



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIELA ELOANNE VIDAL LEITE

**ESTUDO DO IMPACTO DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NA
CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
AGRESTE PERNAMBUCANO**

Caruaru

2022

GABRIELA ELOANNE VIDAL LEITE

**ESTUDO DO IMPACTO DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NA
CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
AGRESTE PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Marcele Elisa Fontana

Caruaru

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 – 1223

L533e Leite, Gabriela Eloanne Vidal.
Estudo do impacto da quarta revolução industrial na cadeia produtiva da indústria da construção civil no Agreste Pernambucano. / Gabriela Eloanne Vidal Leite. – 2022.
95 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Marcele Elisa Fontana.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia de Produção, 2021.
Inclui Referências.

1. Processo de fabricação - Pernambuco. 2. Construção civil - Pernambuco. 3. Indústria - Pernambuco. 4. Inovações tecnológicas - Pernambuco. 5. Indústria de tecnologia de ponta – Pernambuco. 6. Cultura organizacional – Pernambuco. I. Fontana, Marcele Elisa (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2022-006)

GABRIELA ELOANNE VIDAL LEITE

**ESTUDO DO IMPACTO DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NA
CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
AGRESTE PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Aprovada em: 18/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr^a Marcele Elisa Fontana (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr Rodrigo Sampaio Lopes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr Eduardo José Oenning Soares (Examinador Externo)
Universidade do Estado de Mato Grosso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por cada conquista alcançada, por todos os desafios superados, por cada dia em que demonstrou Seu amor, sem O Seu cuidado nada disto seria possível. Dele veio todo conhecimento e sabedoria necessários para execução deste trabalho. Todo Glória e Honra é para Ele.

Aos meus pais, Carlos e Rosimere, meus melhores amigos, por acreditarem no meu potencial desde o início, sonharem comigo, por todas as vezes que abriram mão dos seus sonhos para sonharem os meus, por todo o esforço, por todos os sacrifícios e conselhos, sem vocês nada disto seria possível, a vocês meu agradecimento mais sincero. Aos meus irmãos por todo o apoio e incentivo.

Ao meu lindo esposo, Sivonaldo, meu namorado e melhor amigo, por todo incentivo, apoio e companheirismo ao longo de toda essa trajetória. Obrigada por está ao meu lado em todas as madrugadas, por ser generoso e se doar tanto para que essa vitória fosse alcançada. Eu te amo. A minha sogra por cada oração e compreensão ao longo desses anos.

A minha incrível orientadora, Marcele, que foi essencial para a realização desse sonho. Obrigada por ser essa profissional que inspira dedicação e persistência.

A todos os meus professores ao longo da minha trajetória que contribuíram para minha formação.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

RESUMO

O aumento da complexidade em projetos de construção no local, juntamente com a necessidade de maior produtividade, está levando a um maior interesse no uso potencial de tecnologias da Indústria 4.0 no setor da construção civil. Este estudo teve como objetivo analisar o desenvolvimento da indústria 4.0 na cadeia produtiva da construção civil, no Agreste de Pernambuco, segundo os critérios de processos, organização, eficiência e planejamento de obras. Para isso, uma Revisão Sistemática da Literatura (2015-2021) foi realizada com a finalidade de coletar conhecimentos sobre o tema e definir um conjunto de hipóteses a serem testadas. Para coleta de dados no lócus da pesquisa, um questionário foi aplicado à uma amostra de 26 gestores de construtoras localizadas no Agreste Pernambucano. Os resultados evidenciam que a principal característica deste movimento na construção civil está associada à utilização de novas tecnologias em campo, como por exemplo, softwares BIM (*Building Information Model*) e Manufatura Aditiva. A partir do estudo realizado pode-se concluir que a 4ª Revolução Industrial promoverá impactos significativos no setor da construção civil e em seu modelo de gestão, implementando estratégia para introduzir novas tecnologias em seus processos. Os profissionais do setor que responderam ao questionário, demonstraram não conhecer de forma profunda os conceitos e aplicações da I4.0 para a construção civil, contudo compreendem a necessidade de inovação para se manterem competitivo no mercado. A introdução de tecnologias novas no ambiente de trabalho traz consigo a necessidade de transformar toda uma cultura empresarial, com constantes treinamentos de equipes e a integração da cadeia produtiva. Com isso, conclui-se que para a região estudada a indústria 4.0 no setor de construção civil apresenta, ainda, barreiras culturais a serem transpostas para a sua plena implementação.

Palavras-chave: Agreste Pernambucano; cadeia produtiva; construção civil; indústria 4.0.

ABSTRACT

Increasing complexity in on-site construction projects, coupled with the need for greater productivity, is leading to increased interest in the potential use of Industry 4.0 technologies in the construction sector. This study aimed to analyze the development of industry 4.0 in the production chain of civil construction, in Agreste de Pernambuco, according to the criteria of processes, organization, efficiency and planning of works. For this, a Systematic Literature Review (2015-2021) was carried out in order to collect knowledge on the topic and define a set of hypotheses to be tested. For data collection at the locus of the research, a questionnaire was applied to a sample of 26 managers of construction companies located in Agreste Pernambucano. The results show that the main characteristic of this movement in civil construction is associated with the use of new technologies in the field, such as BIM (Building Information Model) and Additive Manufacturing software. From the study carried out, it can be concluded that the 4th Industrial Revolution will promote significant impacts on the civil construction sector and its management model, implementing a strategy to introduce new technologies in its processes. The professionals in the sector who answered the questionnaire showed that they did not have a deep knowledge of the concepts and applications of I4.0 for civil construction, however they understand the need for innovation to remain competitive in the market. The introduction of new technologies in the work environment brings with it the need to transform an entire corporate culture, with constant team training and the integration of the production chain. With this, it is concluded that for the studied region, industry 4.0 in the civil construction sector also presents cultural barriers to be overcome for its full implementation.

Keywords: Agreste Pernambucano; productive chain; construction; industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia produtiva da construção civil.....	32
Figura 2 - Vantagens e desvantagens do uso de tecnologias 4.0.....	43
Figura 3 - Mudança de cultura organizacional	43
Figura 4 - Modelo conceitual.....	48
Figura 5 - Etapas para construção do questionário.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Números de artigos por ano	35
Gráfico 2 - Distribuição das publicações por categoria.....	37
Gráfico 3 - Avaliação de Autoconhecimento	54
Gráfico 4 - Objetivos da Indústria 4.0	55
Gráfico 5 - Classificação das empresas	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Protocolo de Pesquisa.....	33
Tabela 2- Tema principal dos trabalhos	36
Tabela 3- Quantidade de artigos por país	37
Tabela 5- Dados profissionais dos respondentes	52
Tabela 6- Métodos para conhecimento sobre Indústria 4.0.....	54
Tabela 7- Benefícios da Indústria 4.0 proporcionados a construção civil.....	56
Tabela 8- Conceitos sobre Indústria 4.0	58
Tabela 9- Tecnologia da Indústria 4.0 utilizada na construtora	58
Tabela 10- Barreira de entrada para a Indústria 4.0	59
Tabela 11- Características para a construtora se manter competitiva	60

LISTA DE SIGLAS

3DP	Impressora 3D
BIM	Building Information Modeling
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CAD	Desenho assistido por computador
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DASA	Conferência Internacional sobre Ciências e Aplicações do Auxílio à Decisão
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
ERP	Planejamento de Recursos Empresariais
FJP	Fundação João Pinheiro
GIS	Sistema de informação geográfica
GPS	Sistema de posicionamento global
HVMC	Indústria de Transformação de Alto Valor
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet das coisas
IVV	Índice de Velocidade de Vendas
JCA	Jornada Científica de Administração
MA	Manufatura Aditiva
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
PIB	Produto Interno Bruto
PwC	PricewaterhouseCoopers
RA	Realidade Aumentada
RFID	Identificação por radiofrequência
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	O setor da construção civil	20
2.1.1	Revoluções industriais e seus efeitos na construção civil	22
2.2	Indústria 4.0 na construção civil	23
2.2.1	Computação em nuvem	24
2.2.2	Drones	25
2.2.3	Realidade virtual e aumentada	25
2.2.4	Manufatura aditiva	26
2.2.5	BIM (Modelagem da Informação da Construção)	26
2.2.6	Planejamento de recursos empresariais na construção civil.....	27
2.2.7	Internet das Coisas (IoT)	28
2.3	Cadeia produtiva da construção civil	30
2.4	Revisão da literatura	32
2.4.1	Protocolo de revisão da literatura	33
2.4.2	Análise bibliométrica dos artigos	35
2.5	Discussão do capítulo	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1	Tipo de pesquisa	45
3.2	Universo e amostra.....	45
3.3	Formulação das hipóteses de pesquisa	46
3.3.1	Relação entre literatura e realidade das construtoras.....	46

3.3.2	Entrada de novas tecnologias e a mudança no modelo de gestão	47
3.4	Coleta de dados	49
3.4.1	Elaboração do questionário	50
3.5	Métodos de análises	50
3.5.1	Análise de confiabilidade	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	Perfil dos respondentes	52
4.2	Análise descritiva do questionário	53
4.2.1	Pergunta 1	53
4.2.2	Pergunta 2	54
4.2.3	Pergunta 3	55
4.2.4	Pergunta 4	55
4.2.5	Pergunta 5	56
4.2.6	Pergunta 6	56
4.2.7	Pergunta 7	57
4.2.8	Pergunta 8	57
4.2.9	Pergunta 9	58
4.2.10	Pergunta 10	59
4.2.11	Pergunta 11	59
4.2.12	Pergunta 12	59
4.2.13	Pergunta 13	60
4.2.14	Pergunta 14	60
4.2.15	Pergunta 15	60
4.3	Teste das hipóteses	61
4.4	Discussão do capítulo	63
5	CONCLUSÃO	65
5.1	Contribuições do trabalho	66

5.2	Limitações e sugestão de futuros trabalhos	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A – DADOS GERAIS DOS ARTIGOS DA RSL.....	85
	APÊNDICE B – ALFA DE CRONBACH.....	88
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO.....	89

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 (I4.0) traz consigo um aumento da digitalização e automação do ambiente de fabricação, como também a geração de cadeias digitais de valor para promover a comunicação entre produtos, ambiente e parceiros comerciais (LASI et al., 2014). Mesmo sendo planejada originalmente para a indústria de fabricação, a revolução digital da era 4.0 está ganhando espaço também no setor de construção, porém de forma muito lenta.

A construção civil lida com diversos obstáculos para aumentar a produtividade. Por exemplo, elevados números de processos que estão relacionados entre si, subprocessos e atores participantes em fases diferentes e locais de construção, além da particularidade e complexidade de seus projetos (RAMOS et al., 2018).

O setor da construção tem papel fundamental na economia de qualquer país. Conforme o relatório publicado em 2018 pelo Fórum Econômico Mundial, a indústria da construção representa atualmente cerca de 6% do PIB mundial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018) e deve atingir cerca de 14,7% em 2030, conforme dados da *Global Construction Perspectives and Oxford Economics* (2015). A construção é um setor estrategicamente importante para a economia dos países, possuindo um grande leque de partes interessadas e empresas, proporcionando 18 milhões de empregos em âmbito mundial (EUROPEAN COMMISSION, 2016). Conforme o Fórum Econômico Mundial (2016), um aumento de 1% na produtividade mundial poderia economizar US \$ 100 bilhões por ano em custos de construção, com potencial para contribuir para a competitividade e o desenvolvimento sustentável de um país (CRAVEIRO et al., 2019).

A construção 4.0, como vem sendo denominada, é um método de construção que possibilita o avanço do processo, desde o projeto até a construção, aplicando técnicas inteligentes de fabricação e automação (QI et al., 2020). Nos últimos anos, a industrialização foi inserida de forma gradual na indústria da construção graças aos seus benefícios, incluindo redução de custo, menor tempo de construção e baixa necessidade de mão de obra (ABANDA et al., 2017).

A indústria da construção consome uma porção significativa das matérias-primas produzidas no mundo, utilizando, por exemplo, 50% da produção mundial de aço, e é responsável por 30% das emissões mundiais de gases de efeito estufa, fornece a estrutura do ambiente construído do qual a sociedade depende (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018). A população que vive em áreas urbanas está aumentando rapidamente, o que impacta a

necessidade de casas a preços acessíveis, transporte público e infraestrutura de serviços públicos.

Para Oesterreich e Teuteberg (2016) a I4.0 pode ajudar as empresas de construção a reduzir a complexidade e a incerteza, para melhorar a troca de informações e a comunicação entre as partes interessadas do projeto e, assim, aumentar a produtividade e a qualidade. Desta forma, a Construção 4.0 deve levar em consideração sua natureza orientada ao projeto, influenciando a proximidade “temporária” dos atores da cadeia produtiva elevando a rastreabilidade do produto como uma prioridade para os gestores.

Existem implicações sociais e técnicas na transformação em curso das cadeias de abastecimento da construção. Por um lado, o portfólio tecnológico associado à indústria 4.0 é vasto e a combinação de tecnologias pode criar sinergias. Por outro lado, há implicações nas organizações e nas habilidades necessárias para as habilidades dos trabalhadores da construção (GARCIA et al., 2019).

A transformação digital passa a ter influência nos materiais de construção, com implicações importantes ao nível da análise do projeto, nomeadamente, nas fases de planejamento e execução, com “funções mais seguras e menos intensivas em mão-de-obra, como monitorizar e controlar processos automatizados por transferência de conhecimentos - como os sistemas robóticos” (GARCIA et al., 2019). Tecnologias como realidade aumentada e BIM podem auxiliar no projeto de construção (SAIEG et al., 2018), mas a cadeia produtiva também está adotando rastreamento automático (por exemplo, usando RFID, GPS ou GIS) e status em tempo real (DALLASEGA et al., 2018). No entanto, apesar das enormes mudanças que a Internet móvel possibilitou para o projeto, execução e dados de ciclo de vida de materiais e produtos após sua adoção em edifícios, faltam estudos que abordem os fluxos de informação desde os estágios iniciais de material produção (SHI et al., 2016).

Em Pernambuco, de acordo com dados divulgados pela Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco - FIEPE (2021), o setor industrial de construção civil apresentou um recuou 10,6 na passagem de setembro/21 para outubro/21, passando de 61,2 para 50,6 pontos. Em comparação ao mesmo período do ano anterior no mês de outubro/20 com 56,4, houve uma redução de 5,8 pontos, o que indica que apesar o nível de atividade permanecer favorável para as empresas do setor, o resultado está bem abaixo do apresentado em meses anteriores. O índice que mede o nível de atividade da construção civil em relação ao usual recuou 2,5 pontos, saindo de 44,2 registrado em setembro, para 41,7, pontos em outubro de 2021.

