.*, 2016).

Apesar de não ser novidade na indústria, a utilização de robôs autônomos na Indústria 4.0 é associado aos trabalhos com necessidade de maior precisão, além de locais onde um humano teria restrição para exercer sua função (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Dessa forma, é possível automatizar etapas que era consideradas inacessíveis ou muito complexas (ALBERTIN *et al.*, 2017). Os robôs têm se tornado mais flexíveis e cooperativos, ou seja, trabalham para facilitar o esforço humano, além dos autônomos que aprendem com as ações humanas (RÜSSMANN *et al.*, 2015). Dessa forma, a robótica será inserida tanto na produção, quanto em logística e funções de escritório, podendo ser controlados de forma remota (BAHRIN *et al.*, 2016).

As simulações, próxima base da Indústria 4.0, tem o objetivo de testar e otimizar operações e faz com que o mundo real seja simulado de forma virtual através de dados em tempo real (RÜSSMANN *et al.*, 2015). Dessa forma, Bahrin *et al.* (2016) resumem que é possível simular todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção do design até a gestão da logística.

Com o propósito de agregar valor aos usuários através de recursos inteligentes, compartilhados e integrados, a internet das coisas, são dispositivos eletrônicos conectados a uma rede sem fio (GIL-GARCIA; PARDO; GASCO-HERNANDEZ, 2020), que processam sinais e compartilham os dados obtidos pelos sensores (VELSBERG; WESTERGREN; JONSSON, 2020). Essa tecnologia permite respostas em tempo real e auxilia a tomada de decisões. Dessa forma, faz com que seja possível a comunicação e interação de dispositivos através de sistemas embarcados (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Middha e Verma (2018) apresentam alguns modelos de arquitetura de IoT fracionadas em camadas. Apesar de vários estudos com diferentes quantidades de camadas, todos contam com pelo menos três iguais: percepção (identificar objetos inteligentes no ambiente), rede (rotear e processar de dados) e aplicação (prestar serviços aos usuários por meio de aplicativos). As informações que essas camadas apresentam, pode auxiliar o processo de tomada de decisão estratégica de uma empresa, tanto por pessoas responsáveis, quanto de forma autônoma (GIL-GARCIA; PARDO; GASCO-HERNANDEZ, 2020). Padrões e arquiteturas bem definidos, garantia do armazenamento dos dados de forma segura, com qualidade e privacidade são necessários para que se tenha resultados eficientes (MIDDHA; VERMA, 2018).

Juntamente com o conceito de IoT, tem-se a Internet das Pessoas, ou *Internet of People* (IoP). Esse conceito vai além de os seres humanos serem apenas as pessoas que utilizam os dispositivos inteligentes, mas são elementos-chaves para o desenvolvimento de tecnologia, já que os dispositivos inteligentes interagem entre si, trocando informações e gerenciando dados como se fossem seus usuários. Dessa forma, “O comportamento humano deve ser incorporado aos protocolos de rede e à lógica dos dispositivos para influenciar as operações das funções de rede” (CONTI; PASSARELLA; DAS, 2017). Ainda, existe a Internet dos Serviços, *Internet of Services* (IoS), que é a possibilidade de os fornecedores oferecer seus serviços pela internet. “A Internet de Serviços é composta por participantes, uma infraestrutura de serviços, modelos de negócios e os próprios serviços” (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009).

Devido ao aumento da conectividade e protocolos padrões de comunicação proporcionada pela Indústria 4.0 é necessário que a segurança da informação seja aprimorada, tanto de sistemas industriais quanto de linhas de produção. Para isso gestão do acesso as máquinas e de usuários, comunicações seguras e gerenciáveis são primordiais (RÜSSMANN *et al.*, 2015). Isso acontece devido ao aumento de variabilidade e volume de dados. Dessa forma, o *cybersecurity*, com o auxílio de padrões e ferramentas, é a área responsável pela proteção de dados, *software*, *hardware*, infraestrutura, entre outros (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

O Gêmeo Digital, do inglês *Digital Twin*, é uma cópia virtual de um elemento físico, de forma a permitir a análise desenvolvimento e gerenciamento de projetos (KLINC; TURK, 2019). Sensores e ativos físicos são componentes habilitadores do meio físico, enquanto integração, dados e análises são aqueles relacionados ao mundo virtual (LIAU; LE; E RYU, 2018). Essa tecnologia gera resultados através de

dados coletados e dispositivos inteligentes conectados em tempo real (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021).

Visto que a Indústria 4.0 tem como princípio o compartilhamento de dados em tempo real, a nuvem é uma tecnologia associada ao armazenamento desses. Além do armazenamento, as funcionalidades de máquinas também são implantadas em nuvem (RÜSSMANN *et al.*, 2015). Azevedo (2017) apresenta em seu estudo algumas características da computação em nuvem: (i) sob demanda e autosserviço, em que o usuário solicita direto ao servidor o serviço requerido; (ii) acesso amplo a rede; e (iii) conjunto de recursos, atendendo aos vários requisitos do usuário; (iv) rápida elasticidade, que podem ser reclusos e liberados conforme demanda; e (v) serviço de medição, que tem controle e otimização dos recursos. Com os benefícios de mais espaço de armazenamento, segurança de dados, simplicidade no compartilhamento de dados, facilidade de acesso, recursos personalizados, a nuvem transformou a forma que a computação trabalha com armazenamento de dados em servidores online (KÜBLER, 2016).

Existem basicamente três modelos de serviços em nuvem. Software como Serviço (SaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS). No primeiro, o usuário não tem domínio sobre os recursos computacionais, o segundo, possui controle na implementação da aplicação e nas configurações, mas não gerencia a infraestrutura dos recursos e o último o consumidor tem controle sobre todas as etapas (AZEVEDO, 2017).

Já a computação cognitiva, são “sistemas inteligentes que aprendem em escala, raciocinam com propósito e interagem com humanos e outros sistemas inteligentes naturalmente” (DEMIRKAN *et al.*, 2017), é utilizado para reproduzir processos humanos no mundo virtual, através do Gêmeo Digital. Para isso, utiliza princípios do *Big Data*, aprendizado de máquina, algoritmos cognitivos e inteligência artificial (KLINC; TURK, 2019).

Com o objetivo de reduzir tempo de produção, visando maior lucratividade devido a implementação de recursos personalizáveis, a manufatura aditiva ou impressão 3D, é uma tecnologia que faz a conversão de um objeto virtual em um objeto físico (GIBSON *et al.*, 2010). Essa tecnologia permite que sejam atendidas as particularidades solicitadas pelos clientes, além da redução do tempo de entrega da mercadoria (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Apesar de já estar sendo utilizada em indústrias, com a I4.0 sua utilização será ampliada, visto que possibilita a criação

de peças exclusivas e com design de difícil execução ou ainda a criação de protótipos trazendo a redução de custos e prazo para o desenvolvimento e validação de projetos (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

A Realidade Aumentada (RA) permite que usuários humanos possam visualizar o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos. Sendo assim, essa tecnologia facilita o trabalho através da utilização de um campo de trabalho do colaborador e do objeto virtual, possibilitando uma interface iterativa (ALBERTIN *et al.*, 2017). Esses mesmos autores afirmam que a RA auxilia a indústria se tornar mais dinâmicas e inteligentes, de forma a agilizar processos que envolvem manutenção e assistência, treinamento de colaboradores, design de produtos, gestão de risco, controle de qualidade e logística.

#### 2.2.2 Impactos da Indústria 4.0

A quarta revolução industrial possui megatendências impulsionadoras, que Schwab (2017) separou em três vertentes: física, digital e biológica. A primeira delas, a categoria física inclui: veículos autônomos, exemplificado por drones utilizados na agricultura; impressões 3D, também conhecida como manufatura aditiva, que é caracterizada pela impressão de um objeto físico, em que camadas são sobrepostas até que o modelo digital seja reproduzido no físico; robótica avançada, em que robôs são utilizados nas indústrias para realização de trabalhos rigidamente controlados, como por exemplo na indústria automotiva e na agricultura de precisão; e novos materiais, que são mais leves, fortes, recicláveis e adaptáveis.

A categoria digital é representada pela *Internet of Things* (IoT) que é dita como uma das principais conexões dessas duas primeiras classes. A utilização de dispositivos conectados à internet e sensores de rastreamento são alguns exemplos da utilização dessa tecnologia. Outro exemplo dessa vertente é o *Blockchain*, que possibilita transações com confiabilidade e segurança. Já a biológica, ocorre principalmente na parte de genética, em que possibilitará tratamentos na área médica, cuidados com plantas e animais, entre outras utilizações (SCHWAB, 2017).

De acordo com Henning, Wahlster e Helbig (2013), a Indústria 4.0 possibilitará novos modelos de negócios, em razão da flexibilidade da produção, além de possuir dados para que a tomada de decisões seja efetuada de forma transparente e mais assertivas, com o objetivo final de atender as demandas individuais de clientes. Também, solucionará problemas recorrentes como eficiência de recursos e energia.

Já Schwab (2017) afirma que a quarta revolução industrial terá impactos significativos na forma em que o relacionamento entre a economia, negócios, governos e países acontece, através da interatividade entre essas áreas. Também, Rüssmann *et al.* (2015) reforçam que a Indústria 4.0 trará benefícios em produtividade, crescimento da receita, emprego e maiores investimentos.

Em complemento, Kiel, *et al.* (2017) apresentam os benefícios da adoção da Indústria 4.0 em três perspectivas: econômica, ecológicas e sociais. No setor econômico, essa revolução proporciona ganhos em relação a melhoria da competitividade, melhoria nas finanças, devido ao volume de vendas, e do Overall Equipment Effectiveness (OEE) e diminuição de custos, desenvolvimento e comercialização de novos modelos de negócios voltados a clientes, diminuição de tempo e individualização de processos. Em relação a perspectiva ecológica, aumento na eficiência de recursos é o benefício apontado. E recursos humanos para implementação da I4.0 é a vantagem social.

### **2.3 Indústria 4.0 na Construção Civil**

Assim como em outras indústrias, as evoluções tecnológicas na Indústria Construção Civil ocorrem de forma rápida e por vezes não consegue ser acompanhada pelo mercado. Esse setor, evoluiu tecnologicamente por meio da adoção de sistemas CAD, como o AutoCad®, o BIM, soluções em nuvem, entre outras tecnologias. Ainda avançando e visando a digitalização dessa categoria voltada para a quarta revolução industrial, a pré-fabricação, automação, impressão 3D, realidade virtual, drones, sensores e robôs estão sendo empregados para que informações sejam compartilhadas quase em tempo real (MASKURIY *et al.*, 2019a).

Em contrapartida, a Construção Civil se diferencia das manufaturas por ter em cada projeto a especificidade de cada cliente, fazendo com que cada produto dessa indústria seja único e ocorra em um período determinado (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008; (MASKURIY *et al.*, 2019b). Também, esse setor é caracterizado por ter seu local de trabalho desorganizado, por consequência da quantidade de pessoas e materiais envolvidos (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008). Além das pessoas que circulam no canteiro de obras, para que as obras sejam realizadas, é preciso o envolvimento de ainda mais indivíduos, como os projetistas, fornecedores e clientes em várias etapas das construções (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Complementando, You e Feng (2020) apontam que os processos construtivos na CV

são únicos, sem organização determinada e com fluxo de trabalho não linear, possuem alta incerteza e complexidade decorrente da grande influência somada por cada variável, causando modificação do plano durante a construção e o alto risco que o canteiro de obras oferece.

Em decorrência disso, os profissionais da Construção Civil possuem pensamento de curto prazo, dificultando as inovações (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Também, Kraatz, Hampson e Sanchez (2014) apontam que os investimentos em novas tecnologias são limitados, pois a maioria das empresas desse setor são pequenas e médias (PMEs). Dessa forma, o futuro dessa indústria será por meio da transformação do processo produtivo de forma a otimizar os processos obtendo benefícios das tecnologias e técnicas adotadas na Indústria 4.0 (MASKURIY *et al.*, 2019a).

Assim como as indústrias manufatureiras, a Construção Civil também se beneficia com as técnicas e tecnologias da Indústria 4.0, embora em menor ritmo. Popularizado em 2016, a Construção 4.0 começou a ser estudada no segundo semestre de 2014, com o estudo de Hainer Lasi *et al.*, intitulado de “*Industry 4.0*” que conectou os termos *Industry 4.0* e *construction*. Mas apenas em 2016, com Roland Berger que o termo “*Construction 4.0*” começou a ser utilizado (FORCAEL; FERRARI; OPAZO-VEGA, 2020).

A Construção 4.0 pode ser definida a partir de dois pilares. Que são eles: (i) digitalização da indústria da construção, por meio de novas tecnologias compreendendo a indústria, fornecedores, ambiente e pessoas, com objetivo de melhorias na produtividade; e (ii) industrialização de processos construtivos, por meio de tecnologias que promovem a industrialização do canteiro de obras, automatizando essa etapa construtiva e como consequência obtém aumento na eficiência da construção (FORCAEL; FERRARI; OPAZO-VEGA, 2020).

Ao contrário do que é atualmente, uma produção artesanal, a Construção 4.0, ou digitalização da Construção Civil, tem como objetivo a produção em massa de produtos específicos, sem perder uma das suas principais características, a unicidade de seus produtos (KLINC; TURK, 2019). Essa revolução abrange todo o processo construtivo, desde o projeto, passando pela etapa construtiva e o pós-construção, com a operação e manutenção do produto (MASKURIY *et al.*, 2019a).

Em seu estudo, Oesterreich e Teuteberg (2016) separaram as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Construção Civil em três clusters: fábrica inteligente,

simulação e modelagem e digitalização e virtualização, esses *clusters* também são citados por Maskuriy *et al.* (2019a) e Muñoz-La Rivera, *et al.* (2021).

- i. Fábrica inteligente – é voltado a auxiliar a integração de processos produtivos, automatizando processos e modularizando. Nesse cluster, as tecnologias apresentadas são: Sistemas ciber-físicos (CPS)/sistemas incorporados, Identificação por radiofrequência (RFID), Internet das coisas (IoT)/Internet dos serviços (IoS), Automação, Modularização/Pré-fabricação, Fabricação Aditiva, Product-Lifecycle-Management (PLM), Robótica e Interação humano-computador.
- ii. Simulação e Modelagem – voltado a todo o processo construtivo, desde o projeto, passando pela construção e a operação das edificações. Utilizando ferramentas de simulação, realidade aumentada (AR), virtual (VR) e mista (MR) e BIM.
- iii. Digitalização e Virtualização – faz a integração dos dois primeiros aspectos por meio de big data, computação em nuvem, computação móvel, mídia social e digitalização.

Já FIEC (2015), citado por Klinc e Turk (2019), divide as tecnologias da Indústria 4.0 em: (i) produção industrial, que é representado pela pré-fabricação, automação, manufatura aditiva, entre outros; (ii) robótica, com a missão de realizar processos recorrentes e/ou processos inseguros, também é representando pelo uso de drones para levantamentos ; e (iii) canteiros de obras controlados digitalmente através da interconectividade de maquinário, sensoriamento de equipamentos, utilização do BIM, obtendo uma obra mais dinâmica e com menos erros.

Alaloul *et al.* (2018b), Maskuriy *et al.* (2019a) e Oesterreich e Teuteberg (2016) apresentam os benefícios da Indústria 4.0 na Construção Civil. Esses envolvem economia de custo e tempo com entregas dentro do prazo e do orçamento, melhoria da qualidade do produto, comunicação e colaboração eficazes, melhoria no relacionamento com clientes, eficiência nas medidas de segurança, melhoria na imagem da indústria e garantia de sustentabilidade.

Ainda que possua benefícios, algumas adversidades são enfrentadas nessa revolução industrial, como tempo alto para adoção das tecnologias, alto custo de implementação, necessidade de mudanças organizacionais e de processo, necessidade de mão de obra qualificada e aceitação pelos funcionários, possibilidade

de furtos de dados e possibilidade de alteração nas regulamentações e contratos (ALALOUL *et al.*, 2018b; MASKURIY *et al.*, 2019b; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016), questão da falta de incentivo do governo para as pequenas e médias empresas (ALALOUL *et al.*, 2018c), gestão do conhecimento, falta de padrões e arquiteturas de referência, requisitos mais elevados para equipamento de informática e melhoria nas redes de comunicação existentes (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Apesar de ser confundido com a Construção 4.0, o *Building Information Modeling* (BIM), é considerada uma das ferramentas para a digitalização da Construção Civil, mas não a única (KLINC, ROBERTO; TURK, 2019; MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Assim como a definição de Indústria 4.0 na Construção Civil apresentada nesse trabalho, o BIM também envolve todo o ciclo de vida de uma construção, por meio do gerenciamento dela. Dessa forma, essa ferramenta é utilizada para gerir as informações de um projeto, por meio de uma representação virtual do mundo físico, como o gêmeo digital (ISIKDAG; UNDERWOOD, 2010). O BIM pode ser caracterizado em cinco pontos: visualização, coordenação, simulação, otimização e capacidade de plotar, auxiliando a redução de falhas de planejamento, estimação de custos, sugere modificações e fornece cálculos rápidos (ALALOUL *et al.*, 2018c). Maskuriy *et al.* (2019a) afirmam que o BIM pode ser otimizado no estágio construtivo pelas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Internet de Serviços (IoS), Inteligência Artificial (AI), *Big Data* e aplicativos de produção inteligentes, auxiliando no monitoramento de todo o canteiro de obras.

Com a tecnologia BIM implementada na Construção Civil, a melhoria da qualidade do projeto e na compreensão do projeto, o fornecimento de dados do ciclo de vida de projeto, visualização dos conflitos de projeto, aceleração do processo de projeto, redução de custos da construção, melhoria no controle de custos, planejamento e monitoramento de construção, comunicação mais eficiente, melhoria no desempenho de segurança e imagem organizacional, são benefícios que poderão ser obtidos (CHAN; OLAWUMI; HO, 2019). Embora auxilie a Construção Civil de forma a melhorar a produtividade da construção pelo uso de tecnologias que facilitam a gestão de projetos, os mesmos autores ainda apontam algumas barreiras para utilização do BIM nesse setor, que vão desde pessoal qualificado até a necessidade de computadores com desempenho necessário. Alto custo inicial, falta de experiência, interoperabilidade insuficiente de software, falta de treinamento, resistência às

mudanças, fraca colaboração entre os participantes do projeto, estrutura organizacional que não suporta BIM, falta de subcontratados que possam utilizar essa tecnologia, risco de segurança, falta de padrões da indústria, dificuldades em medir os impactos do BIM e escassez de dados de implementação BIM na fase de construção, são as dificuldades levantadas na literatura (CHAN; OLAWUMI; HO, 2019).

A Construção 4.0 absorveu várias tecnologias vindas da Indústria 4.0, como computação em nuvem, inteligência artificial, *Big Data*, robótica, Internet das coisas, entre outras que serão apresentadas a seguir.