Em relação a expectativa quanto ao nível de atividade o setor apresentou um recuo de 3,7 pontos, mesmo diante desta queda, permanece num cenário positivo com o índice atingindo 54,3 em novembro de 2021. Em comparação com novembro de 2020 (57,8), o indicador está 3,5 pontos menor. A expectativa sobre os novos empreendimentos e serviços, apresentou crescimento de 3,1 pontos, saindo dos 49,3 pontos registrados em outubro de 2021 para 52,4 pontos em novembro de 2021 (FIEPE, 2021).

Diante do exposto, a pesquisa trata sobre o gerenciamento da cadeia produtiva para empresas da indústria de construção civil do Agreste Pernambucano, por meio de conceitos da I4.0 empregados dentro de um novo paradigma produtivo no segmento de construção de casas e edifícios, objetivamos mapear o estado da I4.0 no setor da construção, identificar suas principais áreas, avaliar as evidências disponíveis.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o desenvolvimento da I4.0 na cadeia produtiva da construção civil, no Agreste de Pernambuco, segundo os critérios de processos, organização, eficiência e planejamento de obras.

Para atender a este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Identificar o nível de convergência entre os conceitos de I4.0 e a realidade da indústria da construção do Agreste Pernambucano;
- Avaliar como a cultura organizacional tem impacto na adoção da I4.0 para controle de processos aplicados na cadeia produtiva da construção civil;
- Identificar métodos mais utilizados da I4.0 para otimizar o planejamento e otimização do controle da gestão da cadeia produtiva na indústria da construção civil.

1.2 Justificativa

O acesso à moradia é um direito previsto pelo Art. 6º da Constituição Federal do Brasil. Condições precárias nas residências geram incômodos e aborrecimentos, em especial à população mais carente. Com o objetivo de garantir moradias com qualidade a essa população e assegurar o cumprimento da Constituição, são elaboradas políticas orientadas à moradia de interesse social. Essas moradias buscam amparar a população de baixa renda que não possui acesso à moradia por intermédio dos meios disponíveis no mercado (BARRETO *et al.*, 2021).

O déficit habitacional no Brasil passou de 5,657 milhões, em 2016, para 5,877 milhões, em 2019. O índice de déficit habitacional relativo foi de 8% em 2019, é estimado que aproximadamente 10% das casas não são adequadas para moradia, seja em razão dos preços dos aluguéis, pela precariedade da construção ou pela coabitação de acordo com dados divulgados pela Fundação João Pinheiro (FJP) (2021).

Nesta perspectiva a utilização da I4.0 na construção através da aplicação de tecnologias inovadoras oferece ao setor da construção uma oportunidade de realizar uma mudança radical, com o potencial de gerar economias de custo reduzidos, transferindo muitos aspectos da atividade de construção dos canteiros de obras tradicionais para fábricas com produção fora do local (MCKINSEY, 2019).

Atualmente a indústria brasileira, em sua maioria, ainda atua no sistema de produção da Segunda e Terceira Revoluções Industriais, ou seja, utilizam linhas de montagem e automação (FIRJAN, 2019). Segundo o Índice Global de Inovação (2021), o qual mede o desempenho dos ecossistemas da inovação de 132 economias e identifica as tendências globais mais recentes em matéria de inovação, o Brasil ocupa a 57ª posição no ranking das economias com maior capacidade e sucesso de inovação, realizando um forte avanço em 2021, subindo cinco posições e alcançando sua melhor classificação desde 2012 (WIPO, 2021).

Um estudo da consultoria International Data Corporation (IDC) (2020) que realizou uma pesquisa com 835 profissionais de grandes construtoras em 12 países da Europa, Ásia e Américas, incluindo o Brasil, e revelou que 58% das empresas do setor de construção ainda se encontram no estágio inicial da jornada para a inovação, ao passo que 28% estão em fase de transformação. Somente 13% tem o potencial para serem consideradas maduras no que se refere a adoção de novas tecnologias.

A indústria da construção civil tem grande importância no desenvolvimento econômico brasileiro, mas, historicamente, está entre os setores que menos investem em inovação. Entretanto, já existe um movimento para que ocorra mudança nessa realidade e a inovação seja introduzida na construção civil. Tendo em vista que, o investimento em novas tecnologias já não é apenas um diferencial, mas um fator determinante para a sobrevivência das empresas, que começam a atuar com maior eficiência e oferecer maior valor para o mercado e para os clientes (SIMÃO et al., 2019).

Há uma carência nos estudos voltados para utilização de tecnologias advindas da I4.0 no canteiro de obras no Brasil como solução para o déficit habitacional sendo ainda embrionária no país. Mas não deve demorar muito até percebermos mudanças significativas neste cenário.

Em especial, em razão da filosofia do *lean thinking*, um sistema de gestão de negócios que busca entregar mais valor ao cliente, com menor desperdício de recursos ou energia.

Estima-se que em breve será possível automatizar o canteiro de obras, com o auxílio de ferramentas como o BIM (*Modelagem de Informação da Construção*), drones, mecanização de trabalho braçal, softwares substituindo as pranchetas e soluções tecnológicas robustas em lugar de ferramentas pesadas. Além disto, o acompanhamento e controle de todas as etapas da obra serão através de aplicativos com interface simples e baseada na realidade aumentada (SIENGE, 2019).

As construtoras estão tendo que se reinventar e implementar as inovações propostas pela I4.0 em sua rotina e cadeia produtiva, buscando constantemente gerar obras mais econômicas, com menor tempo de execução e garantia de boa qualidade do empreendimento, como também, promover obras sustentáveis, com o objetivo de atender a um perfil de cliente cada vez mais rigoroso e atento às questões ambientais (ROCHA, 2017).

No conjunto de atributos a adoção da I4.0 na cadeia produtiva da construção civil promove uma visão colaborativa e integrada das cadeias de valor, visando a máxima eficácia de cada um dos seus elos, beneficiando o todo, utilizando alavancas impulsionadoras de valor, que prometem reduzir os custos, por meio da redução de pedidos perdidos, no transporte e armazenamento de insumos, na gestão da cadeia de suprimentos e na redução de estoques (VOLSKI, 2017).

Práticas tradicionais de construção passarão a dar lugar, a processos de montagem de componentes e sistemas construtivos. Construtoras serão remodeladas para montadoras, nesse cenário, a mecanização, industrialização, construção *off-site* (fora do canteiro de obra), modularização, dentre outros, se tornarão necessidades básicas.

Quanto ao tema na Engenharia de Produção, a pesquisa se justifica por essa área possuir foco nas dimensões do produto e sistema produtivo, havendo relação com seus projetos, viabilidade, sistemas produtivos, planejamento da produção e sua distribuição possui também foco em serviços (MÁSCULO, 2016). Nela há acompanhamento dos processos na transformação da matéria-prima, através de várias fases de fabricação, montagem e distribuição, em produtos acabados, que por fim são entregues aos clientes. Ela inclui também o fluxo de informações e finanças, além do fluxo de material (JAIN; BENYOUCEF, 2008).

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, além das referências e apêndices, descritos a seguir:

Capítulo 1 – Apresentou considerações e justificativa sobre tema e problema da pesquisa, definindo seus objetivos, estruturação e sua relação com a engenharia de produção.

Capítulo 2 – Reuniu os conceitos teóricos sobre o tema sobre I4.0, caracterização da cadeia produtiva e construção civil.

Capítulo 3 – Sumarizou a metodologia da pesquisa, apresentando os métodos utilizados para elaboração da RSL e construção do questionário.

Capítulo 4 – Apresentou a metodologia da I4.0 na construção civil, resumindo os conceitos teóricos acerca do tema da revisão de literatura sistematizada, apresentando as variáveis de desempenho da cadeia produtiva da construção civil. Nessa mesma seção, na sequência, apresenta-se como se procede a operacionalização da metodologia proposta.

Capítulo 5 – Explicou e discutiu a aplicação da metodologia da influência da Indústria 4.0 na cadeia produtiva da construção civil. Reuniu as implicações da pesquisa, sua contribuição científica e considerações finais sobre o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados temas que serviram para a proposta da presente pesquisa. A sequência dos assuntos se dá pela identificação e análise dos conceitos setor da construção civil, I4.0 na construção civil, sendo seguidos pela explanação da sua cadeia produtiva.

2.1 O setor da construção civil

A indústria da construção civil anda em passos lentos do ponto de vista tecnológico. O aperfeiçoamento nas técnicas de construção não é executado no mesmo ritmo que avanços em áreas como informática ou nanotecnologia (PERRIER et al., 2020). A construção do edifício ainda necessita principalmente de mão de obra braçal, como no assentamento de tijolos para execução de uma parede. Conforme Cavalcante et al (2018), a construção civil no Brasil ainda é caracterizada pela utilização de técnicas muito artesanais e com grandes desperdícios.

A estrutura organizacional da construção civil é bastante complexa, abrange diversos *stakeholders* ao longo de toda a cadeia de produção. A comunicação eficiente entre projetistas, construtores, fornecedores e clientes é indispensável para assegurar o sucesso do projeto e a satisfação de todas as partes (MIRANDA; SALVI, 2019). Contudo, pesquisadores apontam que os métodos convencionais de projeto podem segmentar o processo produtivo, promovendo o isolamento entre profissionais de áreas diferentes e a falta de coordenação entre as equipes (NAWI et al., 2014).

Em uma obra têm-se um alto nível de desperdício de recursos e tempo com retrabalho. Tais erros podem ser de projeto, falta de qualidade da mão de obra, controle tecnológico dos materiais, verificação dos serviços, análise de risco ou treinamento inadequado (SHERRATT; SHERRATT, 2020). Com o decorrer dos anos novas tecnologias estão surgindo para possibilitar um serviço mais eficiente, no entanto para Zulkefli (2020), a popularidade inabalável da alvenaria como sistema de fechamento mostra como a construção brasileira ainda mantém o tradicionalismo de outrora.

A economia brasileira é dividida em três grandes setores: Agropecuária, Indústria e Serviços e a Construção Civil, que faz parte do setor da Indústria contribuindo com o desenvolvimento e produção nacional (FIRJAN, 2014). Os investimentos em infraestrutura influenciam diretamente na ascensão dos demais setores industriais e, desta forma, para o crescimento do Produto Interno Bruto - PIB (SOUZA et al., 2015).

O setor da construção civil tem grande importância para o país, pois é uma atividade econômica de grande expressão e é a que mais emprega mão-de-obra, o que contribui para a diminuição das taxas de desemprego (ALVES; DREUX, 2015). De acordo com dados divulgados pelo IBGE (2021), o Índice Nacional da Construção Civil (Sinapi) apresentou alta de 10,16% em 2020, subindo 6,13 pontos percentuais em relação a 2019 (4,03%); foi a maior taxa da série com desoneração, iniciada em 2013. Em dezembro de 2020, o índice subiu 1,94%, ficando 0,12 ponto percentual acima da taxa do mês anterior (1,82%). O acumulado no ano para 2020 foi de 17,28% nos materiais, enquanto a parcela do custo com mão de obra atingiu 2,33%. Em 2019, a parcela dos materiais fechou em 4,54% e a mão de obra, em 3,47% (IBGE, 2021).

Ainda conforme a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2020) o potencial da construção civil torna-se exemplar quando consideramos o resultado do PIB do Brasil no terceiro trimestre de 2019, com expansão de 0,6% em relação ao segundo trimestre e sinalizando um crescimento de 1,2% da economia brasileira em relação ao mesmo trimestre de 2018. Nesse contexto, a construção civil foi o segmento que registrou o maior crescimento, com 1,3% de expansão, acumulando 4,4%. Combinados, esses indicadores reforçam a ideia de que quando a construção civil vai bem, a economia brasileira reage rápido.

Influenciada pela alta significativa na parcela dos materiais, a região Nordeste apresentou a maior variação regional em dezembro (2,37%) e o maior resultado acumulado em 2020 (12,50%). Nas demais regiões, os resultados foram: 1,75% (Norte), 1,69% (Sudeste), 2,27% (Sul) e 1,35% (Centro-Oeste) (IBGE, 2021).

Em Pernambuco, conforme dados do SINDUSCON-PE (2020), o Índice de Velocidade de Vendas (IVV) alcançou 10,20% no mês de setembro de 2020, subindo 0,9% em relação ao mês anterior e fica acima da média do ano (6,60%). A indústria da construção busca seguir em ritmo de retomada, com avanço da atividade, do emprego e da utilização da capacidade. No comparativo com o mesmo período do ano anterior (setembro de 2019), o IVV apresentou avanço de 4,3%.

O Índice Nacional da Construção Civil (Sinapi) pelo IBGE (2022), apresentou um índice de 0,52% em dezembro, o menor índice de 2021. Contudo, no que diz respeito ao acumulado no ano, o indicador atingiu 18,65%, subindo 8,49 pontos percentuais em relação a 2020 (10,16%), a maior taxa da série com desoneração, iniciada em 2013. Em dezembro de 2020, o índice foi de 1,94%. O custo nacional da construção, por metro quadrado, subiu para R\$ 1.514,52 em dezembro, sendo R\$ 910,06 relativos aos materiais e R\$ 604,46 à mão de obra. Em novembro, o custo havia sido de R\$ 1.506,76 (IBGE, 2020).

2.1.1 Revoluções industriais e seus efeitos na construção civil

Para Silva (2015), o conceito de revolução refere-se a ideia de aceleração no tempo, de vertente universal e permanência, com a chegada do novo e inédito e, assim sendo, desapego ao passado como valor para o presente. Associando esse conceito ao ambiente industrial, têm-se as revoluções industriais diante de mudanças aceleradas e radicais que direcionam a indústria a um nível de qualidade e produtividade que só seria possível com anos de desenvolvimento e pesquisa (DATHEIN, 2003).

Sem incluir a que está em andamento, já ocorreram três revoluções industriais na história da indústria. A Primeira Revolução Industrial foi marcada pelo surgimento de máquinas movidas a vapor. Na Segunda Revolução Industrial foi inserido o uso prático da energia elétrica. E, finalmente, na Terceira Revolução Industrial deu-se início a inclusão da automação de máquinas (SCHWAB, 2016).

A Primeira Revolução Industrial foi iniciada no século XVIII através da criação de motores a vapor, o carvão era utilizado como fonte de energia dos motores através da vaporização da água; estes motores possibilitaram a criação do tear mecânico, isso permitiu a produção em massa de tecidos em indústrias, transformando o sistema de produção de manufatura para fabril (DATHEIN, 2003).

A construção civil também foi influenciada pela Primeira Revolução Industrial, pois com a utilização do carvão como fonte de energia, o ferro passou a ser fabricado em escala industrial, através dos processos criados como o de pudragem, de laminação e utilização de jato de ar quente (DATHEIN, 2003). Deste modo o ferro foi inserido na construção civil. As melhorias nos transportes, através das estradas de ferro, locomotivas e navios a vapor, transformaram a maneira como a matéria prima das construções chegava à obra, reduzindo os custos e o tempo de transporte.

A Segunda Revolução Industrial teve início no final do século XIX com a utilização funcional da energia elétrica e a invenção do motor a explosão (DATHEIN, 2003). O petróleo substituiu de forma gradativa o carvão como fonte de energia desse motor. A água e o urânio começaram a ser explorados como novas fontes de energia. O motor a explosão facilitou o surgimento de novos meios de transporte que trabalhavam de forma mais ágeis e eficientes, isso contribuiu para que as estradas de ferro fossem o meio de transporte com o maior crescimento no período.

Com a Segunda Revolução Industrial a construção civil foi beneficiada em especial pela produção em escala do aço, agilidade no deslocamento de transportes e criação do concreto

armado (DIAS, 2001). Bem como na Primeira Revolução Industrial, o avanço no setor de transportes, com o uso do motor a combustão, atuou na redução de custos e tempo no transporte dos materiais de construção. Em 1849, o concreto armado foi inventado por Joseph Louis Lambot (1814-1887), o qual é resultado da utilização conjunta do aço e concreto para a construção; o concreto com a finalidade de promover resistência a compressão e o aço a tração, viabilizando a construção de estruturas de concreto mais esbeltas e resistentes (CARVALHO, 2008).

No século XX, foi iniciada a Terceira Revolução Industrial. Também conhecida como a Revolução Informacional em razão da utilização de tecnologia e sistema informático na produção industrial, destacam-se como principais avanços o desenvolvimento da computação e robótica, uso de fontes de energia diversificadas e menos poluentes e a globalização (BLANCO, 2017). O uso da robótica reduziu os custos relativos à mão de obra e otimizou a produtividade, com a globalização, houve uma integração social, econômica e política, no planeta, elevando o avanço tecnológico, da produção e do consumo de bens (HOUSTON, 2017).

Neste período, os principais avanços no mercado da construção foram a produção industrializada dos materiais de construção e processo construtivo, utilização da computação e robótica no setor. Com o objetivo de reduzir os custos dos componentes fabricados, a produção nas fábricas também tem uma quantidade de resíduos reduzida, dado que todo o processo de fabricação dos componentes é feito fora do canteiro de obras, em um ambiente apropriado que viabiliza um controle de qualidade maior do produto final, como também uma baixa variabilidade, pois são produzidos em larga escala, com linhas de produção organizadas e repetição das atividades (ACKER, 2002). O uso da computação na construção permitiu a geração de uma maior base de dados para o controle da obra, bem como projetos mais precisos elaborados com ajuda de softwares.

2.2 Indústria 4.0 na construção civil

Segundo o relatório do *World Economic Forum* de 2016, “*Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology*”, no mundo todos os dias, mais de 200.000 pessoas migram para as áreas urbanas. Estas pessoas tem necessidades a serem atendidas, no que se refere à habitação, infraestrutura social, transporte, serviços públicos, saúde e educação. A realidade é que o setor de engenharia e construção tem apresentado baixa velocidade na resposta aos ganhos de produtividade necessários para atender esta demanda.

Diante do contexto tecnológico, os processos de construção são basicamente três processos: tradicional, convencional e industrializado. No processo tradicional encontra-se o modelo artesanal, já o processo convencional se refere a divisão de trabalho e a mecanização parcial. E no processo industrializado há total mecanização (SILVA; SIMÃO; MENEZES, 2018).

De acordo com a CBIC é percebido que há uma elevação do custo da mão de obra, ocasionada pela maneira desordenada em que o mercado imobiliário cresceu. Em consequência disso, a busca por tecnologias para diminuir o contingente de operários em obra e o custo das obras também aumentou (CBIC, 2016).

De acordo com o estudo desenvolvido pela PwC Global (*PricewaterhouseCoopers*) em 2016, a ausência de cultura digital e de treinamentos específicos foi identificada como o maior desafio enfrentado pelas empresas de engenharia e construção em todo o mundo na implantação dos conceitos da I4.0.

É uma necessidade absoluta a inserção do setor de construção no universo de inovação da I4.0 juntamente com um movimento estruturado para que o setor avance no desenvolvimento da construção *off-site* e modular – seguindo as mesmas diretrizes do que tem acontecido nos países mais avançados e nos de maior contingente populacional no mundo, com rumo à solução de problemas deste nível de complexidade (OLIVEIRA, 2021).

Diversas tecnologias estão sendo inseridas no contexto da construção civil, trazendo uma mudança significativa no modo de trabalho, como a computação em nuvem, drones, realidade aumentada e virtual, manufatura aditiva, BIM e rastreamento automático (RFID, GPS ou GIS) (SILVA; SIMÃO; MENEZES, 2018).

2.2.1 Computação em nuvem

Trata-se de uma plataforma remota que automatiza processos, possibilitando que o gestor e sua equipe armazenem e tenham acesso ao que for necessário de onde estiverem por isso é essencial utilizar tecnologia de ponta em todos os setores ligados a construção civil, refletindo o desenvolvimento de um negócio digital e tecnológico (ARAÚJO; ALVES, 2019). Os benefícios da computação em nuvem para a indústria da construção começam nos processos internos. Nesta indústria, é frequente que os funcionários fiquem dispersos em diferentes locais de construção, isto é, fora do alcance de uma infraestrutura de TI de escritório tradicional (VIEIRA; MEIRELLES, 2015).

Desta forma, a parceria dos aplicativos móveis e a nuvem são primordiais na otimização dos processos e de comunicação entre a equipe. As soluções de software integradas a nuvem também contribuem na produtividade do setor (NANATH; PILLAI, 2013). Com o auxílio dessa plataforma é possível, integrar o gerenciamento de projetos diretamente ao canteiro de obras, reduzindo desta forma, a visita aos escritórios para o planejamento e relatório dos projetos (CAVALCANTE et al., 2018).

2.2.2 Drones

Nascidas no meio militar, essas pequenas aeronaves tornaram-se popularizar. Assim, foi possível reduzir seu custo. Com isso, é cada vez mais comum o uso de drones em atividades industriais e comerciais de vários segmentos da economia. Estão sendo incluídos também em canteiros de obras, ajudando no acompanhamento e controle construção (BATISTA, 2017).

Estáveis e fáceis de controlar enquanto no ar, os drones possibilitam estudar de maneira detalhada a evolução da construção de uma edificação. Assim, os drones são capazes de capturar imagens a partir de diversos ângulos, até então, impossíveis de acessar. Gerando, inúmeras formas de captura de imagens proporcionadas pelos drones na construção civil (GABRIEL et al., 2018). Através desse item as construtoras têm coletado dados altamente estratégicos, os quais contribuem para aprimorar a capacidade de projeto e planejamento de construções imobiliárias, residenciais, corporativa, industriais, de infraestrutura, de instalações, dentre outras (NASCIMENTO et al., 2018).

2.2.3 Realidade virtual e aumentada

A realidade virtual é uma tecnologia que permite a interação entre o usuário e um sistema operacional, através de recursos gráficos 3D ou imagens 360°. O objetivo é oferecer ao usuário a sensação de estar presente em um ambiente virtual, possibilitando uma completa imersão no ambiente simulado em tempo real (ALVES, 2014).

Os benefícios dessa tecnologia na indústria da construção são diversos como, contribuir para o trabalho do design de projetos, permitindo que profissional possa visualizar o projeto em 3D no ambiente de uma obra, sendo capaz de identificar possíveis erros ou reparos a serem feitos. Com a simulação em um ambiente virtual o cliente consegue se sentir dentro da residência, antes mesmo de ela ser construída, com a possibilidade de solicitar antecipadamente modificações nos projetos (TORI; HOUNSELL, 2018).

Já a realidade aumentada tem o objetivo inverso da realidade virtual, pois a aumentada insere elementos digitais na realidade física. Como por exemplo, a partir de uma filmagem de uma sala vazia, o aplicativo pode inserir cores de tintas nas paredes para que o usuário possa analisar como ficaria tal escolha, antes de executá-la (ESTEVEZ JÚNIOR; MARTINS, 2020).

2.2.4 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva (MA) vem se popularizando em virtude da sua capacidade de produzir peças de alta complexidade em um tempo consideravelmente baixo. Por exemplo, em uma construção realizada de forma tradicional, os canais para passagem de instalações elétricas devem ser fabricados em uma operação diferente da construção da parede. Com o auxílio de uma impressora 3D (3DP) tudo pode ser feito ao mesmo tempo (ALBA et al., 2019).

Outro grande benefício associado à 3DP é a possibilidade de produzir produtos completamente customizáveis. Além disto, é possível reduzir consideravelmente o custo para produção de protótipos com o uso das 3DP, o que tem acelerado o desenvolvimento de novos produtos (KRISTOMBU BADUGE et al., 2021) Esta técnica também promove a redução no desperdício de materiais, já que praticamente não existem sobras durante a produção (WANG et al., 2020).

Segundo dados das Nações Unidas sobre a população mundial, as cidades em todo o mundo estão ficando maiores, com cerca de 51,6% da população mundial vivendo nas cidades (UNITED NATIONS, 2019). É previsto que em 2030 a população mundial atinja cerca de 8,5 bilhões de pessoas, com perspectiva de aumentar ainda mais para 9,7 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100 (UNITED NATIONS, 2019).

Nesta perspectiva a construção, através da 3DP, oferece ao setor da construção uma oportunidade de realizar uma mudança radical, com o potencial de gerar economias de custo reduzidos, transferindo muitos aspectos da atividade de construção dos canteiros de obras tradicionais para fábricas com produção fora do local (MCKINSEY, 2019).

2.2.5 BIM (Modelagem da Informação da Construção)

O BIM é a construção de um modelo em formato virtual com maior precisão na elaboração de projeto de uma edificação, onde contém dados relevantes e necessários para fornecer suporte à construção e incorporar funções necessárias para o ciclo de vida de uma edificação (EASTMAN *et al.*, 2014).

A forma abstrata do desenho da edificação e a compatibilização manual de projetos, que antes eram fundamentadas na representação bidimensional, dentro de um processo de trabalho relacionado ao uso de ferramentas ou sistemas CAD (*Computer Aided Design*), no método BIM são realizadas através de modelos geométricos tridimensionais, ricos em informações do edifício. Observa-se, portanto, que a substituição da representação gráfica pela representação e simulação numéricas determina um novo horizonte para elaboração de projetos (RUSCHEL et al., 2013).

O BIM também possibilita a integração de informações gráficas e não gráficas, possibilita que as partes interessadas da indústria da construção possam trabalhar de forma colaborativa para a entrega eficiente do projeto ao longo do ciclo de vida dos projetos de construção (PEZESHKI et al., 2019).

De acordo com Oliveira (2021), além de proporcionar modernidade ao setor de construção e de maior preparação para enfrentar e solucionar problemas desta natureza, que requerem ganhos de produtividade excepcionais, há vários outros benefícios envolvidos proporcionados pela indústria 4.0, como por exemplo:

- Produção em ambiente controlado, em uma fábrica (*off-site*), com processos padronizados;
- Qualidade e desempenho maiores, com mínimo retrabalho e redução nos custos de operação e manutenção das edificações, ao longo do seu ciclo de vida;
- Produtos mais sustentáveis, com menor índice de desperdício (até 80% menos de entulho), diminuição no consumo de água e energia na produção, bem como menor impacto, ruído e pó, durante a etapa de montagem (*on-site*);
- Previsibilidade de custos e prazos, o que não acontece na construção tradicional, com a compactação dos prazos de até 50% e a redução do custo em até 20%;
- Maior segurança para os profissionais envolvidos na operação de fabricação e montagem e também para as pessoas e edificações, no entorno do local do canteiro de obras.

2.2.6 Planejamento de recursos empresariais na construção civil

Software de gestão integrada, denominados Sistemas de Planejamento de Recursos Empresariais (ERP), em inglês *Enterprise Resource Planning*, são utilizados quando a organização busca otimizar seu fluxo de informação o que pode promover uma transformação dos seus bens físicos, desde a matéria-prima até os produtos acabados (BARISON, 2015). O sistema tem o objetivo de atender as exigências do setor, através do controle de custos e

processos, e, por consequência, potencializando resultados, aumentando a produtividade (VIEIRA, 2006).

A integração proporcionada pelo ERP possibilita a empresa estar conectada de maneira permanente com todos os canteiros, mantendo um banco de dados único, evitando erros e eliminando as possíveis redundâncias (MAINARDES et al., 2014). Através da utilização de uma revisão de processos, o sistema permite que as atividades da organização sejam mais eficientes, em razão da redução de tarefas supérfluas e da melhoria dos controles (VIEIRA, 2006). Na integração, as informações que anteriormente se encontravam dispersas pelos fluxos de processos passam a ganhar maior visibilidade, tornando os processos existentes padronizados, aumentando a eficiência (MAINARDES et al., 2014).

O uso do ERP para construção civil promove maior efetividade na organização e facilidade para a gestão na construtora em diferentes âmbitos. De acordo com o estudo de Hewavitharana et al. (2019) utilizando 210 demonstrações financeiras de 29 construtoras, sobre o impacto dos ERP para a indústria da construção dentre as empresas entrevistadas, 90% das que implantaram um ERP tiveram sucesso em seus processos diários.

Com esse sistema, a construtora tem a capacidade de fazer uma gestão integralizada em todas as suas áreas — ou de boa parte delas. Processos complexos e que exigem um esforço maior, se tornam mais simples, pois o uso de um ERP para construção civil elimina grande parte das atividades manuais (KRAINER et al., 2013). A empresa ganha tempo e os profissionais conseguem se dedicar mais às atividades estratégicas. O uso de um ERP para construção civil também favorece a competitividade, pois auxilia na tomada de decisão, tornando-a mais rápida e inteligente (DOS SANTOS, 2002).