A computação em nuvem é uma área em ascensão na construção civil, Bello *et al.* (2021) apontam benefícios que essa tecnologia apresenta para esse setor. Benefícios econômicos é o primeiro, já que proporciona acessos a infraestrutura computacional de ponta a ponta, aumentando a agilidade de entrega de projetos e eliminação de custos de propriedade e operacionais. Através de computadores de alto desempenho e com baixo custo, a computação em nuvem viabiliza a escalabilidade sob demanda em recursos de computação nessa indústria. Também garante a segurança dos dados, visto que, a criptografia, software de segurança atualizados, cobertura de segurança cibernética e auditorias de segurança, estão incluídas nessa tecnologia. Além disso, os custos para essa segurança em rede interna de servidores são muito aquém aos serviços em nuvem. Os projetos de construção civil, assim como as tecnologias utilizadas nele, geram uma elevada quantidade de dados. Dessa forma a computação em nuvem permite o armazenamento massivo desses. E por fim, permite a prática colaborativa, pois possui as informações de forma centralizada e atualizada e disponíveis para todos os envolvidos.

Apesar dos benefícios que a computação em nuvem proporciona à construção civil, alguns desafios ainda precisam ser superados para sua plena implantação. Como a latência, já que algumas condições dessa indústria exigem respostas em tempo real. Confiança, privacidade de dados e segurança também necessita de melhorias, visto que podem acontecer vazamentos de dados por meio de clientes ou acessos remotos dos funcionários. Também é necessário observar a disponibilidade de dados, que pode ser afetada, por exemplo, quando os serviços do provedor de nuvem forem encerrados. A gestão de dados também é apontada na literatura, sendo necessário uma gestão contratual desses. A falta ou má conectividade de banda larga em canteiros de obra também influenciam nessa tecnologia, já que esse serviço é

fornecido via internet. Contrapondo com um dos benefícios, o custo da computação em nuvem de uso de longo prazo pode ser alto. Outra melhoria necessária que é descrita é a obtenção de dados que não geram informações, que são coletados apenas para cumprir protocolos. Finalmente, ameaças do *Edge Computing* e outras tecnologias associadas, visto que a indústria da construção civil tem a necessidade de alguns tempos de resposta rápidos que a computação em nuvem centralizada não consegue atender (BELLO *et al.*, 2021).

Assim como em outras indústrias, a inteligência artificial tem sido estudada na construção civil. Em sua pesquisa, Darko *et al.* (2020) apontam que alguns estudos já estão mais avançados relacionando esses dois pontos, como otimização e algoritmos genéticos, redes neurais, simulação, incerteza, lógica fuzzy, conjuntos difusos, aprendizado de máquina e gerenciamento de projeto, aplicados principalmente em melhorias de processos gerenciais nessa indústria, tais como: cronograma de projeto e levantamento de custos. Quando falado em planejamento de projetos Levitt, Kartam e Kunz (1989), afirmam que a inteligência artificial pode gerar planos de projetos, envolvendo toda a parte de concepção de projetos e ações que devem ser tomadas. Além disso, os autores ressaltam que essa tecnologia pode resolver as incertezas que estão no plano inicial e fazer um planejamento secundário com a eliminação desse empecilho.

Através da integração de dados e compartilhamento de informações em tempo real, o BIM e a IoT beneficiam a construção civil em vários aspectos. Tang, *et al.* (2019) reúnem em seu estudo algumas esferas em que essas tecnologias impactam esse setor, como (i) monitoramento e operação da construção por meio do monitoramento do ambiente local, monitoramento de recursos, comunicação e colaboração e desempenho da construção e monitoramento do progresso da construção; (ii) gestão de saúde e segurança que obtém informações sobre as condições dos equipamentos utilizados nas obras, além de dados sobre supervisão de funcionários e controle de riscos; (iii) logística e gerenciamento da construção envolvendo automação de pré-fabricados e construção enxuta; e (iv) gerenciamento de construções, atendendo o pós obra com controle de energia, manutenção e desempenho da construção e respostas ágeis a desastres e emergências.

Jia, *et al.* (2019) apresentam em seu estudo algumas utilizações de Internet of Things em edifícios inteligentes. São destacados por eles a utilização dessa tecnologia para rastreamento de ocupantes e recursos em edifícios, em que é possível

para uma pessoa obter a localização de locais por ela desconhecidos na edificação. Gerenciamento de energia, gestão de instalações e melhoria do conforto interno também são citados.

Apesar dos benefícios, a IoT ainda precisa de melhorias em alguns setores para que tenha sucesso em sua implantação na construção civil. Jia, *et al.* (2019) citam em seu estudo que segurança e privacidade é um problema, visto que a quantidade de dispositivos conectados à rede tem aumentado, tornando vulnerável a perda de dados e informações. Problemas em aquisição, processamento e armazenamento de dados também são citados, sendo necessário a captura de dados significativos para que seja possível extrair informações relevantes. Também são relatados problemas com viabilidade, adaptabilidade e praticidade, utilizando os conhecimentos da academia na indústria e vice e versa para que os sistemas se tornem mais fáceis de serem aplicados. Os mesmos autores ainda ressaltam que é preciso mais colaboração entre a comunidade de desenvolvedores de IoT e a indústria da construção visto que esses sistemas são utilizados para otimização de construções. Além de explorar mais oportunidades da IoT na fase de construções de edifícios.

Delgado *et al.* (2020) apontam a utilização de realidade virtual e realidade aumentada no setor da Construção Civil nos setores de: (i) engajamento das partes interessadas; (ii) suporte aos projetistas; (iii) revisão eficiente de projeto; (iv) suporte a construção por meio de planejamento da construção, monitoramento do progresso, segurança da construção e suporte operacional; (v) operações e gestão e (vi) treinamento. Essas aplicações são possíveis pois essas tecnologias são utilizadas para visualizar o produto acabado, além de acompanhar o progresso do projeto e auxiliar os trabalhadores nas etapas da construção. Porém, alguns desafios ainda são existentes para utilização total dessas tecnologias, como alto custo de investimento, falta de integração com outros sistemas, dificuldade em traduzir mudanças para projetos em BIM, baixa duração de bateria, dificuldade em arquivamento de dados, entre outros (DELGADO *et al.*, 2020).

Sabe-se que os dados obtidos na Construção Civil são utilizados a muito tempo, dado que os projetos estruturais são calculados por meio de dados da edificação, assim como os planejamentos de obras (LOYOLA, 2018). Como apresentado na seção 2, *Big Data* pode ser definido por volume, variedade e velocidade. Os 3Vs não visíveis na Construção Civil, já que os dados coletados nessa

indústria são habitualmente grandes, heterógenos e dinâmicos. Também, devido a forma de coleta e a quantidade de documentos que geram esses dados, tem-se um grande volume de informações (BILAL *et al.*, 2016).

Utilizando a classificação das integrações horizontais e verticais, propostas por Muñoz-La Rivera *et al.* (2020) o Quadro 1 sintetiza os trabalhos localizados na literatura que de alguma forma abordaram as integrações verticais e horizontais em seus estudos. Como explanado na seção 2.3, as integrações verticais são aquelas que integram todo o fluxo de dados dentro da empresa, enquanto a horizontal acontece por meio da rede de valor, integrando todos os parceiros da cadeia de produção da empresa (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

**Quadro 1 – Relações Verticais x Relações Horizontais**

		INTEGRAÇÃO HORIZONTAL								Integração Interna	
		Conceituação	Critérios de Projeto	Detalhes de Projeto	Documentos de Implementação	Coordenação	Construção	Operação e Manutenção	Demolição ou Renovação		
<b>Integração Externa</b>	Hossain e Nadeem (2019)		X	X		X	X	X	X		
	Maskuriy <i>et al.</i> (2019 a; b)	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Alaloul <i>et al.</i> (2018)		X	X			X	X			
<b>INTEGRAÇÃO VERTICAL</b>	<b>DIGITALIZAÇÃO E VIRTUALIZAÇÃO</b>	Maskuriy <i>et al.</i> (2019 a; b)								X	
		Forcael <i>et al.</i> (2020)								X	
		Oesterreich e Teuteberg (2016)	X	X			X	X	X		
		Muñoz-La Rivera <i>et al.</i> (2021)	X	X	X	X	X	X	X	X	
	<b>SIMULAÇÃO E MODELAGEM</b>	Maskuriy <i>et al.</i> (2019 a; b)									X
		Forcael <i>et al.</i> (2020)									X
		Oesterreich e Teuteberg (2016)	X	X			X	X	X		
		Muñoz-La Rivera <i>et al.</i> (2021)	X	X	X	X	X	X	X	X	
	<b>DOMÍNIO FÍSICO/FÁBRICA INTELIGENTE</b>	Maskuriy <i>et al.</i> (2019 a; b)									X
		Oesterreich e Teuteberg (2016)	X	X			X	X	X		
		Muñoz-La Rivera <i>et al.</i> (2021)	X	X	X	X	X	X	X	X	

Fonte: Autora

Nesse Quadro, alguns estudos com relevância no tema trataram da integração horizontal, mas não foram claros na relação entre ela e a vertical, dessa forma essas pesquisas foram classificadas como Integração Externa. Assim como o inverso também ocorreu e esses trabalhos que discutiram sobre a integração vertical, são apontados como Integração Interna.

O primeiro estudo apresentado no Quadro 1, trata do ciclo de construção, em que apresenta um passo a passo para que uma empresa se adeque à Construção 4.0, porém menciona apenas a integração horizontal. Nessa pesquisa, Hossain e Nadeem (2019) abordam desde mapeamento das estratégias da Construção 4.0, por meio de avaliação de maturidade, até o planejamento de um sistema sustentável, com utilização de ferramentas adequadas para o gerenciamento do ciclo de vida da construção. Maskuriy *et al.* (2019a, 2019b), discutem as integrações horizontal e vertical, mas de forma isolada, sem relacionar ambas. Esses autores apresentam as etapas de construção, linha 2 do quadro, e abordam os três pontos da integração vertical, apontando a importância desses itens na Construção 4.0. Já Alaloul *et al.* (2018) apontam tecnologias que podem ser utilizadas nas fases de construção.

O estudo de Forcael *et al.* (2020) cita tópicos da integração vertical, não abordam a relação com a horizontal. Apresentam tecnologias, mas não fazem relação com as etapas do projeto, porém apresentam alguns conceitos que podem ser adotados visando a Construção 4.0. Enquanto as pesquisas de Oesterreich e Teuteberg (2016) e Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) apresentam as relações da integração vertical com a horizontal, indicando métodos e tecnologias aplicadas a cada vínculo.

## **2.4 Síntese do Capítulo**

Esse capítulo apresentou uma revisão bibliográfica sobre Construção Civil no Brasil, apresentando a importância desse setor para a economia do país e a relação atual com as tecnologias habilitadoras da geração 4.0. Apesar dessa relevância, essa indústria ainda tem baixos investimentos e dificuldade de inovação. Ainda foram levantados os principais empecilhos que essa categoria enfrenta como a baixa qualidade de construção, atrasos de entrega, custos não planejados, entre outros.

Para que a Construção Civil possa mudar sua natureza conservadora e pouco inovadora, a Indústria 4.0 possui características e tecnologias que podem auxiliar nessa revolução. Dessa forma, foram discutidas as especificidades da quarta revolução industrial, tecnologias habilitadoras e os pilares dela que, diferentemente das outras revoluções industriais que focaram em apenas uma etapa da produção, está voltada para utilização de dados que influenciam em toda a cadeia produtiva.

Ademais, a Indústria 4.0 na Construção Civil, ou Construção 4.0, que remodela a construção, desde a criação do projeto até a demolição ou renovação da

obra, possui três domínios que precisam ser adequados para as empresas: digitalização e virtualização, simulação e modelagem e fábrica inteligente ou domínio físico. Para isso, o texto apontou a natureza desses campos e apontou quais tecnologias poderiam auxiliar nessa nova concepção da Construção Civil.

Com a pesquisa bibliográfica concluída, foi possível perceber a dificuldade de encontrar um passo a passo de aplicação da Construção 4.0. Dessa forma, foi definido o objetivo geral dessa pesquisa, buscando a solução da necessidade desse setor, a criação de um instrumento que auxilie a implantação da Construção 4.0 na indústria da Construção Civil.

### 3 METODOLOGIA

Neste Capítulo são descritas as sequências metodológicas utilizadas na construção do instrumento para o mapeados das tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas as etapas construtivas para as empresas se alinharem com a Construção 4.0. Neste sentido, buscou-se uma estrutura que facilitasse a interpretação e visualização pelas organizações, bem como a associação das etapas propostas com as realidades das atividades deste setor. Para isso, a metodologia *Design Science Research* (DSR) (PEFFERS *et al.*, 2007) foi adotada.

#### 3.1 Design Science Research

A missão do *Design Science* é solucionar problemas de construção e de melhorias de entidades existentes. Isso acontece por meio de desenvolvimento de conhecimento e aplicação com o objetivo de alcançar os resultados pretendido (VAN AKEN, 2004). Dessa forma, esse mesmo autor ressalta que a Construção Civil atua diretamente em problemas construtivos. Logo, este método é possível de ser utilizado para resolução de problemas da Construção Civil.

A maioria dos estudos encontrados na literatura de DSR, são voltados a sistemas de informação (TAKEDA *et al.*, 1990; SIMON, 1996; HEVNER *et al.*, 2004; PEFFERS *et al.*, 2007; WINTER, 2008; GEERTS, 2011). O estudo de Lacerda *et al.* (2013) apresenta outros trabalhos relacionados ao método apresentado. Porém, esse método pode ser replicado para outras áreas, como em Engenharia de Produção e em engenharias em geral (EEKELS; ROOZENBURG, 1991).

Dentre os trabalhos que apresentam a metodologia DSR, o método utilizado nessa pesquisa são os passos propostos por Peffers *et al.* (2007), já que esses autores apresentaram uma estrutura detalhada e baseada em pesquisas anteriores. Esse roteiro consiste em seis etapas:

- i. Identificação do problema e motivação – etapa em que o problema a ser resolvido é determinado e em que se justifica o valor de uma solução;
- ii. Definição dos objetivos para uma solução – momento em que são definidos os objetivos que podem ser alcançados com a solução, partindo da definição do problema e do conhecimento, determinando se é possível e viável;

- iii. Projeto e desenvolvimento – criação de artefatos, que podem ser constructos, modelos, métodos ou instancias. Nesse estágio, são determinados a funcionalidade, arquitetura e o real valor do artefato;
- iv. Demonstração – ocasião que acontece a demonstração do artefato para a solução do problema;
- v. Avaliação – observar e medir a capacidade que o artefato tem de sanar os problemas; e
- vi. Comunicação – fase utilizada para publicar as resoluções dos problemas por meio dos artefatos.

Dessa maneira, o estudo segue esses seis passos para atingir os objetos da pesquisa.

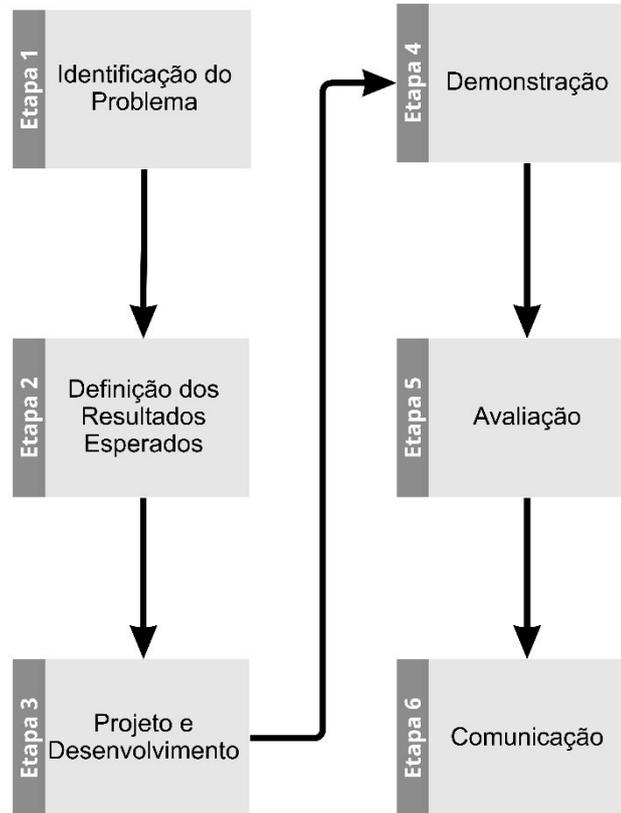
### **3.2 Metodologia do Trabalho**

Atendendo o primeiro tópico da metodologia DSR, conforme Peffers *et al.* (2007), a identificação do problema foi realizada por meio do referencial teórico desse estudo, cuja pesquisa bibliográfica identificou os conceitos da Indústria 4.0, a estrutura da Construção Civil e especificamente da Indústria 4.0 na Construção Civil, ou Construção 4.0. As constatações obtidas estão apresentadas no Quadro 1 (Capítulo 2), em que foram abordados os trabalhos relacionados conforme a integração do fluxo de dados na organização (integração vertical) e a integração da rede de valor da cadeia da construção (integração horizontal). Esta ação teve como objetivo mapear os processos construtivos usuais das empresas do ramo, em todo seu ciclo, e analisar e avaliar a melhor proposta para que as empresas se adequassem à Indústria 4.0 na Construção Civil.

Destacou-se também, os conceitos e as tecnologias associadas à Construção 4.0, definidas com o intuito de colaborar com a construção do instrumento que auxiliasse a implantação das tecnologias da Construção 4.0 em empresas do ramo. Com essas pesquisas, não foi identificado um instrumento que identifique as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 com potencial para serem utilizadas na Construção Civil, aplicadas a cada etapa de uma obra. Dessa forma, esta pesquisa propõe um mapeamento das tecnologias para auxiliar as empresas da Construção Civil, voltadas para edificações, a implantarem tecnologias da Indústria 4.0 nas etapas construtivas de uma edificação, facilitando o entendimento das tecnologias e como utilizar seus potenciais, promovendo melhorias e inovações nesse setor, atendendo

assim a Etapa 2 da DSR, definição dos resultados esperados. Para melhor entendimento, os passos do processo adotado na metodologia desse trabalho são apresentados na Figura 5.

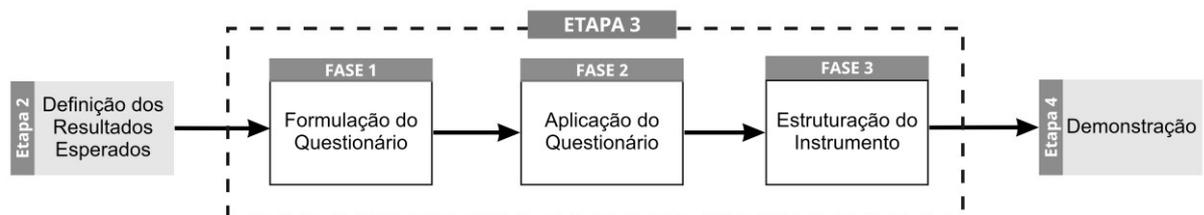
**Figura 5 – Etapas de desenvolvimento do Instrumento**



Fonte: Adaptado de Peffers *et al.* (2007)

Para atender a Etapa 3 – Projeto e Desenvolvimento, seguiu-se as fases definida na Figura 6: Formulação do Questionário, Aplicação do Questionário e Estruturação do Instrumento.