2.2.7 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) envolve vários aparelhos conectados que permitem uma interação uns com os outros para monitorar, relatar e alternar as coisas em diferentes graus de inteligência. A IoT está transformando todas as facetas dos edifícios, a forma como os habitamos, os gerenciamos e construímos. Já é possível perceber as vantagens da utilização da IoT em edifícios completos e durante a fase de construção. Segue alguns exemplos:

- *Wearables* para Equipamentos de Proteção Individual (EPI): nesta tecnologia é realizada a inclusão de recursos como tecidos que conserva a temperatura mais baixa dos trabalhadores durante os meses mais quentes. Isso só é possível pela ação de sensores que fornecem o monitoramento constante do corpo e do meio ambiente, assim como visores de realidade

aumentada, para assegurar que os usuários estarão atualizados sobre mudanças repentinas no ambiente envolvente, enviando sinais de alerta quando há algum perigo (SANTOS JÚNIOR et al., 2019);

- *Smart Grid*: É realizada uma integração com todos os componentes do sistema elétrico, o que inclui geração de energia, transmissão, distribuição e o(s) usuário(s), com diversos sistemas participantes, como por exemplo sensores, medidores domésticos, elementos de atuação e outros. A tecnologia permite a sincronização de atividades relativas à computação, comunicação e automação e através da utilização de sensores sem fio, embutidos em concreto, onde seu uso pode ser aplicado no monitoramento de carga em concreto, por exemplo, informando sobre seu comportamento após mudanças climáticas, desgaste com o tempo, terremotos ou outros eventos (SHARMA et al., 2021);
- *Beacons de localização*: No decorrer da execução de um projeto de construção, ocorrências como fundos mal direcionados, entregas atrasadas ou incorretas e equipamentos de construção mal colocados são habituais. Boa parte desses problemas podem ser rastreados, permitindo que sejam sinalizados e solucionados pelos profissionais responsáveis. O desenvolvimento da tecnologia da construção está contribuindo para combater essas questões, proporcionando interações aceleradas e mais suaves entre clientes, desenvolvedores e trabalhadores. Por exemplo, as tags podem ser usadas de maneira remota para monitorar os números de qualquer máquina, reduzindo os custos associados ao deslocamento (KUIPERS et al., 2014);
- *Monitoramento preciso de máquinas*: Serão instalados em máquinas e ferramentas sensores com a capacidade de identificar quando reparos são necessários. Desta forma, terão como informar aos usuários essa situação e, também, agendarão seus próprios compromissos de reparação antes de uma falha mecânica. Através da Internet das Coisas, os equipamentos conseguem enviar informações sobre a quantidade de energia elétrica que eles usam, de modo que a iluminação após o horário de trabalho possa ser ajustada para garantir a economia de energia. As máquinas podem enviar informações sobre o tempo de inatividade, para que os períodos de desligamento possam ser ajustados sem penalizar os projetos durante o tempo necessário para reiniciar as máquinas (MACHADO e RUSCHEL, 2018);

Um estudo intitulado “*Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil*” foi encomendado pelo o BNDES (2017), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e realizado pela consultoria *McKinsey*. Os resultados

apontam que o Brasil pode ganhar 27 bilhões de dólares em potencial econômico até 2025 graças à economia com gestão pública, transporte, segurança e energia promovida pela IoT. Desta forma a IoT torna-se essencial para que a construtora consiga se manter no mercado e alcançar novos horizontes.

2.3 Cadeia produtiva da construção civil

A cadeia produtiva da construção civil está dividida em três: cadeia montante, cadeia principal e cadeia jusante. A cadeia montante está ligada de maneira direta com as etapas que ocorrem antes de iniciar uma obra, isto é, compreende as indústrias (madeireira, cerâmica, telecom e redes, segurança, etc.), insumos variados (cimento, areia, cal, rejunte etc), materiais elétrico, siderúrgica, equipamentos de segurança (EPIs), entre outros; já as etapas durante a execução da obra estão ligadas a cadeia principal, por exemplo o desenvolvimento de projetos, serviços técnicos especializados, tecnologia e inovação (softwares de gestão, automação etc) e utilização de ferramentas e equipamentos; na cadeia jusante engloba desde o transporte e aproveitamento residuais à indústria moveleira, serviços de decoração (arquitetos e decorações), manutenção de imóveis, entre outros (SEBRAE, 2008; FREITAS, MELHADO e CARDOSO, 2018).

Na construção civil, de acordo com Oghazi et al. (2016), o setor de equipamentos do gerenciamento da cadeia produtiva ocorre por meio da integração do processo de gerenciamento de relacionamento com fornecedores. Os autores observaram que a falta de harmonia entre os objetivos do fabricante e seu fornecedor é o principal obstáculo em potencial para a integração da cadeia produtiva da construção. Nesse contexto, destacam que os estudos sobre o gerenciamento, na última década, evidenciam que a integração dos processos de negócios pode elevar a eficácia e a eficiência do desempenho em toda a cadeia. De acordo com Volski (2017), esta integração, no que se refere a redes na cadeia de suprimentos, pode ser compreendida como as ações necessárias para que o grupo trabalhe de forma conjunta em prol de um objetivo visando ao todo, podendo ser caracterizada como a sua estratégia ou objetivo do negócio.

Li et al (2016) observaram que a cadeia produtiva da construção, no setor de pré-fabricados, em Hong Kong e utilizaram a análise de rede social para identificar e analisar na rede da cadeia de suprimentos os fatores de risco relacionados a partes interessadas, enfatizando que os relacionamentos entre fornecedor e fabricante têm papéis importantes na estruturação de toda a rede. A estruturação da rede, nesse sentido, tem influência no desempenho da cadeia produtiva mediante a forma como se dão os relacionamentos entre os fabricantes e fornecedores

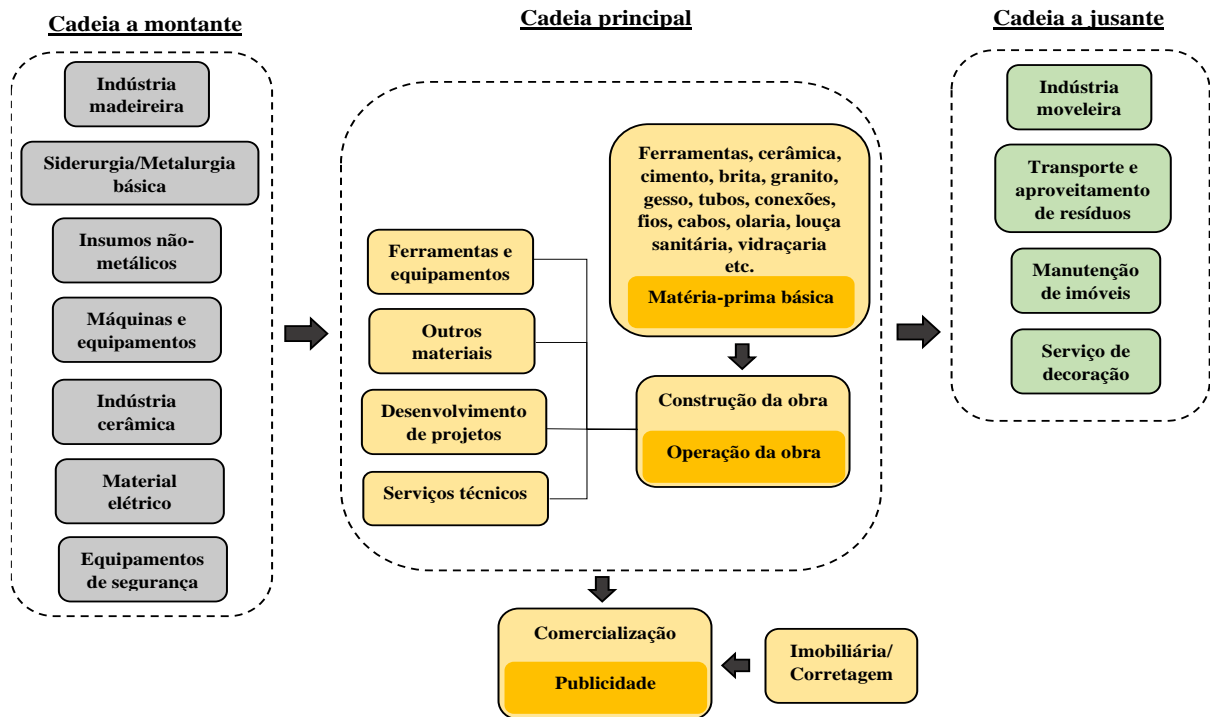
na construção civil. Outro ponto na avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos da construção relaciona-se as expectativas dos clientes.

Enquanto, Mesa et al. (2016) afirmaram que a maior parte dos projetos de construção não atendem às expectativas de desempenho dos proprietários e que estudos exploraram a entrega do projeto ainda são insuficientes, os relacionamentos da cadeia produtiva e seu potencial desempenho no projeto. Seus resultados analisam que a comunicação, alinhamento de interesse e objetivos, trabalho em equipe, confiança e compartilhamento são os fatores mais influentes do desempenho da entrega do projeto são. De maneira geral, os fatores encontrados dizem respeito às competências necessárias para que as empresas estejam habilitadas a trabalharem juntas para a entrega final conforme a expectativa do projeto.

Cada vez mais têm-se buscado formas de diminuir os desperdícios no decorrer das obras e o gerenciamento enxuto vem como uma proposta para aumentar o desempenho do projeto. Para Meng (2019), hoje em dia, a construção procura práticas enxutas, buscando aprender com a manufatura e trilhando seus próprios caminhos. De forma semelhante à manufatura, mais e mais projetos de construção aderem a produção industrializada e padronizada e gerenciamento enxuto com colaboração da cadeia produtiva para se tornarem mais enxutos. Entretanto, abordagens de gerenciamento específicas da construção e ferramentas de tecnologia da informação (TI) são cada vez mais usadas nas práticas de construção enxuta para maximizar o valor e minimizar o desperdício (THOMAS et al., 2016).

A cadeia produtiva da construção civil tem como atividades-âncora as obras de edificações, com a demanda direta de insumos, matérias-primas básicas, equipamentos e serviços de operação da obra, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Cadeia produtiva da construção civil



Nota: Sebrae (2008)

De acordo com Dallasega et al (2018), a quarta revolução industrial está revolucionando não apenas a indústria de manufatura, como também está alcançando a indústria da construção e suas cadeias de fornecimento conectadas. A cadeia produtiva da construção tem características específicas, como serem organizações temporárias que requerem altos esforços de coordenação para alinhar os processos dos atores da cadeia de suprimentos. O conceito de proximidade é utilizado para analisar a sincronização entre os fornecedores e o canteiro de obras.

2.4 Revisão da literatura

As inovações no setor da construção civil estão avançando cada vez mais rápido. A cada dia surge uma solução nova com capacidade para resolver um determinado problema de um modo mais simples, econômico e sustentável (AGHIMIEN et al., 2021). Porém, para aproveitar essas inovações é necessário saber quais são as atuais ferramentas disponíveis e como utilizá-las, caso contrário, corre-se o risco de deixar passar grandes oportunidades (LOJANICA et al., 2018).

Segundo dados das Nações Unidas sobre a população mundial, as cidades em todo o mundo estão ficando maiores, com cerca de 51,6% da população mundial vivendo nas cidades (UNITED NATIONS, 2019). É previsto que em 2030 a população mundial atinja cerca de 8,5 bilhões de pessoas, com perspectiva de aumentar ainda mais para 9,7 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100 (UNITED NATIONS, 2019).

Nesta perspectiva a construção, através da 3DP, oferece ao setor da construção uma oportunidade de realizar uma mudança radical, com o potencial de gerar economias de custo reduzidos, transferindo muitos aspectos da atividade de construção dos canteiros de obras tradicionais para fábricas com produção fora do local (MCKINSEY, 2019).

2.4.1 Protocolo de revisão da literatura

Os resultados desta revisão foram apresentados no III JCA (nacional) e no DASA2021 (internacional). A III Jornada Científica de Administração do CAA foi realizada em ambiente virtual, o evento foi promovido pelo curso de Administração do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco, para este evento foi submetido um resumo expandido, apresentando os resultados da pesquisa de uma revisão sistemática da literatura no período de 2015-2021 sobre os benefícios da aplicação da MA quanto ao déficit habitacional. O DASA2021, Conferência Internacional sobre Ciências e Aplicações do Auxílio à Decisão, é um fórum interdisciplinar para a apresentação de desenvolvimentos e aplicações recentes no campo das Ciências do Auxílio à Decisão. Para ele foi elaborado um artigo completo baseado também em uma revisão sistemática da literatura no período de 2015-2021 com o objetivo de analisar como a manufatura aditiva, com o auxílio da impressão 3D, pode auxiliar na evolução da construção civil. Para este trabalho optou-se por expandir a pesquisa e incluir as aplicações da I4.0 na cadeia produtiva da construção civil. Para isto foi elaborado o seguinte protocolo de pesquisa, como apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 - Protocolo de Pesquisa

Procedimento	Descrição
Palavras-chave	Industry 4.0; 4th Industrial Revolution; Fourth Industrial Revolution; Advanced Manufacturing; Supply chain 4.0; Digital-Manufacturing; 4th Industrial Revolution; Cyber-Physical System; Construction; Supply Chain; Supply Chain Management; Construction Supply Chains; Building Information Modeling; BIM.
Operadores booleanos	AND/OR
Busca	TS= ((Industr* 4.0 OR 4th Industrial Revolution OR Fourth Industrial Revolution OR Advanced Manufacturing OR supply chain* 4.0 OR Digital-Manufacturing OR 4th Industrial Revolution OR Cyber-Physical System) AND (Construction) AND (Supply Chain* OR Supply Chain* Management* OR Construction Supply Chains OR Building Information Modeling OR BIM))
Base de dados	IEEE Xplore; Web of Science; Scopus e Science Direct.

Período	De 2015 até 2021
Critério de inclusão	Artigos completos de periódicos internacionais, revisados por pares e escritos em inglês
Critério de exclusão	Artigos que citam apenas as palavras-chave, mas não relacionam diretamente Construção civil e Indústria 4.0.

Fonte: A Autora (2022)

A pesquisa retornou um total de 244 artigos, pode-se observar que, apesar desses estudos trazerem os termos “Indústria 4.0”, “Construção Civil” e “Cadeia Produtiva” pesquisados em seus títulos ou resumos ou palavras-chave, nem todos eles tratavam de fato do tema aqui observado, ou seja, da aplicação da Quarta Revolução Industrial na cadeia produtiva da construção civil.