**Figura 6 – Fluxograma da Etapa 3 – Projeto e Desenvolvimento**



Fonte: Autora

Para atender a Fase 1 dessa etapa, a partir dos levantamentos bibliográficos realizados na Etapa 1 e da definição dos resultados esperados, realizou-se uma pré estruturação do instrumento, com as disposições das integrações horizontais e verticais, juntamente com as etapas construtivas, os *clusters* da integração vertical e as instâncias relacionadas a esses agrupamentos. Também, utilizando a categorização desenvolvida por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021), agruparam-se as tecnologias que podem ser empregadas nas etapas da integração vertical.

Porém, como o objetivo desse estudo é categorizar essas tecnologias nas etapas construtivas (critérios de projetos, detalhes de projeto, documentos de implementação, coordenação e construção), foi desenvolvido um questionário – Fase 2, que teve como objetivo coletar as a avaliação dos especialistas sobre a influência das tecnologias em cada fase do ciclo da Construção Civil, conforme as suas percepções e conhecimentos da área. Esse questionário foi encaminhado na forma de formulário eletrônico por meio de redes sociais e e-mail, com o objetivo de atingir o maior número de profissionais da área da Construção Civil e coletar o maior número de respostas possíveis.

Os respondentes/avaliadores analisaram o potencial de cada tecnologia em cada etapa de uma obra. As tecnologias foram associadas a uma escolha binária, sendo alto potencial ou associada e baixo potencial ou não associada, além de ter um espaço para o avaliador incluir alguma observação da utilização ou mesmo alguma limitação, com o objetivo de entender o contexto da resposta. Também, foi permitido que os participantes fizessem comentários sobre a influência das tecnologias no desenvolvimento de cada etapa da obra, como elas poderiam auxiliar o desempenho e quais as dificuldades de implantação. Para auxiliar os especialistas, foi desenvolvido um glossário com a explicação das tecnologias e com exemplos aplicados a Construção Civil, caso o pesquisado não tivesse total entendimento do tema. Esse glossário, assim como o questionário, está no Apêndice A e no Apêndice B, respectivamente.

Para a Fase 3 – Estruturação do instrumento, foi realizado o levantamento de todos os dados das respostas dos 25 participantes do questionário e os critérios de aceitação para a integração horizontal foram:

- Maior ou igual a 50% – Tecnologia associada a etapa construtiva;
- Menor de 50% - Tecnologia não associada a etapa construtiva.

Para as integrações verticais, além do agrupamento realizado por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) nos *cluster*, por meio das definições das tecnologias, a pesquisadora classificou-as nas instâncias, com o objetivo de criar o instrumento inicial para posterior avaliação de profissionais da área da Construção Civil.

O próximo passo, Etapa 4 – Demonstração, foi realizada por meio da explanação do mapeamento para cinco (5) profissionais da Construção Civil. Esses profissionais são quatro (4) engenheiros civis e um arquiteto e urbanista, com experiência na área de construção civil de 3 a 32 anos. São servidores públicos e privados, além de ter um docente participando. Esses profissionais foram escolhidos para que houvesse uma abrangência maior de opiniões, já que cada um tem diferentes experiências profissionais.

Nessa fase, foi salientada toda a estruturação do instrumento. As integrações horizontais, verticais e de ponta a ponta, além dos itens que compõe cada uma dessas integrações. Informado como foi construído por meio do referencial teórico, como foram associadas as tecnologias a cada etapa construtiva (questionário) e como foram classificadas as tecnologias nas instâncias da integração vertical.

Na Etapa 5 – Avaliação, esta foi realizada em conjunto a Etapa 4, os mesmos profissionais participaram da Demonstração (Etapa 4) e pela Avaliação (Etapa 5). Por meio de entrevistas semiestruturadas com cinco (5) profissionais da área da Construção Civil, foi analisado o instrumento proposto. Dessa forma, pelas visões dos profissionais contactados, foi verificado cada tecnologia na integração horizontal e na vertical, avaliando se as constatações vindas do questionário estavam de acordo com a opinião do avaliador, isso além da análise das tecnologias associadas a cada estágio da integração vertical. Também procurou-se identificar as facilidades e dificuldades enfrentadas, se alguma empresa fosse adotar a estrutura proposta e as contribuições pertinentes que os profissionais tiveram sobre o instrumento. Sendo assim, essa seção pode ser enquadrada na etapa de demonstração e avaliação da metodologia DSR.

Por fim, a Etapa 6 – Comunicação, se sucederá pela divulgação desses resultados por meio deste instrumento acadêmico e publicados em periódicos, após a avaliação desta pesquisa pelos especialistas da banca de defesa da dissertação. Essa etapa apresenta o rigor do projeto e a eficácia de sua aplicação, conforme descrito por Peffers *et al.* (2007).

### **3.3 Comentários do Capítulo**

Esse capítulo retratou a metodologia adotada no trabalho que teve como princípio a Design Science Research, descrevendo os passos para chegar ao resultado desse estudo. Foram detalhados também as Etapas e Fases seguidas no seu desenvolvimento. No capítulo seguinte são apresentados os desenvolvimentos, os resultados e as discussões acerca dessa pesquisa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente Capítulo são apresentados os resultados e as discussões dessa pesquisa, desde a criação do questionário até a avaliação final do instrumento desenvolvido para auxiliar as empresas da Construção Civil na transformação digital, se inserindo na Construção Civil 4.0. O desenvolvimento segue a sequência apresentada na seção metodológica.

### 4.1 Identificação do problema

Para identificar o problema dessa pesquisa, em conjunto com o capítulo 2, foram realizados levantamentos das tecnologias e técnicas abordadas pelos estudos disponíveis, no Quadro 1. Esses levantamentos, com as tecnologias associadas à Integração Vertical, podem ser observados no Quadro 2. No Quadro 3 estão apresentadas as tecnologias e conceitos relacionados à Integração Horizontal.

O Quadro 2 foi orientado à investigação das tecnologias citadas na literatura para os clusters da integração vertical: Digitalização e Virtualização, Simulação e Modelagem e Domínio Físico/Fábrica inteligente. Os autores convergiram em algumas tecnologias, como o contrário também aconteceu. Forcael *et al.* (2020) não abordou o cluster de fábrica inteligente em sua pesquisa, por isso não há tecnologias associadas em seu trabalho.

Já o Quadro 3, relata as conexões de conceitos e tecnologias com a integração horizontal. Nesse contexto, apenas o estudo de Hossain e Nadeem (2019) apresentou conceitos de implantação da Construção 4.0, enquanto Maskuriy *et al.* (2019b) e Alaloul *et al.* (2018) apontaram as tecnologias em cada etapa que é citada nas suas pesquisas.

Buscando organizar as informações para avaliação das tecnologias que participam das integrações horizontais e verticais, foi construído o Quadro 4, que estabelece uma relação entre as informações dos Quadros 2 e 3. Para isso, foram observadas as tecnologias citadas tanto na integração horizontal, quanto na vertical. Quando analisada a relação das etapas da construção, em cada um dos clusters verticais, as tecnologias se repetem em quase todo o ciclo, havendo poucas variações. Em contrapartida, quando se compara os cluster de cada item da integração horizontal, as tecnologias são diversificadas, apontando que, em uma mesma etapa, pode-se utilizar várias tecnologias, visando diferentes objetivos.

Quadro 2 – Tecnologias da Integração Vertical

Integração Interna Autores	Digitalização e Virtualização	Simulação e Modelagem	Domínio Físico/Fábrica Inteligente
<b>Maskuriy et al. (2019b)</b>	Computação em nuvem; Computação móvel; Mídia social; Digitalização.	Ferramenta de simulação e modelo; BIM; Realidade aumentada, realidade virtual e realidade mista.	Automação; Modularização de pré-fabricação; Gerenciamento do ciclo de vida do produto.
<b>Forcael et al. (2020)</b>	BIM	BIM	-
<b>Oesterreich e Teuteberg (2016)</b>	Computação em Nuvem; Big Data; Computação móvel; Mídia social; Digitalização.	Ferramentas de simulação/modelos de simulação; Modelagem de informações de construção; Realidade Aumentada (AR)/Realidade Virtual (VR)/Realidade Mista (MR).	Sistemas ciber-físicos/ Sistemas incorporados/RIFID; Internet das coisas/ Internet dos serviços; Automação; Modularização / Pré-fabricação; Fabricação Aditiva; Gerenciamento do ciclo de vida do produto; Robótica; Interação Humano-Computador (HCI).
<b>Muñoz-La Rivera et al. (2020)</b>	5G; Aplicativos móveis; computação móvel; Internet Industrial; Mídia Social, Verificação e auditorias automatizadas de regulamentação; <i>Big Data</i> ; <i>Blockchain</i> ; Computação em nuvem; Ambiente de dados comum; Ciber segurança; Compartilhamento de dados; Aprendizado profundo; Gêmeo digital; Computação de ponta.	Modelos e ferramentas de simulação; Inteligência artificial; Aprendizado de máquina; Mineração de dados; Redes neurais; Manutenção preditiva; Melhorar a utilização de ativos; Análise de Big Data; Realidade aumentada; Realidade virtual; Realidade mista; <i>Building Information Modeling</i> (BIM); Fotogrametria; Sistema de Informações Geográficas.	Fabricação de aditivos; Sistemas ciber-físicos; Assinatura digital; Sistema integrado; Interação Humano-Computador HCI; Internet das coisas IoT; Personalização em massa; Modularidade; e Scanner 3D; Construção fora do local; Gerenciamento do ciclo de vida do produto; Identificação de rádio frequência; Robótica; Autossustentabilidade e Autossuficiência; Sensores; Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos; Veículo Aéreo Não Tripulado; Tecnologia utilizável.

Fonte: Autora

**Quadro 3 – Conceito e Tecnologias da Integração horizontal**

Integração Externa Autores	Critérios de Projeto	Detalhes de Projeto	Documentos de Implementação	Coordenação	Construção
<b>Hossain e Nadeem (2019)</b>	Conceito de ponta a ponta da Construção 4.0; Valor do negócio; Colaboração com líder digital (universidade, outras organizações externas etc.).		-	Integração de dados BIM, objetivos gerenciais e colaboração das partes interessadas; Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina; Proteção de dados.	Tecnologias aditivas (fabricação digital, impressão 3D, uso de robô etc.).
<b>Maskuriy et al.(2019b)</b>	Manufatura Aditiva; Sistema Ciber Físico; Internet das Coisas; RFID; Computação móvel; Realidade Virtual Aumentada; GIS; Computação em nuvem; Big Data.				
<b>Alaloul et al. (2018)</b>	Big Data e Analytics; Simulação e Realidade Virtual, BIM, 3D Scanning, veículos aéreos não tripulados.		-	-	<i>Big Data e Analytics;</i> Simulação e Realidade Virtual, Interface de dispositivos móveis e Realidade aumentada, BIM, 3D Scanning, veículos aéreos não tripulados, sensores embutidos.

Fonte: Autora

Quadro 4 – Associação entre a Integração Horizontal e Vertical

		INTEGRAÇÃO HORIZONTAL				
		Crerios de Projeto	Detalhes de Projeto	Documentos de Implementação	Coordenação	Construção
INTEGRAÇÃO VERTICAL	DIGITALIZAÇÃO E VIRTUALIZAÇÃO	Computação em Nuvem; Computação Móvel; Big Data;	Computação em Nuvem; Computação Móvel; Big Data;	Computação em Nuvem; Computação Móvel; Big Data;	Computação em Nuvem; Computação Móvel; Big Data; BIM;	Computação em Nuvem; Computação Móvel; Big Data;
	SIMULAÇÃO E MODELAGEM	BIM; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Big Data;	BIM; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Big Data;	BIM; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Big Data;	BIM; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Big Data; Inteligência Artificial; Aprendizado de Máquina;	BIM; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Big Data;
	DOMÍNIO FÍSICO/FÁBRICA INTELIGENTE	Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-físicos; Internet da Coisas; RFID; 3D Scanning; Veículos Aéreos Não tripulados;	Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-físicos; Internet da Coisas; RFID; 3D Scanning; Veículos Aéreos Não tripulados;	Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-físicos; Internet da Coisas; RFID;	Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-Físicos; Internet da Coisas; RFID;	Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-Físicos; Internet da Coisas; RFID; Robótica;

Fonte: Autora

Quando da análise da integração horizontal associada a integração vertical, observa-se que as tecnologias são limitadas na literatura. Entre tantas tecnologias, esses vínculos ficam restritas a 16 tecnologias, as quais seguem: Computação em Nuvem; Computação Móvel; BIM; Internet das coisas; *Big Data*; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; GIS; Inteligência Artificial; Aprendizado de Máquina; Manufatura Aditiva; Sistemas Ciber-Físicos; Identificação de Rádio Frequência (RFID); 3D scanner; Veículos Aéreos não Tripulados; e Robótica.

Uma vez que o estudo de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) contemplaram as tecnologias apontadas pelos demais autores (Quadro 2, 3 e 4) e que nem todas estão relacionadas na associação das integrações (Quadro 4), para a estruturação do

questionário de avaliação das tecnologias, as 47 tecnologias com potencial aplicação da Construção Civil desse estudo foram adotadas.

A partir do levantamento bibliográfico, juntamente com o capítulo 2, não foi identificado instrumento que apresente as tecnologias da Indústria 4.0 com alto potencial para utilização na Construção Civil. Apenas alguns autores que apontam de forma sucinta e pontual as utilizações dessas novidades na CC. Sendo assim, foi identificada a necessidade da compilação de informações e disponibilizadas em forma de uma ferramenta que evidencie essas aplicações em cada etapa construtiva.

## **4.2 Definição dos Resultados Esperados**

Visto que literatura não apresenta uma ferramenta que auxilie o processo de seleção das tecnologias da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira, o resultado esperado para essa pesquisa foi a criação de um instrumento aplicado para a indústria da construção brasileira. O instrumento foi elaborado a partir de pesquisas bibliográfica e de percepções de especialistas da Construção Civil, adaptado à realidade nacional, já que algumas tecnologias ainda não são realidade no Brasil.

Também, outro resultado desejado é a investigação de viabilidade de implantação desse mapeamento em empresas de Construção Civil brasileiras. Analisando desde a cultura das empresas e de seus funcionários, a abertura para recebimento dessas informações, até a forma de abordagem para com organizações desse setor.

## **4.3 Projeto e Desenvolvimento**

Nesta seção são apresentados os resultados do projeto e desenvolvimento deste estudo. Sendo assim, a sequência de apresentação segue o Fluxograma apresentado na Figura 6.

### **4.3.1 Estruturação do Questionário**

A estruturação do questionário foi baseada nas 47 tecnologias relacionadas pelo estudo de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021). Como o objetivo dessa fase era avaliar o potencial de aplicação das tecnologias nas etapas construtivas, não foram considerados os *clusters* da integração vertical.

Dessa forma, considerando a abrangência para o ambiente de construção em si, e com as etapas voltada para as partes construtivas, foi elaborado um questionário associando cada tecnologia as etapas construtivas: Critérios de Projeto, Detalhes de Projeto, Documentos de Implementação, Coordenação e Construção.

O questionário intitulado “Percepção da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na Construção Civil” contou com 51 questões, com objetivo de coletar as opiniões dos especialistas sobre o potencial de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 em etapas construtivas da Construção Civil. As perguntas iniciais focaram no perfil profissional dos participantes e sua experiência, tendo como propósito traçar um perfil dos participantes.

Em uma segunda parte, foram incluídas as questões referentes às tecnologias. Essa parte as tecnologias foram associadas com as etapas de Critérios de Projeto, Detalhes de Projeto, Documentos de Implementação, Coordenação e Construção. Em cada pergunta havia uma breve definição associada a uma tecnologia (Apêndice A). Como o resultado era binário (associada ou não associada), era possível marcar mais que uma etapa em cada tecnologia. Além disso, havia um campo “Não está associada a nenhuma etapa” e um campo “Outros”, em que o participante poderia fazer qualquer observação que julgasse necessário.

#### 4.3.2 Aplicação do Questionário

O questionário foi aplicado pela plataforma *Google Forms*<sup>®</sup> no período de 13 a 23 de maio de 2022. Para divulgação desse instrumento, foram utilizadas as redes sociais WhatsApp, Instagram e LinkedIn e foi enviado e-mails aos egressos do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Pato Branco*, por meio da coordenação do curso. O questionário obteve 25 respostas.

Das 25 respostas, 21 (vinte e um) participantes são graduados em Engenharia Civil, enquanto 4 (quatro) são formados em Arquitetura e Urbanismo. Quanto a categoria de atuação, 80% (20 respostas) dos integrantes da pesquisa atuam no setor privado, de forma que o restante atua no serviço público. De modo que, três desses servidores públicos são docentes e dois engenheiros civis responsáveis pelas atividades da empresa que atuam. Já a população que atua na instância privada são engenheiros(as), arquitetos(as), empresários/proprietários e consultores técnicos. Em relação ao tempo de atuação na Construção Civil, a maioria, 40% dos participantes

possuem até 5 anos, 32% de 5 a 10 anos, 12% de 10 a 15 anos e 16% têm mais de 15 anos de atuação.

Como explanado no capítulo anterior, cada questão era pertinente a uma tecnologia e era indagado sobre o potencial de aplicação em cada uma das cinco (5) etapas construtivas. Como era possível assinalar mais de uma etapa em cada tecnologia a quantidade de votos é superior a quantidade de respondentes. Esses resultados em porcentual são apresentados no Quadro 5.

Na avaliação para seleção das tecnologias associadas a cada etapa construtiva, nos casos de ter sido indicada por 50% ou mais das respostas, a tecnologia foi considerada apta para aquele estágio. De forma que se tivesse menos de 50%, não era associada àquela etapa.

No Quadro 5 são apresentadas todas as tecnologias apontadas no questionário, além da porcentagem que foram consideradas, pelos especialistas, com potencial de utilização em cada etapa construtiva. Também, as últimas duas colunas do quadro são referentes as tecnologias que não estão associadas a nenhuma etapa e que o pesquisado não tinha conhecimento delas. Como não houve quaisquer comentários sobre as tecnologias, no Quadro 5 não apresenta o item observação apontado no Capítulo 3.