Para evidenciar tal situação, tem-se como exemplo alguns estudos que compunham o conjunto inicial de artigos. Para To et al. (2021), trazem como proposta um *framework Information Fusion* para fundir componentes heterogêneos em um *framework Digital Twin* de uma variedade de tecnologias envolvidas, o qual visa aumentar o *Digital Twin* em edifícios com o uso de IA e reconstrução 3D potencializada por veículos de aviação não tripulados. Os autores em seu resumo apresentam uma estrutura de aumento *Digital Twin* baseada em drones com componentes reutilizáveis e personalizáveis, sem um aprofundamento da I4.0 na cadeia produtiva do setor. Dounas, Lombardi e Jounas (2020), apresentaram uma estrutura para o projeto arquitetônico descentralizado no contexto da quarta revolução industrial, onde foi examinado primeiro as restrições da modelagem de informações de construção em relação à colaboração e confiança. O artigo é direcionado para uma questão arquitetônica, não abrangendo o tema do presente estudo. Já Zarzuelo, Soeane e Bermúdez (2020), apresentaram uma revisão do estado da arte de novas tecnologias emergentes em portos e terminais e como estão implantando projetos específicos na nova era dos portos inteligentes e Portos 4.0.

Após realizada uma análise cuidadosa dos artigos, pode-se concluir que embora compreendam os termos inseridos, nem todos os trabalhos realmente abordam o que se buscava nessa revisão, que era analisar os estudos que abordassem a I4.0 na cadeia produtiva da construção civil. Logo, foram lidos todos os títulos, resumos e palavras-chave dos 244 artigos com o objetivo de identificar o contexto. Desses, 176 artigos foram excluídos por não se adequarem ao que se buscava. Portanto, a análise e apresentação dos resultados são baseadas nos 68 artigos resultantes das filtrações anteriores.

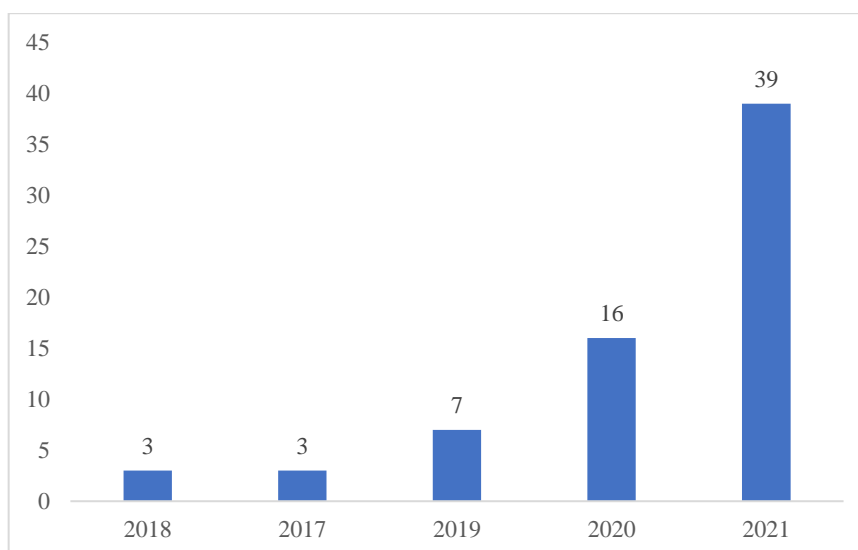
Na análise bibliométrica dos 68 artigos, inicialmente, foram observados e organizados de acordo com o ano de publicação, tema abordado na pesquisa e, por fim, por se tratarem em sua maioria de trabalhos em cunho exploratório, foi identificado o país de vínculo do autor

principal. Essa organização dos artigos ajudou na extração de informações importantes sobre as tendências das pesquisas. Essas informações podem ser observadas de forma isolada para cada estudo conforme o Apêndice A.

2.4.2 Análise bibliométrica dos artigos

Após a análise dos artigos, observou-se que a partir de 2020 houve um aumento considerável nos estudos voltados para inclusão da I4.0 para a construção civil, este tema tem recebido maior atenção dos pesquisadores, conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Números de artigos por ano



Fonte: A Autora (2022)

Esse aumento dos estudos pode ser explicado pelo preço da construção do m² mais que dobrou nos últimos seis anos e a situação da indústria da construção civil diante a pandemia COVID-19, onde o setor da construção foi um dos maiores impactados e precisou encontrar formas de se adaptar de maneira rápida e manter o ritmo de produção, para minimizar impactos, em especial sobre os compromissos firmados. Os principais impactos percebidos foram em relação à paralisação das obras, redução das jornadas de trabalho, bloqueios na exportação e alta do dólar (LUNARDELLI, 2021). Desta forma, novas formas de execução e ferramentas precisaram ser implantadas visando diminuir custos, elevar qualidade e entregar as obras no tempo adequado, estimulando assim pesquisas sobre as tecnologias da I4.0 aplicadas na construção civil com o intuito de otimizar e melhorar processos.

Quanto às áreas de aplicação dos estudos observados, a Tabela 2 evidencia essas áreas e a proporção de cada uma. Percebe-se uma preferência dos autores em estudarem as questões de vantagens e desafios na implantação da I4.0 na construção. Entre eles pode-se destacar os desafios na implantação da I4.0 no setor nos estudos de Kedir e Hall (2021), Alaloul et al. (2020) e Delgado et al. (2019). Já Lojanica, Colic-Damjanovic e Jankovic (2021), Wu et al. (2021), Sepasgozar et al. (2020), Tahmasebinia et al. (2020), Goh, Sing e Yeong (2020) apresentaram a Manufatura Aditiva como um dos pilares críticos da Indústria 4.0 e a próxima revolução da construção. Para Begić e Galić (2021), Mannino, Dejaco e Cecconi (2021) e He et al. (2021) o BIM oferece novas oportunidades para apoiar o projeto e a fabricação computadorizados de edifícios industrializados, proporcionando maior produtividade e economia.

Tabela 2 – Tema principal dos trabalhos

Área de aplicação	Quantidade
Implantação da I4.0	22
Manufatura Aditiva	19
BIM	11
Digital Twin	5
Realidade Aumentada	3
Construção fora do local (OSC)	3
Novas fórmulas de concreto	1
Tecnologias DSCP	1
Meio Ambiente	1
Internet das Coisas	1
Filosofia Lean	1

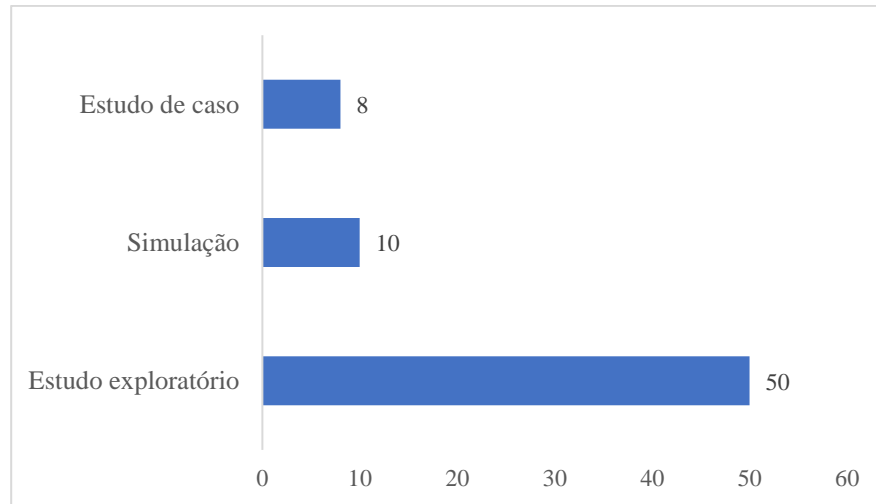
Fonte: A Autora (2022)

Os trabalhos também foram divididos em três categorias, a saber:

- Estudo de caso: estudos que utilizaram a I4.0 na construção civil em situações reais, como objeto de aplicação dos sistemas e metodologias desenvolvidas pelos investigadores.
- Estudo exploratório: estudos com a função de preencher lacunas existentes, oferecer mais informações e suporte que facilitem aplicações e estudos futuros.
- Simulação: utilização de dados reais pré-existentes e/ou redes simuladas para aplicação de sistemas e metodologias desenvolvidas pelos investigadores.

Baseados nesta classificação, a distribuição dos artigos pode ser observada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Distribuição das publicações por categoria



Fonte: A Autora (2022)

Percebe-se que 73,5% dos trabalhos publicados podem ser classificados como estudos exploratórios. A Construção 4.0 ainda está em processo de formação e há necessidade de maiores investigações o que justifica a quantidade elevada de estudos sobre o tema. Um número limitado de estudos de caso foi encontrado nas aplicações dos princípios da Indústria 4.0 no setor da construção, que é consistente com outros estudos (KOZLOVSKA et al., 2021; WANG et al., 2020).

Como demonstrado no Gráfico 3, a maioria dos artigos tratam de investigações sobre o tema, ou seja, sem um estudo aplicado *in loco*. Assim, para identificar os países referentes aos trabalhos selecionados foi elegido o país referente ao autor principal de cada artigo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de artigos por país

País	Quantidade	País	Quantidade
Reino Unido	8	África do Sul	1
Austrália	6	Áustria	1
China	6	Brasil	1
Estados Unidos	6	Canadá	1
Espanha	3	Coreia do Sul	1
Itália	3	Croácia	1
Portugal	3	Dinamarca	1

Alemanha	2	Hong Kong	1
Emirados Árabes	2	Hungria	1
Eslováquia	2	Índia	1
França	2	Londres	1
Malásia	2	Países Baixos (Holanda)	1
Singapura	2	República Tcheca	1
Suécia	2	Sérvia	1
Suíça	2	Vietnã	1
Turquia	2		

Fonte: A Autora (2022)

Na Tabela 3, percebe-se que os países com maior publicação de estudos estão localizados no Reino Unido. Este resultado pode ser explicado pela implantação do projeto Catapulta, o mesmo busca usufruir dos pontos fortes do país, quanto ao incentivo a pesquisa básica de excelência e capacidade empresarial doméstica visando estudar e investir em tecnologia, criando desta maneira capacidade e geração de massa crítica fundamental para garantir competitividade efetiva nas cadeias globais de valor, e potenciais mercados globais de alto crescimento (IEDI, 2018). Este projeto é composto por seis centros, um deles é o HVMC (Indústria de Transformação de Alto Valor), sua principal missão é auxiliar as empresas na aceleração e redução do risco associado à aplicação de conceitos novos para a realidade comercial, bem como elaborar tecnologias de próxima geração com potencial para transformar a indústria britânica e promover inovação com vistas a alcançar novos setores e mercados (IEDI, 2018).

Os modos de aplicação da I4.0 se diversificam cada vez mais e o setor da construção civil está sendo palco para o desenvolvimento de mais uma aplicação deste incrível processo que opera diversas ferramentas. Em um quadro de industrialização da construção e da incorporação do BIM, dentre as possíveis vantagens ofertadas pelas I4.0 está a maior flexibilidade de criação do profissional, com a utilização de formas geométricas mais inovadores (GOH et al., 2021).

Uma dessas vantagens é a utilização da 3DP, este equipamento possibilita a personalização dos produtos, que são produzidos conforme necessidades específicas, maior controle da qualidade e menor desperdício de material (ALBAR et al., 2019). Há também a diminuição dos resíduos, bem como a redução no uso de materiais e consumo de energia elétrica, redução dos custos, onde diminui o custo unitário com a produção em quantidades ajustáveis, aumento na produtividade com a produção do digital ao físico através da rápida prototipagem,

diminuição dos erros, ao passo que é possível corrigir falhas antes de finalizar a produção e melhorias na qualidade final dos produtos (CARNEAU et al., 2020).

A adoção da I4.0 na construção terá grande impacto no custo total da construção, pois a aplicação da 3DP pode reduzir 63% dos custos, que são incorridos com a utilização de formas (PAN et al., 2021). Com a utilização da 3DP é possível de reduzir 35 a 60% do custo geral de construção devido à remoção de formas (PAN et al., 2021).

Quanto as desvantagens, a implantação desta tecnologia, tem um custo mais alto, quando se comparado com outras tecnologias tradicionais, considerando o investimento inicial feito para a aquisição das máquinas (MESA-FERNÁNDEZ et al., 2020). As impressoras e seus insumos se não forem empregados de maneira correta tornam-se relativamente. Para que o investimento seja bem aplicado é preciso uma fabricação considerável (TAY et al., 2017).

As constantes mudanças econômicas, políticas, tecnológicas e ambientais é algo frequente na rotina das organizações, isto as impulsiona a buscarem por vantagens competitivas no atual cenário. Na indústria da Construção Civil não poderia ser diferente. Nos últimos anos esta área vem crescendo e auxiliando na geração de novos empregos e contribuindo para o desenvolvimento da economia Mundial (EL-SAYEGH et al., 2020).

Uma forma eficiente para ganhar destaque no setor de construção civil é adotar técnicas inovadoras, tais como a implementação da manufatura aditiva através da 3DP. Essa técnica inovadora promove diminuição no impacto ambiental, melhora o trabalho em equipe e aperfeiçoa líderes.

Os benefícios são diversos para as construtoras que implementem a 3DP a sua cultura. A mesma promove uma construção mais rápida sem perder a qualidade, sabendo que o tempo é um elemento importante para realização de qualquer projeto de construção, reduzi-lo é essencial (ALBAR et al., 2019). A velocidade de construção é muito mais rápida do que os métodos tradicionais, o que aumentaria a escala da construção e ajudaria na produção em massa (SEPASGOZAR et al., 2020). Logo, isso significa desenvolver estratégias que utilizem melhor o espaço físico, as ferramentas, os insumos, os processos de transporte, as técnicas de gerenciamento e, claro, da mão de obra, promovendo ganhos na produtividade (MUÑOZ et al., 2021).

Assim, os profissionais da área conseguem trabalhar com maior liberdade de criação e fazer grandes avanços no desenvolvimento de novos projetos (SEPASGOZAR e DAVIS, 2019). Desta, é fundamental investir em capacitações que tornem o profissional indispensável e pronto para encarar essa nova era tecnológica.

O uso desta tecnologia também permite que as construtoras tenham maior eficiência em sua cadeia de suprimentos, dado que ao realizar a impressão de objetos sob demanda, a 3DP retira o tempo de espera de insumos que precisam de uma rápida entrega (TAY et al., 2017). Dado que o bom gerenciamento dos recursos e processos significa aumento na eficiência da construtora, diminuição das perdas, redução nos tempos de operação e com isso a obtenção vantagens competitivas. Este processo, eleva o ritmo de produção que poderia ser diminuída por entregas atrasadas (GUIMARÃES et al., 2021).