**Quadro 5 – Respostas do Questionário**

		ETAPA						
		Critério de Projetos	Detalhes de Projeto	Documentos de Implementação	Construção	Coordenação	Não Está Associada	Não Tem Conhecimento
TECNOLOGIA								
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	64%	60%	28%	60%	64%	8%	0%
	Construção Fora do Local	52%	76%	20%	76%	80%	0%	0%
	Customização em Massa	72%	68%	20%	44%	48%	0%	0%
	Digital Signage	28%	32%	40%	64%	76%	8%	0%
	Gestão da Cadeia De Abastecimento	36%	32%	24%	64%	96%	0%	0%
	Identificação de Rádio Frequência	12%	16%	8%	68%	88%	4%	0%
	Interação Humano-Computador	52%	76%	52%	36%	72%	4%	0%
	Internet das Coisas	44%	64%	32%	60%	76%	4%	0%
	Manufatura Aditiva	16%	56%	12%	60%	36%	8%	0%
	Modularidade	44%	64%	28%	64%	80%	0%	0%
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	64%	60%	32%	64%	84%	4%	0%
	Robótica	28%	32%	4%	68%	36%	4%	0%
Scanner 3D	32%	60%	16%	60%	60%	4%	0%	

TECNOLOGIA		ETAPA						
		Critério de Projetos	Detalhes de Projeto	Documentos de Implementação	Construção	Coordenação	Não Está Associada	Não Tem Conhecimento
	Sensores	24%	28%	24%	76%	80%	4%	0%
	Sistemas Embarcados	24%	24%	12%	60%	56%	8%	0%
	Sistemas Ciber-físicos	44%	56%	36%	68%	84%	4%	0%
	Tecnologia Vestível	12%	8%	4%	48%	80%	4%	0%
	Veículo Aéreo Não Tripulado	32%	32%	28%	60%	88%	4%	0%
Simulação e Modelagem	Análise de <i>Big Data</i>	24%	32%	16%	24%	72%	12%	0%
	Aprendizado de Máquina	64%	64%	44%	32%	72%	0%	0%
	Fotogrametria	48%	52%	28%	44%	76%	8%	4%
	Inteligência Artificial	44%	76%	28%	52%	76%	4%	0%
	Manutenção Preditiva	48%	60%	20%	48%	76%	4%	0%
	Melhorar a Utilização de Ativos	28%	48%	28%	44%	60%	12%	4%
	Mineração de Dados	32%	28%	20%	32%	44%	12%	4%
	Modelagem de Informações de Construção (BIM)	64%	84%	52%	64%	80%	4%	0%
	Modelos e Ferramentas de Simulação	36%	64%	16%	56%	72%	4%	0%
	Realidade Aumentada (RA)	44%	76%	12%	68%	68%	4%	0%
	Realidade Mista (RM)	28%	56%	16%	68%	72%	4%	0%
	Realidade Virtual (RV)	40%	80%	16%	64%	56%	4%	0%
	Redes Neurais	48%	80%	40%	40%	60%	4%	0%
	Sistema de Informações Geográficas (GIS)	56%	64%	40%	40%	64%	8%	0%
Digitalização e Virtualização	5G	28%	32%	20%	64%	84%	8%	0%
	Ambiente de Dados Comum	48%	64%	64%	52%	76%	4%	0%
	Aplicativos Móveis	52%	56%	36%	72%	88%	8%	0%
	<i>Big Data</i>	20%	28%	28%	40%	72%	12%	0%
	<i>Blockchain</i>	28%	28%	56%	24%	64%	8%	0%
	Ciber Segurança	48%	44%	56%	28%	64%	16%	4%
	Compartilhamento de Dados	52%	60%	56%	52%	80%	4%	0%
	Computação de Borda	20%	28%	24%	52%	68%	4%	4%
	Computação em Nuvem	44%	64%	52%	60%	92%	0%	0%
	Computação móvel	40%	52%	44%	56%	80%	4%	0%
	<i>Deep Learning</i>	44%	48%	24%	48%	88%	4%	0%
	Gêmeo Digital	40%	76%	32%	52%	60%	4%	4%
	Internet Industrial	32%	48%	24%	64%	76%	4%	0%
	Mídia Social	48%	52%	36%	52%	76%	4%	0%
Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas	44%	48%	48%	44%	72%	0%	4%	

Fonte: Autora

Critérios de projeto que é o momento em que são definidos os pontos-chave da edificação, teve 10 tecnologias relacionadas a essa etapa construtiva, de forma

diversificada. Tecnologias dos três clusters da integração vertical participaram desse passo. Aplicativos móveis, Modelagem de Informações de Construção (BIM) e Construção Fora do Local, são exemplos das tecnologias associadas a essa etapa.

Vinte e oito (28) instrumentos foram relacionados com o momento de Detalhes de Projeto. Nessa etapa, pela opinião dos especialistas, participam desde ferramentas voltadas a utilização e aprendizagem por dados, até tecnologias orientadas a produção em massa. Das 28 tecnologias, 11 são de Simulação e Modelagem, 10 de Fábrica Inteligente e o restante de Digitalização e Virtualização.

A seção de Documentos de Implementação foi a que menos teve associação de tecnologias, apenas 7, que são: Interação Humano-Computador, Modelagem de Informações de Construção (BIM), Ambiente de Dados Comum, *Blockchain*, Ciber Segurança, Compartilhamento de Dados e Computação em Nuvem. Dessas, Interação Humano-Computador é do Domínio Físico, BIM é voltada para Simulação e Modelagem e as outras são de Digitalização e Virtualização. Esse estágio é correspondente a fase de aprovação de projetos em órgãos reguladores e, dessa forma, tecnologias que são mais voltadas ao projeto e à execução das obras não tiveram associação, segundo os especialistas.

A etapa que teve maior número de tecnologias associadas foi a etapa de coordenação que, das 47 tecnologias, apenas 4 não foram relacionadas a ela, sendo Customização em Massa, Manufatura Aditiva, Robótica e Mineração de Dados. Assim como explicado na metodologia desse trabalho, a Coordenação é uma fase construtiva que participa de todas as outras, já que para a construção de uma edificação de forma ideal, é essencial o controle de todo o processo.

Assim como a Coordenação e os Detalhes de Projeto, a Construção teve a maioria das tecnologias relacionadas. Essa etapa é aquela em que o edifício é construído de forma física, por isso, parte das ferramentas não associadas são aqueles voltados a Digitalização e Virtualização, como Análise de *Big Data*, Aprendizado de Máquina, *Deep Learning*, Mineração de Dados, entre outras.

De todas as tecnologias consultadas aos respondentes, duas delas apareceram em todas as etapas construtivas, Modelagem de Informações de Construção (BIM) e Compartilhamento de Dados. Isso coincide com a literatura, em que, no referencial teórico levantado, foi apresentado que o BIM já tem influência na elevada Construção Civil, assim como a importância do compartilhamento de dados

para a boa execução de uma edificação. Das 47 tecnologias, apenas Mineração de Dados não foi associada a nenhuma etapa construtiva.

Esse questionário buscou atender as ferramentas correlacionadas pelos especialistas com a Integração Horizontal do instrumento, não atendendo a Integração Vertical. Já a Integração Vertical da ferramenta inicial foi elaborada por meio de revisão bibliográfica e posteriormente avaliada na Etapa 5 dessa pesquisa.

#### 4.3.3 Construção do Instrumento

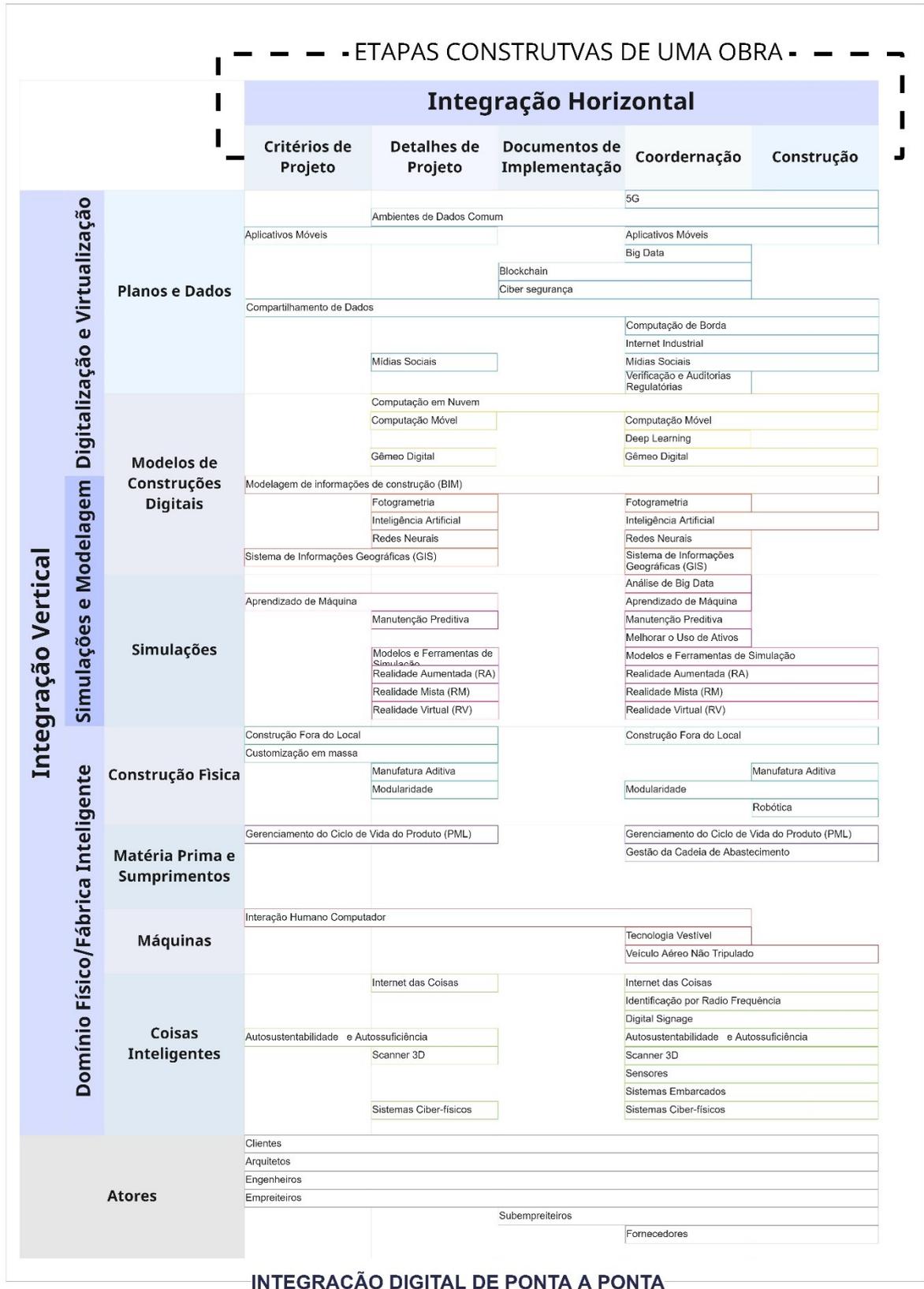
Com base nas informações levantadas no questionário, nas pesquisas bibliográficas e em conjunto com a proposta de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) a Figura 7 expõe o mapeamento proposto (Etapa 3). Para criação desse instrumento foram utilizadas as 46 tecnologias apontadas pelos especialistas no questionário, excluindo a tecnologia de Mineração de Dados que não foi associada a qualquer etapa.

Juntamente com o resultado do questionário que abrange as considerações dos avaliadores, as pesquisas bibliográficas e as delimitações do estudo, a criação do instrumento dessa pesquisa, respaldou-se no *framework* proposto por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) e em seus domínios. Apesar de outros autores apresentarem estudos voltados à Construção 4.0, o *framework* proposto por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) apresenta uma relação entre integrações verticais e horizontais em um ciclo de vida de uma construção, além de ter como objetivo delimitar o quê, quem e como o ciclo construtivo vai acontecer, incorporando profissionais-chave, tecnologias e informações relevantes para que o processo aconteça. Eles abordam desde a concepção até a demolição ou renovação, relacionado com os três domínios da Construção 4.0 adotados por estes autores: (i) digitalização e virtualização; (ii) simulação e modelagem; e (iii) domínio físico. Também, esses autores apresentam uma gama de tecnologias da Indústria 4.0 que podem ser aplicadas na Construção Civil.

Com essas informações, foi concebido o instrumento com os conceitos, tecnologias, recursos e atores de cada etapa de uma construção, iniciando pelos critérios de projeto e finalizando com a construção. Quanto ao *framework* original, proposto por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021), as etapas de conceituação de projeto, operação, manutenção, demolição e renovação deixaram de constar da estrutura proposta. O objetivo deste estudo foi focar especificamente nas tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas as etapas construtivas para auxiliar a implementação da

Construção 4.0 nos ambientes de obras. Com isso, a pesquisa visou os estágios usuais dos ciclos específicos das construções (fábrica da Construção Civil).

Figura 7 – Instrumento Proposto



Fonte: Autora

O instrumento dessa pesquisa é composto pelas três integrações: horizontal (ALALOUL *et al.*, 2018c; HOSSAIN; NADEEM, 2019b; MASKURIY *et al.*, 2019b; MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021), vertical (FORCAEL; FERRARI; OPAZO-VEGA, 2020; MASKURIY *et al.*, 2019b; MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016) e digital de ponta a ponta da engenharia (MUÑOZ-LA RIVERA *et al.*, 2021; OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016), como apresentado na Figura 8.

**Figura 8 – Integrações do Instrumento**



**Fonte: Autora**

A integração horizontal é referente ao ciclo de uma construção, começando em Critérios de Projeto, em que são definidas as características do projeto, o *briefing* da obra. Em seguida, tem-se os Detalhes de Projeto que é o momento em que são definidos a arquitetura externa do projeto, além dos projetos complementares. A próxima etapa é a Documentação de Implementação na qual são emitidas todas as documentações para que a obra possa acontecer, como aprovação no órgão regulador, prefeituras, licenças ambientais, documento de responsabilidade técnica, entre outros. E por fim, a construção propriamente dita, momento em que a edificação é construída. Juntamente com todas essas fases, conta-se com a coordenação da obra, que é essencial em todo o processo de uma construção, participando de todas as etapas. Essa integração é caracterizada pela transparência de todos os detalhes da construção, além da coleta de informações.

Já a integração vertical, é responsável por conectar todos os atores da construção, instâncias envolvidas, de forma a ter identificações e reações rápidas a problemas. Para isso, conforme a literatura apresenta, essa integração foi dividida em três domínios: Digitalização e Virtualização, Simulação e Modelagem e Domínio Físico

ou Fábrica Inteligente. Esses itens foram definidos no Capítulo 2.3. Além disso, esses domínios são compostos de estágios que acontecem no decorrer do ciclo da obra. Na Digitalização e Virtualização ocorre o planejamento e os dados da obra e os modelos de construção digital, que também ocorre na Simulação e Modelagem, que também abrange as simulações. E o Domínio Físico ou Fábrica Inteligente, tem construção física, matéria-prima e suprimentos, máquinas e coisas inteligentes, que compõem esse domínio. Essa integração tem a função de determinar as ações para que a construção ocorra.

A integração digital de ponta a ponta ocorre em toda a cadeia de valor e no fluxo de dados da empresa, abrangendo a integração vertical e horizontal. O objetivo da Integração de ponta a ponta é fornecer uma engenharia digital em todas as etapas da edificação. É responsável pela melhoria contínua de uma edificação, de maneira a proporcionar processos mais flexíveis por meio das colaborações constantes. Isso acontece pois existe a inclusão e transparência de todos os setores envolvidos na obra. Visando proporcionar o design, o desenvolvimento e a construção integrada, essa integração promove uma versão digital de toda a construção, obtendo o controle total sobre a obra, como planejamento e monitoramento das tarefas, controle financeiro e de tempo e antecipação de tomada de decisão, entre outros. Dessa forma, ela incorpora toda a estrutura do instrumento proposto. Essas integrações englobam as pessoas comprometidas no projeto, as etapas da construção e as tecnologias envolvidas.

Os *clusters* da integração vertical foram divididos em categorias, conforme proposto por Muñoz-La Rivera *et al.* (2021). Essa separação se deve à pesquisa focar na implantação da Construção 4.0 especificamente na fase de obras.

O domínio de Digitalização e Virtualização foi decomposto em Planos e Dados e Modelos de Construções Digitais. O primeiro corresponde ao planejamento digital da obra e os dados obtidos em sua execução, além de outras informações importantes para o bom andamento dessa, inclusive a documentação física. A segunda, que também participa do *cluster* de Simulação e Modelagem, é o modelo digital dinâmico da obra, que ocorre em todo o ciclo da construção. Simulações, que faz parte do segundo grupo, é caracterizado pela simulação de toda a obra, possibilitando cálculos necessários para tomada de decisão, incluindo todos os projetos complementares, ou os quais são indispensáveis para a construção em si.

Já o Domínio Físico ou Fábrica Inteligente atende a construção física, que diz respeito à construção do edifício e suas obras complementares, matéria-prima e suprimentos, necessários para o andamento da obra, máquinas, para cada etapa da obra, e coisas inteligentes, que participa da coleta de dados no ambiente, por meio de elementos eletrônicos.

Como o questionário atendeu apenas a integração horizontal, para definição das tecnologias em casa subitem da integração vertical foi utilizado os conceitos e definições de cada tecnologia. Dessa forma, a definição da posição delas no instrumento foi pela consideração da autora.

Além disso, tem-se os atores que colaboram ao longo do ciclo de construção que foram definidos pelos estudos de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) e Oesterreich e Teuteberg (2016). O primeiro estudo estabelece clientes, arquitetos, engenheiros, empreiteiros e subempreiteiros para todas as etapas dispostas no instrumento. Enquanto o segundo, aponta para etapa de critérios e detalhes de projeto, clientes, arquitetos, engenheiros e empreiteiros, na documentação de projeto, participam os mesmos anteriores adicionado os subempreiteiros, e na construção são incluídos no grupo de atores os fornecedores. Sendo assim, para esse estudo foi adotada a classificação de Oesterreich e Teuteberg (2016), já que ele atende parcialmente os atores existentes no estudo de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) além de possuir os fornecedores que são elementos importantes no ciclo.

#### **4.4 Avaliação do Instrumento**

A avaliação do instrumento aconteceu por meio de entrevistas semiestruturadas com cinco profissionais da Construção Civil. Ocorreram entre os dias 27 e 30 de junho de 2022, três delas foram presenciais e o restante com o auxílio de plataforma digital para reunião de forma síncrona. Os participantes possuem o seguinte perfil:

- Avaliador 1 – formação em Engenharia Civil, 4 anos de experiência, setor privado, responsável técnico das obras;
- Avaliador 2 – formação em Engenharia Civil, 10 anos de experiência, servidor público, responsável técnico;
- Avaliador 3 – formação em Engenharia Civil, 32 anos de experiência, servidor público, docente; e

- Avaliador 4 – formação em Engenharia Civil, 3 anos de experiência, setor privado, responsável técnico das obras;
- Avaliador 5 – formação em Arquitetura e Urbanismo, 5 anos de experiência, setor privado, responsável técnico das obras.

Os participantes concordaram em avaliar o instrumento e com a divulgação desses resultados de forma anônima. O roteiro da entrevista semiestruturada está no Apêndice C.

No início de cada entrevista foi explicado o que era o instrumento, para que ele servia e o que eram as integrações apresentadas nessa ferramenta. Além de explicar como as tecnologias ficaram alocadas da forma apresentada no Apêndice 3, item 4.3.2 desta dissertação. Também foram explicadas as delimitações da pesquisa, como o instrumento é voltado para o setor de edificações da CC e que é voltado para a indústria brasileira.

Dessa forma, os avaliadores iniciaram a avaliação na análise das etapas construtivas, se eles estavam de acordo com a classificação, se sentiram falta de alguma etapa ou retirariam alguma, sempre com a informação que esse instrumento é voltado para as etapas construtivas, sem considerar o pós-obra. Os avaliadores 1, 4 e 5 enfatizaram a importância de ter uma etapa de custos e orçamentação nessa integração. E o que foi consenso entre os avaliadores é que a coordenação deve participar do início ao fim da obra, em conjunto com todas as etapas.