Oferece ambientes de trabalho mais seguros, pois a segurança é uma das maiores preocupações dos que trabalham diariamente em canteiros de obra., pois a ocorrência de acidentes fatais e lesões geradas pelo trabalho de construção provocam perdas significativas para indivíduos, organizações e sociedades como um todo (HACK et al., 2021). A impressão 3D diminui o número de acidentes e mortes no local, pois conseguem realizar grande parte dos trabalhos perigosos, o que reduz a exposição dos trabalhadores no local a ambientes hostis e possibilitando a automatização de algumas tarefas de construção (BISWAS et al., 2017).

O uso da 3DP em projetos de construção civil tem a vantagem de promover benefícios à sociedade de forma geral, pois traz uma nova visão de como as obras podem ser realizadas. Também promove uma mudança na forma de estruturação do trabalho, onde é possível promover uma maior igualdade de gênero, possibilitar um local de trabalho com maior segurança e gerar mudanças nas cadeias de suprimentos através da digitalização (KRISTOMBU BADUGE et al., 2021). Tendo em vista que, a automatização é responsável por grande parte do processo da impressão 3D, os profissionais necessários na etapa da construção podem ser reduzidos de modo significativo. A diminuição no quadro de funcionários é uma das vantagens principais da impressão 3D na construção. Através dessa redução será possível inserir novas profissões no mercado de trabalho as quais precisarão de novas aptidões para lidar com as mudanças tecnológicas (AGHIMIEN et al., 2021).

Quando se refere à adoção de tecnologias, a indústria da construção fica atrás das demais indústrias na utilização de tecnologia de ponta, em especial big data e analytics, inteligência artificial (IA) e impressão 3D (3DP), mas existe um movimento para adesão dos novos padrões de construção (AUTODESK, 2020).

A utilização da 3DP na construção civil ainda é tímida e seu uso, na maior parte das vezes, é voltado para a prototipagem, ou seja, para a criação de maquetes. Este uso está relacionado aplicação do conceito BIM que utiliza modelos 3D (ABRAINCO, 2021).

A vantagem de utilização de protótipos em escala reduzida tem seu benefício, em especial, durante a execução da obra que contará com acesso a um modelo muito mais rico e semelhante à realidade. Contudo, mesmo diante de todo o potencial da tecnologia de impressão 3D para a construção civil, é necessário ainda avançar no seu desenvolvimento e implantação durante os próximos anos (CBIC, 2021; AGHIMIEN et al., 2021).

A aplicação de tecnologias mais avançadas requer mão de obra qualificada, com conhecimento técnico e mudança de mindset, desta forma, cresce a necessidade de uma maior atuação tanto na graduação como na pós-graduação das universidades e a inserção do tema na grade curricular (GOMMA et al., 2021). E isso gera custos, sejam de caráter financeiro ou de tempo para capacitar funcionários. Outros pontos que merecem destaque são os relacionados a logística, implementação, armazenamento, manutenção e de estrutura de apoio (NGUYEN-VAN et al., 2020).

Vale destacar que, por enquanto, as impressoras produzem somente estruturas da construção e demais elementos ainda precisam ser integrados. Esses são os principais desafios impostos pela manufatura aditiva à implementação e aderência às novas tecnologias (PAOLETTI, 2017).

Ao incorporar a 3DP na construtora, a capacidade de personalização e inovação aumentam, o que torna o empreendimento mais competitivo. Rotinas internas tornam-se mais eficazes, a elaboração de protótipos, confecção de peças e ferramentas se tornam mais rápidas e mais econômicas, acelerando o desenvolvimento de novos projetos e possibilitando atender as demandas mais exigentes (NGUYEN-VAN et al., 2021; CARNEAU et al., 2020).

Como resultado, a empresa pode alcançar um maior número de mercados, atendendo nichos e trazer uma qualidade superior em seus empreendimentos. Com novas ferramentas vem novas possibilidades, com novas possibilidades vem a sua chance de se destacar (AGHIMIEN et al., 2020).

Os avanços de tecnologia na construção civil auxiliam no desenvolvimento saudável das cidades. Desta forma, a inovação nesse setor visa aumentar a velocidade de produção, reduzir custos, e propor a sustentabilidade. Assim, o avanço da tecnologia no setor contribui no gerenciamento da obra e aumento da produtividade.

Mais que uma tendência, este tipo de manufatura já é uma realidade e um caminho sem volta para que se consiga atingir os resultados de melhoria da indústria de construção civil, na aquisição de estruturas mais leves, eficientes e inovadoras. Através dela, diversos benefícios conseguem ser comparados quanto aos processos tradicionais, como redução ou eliminação de

restrições geométricas, fabricação de estruturas com alto grau de complexidade e, customização de produtos. Também com a Manufatura Aditiva, a variedade de opções e benefícios é imensa, assim, diferentes segmentos industriais terão bases tecnológicas renovadas.

Através dos estudos apresentados percebe-se que com a exigência cada vez maior do mercado da Construção Civil por agilidade na entrega de obras, limpas e econômicas, o uso da 3DP já é uma tendência crescente, o que incentiva a participação mais efetiva de empresas relacionadas à construção civil, e aos que estão ligados a ela. Isso resultará em uma demanda por mão de obra especializada e, como consequência, geração de emprego e renda, aumento da concorrência, implantação de novos cursos, impulsionando a economia do país. Com o aumento da concorrência e inovação tecnológica, a tendência será a redução do valor final agregado à 3DP, proporcionando um acesso maior do seu produto na sociedade.

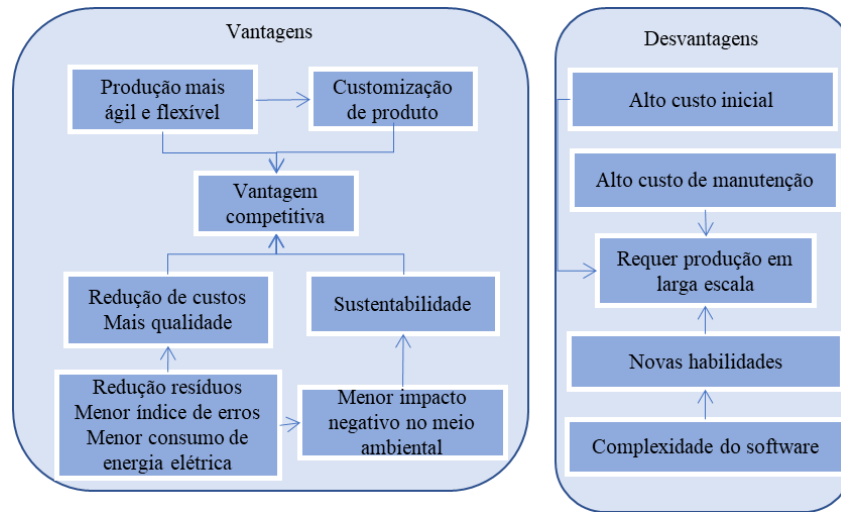
Do ensino até a área da saúde, a 3DP tem se mostrado um diferencial, auxiliando na produção de objetos com design diferenciados. Como é uma tecnologia que está ganhando espaço, ainda há campo para se desenvolver, criar necessidades de mercado e gerar cada vez mais vagas de emprego.

2.5 Discussão do capítulo

Os avanços de tecnologia na construção civil auxiliam no desenvolvimento saudável das cidades. Desta forma, a inovação nesse setor visa aumentar a velocidade de produção, reduzir custos, e propor a sustentabilidade. Assim, o avanço da tecnologia no setor contribui no gerenciamento da obra e aumento da produtividade.

Mais que uma tendência, este tipo de I4.0 já é uma realidade e um caminho sem volta para que se consiga atingir os resultados de melhoria da indústria de construção civil, na aquisição de estruturas mais leves, eficientes e inovadoras. Através dela, diversos benefícios conseguem ser comparados quanto aos processos tradicionais, como redução ou eliminação de restrições geométricas, fabricação de estruturas com alto grau de complexidade e, customização de produtos. Com isso, a empresa pode atingir um maior número de mercados, atendendo nichos e trazendo qualidade superior em seus empreendimentos. Com novas ferramentas vêm novas possibilidades, com novas possibilidades vem sua chance de se destacar. A Figura 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso de tecnologias 4.0 na cadeia produtiva da construção.

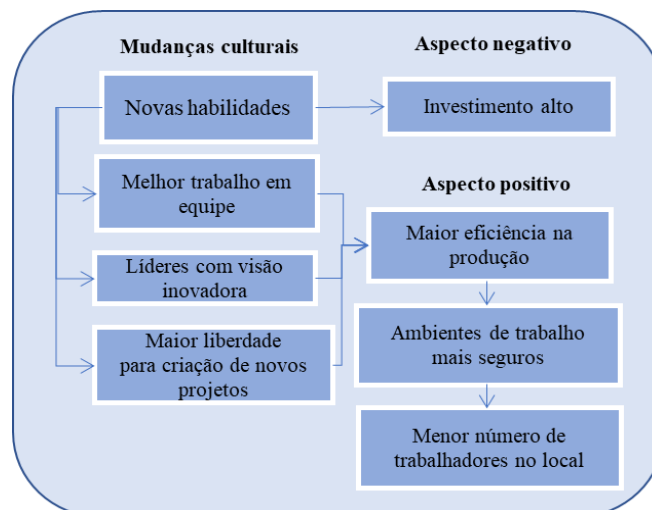
Figura 2 - Vantagens e desvantagens do uso de tecnologias 4.0



Fonte: A Autora (2022)

Através dos estudos apresentados percebe-se que com a exigência cada vez maior do mercado da Construção Civil por agilidade na entrega de obras, limpas e econômicas, o uso de novas tecnologias no setor já é uma tendência crescente, o que incentiva a participação mais efetiva de empresas relacionadas à construção civil, e aos que estão ligados a ela. Isso resultará em uma demanda por mão de obra especializada e, como consequência, geração de emprego e renda, aumento da concorrência, implantação de novos cursos, impulsionando a economia do país. Com o aumento da concorrência e inovação tecnológica, a tendência será a redução do valor final agregado à 3DP, proporcionando um acesso maior do seu produto na sociedade. A Figura 3 apresenta as mudanças organizacionais, os aspectos positivos e negativos da utilização da impressora 3D para uma empresa.

Figura 3 - Mudança de cultura organizacional



Fonte: A Autora (2022)

Foi observada, também, uma carência nos estudos voltados para a construção civil brasileira. A utilização de novas tecnologias na construção ainda é embrionária no Brasil. Hoje, sua aplicação é orientada à prototipagem de maquetes arquitetônicas e estruturais. No entanto, não deve demorar muito até percebermos mudanças significativas neste cenário. Em especial, em razão da filosofia do *lean thinking*, um sistema de gestão negócios que se busca entregar mais valor ao cliente, com menor desperdício de recursos ou energia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem o objetivo de descrever os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento do trabalho, a metodologia busca traçar um plano para se alcançar a proposição do modelo com base na fundamentação teórica.

3.1 Tipo de pesquisa

Esta pesquisa tem caráter descritivo que de acordo com Fonseca (2012), descreve uma realidade tal como está se apresenta, buscando entender seus diferentes contextos por meio de observação, procura entender responder de forma clara e concisa o que ocorre na vida social, política e econômica e sem interferir na sua realidade.

Como o presente trabalho por ser definido como descritivo e utiliza-se de uma análise mais aprofundada para a elaboração de ações, este apresenta-se como uma abordagem quantitativa e qualitativa. Para Fonseca (2012, pg. 37), o método quantitativo baseia-se em “dados mensuráveis das variáveis, buscando verificar e explicar sua existência, relação ou influência com outras variáveis”. Para Gil (2008), a análise dos dados na pesquisa qualitativa depende muito da capacidade e estilo do pesquisador, onde os procedimentos são interpretativos.

Será realizada neste trabalho uma análise aprofundada, utilizando-se da técnica de Conveniência, que é definida por Oliveira (2011), como a visão do pesquisador sobre os elementos selecionados de acordo com a sua conveniência. Também foi realizada uma revisão sistemática da literatura, que de acordo com Gorman et al. (2013), é uma investigação científica, que utiliza métodos sistemáticos pré-definidos que identificam de maneira minuciosa artigos relevantes para a pesquisa, onde visa questionar, avaliar sua qualidade, extrair dados e então sintetizar os resultados desses artigos.

3.2 Universo e amostra

No contexto desse estudo, definiram-se como universo da pesquisa os analistas auxiliares, encarregado, engenheiros, estagiário, supervisor e técnico.

O questionário foi enviado de forma eletrônica para gestores de construtoras do Agreste Pernambucano. A seleção dos possíveis respondentes deu-se a partir da função que os gestores exercem nas construtoras. Buscou-se por respondentes que exercessem cargos de gerência em seus determinados setores. De acordo com Parasuraman, Grewal e Krishnan (2006) esse tipo

de escolha para amostra é utilizado quando se busca escolher elementos típicos e representativos. A escolha das construtoras foi realizada levando em consideração sua atuação na região do Agreste Pernambucano, dos 30 questionários enviados, obteve-se um retorno de 26 questionários respondidos, o que corresponde a uma taxa de resposta de 86,66%.

3.3 Formulação das hipóteses de pesquisa

Com o auxílio da literatura, tornou-se possível definir um conjunto de 04 hipóteses que buscam atender ao objetivo desse estudo.

3.3.1 Relação entre literatura e realidade das construtoras

Demirkesen e Tezel (2021), destacaram que a indústria da construção precisa de tecnologias inovadoras em razão de sua natureza complexa e dinâmica. Os mesmos autores evidenciaram que as tendências mais recentes como digitalização, BIM, MA, e IoT tem grande importância no que se refere em promover mudança na gestão de projetos e incentivar os profissionais da indústria da construção a adotar a mudança para um melhor desempenho.

Comparando o avanço entre vários setores, o setor de construção está resistente em incorporar essas tecnologias inovadoras em seus processos comuns, mesmo diante dos desenvolvimentos drásticos demonstrados por outros setores (ABIOYE et al., 2021; SEPASGOZAR, 2021). A complexidade que envolve a construção é um dos motivos da lenta evolução industrial, por isso, em alguns países em desenvolvimento, a indústria da construção continua a seguir as práticas tradicionais da indústria de mão-de-obra intensiva (XU; MOREU, 2021). Nesse caso, a construção pode se transformar em uma indústria orientada para a tecnologia por meio da adoção de ideias e tecnologias da Indústria 4.0 (RIVERA; MORA-SERRANO e OÑATE, 2021).