Já quando abordado sobre a integração vertical, a análise dos *clusters* e das subdivisões deles, apenas o avaliador 3 ressaltou a importância da instância de Simulação atender também ao acompanhamento da evolução da obra, planejado versus executado. O restante dos itens não teve quaisquer comentários, concordando assim, com o proposto.

As duas próximas questões foram relacionadas as tecnologias tanto na integração vertical, quanto na horizontal. Dessa forma, para facilitar o andamento da entrevista, elas foram respondidas em conjunto visto que se tratava da mesma tecnologia nas etapas construtivas e nas instâncias relacionadas.

O Quadro 6 apresenta as percepções dos avaliadores associando as tecnologias com as instâncias dos três *clusters* propostos na ferramenta. Domínio Físico/Fábrica Inteligente; e Simulação e Modelagem; e Digitalização e Virtualização.

Para facilitar o entendimento dos resultados foi adotada a seguinte nomenclatura nas instâncias nos *clusters* da integração vertical:

- 1 - Planos e Dados;
- 2 - Modelos de Construções Digitais;
- 3 - Simulações;
- 4 - Construção Física;
- 5 - Matéria Prima e Suprimentos;
- 6 - Máquinas;
- 7 - Coisas Inteligentes.

No Quadro 6 estão apresentadas as respostas individuais de cada avaliador, juntamente com a instância proposta pelo instrumento inicial e aquela que foi adotada após as considerações feitas pelos avaliadores. O critério de associação foi, se a maioria dos avaliadores associavam a tecnologia à instância, era adotada como resultado.

**Quadro 6 – Tecnologias associadas as Integrações Verticais – Respostas Avaliadores**

TECNOLOGIA		AVALIADORES						
		01	02	03	04	05	Proposto	Adotado
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	7	7	7	7	7	7	7
	Construção Fora do Local	4	4	4	4	4	4	4
	Customização em Massa	4	4	4	2; 4	4	4	4
	Digital Signage	7	7	7	-	7	7	7
	Gestão da Cadeia De Abastecimento	5	5	5	5	5	5	5
	Identificação de Rádio Frequência	7	7	7	7	7	7	7
	Interação Humano-Computador	6	6	6	6	6	6	6
	Internet das Coisas		7	7	7	7	7	7
	Manufatura Aditiva	4	4	4	2; 4	4	4	4
	Modularidade	4	4	4	2; 4	4	4	4
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	5	5	5	2; 4; 5	5	5	5
	Robótica	4	4	4	4	4	4	4
	Scanner 3D	7	7	7	7	7	7	7
	Sensores	7	7	7	6; 7	7	7	7
Sistemas Embarcados	7	7	7	3; 7	7	7	7	

TECNOLOGIA		AVALIADORES					Proposto	Adotado
		01	02	03	04	05		
	Sistemas Ciber-físicos	7	7	7	-	7	7	7
	Tecnologia Vestível	6	6	6	6	6	6	6
	Veículo Aéreo Não Tripulado	6	6	6	6	6	6	6
Simulação e Modelagem	Análise de <i>Big Data</i>	3	3	3	-	3	3	3
	Aprendizado de Máquina	3	3	3	2; 3	3	3	3
	Fotogrametria	2	2	2	2; 3	2	2	2
	Inteligência Artificial	2	2	2	1	2	2	2
	Manutenção Preditiva	3	3; 4	3	2; 3	3	3	3
	Melhorar a Utilização de Ativos	3	3	3	4	3	3	3
	Modelagem de Informações de Construção (BIM)	2; 3	2	2	2; 3	2	2	2
	Modelos e Ferramentas de Simulação	3	3	3	2; 3	3	3	3
	Realidade Aumentada (RA)	3	3	3	2; 3	3	3	3
	Realidade Mista (RM)	3	3	3	2; 3	3	3	3
	Realidade Virtual (RV)	3	3	3	2; 3	3	3	3
	Redes Neurais	2	2	2	3	2	2	2
	Sistema de Informações Geográficas (GIS)	2	2	2	2; 3	2	2	2
	Digitalização e Virtualização	5G	1; 2	1	1; 2	1	1; 2	1
Ambiente de Dados Comum		1	1	1	1	1	1	1
Aplicativos Móveis		1	1	1	1; 2	1	1	1
<i>Big Data</i>		1	1	1	1	1	1	1
<i>Blockchain</i>		1	1	1	-	1	1	1
Ciber Segurança		1	1	1	1; 2	1	1	1
Compartilhamento de Dados		1	1	1	1; 2	1	1	1
Computação de Borda		1	1	1	1; 2; 3	1	1	1
Computação em Nuvem		2	2	1; 2	1; 2	1; 2	2	1; 2
Computação móvel		2	2	2	1; 2	1; 2	2	2
<i>Deep Learning</i>		2	2	2	1	2	2	2
Gêmeo Digital		2	2	2	2	2	2	2
Internet Industrial		1	1	1	2	1	1	1
Mídia Social		1	1	1	-	1	1	1
Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas	1	1	1	2	1	1	1	

Fonte: Autora

Logo, as tecnologias 5G e Computação em Nuvem foram associadas as instâncias de Planos e Dados e Modelos de Construções Digitais. De acordo com os entrevistados, isso se deve a possibilidade de ter acesso em qualquer lugar em tempo real de todo planejamento da obra e dos modelos digitais. Também, pela rapidez de comunicação que a 5G proporciona. Sendo assim, se todos os setores envolvidos tiverem acesso a esses documentos, resultaria em maior qualidade e eficiência de uma obra.

Uma observação ressaltada pelo Avaliador 4 foi a dificuldade de diferenciar Planos e Dados de Modelos de Construções Digitais, já que, para ele, um modelo de construção digital é um dado de planejamento de obra. Isso concorda com algumas tecnologias que foram associadas a mais de uma etapa no *cluster* Digitalização e Virtualização que é correspondente a esses setores, como Computação em Nuvem e Computação Móvel. Durante o processo da entrevista, alguns outros avaliadores ficaram nessa dúvida, porém em sua resposta final, adotaram apenas uma instância.

Analisando as duas últimas colunas do Quadro 6, instância proposta na ferramenta inicial e instância adotada após avaliações, percebe-se que apenas as tecnologias 5G e Computação em Nuvem tiveram alterações após avaliadas, as outras tecnologias foram confirmadas nas instâncias propostas. O Avaliador 3 salientou que a distribuição das tecnologias na integração vertical está de acordo com seu entendimento das tecnologias e das instâncias.

Quando da análise da integração vertical pelos pesquisados, em sua maioria, concordaram com a disposição proposta pela pesquisa. O Avaliador 4 foi o que mais divergiu quando citado sobre as associações, de forma que das 46 tecnologias, apenas 14 foram localizadas conforme o proposto no instrumento inicial. Das que esse pesquisado discordou, 11 foram completamente alteradas, enquanto 21 foram adicionadas em mais alguma instância, concordando parcialmente com o proposto. Em contrapartida, os Avaliadores 1 e 5 discordaram de três instâncias, o Avaliador 2 se opôs de apenas uma e o Avaliador 3 diferiu em duas.

Juntamente com essa análise, foram observadas as considerações da integração horizontal, ou seja, as tecnologias que fazem parte de cada etapa construtiva. Os Apêndices D, E, F, G e H retratam os pareceres de cada avaliador, do 1 até o 5, respectivamente. Já o Quadro 12 demonstra as tecnologias associadas em cada etapa, contabilizado a partir da maioria dos votos dos avaliadores.

O Avaliador 1 inseriu algumas tecnologias em mais etapas que não estavam associadas inicialmente, explanado no Apêndice D. Exemplo disso foi o *Big Data* em que foi adicionado nas etapas de critérios de projeto e detalhes de projeto, continuando em coordenação conforme a sugestão original. As tecnologias de Ambientes de Dados Comum, Aplicativos Móveis, Computação de Borda e Mídias Sociais, esse participante entende que participam de todo o processo, diferente do que havia sido proposto. Outras tecnologias que foram relacionadas a mais etapas foram Ciber Segurança, Verificação e Auditorias Regulatórias, Computação Móvel e Aprendizado de Máquinas. No entanto, não retirou qualquer participação das tecnologias da construção do instrumento original.

Dez tecnologias tiveram alterações, segundo o Avaliador 2, Apêndice E. Dentre essas, duas foram suprimidas de etapas. Modelagem de Informações de Construção (BIM) foi a primeira, que participava de todo o processo e o pesquisado entendeu que na etapa de Documentos de Implementação ela não participaria, já que esse estágio é relacionado a burocracias necessárias para a obra acontecer. E *Scanner* 3D que fazia parte de detalhes de projetos, coordenação e construção e foi retirada da primeira etapa citada, pois como essa tecnologia auxilia na reconstrução 3D de um elemento físico, ela funcionaria apenas após a execução da obra.

Já as tecnologias Mídias Sociais, Computação em Nuvem, Fotogrametria e Veículo Aéreo Não Tripulado foram adicionadas na etapa de critérios de projeto. Sistemas Embarcados também foi considerada em detalhes de projeto e Ciber Segurança, Manutenção Preditiva, Customização em Massa, Interação Humano-Computador e Tecnologia Vestível apareceram em construção, diferentemente da ferramenta proposta. O participante ressaltou que a Manutenção Preditiva seria adicionada à etapa de construção, porém participando da instancia de construção física.

O Avaliador 3 fez pequenas considerações sobre o instrumento proposto, entre elas, adicionou a tecnologia 5G nas etapas de critérios de projeto e detalhes de projeto, Melhorar o Uso de Ativos e Tecnologia Vestível na construção e Gestão da Cadeia de Abastecimento em detalhes de projeto, como demonstrado no Apêndice F.

As tecnologias *Big Data*, *Blockchain*, Mídias Sociais, *Digital Signage* e Sistemas Ciber Físicos não são tecnologias utilizáveis, segundo o Avaliador 4 Apêndice G. Apesar de ele ressaltar que possui uma pequena compatibilidade, ainda

não vê real utilização na Construção Civil. Também, a Auto sustentabilidade e Autossuficiência foi excluída das etapas de coordenação e construção.

Já a 5G, Computação de Borda e Veículos Aéreos não Tripulados foram adicionadas as etapas de critérios de projeto e detalhes de projeto. Além de incorporar a Computação em Nuvem e a Fotogrametria em critérios de projeto e Aplicativos Móveis, Computação Móvel e Gerenciamento de Ciclo de Vida do Produto em documentos de implementação. O *Deep Learning* foi modificado de coordenação para construção e a etapa de construção recebeu ainda Manutenção Preditiva, Melhorar o Uso de Ativos, Customização em Massa e Interação Humano-Computador, enquanto a Manufatura Aditiva foi alocada também em coordenação. Esses pontos estão demonstrados no Apêndice G.

Ademais, esse participante apontou que as tecnologias de Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Realidade Mista são mais utilizadas para venda do que para o ciclo construtivo de uma edificação.

Por fim, o Avaliador 5 acrescentou a tecnologia 5G nas etapas de detalhes de projeto e documentos de implementação, já que acredita que ela auxilia no contato ao desenvolver um projeto. Expandiu Fotogrametria, Sistemas de Informações Geográficas e Tecnologia Vestível para a etapa de construção. Além de adicionar Modularidade em critérios de projeto e Gestão da Cadeia de Abastecimentos para detalhes de projeto. Em contrapartida, retirou Sistemas Ciber Físicos da etapa de detalhes de projeto, assim como apresentado no Apêndice H.

Esse integrante reforçou a importância da Gestão da Cadeia de Abastecimento nos detalhamentos de projeto, dado que, nesse ponto, já é necessário ter conhecimento dos seus fornecedores pois são determinantes para a continuidade do projeto, e como consequência da obra.

Com as informações e sugestões coletadas por meio dos avaliadores das entrevistas, o Quadro 7 retrata a nova classificação das tecnologias associadas as etapas construtivas. Para alcançar esse resultado, foi comparado as orientações de todos os avaliadores, aquelas que tiveram maioria, assim como na integração vertical, foi adotada, de forma que aquelas que não tiveram maioria, foram descartadas.

Houve três modificações de tecnologias nas etapas e todas essas foram adicionadas a alguma etapa que não havia sido classificada na ferramenta proposta. A tecnologia 5G foi adicionada a etapa de detalhes de projeto e continuou naquelas

indicadas anteriormente, assim como Gestão de Cadeia de Abastecimento que teve a mesma percepção. Já a Tecnologia Vestível foi incorporada a etapa de construção.

Finalizado as considerações das tecnologias, foi questionado sobre os atores avaliadores do instrumento, considerando os clientes, arquitetos, engenheiros e empreiteiros que participam de todo o ciclo construtivo, além dos subempreiteiros que estão alocados a partir de documentos de implementação e fornecedores que estavam em coordenação e construção. A respeito dos agentes, as análises foram poucas, concordando com quase todos os avaliadores do ciclo.

Quadro 7 – Integrações Horizontais - Adotado

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X		X	X
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			
	Digital Signage				X	X
	Gestão da Cadeia De Abastecimento		X		X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X			X
	Modularidade		X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X		X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D		X		X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados				X	X
	Sistemas Ciber-físicos		X		X	X
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado				X	X
Simulação e Modelagem	Análise de Big Data				X	
	Aprendizado de Máquina	X	X		X	
	Fotogrametria		X		X	
	Inteligência Artificial		X		X	X
	Manutenção Preditiva		X		X	
	Melhorar a Utilização de Ativos				X	

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
	Modelagem de Informações de Construção (BIM)	X	X	X	X	X
	Modelos e Ferramentas de Simulação		X		X	X
	Realidade Aumentada (RA)		X		X	X
	Realidade Mista (RM)		X		X	X
	Realidade Virtual (RV)		X		X	X
	Redes Neurais		X		X	
	Sistema de Informações Geográficas (GIS)	X	X		X	
Digitalização e Virtualização	5G		X		X	X
	Ambiente de Dados Comum		X	X	X	X
	Aplicativos Móveis	X	X		X	X
	<i>Big Data</i>				X	
	<i>Blockchain</i>			X	X	
	Cíber Segurança			X	X	
	Compartilhamento de Dados	X	X	X	X	X
	Computação de Borda				X	X
	Computação em Nuvem		X	X	X	X
	Computação móvel		X		X	X
	<i>Deep Learning</i>				X	
	Gêmeo Digital		X		X	X
	Internet Industrial				X	X
	Mídia Social		X		X	X
Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas				X		

Fonte: Autora

Uma observação de quatro dos cinco respondentes foi sobre a participação dos fornecedores na etapa de detalhes de projeto. Assim como citado anteriormente na tecnologia de Gestão da Cadeia de Abastecimento, os fornecedores são essenciais na etapa de definição de detalhes do projeto visto que eles auxiliam na tomada de decisão, juntamente com os projetistas e clientes. Também, o Avaliador 2 entende que os subempreiteiros não participam da etapa de documentos de implementação.

O Avaliador 4 ressaltou a importância dos funcionários de uma obra que não atua diretamente com a construção, mas são essenciais para o bom andamento dela, como funcionários de recursos humanos de uma empresa, para contratação de mão

de obra e os colaboradores da limpeza, visando a organização da obra. Esses atores participariam da coordenação e da execução.

Outra ponderação feita foi relacionada a nomenclatura dos empreiteiros e dos subempreiteiros, visto que as empresas trabalham com os funcionários próprios e com os contratados, que no entendimento dessa pesquisa seriam os empreiteiros e subempreiteiros, respectivamente. Sendo assim, o Avaliador 3 argumentou que seria interessante rever esses nomes para não causar confusão.

Outro apontamento desse participante foi no tocante aos financiadores das obras que, por vezes, não é o cliente que paga por ela. Sendo assim, teria a participação de bancos financiadores, que também fazem parte das tomadas de decisão. Esses novos atores colaborariam nas etapas de detalhes de projeto e na coordenação.

As próximas indagações destinaram-se a visualização, apresentação e melhorias do mapeamento. Quando discutido sobre o entendimento do instrumento de forma visual, foi explanado que teria uma breve explicação sobre essa ferramenta de forma a embasar a ideia dela. Sendo assim, as recomendações partiram da representação gráfica da ferramenta, considerando as cores de linha que ficaram parecidas, dificultando a visualização das separações verticais. Também tiveram algumas considerações referente a falta de uma explicação da integração vertical como existe na integração horizontal (etapas construtivas de obra). No entanto, apesar dessas orientações, todos os avaliadores acharam o instrumento claro e de fácil entendimento.

Na ocasião em que se buscou os comentários e sugestões para a melhoria do instrumento, o Avaliador 3 apontou sobre a nomenclatura adotada nas etapas construtivas. Como ele possui amplo conhecimento em Gerenciamento de Obras, existem outras nomenclaturas adotadas pelos pesquisadores da área que se encaixariam mais quando relacionadas a gerenciamento. Além disso, enfatizou que a etapa coordenação, comentário feito por todos os avaliadores, corresponde a todo o ciclo construtivo e que o nome “acompanhamento” faria jus ao proposto nessa etapa. Já os Avaliadores 1 e 5 destacaram a importância de uma etapa de orçamentação, pois é um dos primeiros pontos levantados pelos clientes e, da mesma forma que outros avaliadores, que a coordenação faz parte de todo o processo.

As últimas avaliações solicitadas aos avaliadores destinaram-se a aplicabilidade e viabilidade de implantação desse instrumento. O consenso foi que

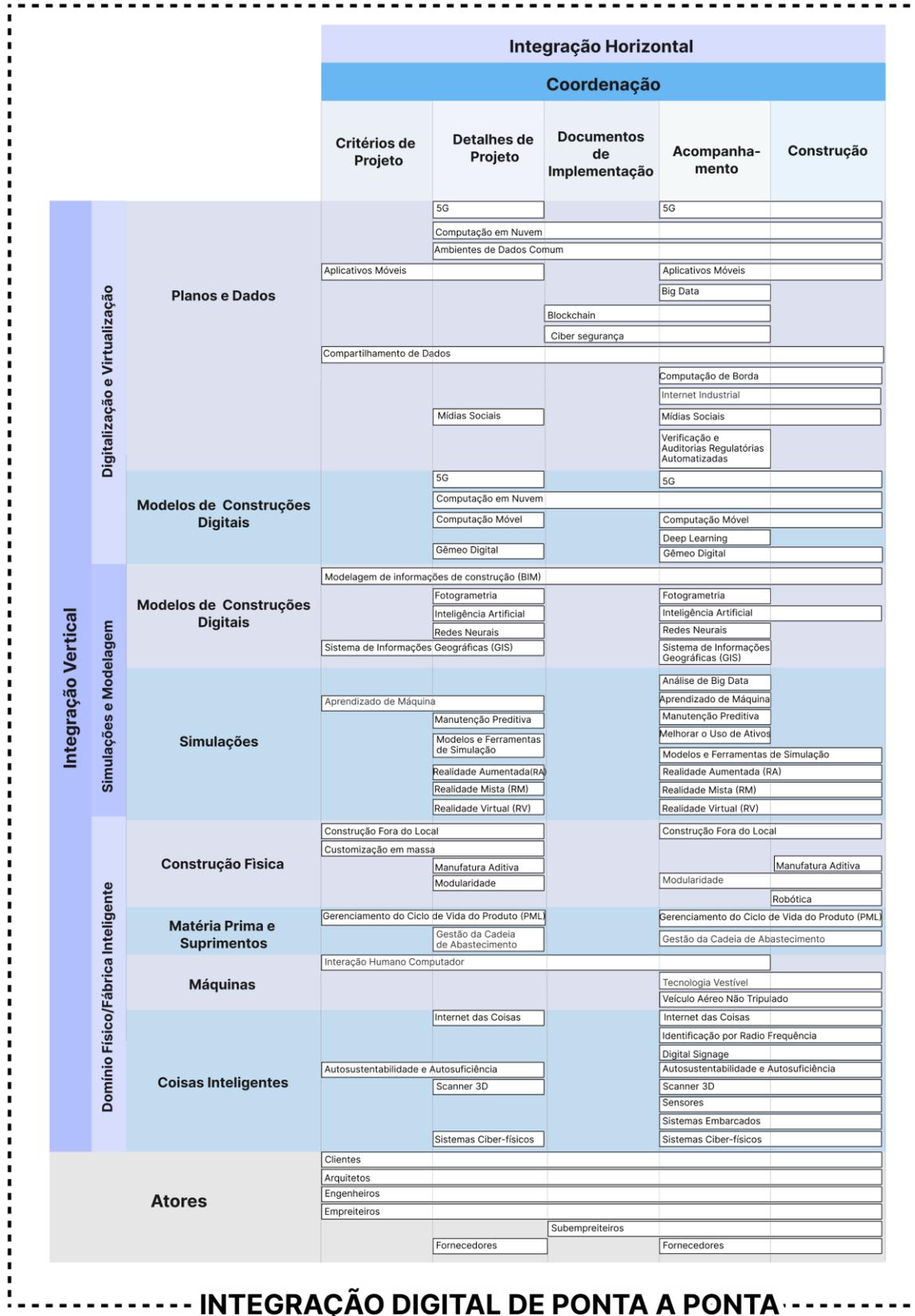
seria viável e aplicável em empresas executoras de grande porte, visto que ao contrário dessas, as obras de pequeno porte não teriam investimentos e nem o tempo necessário para utilização dessas tecnologias, assim como as obras de licitações.

As dificuldades apontadas de implantação desse instrumento orientaram-se a cultura das empresas e do funcionário, com resistência a mudanças e o entendimento da importância do gestor de obras, que participará de todo o processo. Todavia, os benefícios partem desde melhoria produtividade até redução e custos, auxiliando na comunicação entre as partes interessadas, já que a falta dela causa problemas que se estendem por toda a obra.

Dessa forma, para abordar uma empresa para implantação desse instrumento, os avaliadores argumentaram sobre a exposição do custo-benefício para a empresa, otimizando o tempo e reduzindo o custo, além de exemplos práticos que poderia demonstrar essa vantagem. Também, no instante da exposição do instrumento não tratar de todas as tecnologias, etapas e instâncias de uma só vez, mas sim apresentar aos poucos, iniciando por tecnologias mais conhecidas e em que momento as utilizar e posteriormente apresentar novos estágios de adequação.

Os resultados dessas entrevistas foram compilados e o instrumento foi reformulado e está apresentado na Figura 9. Os Quadros 6 e 7 resumiram as informações e formaram a base para o instrumento final dessa pesquisa.

Figura 9 – Instrumento Final



INTEGRAÇÃO DIGITAL DE PONTA A PONTA

Fonte: Autora

#### **4.5 Comunicação**

Visando a comunicação desse estudo, um artigo baseado nos resultados preliminares dessa pesquisa já foi submetido a um periódico internacional. Com a publicação em periódicos de reconhecimento nas áreas de Engenharia Civil e Engenharia de Produção, pretende-se dar a devida divulgação aos conhecimentos obtidos.

Também, essa dissertação será publicada na biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a qual possuirá acesso público. Além disso, terá divulgação pelos meios eletrônicos aos avaliadores da pesquisa e aos interessados a conhecer esse material.

#### **4.6 Análise dos Resultados**

Nesse capítulo serão apresentadas as análises dos resultados para a construção do instrumento para implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na Construção Civil.

Assim como apresentado no capítulo anterior, todos os cinco avaliadores apontaram para a viabilidade de implantação deste mapeamento em empresas e obras de grande porte, já que existe um grande investimento a ser feito para adotar cada etapa proposta. Dessa forma, esse estudo expôs o potencial que a Construção Civil tem de implantar o instrumento e pode ser considerada Construção 4.0, abandonando o conceito de uma indústria artesanal e defasada tecnologicamente.

Apesar de visualizarem a viabilidade, os profissionais da área demonstraram não dominar as 46 tecnologias abordadas. A compreensão da aplicabilidade, de parte das tecnologias, só acontecia quando era citado algum exemplo específico voltado à Construção Civil. No entanto, algumas como, Modelagem de Informação de Construção (BIM), Modelos e Ferramentas de Simulação, Aplicativos Móveis e Computação em Nuvem, eram de conhecimento de todos, mas nem todos as utilizam. Assim, mesmo sabendo que a maioria dos entrevistados são pessoas jovens e com menos de 10 anos de profissão, existe uma resistência em utilizar as tecnologias, sendo justificada pela falta de conhecimento.

Em contrapartida, demonstraram que se sentiram desatualizados com as possibilidades de melhorias existentes e com grande interesse de conhecer e de encontrar formas para adotá-las e seu ambiente de trabalho. Também reforçaram a

ideia de que, quanto mais pessoas jovens gerenciam essas empresas, maior a chance de implantação das tecnologias nesses ambientes.

Concordando com a literatura, no capítulo 2, os profissionais ressaltaram que as maiores dificuldades que podem ser enfrentadas quando da implementação das tecnologias são a cultura dos empresários, gerentes e funcionários, além do pensamento de curto prazo. Por isso, eles entendem que esse instrumento seria adequado para empresas de maior porte com obras de longo tempo de execução. Com essa visão, para que possa ser implantado, é necessário viabilizar o retorno do investimento em médio e longo prazo além de evidenciar o custo-benefício das tecnologias para as empresas.

Quando da análise das tecnologias nas integrações verticais e horizontais, ficou clara a dificuldade em diferenciar as instâncias de Planos e Dados e Modelos de Construções Digitais. Dado isso, o cluster, Digitalização e Virtualização foi o que teve as modificações de instâncias das tecnologias 5G e Computação em Nuvem.

Foi percebido também que as tecnologias Gestão da Cadeia de Suprimentos e Tecnologia Vestível foram aquelas que todos os avaliadores adicionaram nas etapas Detalhes de Projeto e Construção, respectivamente, em que não faziam parte da versão inicial da ferramenta.

A primeira tecnologia, quando executado a fase do questionário, na etapa de detalhes de projeto teve uma incidência de 32%, isso pode ser consequência da falta de conhecimento em gestão de obras, faltando o entendimento de que é essencial já conhecer seus fornecedores na etapa de detalhamento de projeto, o que também refletiu nos atores essenciais para uma obra acontecer. Já a segunda tecnologia, no momento da definição apresentada no questionário, o exemplo utilizado remetia a utilização dela na coleta de dados dos funcionários e, pela falta de conhecimento da tecnologia, os respondentes entenderam que ela participaria apenas na etapa de coordenação. Porém, quando feito a avaliação do instrumento e explicado mais a fundo sobre a tecnologia vestível, os avaliadores a adicionaram à etapa de construção também.

Algumas considerações que foram importantes ao ajustar o instrumento inicial são relacionadas a importância da coordenação durante todo o processo. Por isso a etapa coordenação foi transformada na etapa acompanhamento e a coordenação ficou sobreposta a todas as outras etapas construtivas, já que ela participa do início ao fim de uma obra. Isso concorda com a literatura e com a observação de um dos

avaliadores do instrumento que afirmou a importância de ter um gerente de projetos, para que o compartilhamento de informações aconteça entre todos os atores e instâncias envolvidas durante todo o processo.

Também, foram citadas várias vezes a questão financeira da obra, tanto orçamento, quanto os financiadores da obra. Entende-se que na etapa de detalhes de projeto já consta essa etapa de orçamentação, visto que para que uma obra ocorra conforme o planejado, é necessário que todos os processos sejam previstos, detalhados e orçados, além da etapa de coordenação que também precisa desses documentos para acompanhamento e controle de recursos. Porém, isso não ficou claro na apresentação do instrumento, já que a maioria dos entrevistados ressaltou essa informação.

Os atores que participam das etapas construtivas tiveram apenas uma modificação, em que os fornecedores foram inseridos também na etapa de detalhes de projeto. Contrapondo um dos avaliadores da entrevista que citou a importância de outros funcionários na obra, é de conhecimento que existem outros processos e pessoas necessários para que a obra ocorra, como por exemplo contratações de funcionários. Porém, como a delimitação desse instrumento era apenas as etapas construtivas e a obra, não foram considerados todos os processos além desses citados na ferramenta.

Os avaliadores eram funcionários do setor público e do setor privado e eram arquitetos e urbanistas e engenheiros civis. Apesar da expectativa e em encontrar diferenças pelos setores e áreas de atuação, os envolvidos mantiveram a orientação e linha de pensamento relacionado a viabilidade e forma de aplicação do mapeamento.

Por fim, essa ferramenta é um instrumento para orientação de empresas brasileiras de Construção Civil iniciarem seu caminho para a Construção 4.0. Apesar de os avaliadores entenderem que seria mais viável a aplicabilidade em empresas de grande porte, o entendimento da pesquisadora é que essa ferramenta pode também auxiliar empresas de pequeno e médio porte, sendo ajustadas às realidades encontradas.

Visto que o instrumento apresenta 46 tecnologias aplicadas a cinco etapas construtivas, é possível iniciar a utilização das tecnologias de forma adequada à realidade de cada empresa, não sendo preciso inserir todas as tecnologias de uma só vez. Dessa forma, os profissionais e as empresas podem inicializar utilizando algumas

tecnologias que estejam mais acessíveis, não necessitem de um grande investimento, e que melhorem seu processo construtivo de forma efetiva. Então, para empresas que procuram iniciar o processo de mudança para Construção 4.0, esse mapeamento pode ser um instrumento norteador, possibilitando um entendimento do progresso das construções, já que integra todos os participantes e as tecnologias utilizadas em uma obra, desde o projeto até a sua conclusão.

Também, para empresas que já empregam estas inovações, a ferramenta auxilia no entendimento de todo o processo de adequação das tecnologias nas etapas construtivas e sua estruturação. Como o instrumento disponibiliza uma gama de tecnologias, é possível entender quais são os próximos passos para melhoria do processo construtivo e integração de todos os envolvidos na obra, auxiliando no planejamento das ações.

E para empresas que já possuem alto índice de utilização de tecnologias, esta ferramenta ampara tecnicamente as suas adoções nas etapas construtivas, apresenta os participantes de cada uma delas, além de fornecer uma visão geral dos *clusters* em que as tecnologias se encaixam. Dessa maneira, essas empresas podem avaliar os seus processos de adequação à Construção 4.0 por meio das tecnologias, pessoas envolvidas e integração de informações e processos.

Esse instrumento, de modo geral, comporta tecnologias, etapas construtivas, instâncias e atores presentes num processo construtivo da Construção 4.0. É composto por três integrações: vertical, horizontal e digital de ponta a ponta. Essas integrações têm como objetivo desfragmentar o processo construtivo, de forma a dar mais agilidade e qualidade para as obras e, para que isso tenha efetividade, é preciso a comunicação entre todos os envolvidos na obra.

É importante ressaltar que esse instrumento apresenta apenas as tecnologias associadas a cada etapa de uma obra para adequação de uma construtora para Indústria 4.0. No entanto, é necessário um entendimento completo da Construção 4.0 pelos gestores de empresas da Construção Civil para aplicação dessa ferramenta. Isso, conforme abordado nas entrevistas, é uma dificuldade a ser enfrentada no processo de adaptação da Construção 4.0 em empresas brasileiras.

Na literatura são apresentadas as tecnologias da Indústria 4.0 com potencial aplicação na Construção Civil, porém não são relacionadas as etapas construtivas. Esse instrumento se diferencia de outras ferramentas encontradas na literatura, pois além de fazer a associação, ainda apresenta os *clusters* da integração vertical e as

pessoas que participam de todo esse processo construtivo. Dessa forma, auxilia empresas da Construção Civil brasileira a implantarem novas tecnologias em seus processos.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo principal desse trabalho foi criar um instrumento que auxiliasse as empresas de Construção Civil brasileiras a adotar as tecnologias da Indústria 4.0 em etapas construtivas de suas obras. Considera-se esse objetivo atingido, já que durante a avaliação do instrumento, os avaliadores afirmaram entender a viabilidade da implementação desse instrumento.

Em relação aos objetivos específicos desse estudo, mapear as tecnologias da Indústria 4.0 nas etapas construtivas da Construção Civil brasileiras, verificar a adequação nas etapas conforme a avaliação dos especialistas e entender as necessidades e dificuldades de implementação em empresas brasileiras, foram atendidos em sua totalidade. Esses objetivos foram atingidos no desenvolvimento desse trabalho.

Contudo, para atingir esse propósito houve algumas etapas que precisaram ser cumpridas. Para auxílio da formulação do instrumento de pesquisa foi necessário identificar as práticas de implementação da Indústria 4.0 na Construção Civil, essa parte foi atendida por meio da revisão de literatura. Assim como as tecnologias que já estão sendo utilizadas ou que possuem potencial para isso.

Para alcançar esses objetivos foi realizada uma revisão bibliográfica em que foram constatadas algumas pesquisas que tratavam da Indústria 4.0 na Construção Civil, porém em nenhuma delas havia um instrumento que orientasse empresas brasileiras desse setor para implementação dessas metodologias. Mas, entre os estudos encontrados, um se destacou pelo seu resultado e foi utilizado como base para essa pesquisa, que foi o estudo de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021), em que esses autores apresentavam um *framework* de Construção 4.0, em que explanaram as etapas construtivas (integração horizontal) e os três *clusters*: Digitalização e Virtualização, Simulação e Modelagem e Domínio Físico/Fábrica Inteligente (integração vertical). Tanto a integração horizontal, quanto a vertical foram apontadas por outros autores da literatura. Além disso, também apresentou as 47 tecnologias com potencial para serem adotadas na Construção Civil. No entanto, esse autor não associou as tecnologias com as etapas construtivas e nem com as instâncias relacionadas aos *clusters* da integração vertical.

Dessa forma, com base no artigo de Muñoz-La Rivera *et al.* (2021) foi elaborado um questionário para associar as tecnologias com as etapas construtivas

utilizadas nessa pesquisa: critérios de projeto, detalhes de projeto, documentos de implementação, coordenação e construção. A partir das respostas dos 25 avaliadores foi possível relacionar as tecnologias com cada etapa construtiva.

O próximo passo foi a criação do instrumento, para isso foi utilizando as revisões de literatura, as respostas dos questionários e as definições das tecnologias. O resultado da ferramenta inicial está na Figura 7. Na sequência foi feito uma rodada de avaliação do instrumento com cinco especialistas da Construção Civil. Nessa etapa foi avaliada as tecnologias tanto na integração horizontal, quanto na integração vertical. Também foi realizada uma análise da apresentação do instrumento, dos benefícios e das dificuldades de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 na Construção Civil. E por fim, foi considerado a viabilidade e na forma de aplicação desse instrumento nas empresas brasileiras de Construção Civil.

Houve poucas alterações da ferramenta proposta (Figura 7) para o instrumento final (Figura 9). A tecnologia 5G foi adicionada a etapa de Detalhes de Projeto e adicionada a instância de Modelos de Construções Digitais, assim como Computação em Nuvem também foi inserida em Planos e Dados. A tecnologia vestível foi estendida até a etapa de Construção e Gestão da Cadeia de Abastecimento foi adicionada a etapa de Detalhes de Projeto, da mesma forma que os fornecedores começaram a participar dessa etapa também. Além disso, a etapa de Coordenação passou a se chamar acompanhamento e a Coordenação foi realocada para acompanhar todas as outras etapas.

De acordo com os especialistas, esse instrumento demonstrou potencial para ser estabelecido em empresas de grande porte com obras com prazo mais estendido, já que é necessária uma visão a longo prazo para que se possa usufruir do custo-benefício que esse instrumento poderia oferecer.

Dessa forma, os objetivos específicos desse trabalho foram atingidos, assim como seu objetivo principal. Esse trabalho apresenta um instrumento para orientar empresas da Construção Civil a implementar tecnologias da Indústria 4.0 em etapas construtivas definidas, facilitando a evolução para alcançar a Construção 4.0.

Pretendendo colaborar com a continuidade dessa pesquisa, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Avaliar o grau de maturidade de empresas da construção civil em relação a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0;

- Aplicar algumas tecnologias em empresas brasileiras de construção civil, visando avaliar as melhorias que essas tecnologias podem oferecer;
- Estender esse estudo para as etapas pós construtivas;
- Identificar como implementar essas tecnologias em empresas desse setor;
- Avaliar o valor agregado devido ao uso das tecnologias da Indústria 4.0 pela Construção Civil;
- Utilizar a distribuição  $X^2$  para análise das respostas do questionário, aprimorando ainda mais esse estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMAT, A. B. da I. de M. de C.-. **Perfil da Indústria de Materiais de Construção**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/datafiles/publicacoes/ed2015final.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- ABRAMAT, A. B. da I. de M. de C.-. **Nota**. [s. l.], 2020a. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/nota>. Acesso em: 7 maio. 2021.
- ABRAMAT, A. B. da I. de M. de C. **Perfil da Cadeia Produtiva da Construção e da Indústria de Materiais e Equipamento Ed. 2020**. [s. l.], 2020b. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/datafiles/perfil-de-cadeia/laminaindicaadores-para-divulgaa-o-2020.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; WAN ZAWAWI, N. A.; MOHAMMED, B. S.; ADAMU, M. An Artificial neural networks (ANN) model for evaluating construction project performance based on coordination factors. **Cogent Engineering**, v. 5, n. 1, p. 1–18, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1507657>
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; ZAWAWI, N. A. W. A. Identification of coordination factors affecting building projects performance. **Alexandria Engineering Journal**, v. 55, n. 3, p. 2689–2698, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.06.010>
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; ZAWAWI, N. A. W. A.; KENNEDY, I. B. Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 11, n. 1, p. 225–230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; ZAWAWI, N. A. W. A.; MOHAMMED, B. S. Industry Revolution IR 4.0: Future Opportunities and Challenges in Construction Industry. *In*: 2018b, **MATEC Web of Conferences**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820302010>
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; ZAWAWI, N. A. W. A.; MOHAMMED, B. S. Industry Revolution IR 4.0: Future Opportunities and Challenges in Construction Industry. **MATEC Web of Conferences**, v. 203, p. 1–7, 2018 c. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820302010>
- ALBERTIN, M. R.; BUFALARI ELIENESIO, M. L.; DOS SANTOS AIRES, A.; JAGUARIBE PONTES, H. L. Principais Inovações Tecnológicas Da. **XXIV Simpósio De Engenharia De Produção**, n. November, p. 0–13, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321682376%0APRINCIPAIS>
- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16–21, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_003.004\\_0003](https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003)
- AZEVEDO, M. T. de. **Transformação Digital na Indústria : Indústria 4 . 0 e a Rede**

**de Água Inteligente no Brasil.** 2017. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2017.

BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, F.; PARTIAL, P.; MITIGATION, S.; INTERLEAVED, U.; CONVERTER, B. INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC. **Jurnal Teknologi**, n. June, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>

BALAGUER, C.; ABDERRAHIM, M. Trends in Robotics and Automation in Construction. **Robotics and Automation in Construction**, n. October 2008, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/5865>

BELLO, S. A.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; BILAL, M.; DAVILA DELGADO, J. M.; AKANBI, L. A.; AJAYI, A. O.; OWOLABI, H. A. Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103441, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103441>

BILAL, M.; OYEDELE, L. O.; QADIR, J.; MUNIR, K.; AJAYI, S. O.; AKINADE, O. O.; OWOLABI, H. A.; ALAKA, H. A.; PASHA, M. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 3, p. 500–521, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>

BJÖRK, B. Information technology in construction: domain definition and research issues. v. 1, n. 1, p. 1–16, 1999.