Haja visto isso, alguns estudos encontrados na literatura recente comprovam que o setor de engenharia e construção não acompanhou o ritmo das oportunidades tecnológicas que podem contribuir na melhoria da produção e elevar a produtividade, resultando também na estagnação da produtividade do trabalho (MASKURIY et al., 2019). Existem diversos desafios internos e externos que são responsáveis por esta situação, o que inclui também a indústria que precisa lidar com uma fragmentação consistente, dificuldade em recrutar profissionais com especialidades específicas, ligações insuficientes com empreiteiros e fornecedores e transferência inadequada de conhecimento de um projeto para outro (NEWMAN et al., 2020). Mesmo diante do vasto potencial da indústria, o aumento da eficiência e produtividade só pode

resultar aplicação adequada da digitalização, novas técnicas de construção e inovações (OZTURK, 2021; PRUSKOVA, 2019).

Quanto a cadeia produtiva a I4.0 vem desafiando a construção civil, promovendo um vislumbre do potencial de digitalização da construção com a disponibilidade de dados digitais e acesso digital online que reúne e processa automaticamente dados eletrônicos na cadeia de valor em tarefas discretas (HUSSEIN et al., 2021). A utilização da inovação e as abordagens para automação da construção ainda estão sendo utilizadas de modo limitado e não totalmente empregadas, visto que os aspectos técnicos das tecnologias disponíveis ainda estão sendo examinados com maior profundidade, ainda que algumas tecnologias tenham atingido a maturidade, como BIM, computação em nuvem, computação móvel e modularização (DENG, ZHANG E SHEN, 2021).

Os projetos de construção estão se tornando cada vez mais complexos, mesmo a construção sendo um mercado estável nas cinco décadas anteriores, requer a Indústria 4.0 como solução para um novo modelo de negócios (OPOKU et al., 2021; LENS et al., 2020). Isso é necessário pois atualmente a indústria da construção apresenta um dos menores investimentos de capital, bem como baixa intensidade de capital com a menor intensidade de P&D em comparação com outros setores, apesar de ser um dos principais contribuintes para o emprego e a economia de muitos países (QIAN; LENG, 2021; YEVU, YU e DARKO, 2021).

Diante dessas evidências, definiram-se as duas hipóteses a seguir:

H1: A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta desafios para adesão por parte das construtoras.

H2: Na cadeia produtiva da construção civil, a Indústria 4.0 desponta como caminho natural para aumentar competitividade, produtividade, redução de custos.

3.3.2 Entrada de novas tecnologias e a mudança no modelo de gestão

As mudanças revolucionárias na sociedade estão ligadas às tecnologias digitais e afetam todas as áreas da vida social, não excluindo a indústria da construção. Isso requer não apenas a reforma do conhecimento, mas, acima de tudo, a reforma das habilidades. A demanda atual da prática é aumentar o conhecimento e as competências dos graduados de faculdades de engenharia civil na área de introdução e uso de tecnologias digitais no processo de planejamento, implementação e manutenção de edifícios, bem como apoiar o desenvolvimento de competências de engenheiros civis trabalhando em equipe com tecnologias BIM (PANULINOVA, HARABINOVA e BASKOVA, 2021; DA SILVA, GIL, 2020).

Para Albar, Swash e Ghaffar (2019) o profissional da atualidade precisa de habilidades para dominar aplicativos digitais, usar computador, celular, internet, máquinas e dispositivos equipados com tecnologia digital. Atuais ferramentas de trabalho sem dúvida evoluirão, o mundo das 3DP e robôs já estão sendo introduzidos na indústria da construção.

Alaloul et al. (2020) apresentaram um plano estratégico para a transformação da indústria da construção e seu movimento para a Indústria 4.0. Os autores demonstram que o primeiro passo para a automatização é trazer a transformação no nível da empresa através da introdução de tecnologias e procedimentos inteligentes, materiais modernos, equipamentos automatizados e semiautomáticos, padronização, modularização e pré-fabricação.

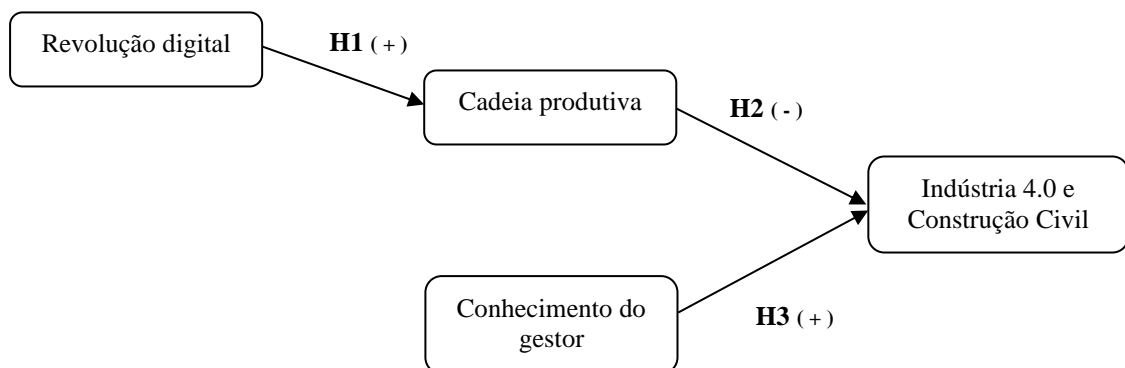
Diante de um cenário altamente tecnológico e das mudanças que ocorrem diariamente as atividades de gestão precisam ser focadas na utilização de tecnologias digitais para o processo de planejamento e execução da obra e a promoção de habilidades no trabalho em equipe com tecnologias BIM. (KOZLOVSKA; KLOSOVA e STRUKOVA, 2021; EL-SAYEGH; ROMDHANE e MANJIKIAN, 2020). Para Boton et al. (2021) as empresas precisam ser motivadas para a aderir novidades tecnológicas por meio de iniciativas governamentais, mandatos ou programas de financiamento.

Portanto, tendo em vista todo o exposto, tem-se a seguinte hipótese:

H3: Quanto maior o nível de conhecimento do gestor sobre indústria 4.0 mais próxima da revolução digital a empresa se encontra.

Em resumo, a Figura 4 evidencia o modelo conceitual de relações de influência entre as quatro hipóteses e I4.0 e a construção civil.

Figura 4 - Modelo conceitual



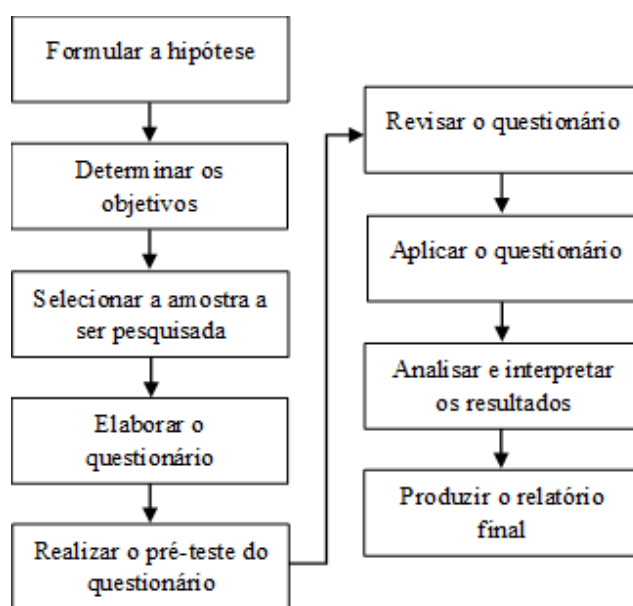
Fonte: A Autora (2022)

Com o objetivo de testar as hipóteses apresentadas, elaborou-se um questionário para coletar os dados necessários para tal.

3.4 Coleta de dados

Com as hipóteses formuladas, a coleta de dados se deu por meio de um questionário. A construção do questionário foi uma adaptação baseada na metodologia proposta por Gil (2009), conforme pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 - Etapas para construção do questionário



Fonte: A Autora (2022)

Nota: Adaptado de Gil (2009)

Para Gil (2009) a construção de um questionário consiste em traduzir objetivos da pesquisa em questões específicas. As respostas obtidas dessas questões proporcionarão os dados para descrever as características da população estudada ou testar as hipóteses que foram construídas no decorrer do planejamento da pesquisa. Desta forma, a elaboração de um questionário é reconhecida como um procedimento técnico cuja construção necessita de uma série de cuidados, como: certificação de sua eficácia para verificação dos objetivos; selecionar de forma criteriosa a amostra a ser estudada; elaboração do questionário; pré-teste do questionário; revisão para possíveis alterações; aplicação do questionário; análise e interpretação dos dados e por último a produção do relatório (GIL, 2009, p. 121).

3.4.1 Elaboração do questionário

O questionário foi enviado de forma eletrônica para gestores de construtoras do Agreste Pernambucano. A seleção dos possíveis respondentes deu-se a partir da função que os gestores exercem nas construtoras. Buscou-se por respondentes que exercessem cargos de gerência em seus determinados setores. De acordo com Parasuraman, Grewal e Krishnan (2006) esse tipo de escolha para amostra é utilizado quando se busca escolher elementos típicos e representativos. Dos 30 questionários enviados, obteve-se um retorno de 26 questionários respondidos, o que corresponde a uma taxa de resposta de 86,66%.

Quanto a criação do questionário, foram analisados os estudos encontrados na RSL e elaboradas perguntas que buscaram compreender como está o avanço da I4.0 nas construtoras na região do Agreste Pernambucano, o entendimento dos profissionais da área em relação a conceitos da nova revolução, benefícios e barreiras de entrada para adesão de novas tecnologias e importância da inovação para o setor. O objeto de estudo principal desse questionário foram construtoras do setor civil no segmento de construção de casas, prédios e edifícios.

Para isto, o questionário é composto por 23 perguntas no total, divididas em 2 seções. A Seção 1, abordou perguntas gerais sobre o respondente, já a Seção 2 abordou perguntas específicas sobre o tema do estudo.

3.5 Métodos de análises

3.5.1 Análise de confiabilidade

Para Cronbach (1951), a pesquisa com base em mensuração deve ter atenção quanto a precisão ou confiabilidade. Assim sendo, nesse estudo, foi utilizado o coeficiente alfa como estimador de consistência interna do questionário. O coeficiente alfa (α) foi desenvolvido por Cronbach (1951) como uma maneira generalizada de medir a consistência interna de uma escala de itens múltiplos. De acordo Peterson (1994), é o coeficiente de confiabilidade mais comumente utilizado. A Equação (1) representa o coeficiente alfa (LEONTITSIS; PAGGE, 2007):

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[\frac{\sigma_{\tau}^2 - \sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_{\tau}^2} \right] \quad (1)$$

Onde:

σ_{τ}^2 = variância da soma das respostas de cada respondente do questionário

σ_i^2 = variância de cada pergunta do questionário

k = quantidade de perguntas do questionário

Na literatura, alguns estudos especificaram faixas de valores aceitáveis do coeficiente alfa. De um modo geral, um instrumento ou teste pode ser classificado como tendo fiabilidade adequada quando o α é pelo menos 0,70; Kaplan e Sacuzzo (1982) afirmaram que é preferível valores de alfa entre 0,7 e 0,8. Para Murphy e Davidsholder (1988) um coeficiente alfa entre 0,8 e 0,9 como uma fiabilidade moderada a elevada. De acordo com Davis (1964), para uma amostra de 25 a 50 indivíduos, um valor de alfa acima de 0,5 é considerado aceitável. Um alto coeficiente alfa é, portanto, desejado, mas um teste não precisa se aproximar de uma escala perfeita para ser interpretável (CRONBACH, 1951).

A confiabilidade interna do questionário foi verificada por meio da realização do teste do coeficiente alfa. Para a determinação do coeficiente, utilizou-se o *software* SPSS versão 28.0.1.1, 14ª edição, 2022. O valor do coeficiente alfa do questionário para as 14 perguntas e suas respectivas alternativas foi de 0,874, sendo assim, um valor aceitável.

Realizou-se, também, uma simulação de valores de coeficiente alfa a fim de observar a variação da consistência interna do questionário com a exclusão de uma pergunta de cada vez, ou seja, verificar quais as perguntas que tendem a aumentar ou reduzir a consistência interna do questionário. A simulação dos valores do coeficiente alfa encontra-se no Apêndice B.

Observa-se que a exclusão da Pergunta 7 faria com que o questionário possuísse uma consistência interna de 0,881, ou seja, um aumento de aproximadamente 0,8% do valor do coeficiente alfa original de 0,874. Já com a exclusão da alternativa b da pergunta 8, por exemplo, uma redução de aproximadamente 1% do valor do coeficiente alfa, passando para 0,866.

Desta forma, conclui-se que se qualquer uma das perguntas fosse excluída do questionário, a variação da consistência interna seria baixa, garantindo ainda um questionário com consistência interna aceitável. De maneira geral, conclui-se que todas as perguntas possuem um comportamento semelhante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A execução do estudo, desde o início até sua conclusão, foi pautada em percepções e teorias unidas em busca de respostas. Os dados descritivos extraídos trouxeram conhecimento sobre a amostra e representam parcialmente a população.

Apesar destes dados, é importante considerar que os questionários *on-line* são preenchidos sem a oportunidade de o respondente tirar dúvidas, sem a entrevistadora observar a dedicação de cada participante na leitura e compreensão da pesquisa, nem sobre o tempo dedicado ou a honestidade durante as respostas, considerando natural que os respondentes possam buscar respostas moralmente e politicamente corretas.

4.1 Perfil dos respondentes

Dos 26 questionários respondidos, observou-se que 92,30% dos respondentes são do gênero masculino e 7,7% do gênero feminino. Quanto à escolaridade dos participantes obteve-se que 3,8% com apenas o ensino médio, 57,7% possuem a graduação completa, 34,6% pós graduação e MBA e 3,8% nível de mestrado (*stricto sensu*).

Dentre todos que possuem graduação, 84% são formados no curso de engenharia civil, 8% engenharia de produção, 4% engenharia mecânica e segurança do trabalho e 4% em gestão de negócios imobiliários. Destaca-se, ainda, que a sede das construtoras está localizada em Caruaru (69,23%), Recife (15,38%), Arcoverde (3,84%), Belo Horizonte (3,84%), Garanhuns (3,84%) e Ipojuca (3,84%), mas todas as construtoras atuam na região Agreste de Pernambuco. Tal fato evidencia que a amostra analisada é composta por respondentes que possuem experiência no setor da construção civil e atuam no Agreste. As informações completas dessa e de outras variáveis observadas no questionário são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4 - Dados profissionais dos respondentes

Variável	Respostas	(%)
Cargo de ocupação	Analista	7,7
	Auxiliar	3,8
	Engenheiro	50
	Estagiário	3,8
	Supervisor	7,7
	Técnico	3,8
	Sócio/ Proprietário da empresa	11,5
	Engenheiro responsável e proprietário da construtora	7,7
	Consultor em engenharia mecânica e segurança do trabalho	3,8

Tempo de atuação na construtora	1 a 2 anos	69,23
	3 a 4 anos	7,69
	5 a 6 anos	11,53
	7 a 8 anos	7,69
	9 a 11 anos	3,84

Fonte: A Autora (2022)

Quanto à classificação das empresas por porte, o percentual de micro-pequenas empresas é de 38,5%, médio é de 50% e grande porte é de 11,5 %. Esses dados demonstram a grande importância que as micro-pequenas e médias empresas exercem no Brasil, tendo em vista que, no decorrer dos anos as empresas de pequeno e médio porte sempre desempenharam um papel importante no desenvolvimento de um país (LONGENECKER et al., 1997), uma vez que absorve um grande número de trabalhadores, se transformando em formadoras de mão-de-obra para empresas de médio e grande porte (SILVA, 1998).