BUXMANN, P. D. P.; HESS, P. D. T.; RUGGABER, D. R. Internet of Services. **Business & Information Systems Engineering**, p. 341–342, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0066-z>

CBIC, C. B. da I. da C.-. **PIB Brasil e Construção Civil.** [s. l.], 2018. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 14 fev. 2021.

CBIC, C. B. da I. da C.-. **PIB reforça importância da construção civil para a retomada da economia.** [s. l.], 2020. Disponível em: [https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/09/informativo\\_economico\\_pib\\_2\\_trim\\_20.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/09/informativo_economico_pib_2_trim_20.pdf). Acesso em: 7 maio. 2021.

CBIC, C. B. da I. da C.-. **Boletim Estatístico-CBIC.** [s. l.], 2021a. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/emprego/emprego-formal-novo-caged-secretaria-especial-de-previdencia-e-trabalho>. Acesso em: 2 jun. 2021.

CBIC, C. B. da I. da C. **RESUMO CONTAS NACIONAIS: PIB e VAB TOTAL BRASIL, VAB INDÚSTRIA e VAB CONSTRUÇÃO CIVIL.** [s. l.], 2021b. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/home/>. Acesso em: 7 maio. 2021.

CHAN, D. W. M.; OLAWUMI, T. O.; HO, A. M. L. Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. August 2018, p. 100764, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100764>

CHIA, F. C. Construction and economic development: The case of Malaysia.

**International Journal of Construction Management**, v. 12, n. 1, p. 23–35, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15623599.2012.10773182>

CHOU, J. S.; NGO, N. T.; CHONG, W. K.; GIBSON, G. E. **Big data analytics and cloud computing for sustainable building energy efficiency**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100546-0.00016-9>

CONSTRUÇÕES, Revista Grandes. **Primeiro núcleo de engenharia e construção do Brasil tem implantação prevista para este ano**. 2021. Disponível em: <https://grandesconstrucoes.com.br/Noticias/Exibir/primeiro-nucleo-de-engenharia-e-construcao-do-brasil-tem-implantacao-prevista-para-este-ano>. Acesso em: 05 set. 2022.

CONTI, M.; PASSARELLA, A.; DAS, S. K. The Internet of People (IoP): A new wave in pervasive mobile computing. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 41, p. 1–27, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2017.07.009>

CORRÊA, D.; FILHA, M.; CRISTINA, A.; RIAL, É.; CRISTINA, A. Biblioteca Digital Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. **BNDES Setorial**, v. 31, p. 353–410, 2010.

DARKO, A.; CHAN, A. P. C.; ADABRE, M. A.; EDWARDS, D. J.; HOSSEINI, M. R.; AMEYAW, E. E. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. **Automation in Construction**, v. 112, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>

DE AMORIM, L. S. G.; SOUZA PACHECO, D. W. d; e DE FREITAS, J. E. O.; MACIEL DA SILVA, S. V.; DE CARVALHO, Z. V.; DE OLIVEIRA, H. H. N. A transformação digital do setor produtivo da construção civil / The digital transformation of the productive sector of the civil construction. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 57401–57414, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-239>

DELGADO, J. M. D.; OYEDELE, L.; DEMIAN, P.; BEACH, T. Advanced Engineering Informatics A research agenda for augmented and virtual reality in architecture , engineering and construction. **Advanced Engineering Informatics**, v. 45, n. May, p. 101122, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>

DEMIRKAN, H.; TACOMA, W.; EARLEY, S.; SCIENCE, E. I. Cognitive Computing. n. August, 2017.

EEKELS, J.; ROOZENBURG, N. F. M. A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: their similarities and differences. **Design Studies**, v. 12, n. 4, p. 197–203, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90031-Q](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90031-Q)

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). Proposta de política industrial para a construção civil: edificações. p. 170, 2008.

FORCAEL, E.; FERRARI, I.; OPAZO-VEGA, A. Construction 4 . 0 : A Literature Review. 2020.

FORMOSO, C. T. Estratégias e Ações Prioritárias para Ciência, Tecnologia e Inovação na Área de Tecnologia do Ambiente Construído. **Iv Seminário Ibero-Americano Da Rede Cytex Xiv .C**, p. 227–238, 2003.

GASPERIN, T.; SCHENATTO, JOSÉ, F. A. Utilização da TI na gestão da cadeia de suprimentos no setor da construção civil : análise sistemática da literatura. 2018.

GEERTS, G. L. A design science research methodology and its application to accounting information systems research. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 12, n. 2, p. 142–151, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.02.004>

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B.; KHORASANI, M. **Additive Manufacturing Technologie**. [S. l.: s. n.].

GIL-GARCIA, J. R.; PARDO, T. A.; GASCO-HERNANDEZ, M. Internet of Things and the Public Sector. **Beyond Smart and Connected Governments**, v. 30, 2020.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, J. A. P.; LONGO, O. C. Mudança De Cultura E Apoio Da Tecnologia Dão Base À Transformação Digital Na Construção Civil No Enfrentamento À Crise Do Covid\_19. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 58884–58903, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-340>

HÅKANSSON, H.; INGEMANSSON, M. Industrial renewal within the construction network. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 1, p. 40–61, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01446193.2012.737470>

HAMPSON, K. D.; KRAATZ, J. A.; SANCHEZ, A. X. The global construction industry and R&D. **R and D Investment and Impact in the Global Construction Industry**, n. March, p. 4–23, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315774916>

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4 . 0 Scenarios : A Literature Review Working Paper A Literature Review**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>.

HEVNER, B. A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HM GOVERNMENT. 2-Construction 2025. Industrial Strategy: Government and industry in partnership. **UK Government**, n. July, p. 78, 2013. Disponível em: [http://www.bis.gov.uk/assets/biscore/innovation/docs/b/12-1327-building-information-modelling.pdf%5Cnhttps://www.gov.uk/government/publications/construction-2025-strategy%5Cnhttps://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/210099/bis-](http://www.bis.gov.uk/assets/biscore/innovation/docs/b/12-1327-building-information-modelling.pdf%5Cnhttps://www.gov.uk/government/publications/construction-2025-strategy%5Cnhttps://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-)

HOSSAIN, M. A.; NADEEM, A. Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0. *In*: 2019a, **ISEC 2019 - 10th International Structural Engineering and Construction Conference**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.14455/isec.res.2019.184>

HOSSAIN, M. A.; NADEEM, A. Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0. **ISEC 2019 - 10th International Structural Engineering and Construction Conference**, n. July, p. 0–6, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.14455/isec.res.2019.184>

ISIKDAG, U.; UNDERWOOD, J. A Synopsis of the Handbook of Research on Building Information Modelling. **W113 - Special Track 18th CIB World Building Congress**, n. December 2009, p. 84–96, 2010.

JESUS, A. A.; ANJOS, A. R.; PELLEGRIN, C. F. S.; SANTOS, E. O.; BOAS, G. F. V.; BRITO, L. C. COMPORTAMENTO HISTÓRICO NO BRASIL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS ATUAIS PERSPECTIVAS. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 05, p. 87–95, 2018.

JIA, M.; KOMEILY, A.; WANG, Y.; SRINIVASAN, R. S. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. **Automation in Construction**, v. 101, p. 111–126, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final Report of the Industrie 4.0 Working Group**, n. April, p. 1–84, 2013.

KIEL, D.; MÜLLER, J. M.; ARNOLD, C.; VOIGT, K.-I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S1363919617400151>

KLINC, ROBERTO; TURK, Z. CONSTRUCTION 4.0 – DIGITAL TRANSFORMATION OF ONE OF THE OLDEST INDUSTRIES. **ECONOMIC AND BUSINESS REVIEW**, v. 21, n. 3, p. 393–410, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15458/ebr.92>

KÜBLER, E.; MINOR, M. Towards a case-based reasoning approach for cloud provisioning. **CLOSER 2016 - Proceedings of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science**, v. 2, n. Closer, p. 290–295, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0005911702900295>

KUNZ, J. C. Network-based project planning techniques , invented during the late 1950s have become indispensable as aids in planning and scheduling construction projects , especially after being computerized . Existing com- puter technology has greatly facilitated th. v. 114, n. 3, p. 329–343, 1989.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

LIAU, Y.; LEE, H.; RYU, K. Digital Twin concept for smart injection molding. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 324, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/324/1/012077>

LOMOTÉY, R. K.; DETERS, R. Towards Knowledge Discovery in Big Data. **2014 IEEE 8th International Symposium on Service Oriented System Engineering**, p. 181–191, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SOSE.2014.25>

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. *In*: **HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO – ARQUITETURAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS**. [S. l.: s. n.]. p. 201–214.

LOYOLA, M. Big data in building design: A review. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 23, p. 259–284, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85056598590&partnerID=40&md5=ea19b8bbf8bb59659be5ace0ea416081>

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>

MAJROUHI SARDROUD, J. Perceptions of automated data collection technology use in the construction industry. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 21, n. 1, p. 54–66, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802734>

MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; ALI, K. N.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O. Industry 4.0 for the construction industry-How ready is the industry? **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 14, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9142819>

MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O.; DAVID, O. O. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. **Economies**, v. 7, n. 3, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/economies7030068>

MÊDA, P.; SOUSA, H.; GONÇALVES, M.; CALVETTI, D.; DIAS, P.; CAMARGO, F. People, Process, Technology in Construction 4.0 - Balancing Knowledge, Distrust and Motivations. p. 218–231, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/2706-6568.37.2020.paper016>

MELLO, L. C. B. de B.; AMORIM, S. R. L.de. O subsector de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. *Production* [online]. 2009, v. 19, n. 2 [Acessado 26 Setembro 2022], pp. 388-399. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132009000200013>>. Epub 14 Set 2009. ISSN 1980-5411. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132009000200013>.

MIDDHA, K.; VERMA, A. INTERNET OF THINGS (IOT) ARCHITECTURE, CHALLENGES, APPLICATIONS: A REVIEW. **International Journal of Advanced Research in Computer Science**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i1.5343>

MOHD NAWI, M. N.; BALUCH, N.; BAHAUDDIN, A. Y. Impact of fragmentation issue in construction industry: An overview. **MATEC Web of Conferences**, v. 15, n. September, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20141501009>

MUNOZ-LA RIVERA, F. *et al.* Methodological-Technological *Framework* for Construction 4.0. **Archives of Computational Methods in Engineering**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>

MUÑOZ-LA RIVERA, F.; MORA-SERRANO, J.; VALERO, I.; OÑATE, E. Methodological-Technological *Framework* for Construction 4.0. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 28, n. 2, p. 689–711, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>

NASCIMENTO, L. A. do;; SANTOS, E. T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 1, p. 69–81, 2003.

NOWOTARSKI, P.; PASLAWSKI, J. Industry 4.0 Concept Introduction into Construction SMEs. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/5/052043>

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, n. January 2019, p. 121–139, 2016 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Opportunities and risks of digitalization in the construction industry in the context of Industry 4.0 - Situation analysis and definition of goals in the course of a technical impact assessment [Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Bauindustrie . *In*: 2016b, **Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI)**. [S. l.: s. n.] p. 1429–1443. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032262963&partnerID=40&md5=c68e428bf5c61580d0fee50427148b0c>

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

PERERA, S.; NANAYAKKARA, S.; RODRIGO, M. N. N.; SENARATNE, S.; WEINAND, R. Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? **Journal of Industrial Information Integration**, v. 17, n. August 2019, p. 100125, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>

RIGBY, E. T.; MCCOY, A. P.; GARVIN, M. J. Toward Aligning Academic and Industry Understanding of Innovation in the Construction Industry. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 8, n. 4, p. 243–259, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15578771.2012.663861>

RÜSSMANN, M.; MARKUS;, L.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: Future of Productivity and Growth in

Manufacturing. **Boston Consulting**, n. April, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

RUSSOM, P. BIG DATA ANALYTICS. **TDWI BesT PracTices rePOrT**, 2011.

SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1023–1043, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0284>

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. 1ª ed. New York: [s. n.], 2017.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://doi.org/10.7551/mitpress/12107.001.0001>

SURI, K.; CUCCURU, A.; CADAVID, J.; GERARD, S.; GAALLOUL, W.; TATA, S. Model-based development of modular complex systems for accomplishing system integration for Industry 4.0. **MODELSWARD 2017 - Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development**, v. 2017-Janua, n. April, p. 487–495, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0006210504870495>

TAKEDA, H.; VEERKAMP, P.; TOMIYAMA, T.; YOSHIKAWA, H. Modeling design processes. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37–48, 1990.

TANG, S.; SHELDEN, D. R.; EASTMAN, C. M.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127–139, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>

TATEYAMA, K. Special Contribution A New Stage of Construction in Japan — i-Construction. **Independent Project Analysis (IPA) News Letter**, v. 2, n. 2, p. 2–11, 2017.

THUY DUONG, O.; TEUTEBERG, F.; OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F.; THUY DUONG, O.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121–139, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI**, p. 191, 2012. Disponível em: [http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila\\_Metodologia\\_Completa\\_2012.pdf](http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf)

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, n. November, p. 233–238, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>

VELSBERG, O.; WESTERGREN, U. H.; JONSSON, K. Exploring smartness in public sector innovation - creating smart public services with the Internet of Things.

**European Journal of Information Systems**, v. 00, n. 00, p. 1–19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0960085X.2020.1761272>

WINTER, R. Design science research in Europe. **European Journal of Information Systems**, v. 17, n. 5, p. 470–475, 2008. Disponível em:

<https://doi.org/10.1057/ejis.2008.44>

WOOD, H.; GIDADO, K. Project complexity in construction. **COBRA 2008 - Construction and Building Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors**, n. February, 2008.

YOU, Z.; FENG, L. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A *Framework* of Cyber-Physical System. **IEEE Access**, v. 8, p. 122908–122922, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>

ZABIDIN, N. S.; BELAYUTHAM, S.; IBRAHIM, C. K. I. C. A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 25, n. June, p. 287–307, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017>

## APÊNDICE A - Resumo das Tecnologias Habilitadoras da Construção 4.0

Nesse documento são apresentadas as tecnologias habilitadoras da Construção Civil, que são utilizadas no formulário. São discorridas sobre o que são e, logo em seguida, apresentadas aplicações na construção civil, com o objetivo de facilitar o entendimento delas e as respostas dos respondentes. Para elaboração desse conteúdo foi utilizado o estudo de La-Rivera *et al.* (2021).

### **5G**

Quinta geração de padrões e tecnologias de comunicação de comunicação sem fio. Auxilia na conexão em tempo real e eficiente. Por meio de coleta de dados de sensores, comunicação e monitoramento de dispositivos, auxilia a execução da construção.

### **Manufatura aditiva**

Impressão de objetos 3D por meio de camadas sobrepostas ultrafinas de material, com altos níveis de precisão. Permite a construção de peças diretamente nos canteiros de obra.

### **Aplicativos móveis**

Utilizados em dispositivos móveis. Atuam na troca, captura, processamento e sincronização de dados em tempo real. Acesso a todos os dados com detalhes pertinentes a todos os ciclos de uma construção.

### **Inteligência Artificial**

Capacidade de resolução de problemas complexos por máquinas. Auxilia a melhoria de processos de projetos, monitoramento e previsão do comportamento de uma estrutura e seus elementos.

### **Realidade Aumentada (RA)**

Sobreposição de elementos virtuais em ambientes reais. Permite conexão com o BIM e IA otimizando processos de obra por meio da visualização de objetos em 3D.

### **Verificação e Auditoria Automatizada de Regulação**

Realiza tratamentos sistemáticos e autônomo de processos de revisão, auditoria e controle por meio de dados coletados. Automatiza os processos de revisão de projetos conforme a regulamentação em vigência, também os processos de controle e monitoramento de uma obra.

### **Big Data**

Manipulação de dados que são difíceis de serem coletados, analisados e armazenados devido ao seu grande volume, variedade e velocidade. Utilizado para inter-relacionar os dados gerados pela construção.

### **Análise de Big Data**

Análise dos dados que o Big Data coletou. Buscando identificar padrões, tendências e correlações entre eles. Obtenção de informações relevantes para a construção civil.

### **Blockchain**

Lista publica que registra todos os eventos e transações de dados que deve ser validado para garantir sua veracidade de maneira segura e eficaz. Utilizado para gerenciamento de contratos inteligentes, além de verificar de forma automatizada as regulamentações e características de cada projeto, de forma segura e eficiente, rastreando qualquer alteração.

### **Building Information Modeling (BIM)**

Baseada em modelos tridimensionais adicionando variáveis como tempo, custo, sustentabilidade, segurança do trabalho e gestão. Possibilita fazer o planejamento e o acompanhamento de uma obra em seu todo.

### **Computação em Nuvem**

Acessos em tempo real e a qualquer momento, de arquivos, aplicativos, dados e informações de projetos e planejamento, em qualquer lugar.

### **Ambiente de dados Comum**

É um espaço digital comum para armazenamento, recuperação e transferência de modelos de informação. Padronização da troca de informações.

### **Sistemas Ciber-físico**

Integração entre componentes físicos e computacionais. Componente essencial para modelos virtuais na CC, possibilitando o controle do todo o ciclo de vida de uma obra.

### **Ciber-segurança**

Segurança de infraestrutura computacional, software e hardware, redes e dados. Garantia de segurança de dados, possibilitando operações seguras durante o ciclo de vida da CC.

### **Mineração de Dados (Data Mining)**

Investigação de bancos de dados de forma automatizada ou semiautomatizada, buscando padrões repetitivos que explicam seu comportamento. Reconhecimento de padrões no consumo de energia elétrica, comportamento estrutural e produtividade em geral.

### **Compartilhamento de Dados**

Compartilhamento de dados entre as pessoas envolvidas em qualquer processo, permitindo a colaboração em pesquisas e desenvolvimentos. Permite a troca de dados, experiências e boas práticas de processo.

### **Deep Learning**

Algoritmos estruturados e hierárquico projetados para reconhecer e aprender de forma automática e sem regras programadas. Identificação e classificação de padrões e características em elementos estruturais, verificação de elementos de segurança, controle de equipamentos e máquinas e presença ou movimento de pessoas.

### **Digital Signage**

Displays inteligentes, com recursos iterativos, programados para apresentar um conteúdo determinado. Instrução de colaboradores em serviços, indicar EPIs, sinalizações etc.

### **Gêmeo Digital**

Versão digital do sistema físico, viabilizando simulações por meio de dados coletados e dispositivos inteligentes conectados. Criação de edifícios virtuais conectados ao edifício real.

### **Computação de Borda (Edge Computing)**

Processamento de dados no local mais próximo de onde eles são gerados, reduzindo o tráfego e a banda necessários para gerenciá-los. Gerenciamento de suprimentos, segurança e melhora os tempos de reação de avisos e manutenção de edifícios.

### **Sistema Embarcado**

Composição de hardware e software responsável por funções específicas dentro de um sistema. Processamento em tempo real, utilizando pouca memória e processadores, um exemplo é automação de tarefas simples e repetitivas em obras.

### **Sistema de Informação Geográfica – GIS**

Armazenamento, gerenciamento e análise de dados de diferentes tipos, considerando sua posição espacial em mapas. Gerenciamento de obras,

fornecedores e elementos por meio de sua localização. Contém informações de hidrologia, geologia, geografia, além de dados de projetos antigos.

### **Interação Humano-Computador (HCI)**

Interação de humanos com máquinas de forma ergonômica, intuitiva e eficiente, por meio de sistemas computacionais. Novas formas de projetar, modelar e interagir com edifícios virtuais.

### **Melhorar o Uso de Ativos**

Tecnologias e técnicas de otimização de gestão de ativos. Controle das edificações e infraestruturas durante sua vida útil, facilitando a manutenção preventiva e preditiva.

### **Internet Industrial**

Convergência de dados e máquinas na indústria. Possibilita a conexão de dados e equipamentos em tempo real e auxilia o processo de tomadas de decisão no meio industrial.

### **Internet das Coisas**

Captura de dados por meio de rede de objetos e dispositivos físicos que interagem com o ambiente. Conexão de modelos BIM digitais com dispositivos físicos para controle o monitoramento do local, comunicação e logística.

### **Aprendizado de máquina**

Evolução de sistemas pelo aprendizado. Automatização de partes de projeto, por meio de coleta de informações de projetos passados.

### **Customização em Massa**

Criação de bens e serviços conforme a necessidade de cada cliente. Flexibilidade e automação de processos de design, modularização e manufatura aditiva auxiliam na customização na CC.

### **Realidade Mista**

Combinação de Realidade Aumentada e Realidade Virtual, em que o espaço real interage diretamente com o virtual. Visualização de modelos e sistemas digitais de forma imersiva, possibilitando acompanhar a evolução de uma obra, inspeções de campo e verificações de tarefas.

### **Computação móvel**

Dispositivos e serviços projetados para serem transportados durante o uso sem interromper sua conexão, interagindo de qualquer lugar, sem a necessidade de cabeamento. Monitoramento em tempo real, gerenciando tarefas e processos e aumentando a comunicação visualização de projetos e conexão com agentes externos.

### **Modularidade**

Capacidade de um sistema ser subdivido em subsistemas independentes. Tratamento da informação digital visando melhor gerenciamento de uma obra, por meio da subdivisão de serviços.

### **Scanner 3D**

Dispositivos que registram formas e cores de um objeto por reconstrução virtual 3D. Geração de modelos digitais 3D de várias etapas construtivas.

### **Fotogrametria**

Método para obter propriedades geométricas de objetos e sua localização espacial. Inspeção de edificações de forma não presencial, acompanhamento de obras, obtenção de informações dos locais, levantamento e topografia de terrenos.

### **Manutenção Preditiva**

Prever falhas futuras nas instalações, sistemas ou equipamentos, por meio de simulações ou detecção antecipada de indicadores. Vinculadas com modelos BIM,

software de simulação e sensores, na CC pode prever e realizar manutenções antes das falhas.

### **Construção Fora do Local**

Pré-fabricação, construção modular ou off-site, são componentes ou subsistemas da construção produzidos fora do local final e instalados depois de prontos lá. Possibilita a construção de elementos 2D e 3D em ambientes controlados.

### **Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)**

Metodologia que gerencia todas as fases de um produto, desde sua concepção, projeto, fabricação, uso e reciclagem. Visão de todo o ciclo de vida de uma construção.

### **Identificação por Radio Frequência (RFID)**

Campos eletromagnéticos e ondas de radiofrequência na identificação e rastreamento de objetos. Rastreamento de materiais e máquinas no canteiro de obras, comportamento de estruturas por meio do movimento das etiquetas e monitoramento e gestão de equipamentos etiquetados.

### **Robótica**

Projetar e fabricar robôs que são utilizados para interagir autonomamente com objetos para realizar vários tipos de tarefas. Utilizados para realizar tarefas repetitivas.

### **Auto sustentabilidade e autossuficiência**

É a possibilidade de um sistema necessitar de pouco, ou nenhum, recurso externo para funcionar. Eficiência energética e hídrica, por meio de elementos de autogeração e otimização do uso desses recursos.

### **Sensores**

Dispositivos eletrônicos utilizados para designar a variação de uma grandeza química ou física, transformando em variáveis elétricas. Monitoramento de saúde estrutural de edifícios e infraestruturas, verificar o correto funcionamento de máquinas, trabalhadores, equipamentos, sistemas, conforto térmico, entre outros.

### **Modelos e Ferramentas de Simulação**

Replicar e simular o comportamento de sistemas e processos. Otimização de processos construtivos e funcionamento dos sistemas durante sua operação.

### **Mídias Sociais**

Aplicativos de comunicação online, gera troca de informações instantâneas entre os usuários.

### **Gestão da Cadeia de Suprimentos (SMC)**

Processo de planejamento, execução e controle de uma rede de suprimentos. Conecta modelos digitais de materiais e insumos. Também proporciona conhecimento de todos os interessados na obra de processo e distribuições de papéis e riscos.

### **Veículo Aéreos Não Tripulados**

Sistemas que voam e, de forma autônoma, podem transportar diversos tipos de objetos, fazer coletas de dados, como sinais e fotografias, por meio de sensores. Monitoramento de canteiros de obra e transporte de materiais.

### **Realidade Virtual**

Tecnologia que possibilita uma visão virtual com aparência real. Visão tridimensional dos projetos.

### **Tecnologia Vestível**

Dispositivo acoplado as vestimentas do usuário para sensorização do comportamento e do movimento. Monitoramento de trabalhadores em tempo real.

### **Redes Neurais**

Inspirados em redes neurais biológicas, processam informações gerando previsões e aprendizado automáticos. Estuda e faz previsões de comportamentos de estruturas, baseados em dados obtidos em obras anteriores.

### APÊNDICE B - Questionário

	TECNOLOGIA	CRITÉRIO DE PROJETOS	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTAÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO	CONSTRUÇÃO	OBSERVAÇÕES
<b>Domínio Físico/Fábrica Inteligente</b>	Autossustentabilidade e Autossuficiência					
	Construção Fora do Local					
	Customização em Massa					
	Digital Signage					
	Gestão da Cadeia De Abastecimento					
	Identificação de Rádio Frequência					
	Interação Humano-Computador					
	Internet das Coisas					
	Manufatura Aditiva					
	Modulação					
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)					
	Robótica					
	Scanner 3D					
	Sensores					
	Sistemas Embarcados					
	Sistemas Ciber-físicos					
Tecnologia Vestível						
Veículo Aéreo Não Tripulado						
<b>Simulação e Modelagem</b>	Análise de Big Data					
	Aprendizado de máquina					
	Fotogrametria					
	Inteligência artificial					
	Manutenção preditiva					
	Melhorar a utilização de ativos					
	Mineração de dados					
	Modelagem de informações de construção (BIM)					
	Modelos e ferramentas de simulação					
	Realidade aumentada (RA)					
	Realidade Mista (RM)					
	Realidade virtual (RV)					
	Redes neurais					
	Sistema de Informações Geográficas (GIS)					
<b>Digitalização</b>	5G					
	Ambiente de dados comum					
	Aplicativos Móveis					
	Big Data					
	Blockchain					

Cíber segurança					
Compartilhamento de dados					
Computação de borda					
Computação em Nuvem					
Computação móvel					
Deep Learning					
Gêmeo digital					
Internet industrial					
Mídia social					
Verificação e auditorias regulatórias automatizadas					

### APÊNDICE C - Roteiro Entrevista Semiestruturada

- 1- Qual sua formação?
- 2- Qual seu tempo de experiência na construção civil?
- 3- Em que setor atua (público ou privado, docente ou responsável técnico)?
- 4- Pensando que esse instrumento é voltado para etapa construtiva de uma obra, você concorda com as etapas que foram selecionadas? Retiraria alguma? Adicionaria mais alguma?
- 5- Em relação aos *clusters* da integração vertical, você concorda com as etapas que foram divididas? Retiraria alguma? Adicionaria mais alguma?
- 6- Como você avalia a utilização das tecnologias nas etapas construtivas (integração horizontal)?
- 7- Como você avalia a utilização das tecnologias nas instancias (integração vertical)?
- 8- Como você avalia os atores nas etapas construtivas? Retiraria algum? Adicionaria mais algum?
- 9- Você conseguiu entender o instrumento pela sua apresentação?
- 10- Tem algum comentário para fazer sobre o instrumento? Sentiu falta de alguma coisa?
- 11- Sugestões para melhoria deste instrumento?
- 12- O que poderia ser alterado/incluído para melhorar a aplicabilidade?
- 13- Você entende que esse instrumento seria aplicável em uma empresa de construção civil no ramo de edificações? Quais seriam as dificuldades? Quais seriam as facilidades?
- 14- Na sua opinião, como deveria ser abordado/proceder para implementar os passos sugeridos no instrumento em uma empresa?

**APÊNDICE D - Avaliador 01 – Integrações Horizontais**

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X		X	X
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			
	Digital Signage				X	X
	Gestão da Cadeia De Abastecimento				X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X			X
	Modularidade		X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X		X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D		X		X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados				X	X
	Sistemas Ciber-físicos		X		X	X
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado				X	X
	Simulação e Modelagem	Análise de Big Data				X
Aprendizado de Máquina		X	X	X	X	
Fotogrametria			X		X	
Inteligência Artificial			X		X	X
Manutenção Preditiva			X		X	
Melhorar a Utilização de Ativos					X	
Modelagem de Informações de Construção (BIM)		X	X	X	X	X
Modelos e Ferramentas de Simulação			X		X	X
Realidade Aumentada (RA)			X		X	X
Realidade Mista (RM)			X		X	X
Realidade Virtual (RV)			X		X	X
Redes Neurais			X		X	
Sistema de Informações Geográficas (GIS)		X	X		X	
Digitalização	5G				X	X
	Ambiente de Dados Comum	X	X	X	X	X

TECNOLOGIAS	ETAPAS CONSTRUTIVAS	CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUIÇÃO
		<b>Aplicativos Móveis</b>	X	X	X	X
	<b>Big Data</b>	X	X		X	
	<b>Blockchain</b>			X	X	
	<b>Cíber Segurança</b>		X	X	X	
	<b>Compartilhamento de Dados</b>	X	X	X	X	X
	<b>Computação de Borda</b>	X	X	X	X	X
	<b>Computação em Nuvem</b>		X	X	X	X
	<b>Computação móvel</b>		X	X	X	X
	<b>Deep Learning</b>				X	
	<b>Gêmeo Digital</b>		X		X	X
	<b>Internet Industrial</b>				X	X
	<b>Mídia Social</b>	X	X	X	X	X
	<b>Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas</b>			X	X	

**APÊNDICE E - Avaliador 02 – Integrações Horizontais**

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X		X	X
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			X
	Digital Signage				X	X
	Gestão da Cadeia De Abastecimento				X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	X
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X			X
	Modularidade		X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X		X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D				X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados		X		X	X
	Sistemas Ciber-físicos		X		X	X
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado	X			X	X
	Simulação e Modelagem	Análise de Big Data				X
Aprendizado de Máquina		X	X		X	
Fotogrametria		X	X		X	
Inteligência Artificial			X		X	X
Manutenção Preditiva			X		X	X
Melhorar a Utilização de Ativos					X	
Modelagem de Informações de Construção (BIM)		X	X		X	X
Modelos e Ferramentas de Simulação			X		X	X
Realidade Aumentada (RA)			X		X	X
Realidade Mista (RM)			X		X	X
Realidade Virtual (RV)			X		X	X
Redes Neurais			X		X	
Sistema de Informações Geográficas (GIS)		X	X		X	
Digitalização	5G				X	X
	Ambiente de Dados Comum		X	X	X	X

TECNOLOGIAS	ETAPAS CONSTRUTIVAS	CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
	Aplicativos Móveis	X	X		X	X
	<i>Big Data</i>				X	
	<i>Blockchain</i>			X	X	
	Cíber Segurança			X	X	X
	Compartilhamento de Dados	X	X	X	X	X
	Computação de Borda				X	X
	Computação em Nuvem		X	X	X	X
	Computação móvel	X	X		X	X
	<i>Deep Learning</i>				X	
	Gêmeo Digital		X		X	X
	Internet Industrial				X	X
	Mídia Social	X	X		X	X
	Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas				X	

**APÊNDICE F - Avaliador 03 – Integrações Horizontais**

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X		X	X
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			
	Digital Signage				X	X
	Gestão da Cadeia De Abastecimento		X		X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X			X
	Modularidade		X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X		X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D		X		X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados				X	X
	Sistemas Ciber-físicos		X		X	X
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado				X	X
	Simulação e Modelagem	Análise de <i>Big Data</i>				X
Aprendizado de Máquina		X	X		X	
Fotogrametria		X	X		X	
Inteligência Artificial			X		X	X
Manutenção Preditiva			X		X	
Melhorar a Utilização de Ativos					X	X
Modelagem de Informações de Construção (BIM)		X	X	X	X	X
Modelos e Ferramentas de Simulação			X		X	X
Realidade Aumentada (RA)			X		X	X
Realidade Mista (RM)			X		X	X
Realidade Virtual (RV)			X		X	X
Redes Neurais			X		X	
Sistema de Informações Geográficas (GIS)		X	X		X	
Digitalização	5G	X	X		X	X
	Ambiente de Dados Comum		X	X	X	X

TECNOLOGIAS	ETAPAS CONSTRUTIVAS	CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
	Aplicativos Móveis	X	X		X	X
<i>Big Data</i>				X		
<i>Blockchain</i>			X	X		
Cíber Segurança			X	X		
Compartilhamento de Dados	X	X	X	X	X	
Computação de Borda				X	X	
Computação em Nuvem		X	X	X	X	
Computação móvel		X		X	X	
<i>Deep Learning</i>				X		
Gêmeo Digital		X		X	X	
Internet Industrial				X	X	
Mídia Social		X		X	X	
Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas				X		

**APÊNDICE G - Avaliador 04 – Integrações Horizontais**

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X			
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			X
	Digital Signage	-	-	-	-	-
	Gestão da Cadeia De Abastecimento		X		X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	X
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X		X	X
	Modularidade		X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X	X	X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D		X		X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados				X	X
	Sistemas Ciber-físicos	-	-	-	-	-
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado	X	X		X	X
	Simulação e Modelagem	Análise de Big Data	-	-	-	-
Aprendizado de Máquina		X	X		X	
Fotogrametria		X	X		X	
Inteligência Artificial			X		X	X
Manutenção Preditiva			X		X	X
Melhorar a Utilização de Ativos					X	X
Modelagem de Informações de Construção (BIM)		X	X	X	X	X
Modelos e Ferramentas de Simulação			X		X	X
Realidade Aumentada (RA)			X		X	X
Realidade Mista (RM)			X		X	X
Realidade Virtual (RV)			X		X	X
Redes Neurais					X	
Sistema de Informações Geográficas (GIS)		X	X		X	
Digitalização	5G	X	X		X	X
	Ambiente de Dados Comum		X	X	X	X

TECNOLOGIAS	ETAPAS CONSTRUTIVAS	CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUIÇÃO
		Aplicativos Móveis	X	X	X	X
	<i>Big Data</i>	-	-	-	-	-
	<i>Blockchain</i>	-	-	-	-	-
	Cíber Segurança			X	X	
	Compartilhamento de Dados	X	X	X	X	X
	Computação de Borda	X	X		X	X
	Computação em Nuvem		X	X	X	X
	Computação móvel		X	X	X	X
	<i>Deep Learning</i>					X
	Gêmeo Digital		X		X	X
	Internet Industrial				X	X
	Mídia Social	-	-	-	-	-
	Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas		X	X	X	

### APÊNDICE H - Avaliador 05 – Integrações Horizontais

ETAPAS CONSTRUTIVAS		CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
Domínio Físico/Fábrica Inteligente	Autossustentabilidade e Autossuficiência	X	X		X	X
	Construção Fora do Local	X	X		X	X
	Customização em Massa	X	X			
	Digital Signage				X	X
	Gestão da Cadeia De Abastecimento		X		X	X
	Identificação de Rádio Frequência				X	X
	Interação Humano-Computador	X	X	X	X	
	Internet das Coisas		X		X	X
	Manufatura Aditiva		X			X
	Modularidade	X	X		X	X
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML)	X	X		X	X
	Robótica					X
	Scanner 3D		X		X	X
	Sensores				X	X
	Sistemas Embarcados				X	X
	Sistemas Ciber-físicos				X	X
	Tecnologia Vestível				X	X
	Veículo Aéreo Não Tripulado				X	X
	Simulação e Modelagem	Análise de Big Data				X
Aprendizado de Máquina		X	X		X	
Fotogrametria			X		X	X
Inteligência Artificial			X		X	X
Manutenção Preditiva			X		X	
Melhorar a Utilização de Ativos					X	
Modelagem de Informações de Construção (BIM)		X	X	X	X	X
Modelos e Ferramentas de Simulação			X		X	X
Realidade Aumentada (RA)			X		X	X
Realidade Mista (RM)			X		X	X
Realidade Virtual (RV)			X		X	X
Redes Neurais			X		X	
Sistema de Informações Geográficas (GIS)		X	X		X	X
Digitalização	5G		X	X	X	X
	Ambiente de Dados Comum		X	X	X	X

TECNOLOGIAS	ETAPAS CONSTRUTIVAS	CRITÉRIOS DE PROJETO	DETALHES DE PROJETO	DOCUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	COORDENAÇÃO	CONSTRUÇÃO
	Aplicativos Móveis	X	X		X	X
	<i>Big Data</i>				X	
	<i>Blockchain</i>			X	X	
	Cíber Segurança			X	X	
	Compartilhamento de Dados	X	X	X	X	X
	Computação de Borda				X	X
	Computação em Nuvem		X	X	X	X
	Computação móvel		X		X	X
	<i>Deep Learning</i>				X	
	Gêmeo Digital		X		X	X
	Internet Industrial				X	X
	Mídia Social		X		X	X
	Verificação e Auditorias Regulatórias Automatizadas				X	