4.2 Análise descritiva do questionário

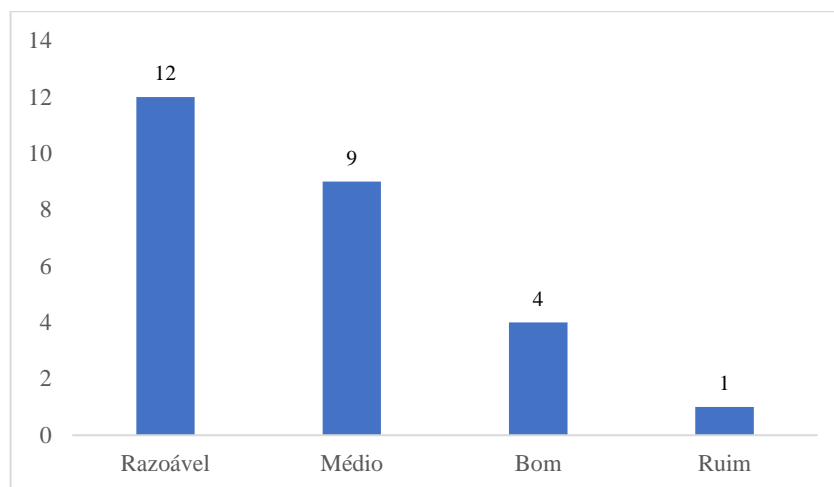
Nesta seção de perguntas procurou-se compreender melhor o conhecimento dos respondentes sobre os conceitos, aplicabilidade e impacto da Indústria 4.0 na construtora em que trabalham. Os resultados são apresentados e agrupados pelas perguntas do bloco 2 do questionário (Apêndice C) de acordo com as respostas obtidas.

Para Palmquist (1992), a discussão sobre os efeitos da nova tecnologia no mercado de trabalho pode ser observada por dois lados: os que veem as mudanças provocadas pelas novas tecnologias na qualificação para o trabalho como uma forma de aprimoração do profissional à medida que permitem um entendimento mais amplo do processo como um todo; e os que acreditam que a tecnologia pode desqualificar o trabalhador e degradar o emprego por estabelecer um trabalho que seja mais rotineiro. Ainda um terceiro grupo que reconhece a existência de ambos os fatores, tanto na melhoria quanto na degradação, sem uma mudança radical na distribuição da força de trabalho em longo prazo.

4.2.1 Pergunta 1

A pergunta 1 foi “*Como você avalia seu conhecimento sobre a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0)?*”, buscou-se saber qual o nível de compreensão do respondente sobre a Quarta Revolução Industrial, 12 respondentes avaliaram seu conhecimento como razoável, 9 como médio, 4 como bom e 1 como ruim, como mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Avaliação de Autoconhecimento



Fonte: A Autora (2022)

Um ponto crucial no desenvolvimento da indústria 4.0 do setor da construção civil é que o profissional da área esteja capacitado para os desafios desse novo cenário no mercado de trabalho. Para isso, as grades curriculares das universidades devem acompanhar as mudanças (DELOITTE, 2014). O resultado das inovações dependerá do conhecimento e capacidade que os profissionais demonstram para aplicá-las, seja na seleção das tecnologias para um determinado projeto, implementação, avaliação e retroalimentação para novos projetos (VOLSKI, 2017).

4.2.2 Pergunta 2

A pergunta 2 foi “*Quais são as melhores formas de se obter conhecimento sobre a Indústria 4.0?*”. De acordo com as respostas obtidas a formas mais eficientes para se obter conhecimento sobre a I4.0 são através de Cursos Profissionalizantes, Artigos científicos, Casos de sucessos de outras construtoras, Internet e Revistas, respectivamente. Já os Telejornais se mostram pouco eficientes como meio de divulgação sobre os conceitos do tema. A Tabela 6 apresenta as respostas obtidas.

Tabela 5 - Métodos para conhecimento sobre Indústria 4.0

Método	Quantidade de respostas				
	Ineficiente	Pouco eficiente	Neutro	Eficiente	Muito eficiente
Cursos profissionalizantes	1	3	1	8	13
Artigos científicos	1	3	2	8	12

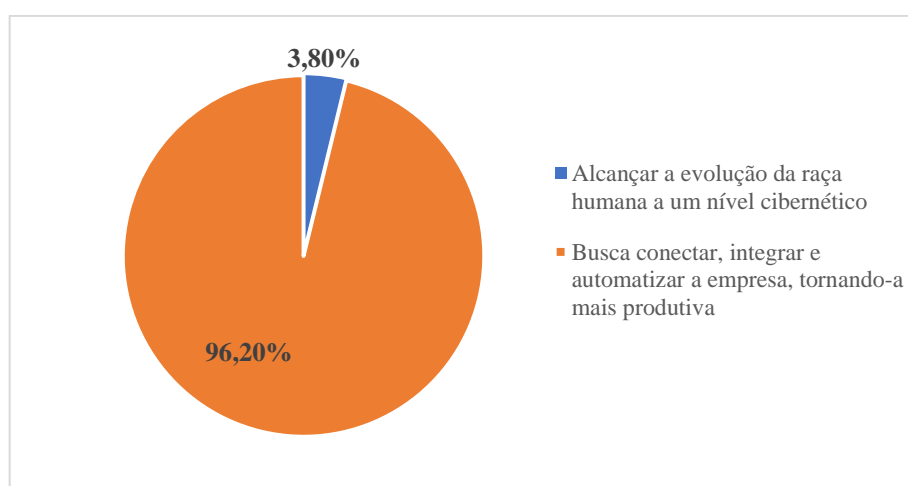
Internet	1	2	4	8	11
Consultores e clientes	0	7	2	8	12
Casos de sucesso de outras construtoras	1	1	4	11	9
Revistas	3	6	5	9	3
Telejornais	5	12	8	1	0

Fonte: A Autora (2022)

4.2.3 Pergunta 3

Quanto aos objetivos da aplicação da I4.0, a pergunta 3 foi “*Qual dessas alternativas melhor descreve os objetivos da Indústria 4.0?*”. Para 96,2% escolheram a alternativa “C” onde informa que busca conectar, integrar e automatizar a empresa, tornando-a mais produtiva, para 3,8% a alternativa “B” onde visa alcançar a evolução da raça humana a um nível cibernético, como mostra no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Objetivos da Indústria 4.0



Fonte: A Autora (2022)

4.2.4 Pergunta 4

A pergunta 4 foi “*Você acredita que a Indústria 4.0 pode trazer benefícios para a construção civil?*”. Para 100% dos respondentes a I4.0 beneficia o setor da construção. Isto é corroborado por Paim e Almeida (2018), para os autores a entrada de maneira adequada das novas tecnologias no setor construtivo gera mudanças desejáveis, como aumento na competitividade, fortalecimento da qualidade, otimização da gestão, dentre outros. Os benefícios acontecem também na gestão financeira, comercial e estratégica da empresa.

4.2.5 Pergunta 5

Na pergunta 5 perguntou “*Quais são os benefícios que a Indústria 4.0 pode proporcionar a construção?*”. Para os respondentes os maiores benefícios são Redução de custos, Aumento da produtividade e minimização no desperdício de insumos. A Tabela 7 traz um resumo das respostas obtidas.

Tabela 6 - Benefícios da Indústria 4.0 proporcionados a construção civil

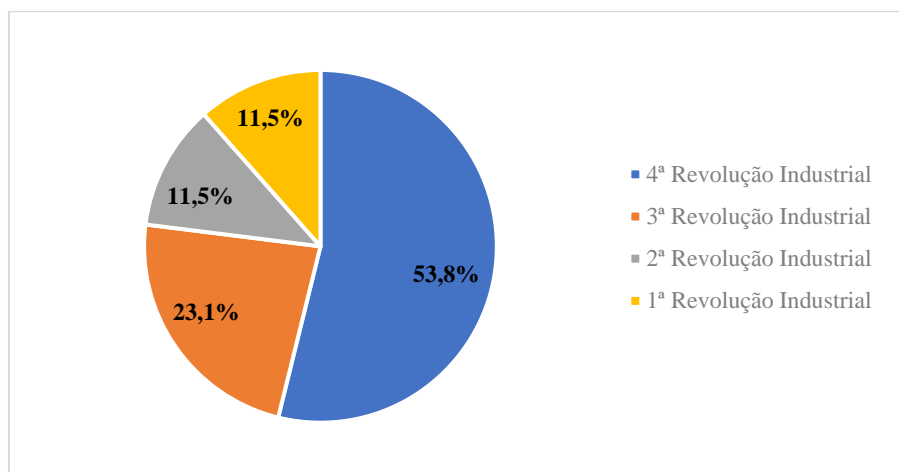
Benefício	Quantidade de respostas					
	Nenhum	Baixo	Razoável	Bom	Alto	Não se aplica
Redução de custos	0	0	1	1	23	1
Aumento da produtividade	0	0	2	1	22	1
Minimizar a ocorrência de erros	0	0	1	7	17	1
Minimizar o desperdício de insumos	0	0	1	4	20	1
Encontrar novas oportunidades de mercado	0	2	4	6	13	1

Fonte: A Autora (2022)

4.2.6 Pergunta 6

Para avaliar a perspectiva dos respondentes sobre sua visão quanto a empresa em que trabalha, foi questionado na pergunta 6 “*Em que contexto das revoluções industriais você acredita que seja possível classificar a construtora em que você trabalha?*”. Entre os respondentes, 53,8% classificam a construtora em que trabalham no contexto da 3ª Revolução Industrial, onde faz uso parcial de tecnologias e equipamentos semiautomatizados. Para 23,1% classificam a construtora no contexto da 4ª Revolução Industrial, onde fazem uso de utilização de sistemas de gerenciamento (ERP), nível a laser, trenas por infravermelho, softwares BIM, impressoras 3D, entre outros. Para 11,5% a construtora se encontra na 1ª Revolução Industrial, utilizando produção totalmente manual, e 11,5% enquadra a construtora na 2ª Revolução industrial, onde há divisão do trabalho e a mecanização parcial das atividades, conforme o Gráfico 5 demonstra.

Gráfico 5 - Classificação das empresas



Fonte: A Autora (2022)

4.2.7 Pergunta 7

Na pergunta 7 foi questionado “*Em uma escala de 1 a 5 quão próxima a construtora em que atua está da revolução digital que está ocorrendo no mercado?*”. De acordo com os respondentes 42,3% observam que a construtora não avançou muito no contexto digital, 23,1% afirmam que avançaram no processo de atualização, 19,2% observam que a construtora avançou pouco em relação a revolução digital e 15,4% analisam que a construtora avançou muito quando se refere a revolução digital.

4.2.8 Pergunta 8

Para entender melhor o quanto dos conceitos da I4.0 os respondentes conhecem, foi questionado na pergunta 8 “*Qual é o seu conhecimento sobre os seguintes conceitos da Indústria 4.0?*”. Dentre os conceitos apresentados, BIM ganhou maior destaque, este resultado pode está associado a obrigatoriedade do uso do mesmo em todos os órgãos governamentais na execução de projetos e construções brasileiras, disposto no Decreto N° 10.306, Art. 1°. Este Decreto determina a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia, realizadas pelos órgãos e entidades da administração pública federal, no campo da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto n° 9.983, de 22 de agosto de 2019. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 7 - Conceitos sobre Indústria 4.0

Conceito	Quantidade de respostas				
	Nenhum/Péssimo	Razoável	Médio	Bom	Ótimo
Big Data	11	6	5	3	1
BIM	4	0	5	9	8
Cloud Computing	10	6	6	4	0
Sistemas ERP	2	8	1	13	2
Internet das coisas	0	4	6	11	5
Robótica avançada	8	5	6	7	0
Impressão 3D	8	5	0	8	5

Fonte: A Autora (2022)

4.2.9 Pergunta 9

Na pergunta 9 foi questionado “*Quais tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 são aplicadas na construtora na qual você atua?*”. De acordo com as respostas, a utilização de tablets e internet no canteiro de obras é a tecnologia com maior número de utilização, e o uso de sensores inteligentes nos equipamentos de segurança para monitoramento de possíveis acidentes durante a obra, é o item pouco utilizado na vivência das obras. Na Tabela 9 podemos encontrar as respostas fornecidas.

Tabela 8 - Tecnologia da Indústria 4.0 utilizada na construtora

Tecnologia utilizada	Quantidade de respostas				
	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequentemente
Aplicação de projetos em softwares BIM (Building Information Model)	1	3	7	7	8
Sensores inteligentes nos equipamentos de segurança para monitoramento de possíveis acidentes durante a obra	12	6	6	1	1
Utilização de drones	6	10	4	4	2
Utilização de tablets e internet no canteiro de obra	3	6	3	4	10
Utilização de trenas infravermelho, nível a laser, estações topográficas computacionais e sistemas de gerenciamento	1	4	6	7	8

Fonte: A Autora (2022)

4.2.10 Pergunta 10

A pergunta 10 perguntou “*Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0 são:*”. Para os respondentes a Falta de conhecimento sobre I4.0, Cultura organizacional fechada para mudanças e a Falta de interesse da alta administração ou proprietários, ganham destaque no que se refere a barreira de entrada para adesão a nova revolução. A Tabela 10 traz os resultados obtidos.

Tabela 9 - Barreira de entrada para a Indústria 4.0

Barreira de entrada	Quantidade de respostas				
	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito importante
Falta de conhecimento sobre a Indústria 4.0	1	1	5	6	13
Cultura organizacional fechada para mudanças	1	3	3	7	12
Falta de interesse da alta administração ou proprietários	2	3	4	6	11
Falta de mão-de-obra qualificada	1	1	4	11	9
Falta de capital	1	4	5	7	9

Fonte: A Autora (2022)

4.2.11 Pergunta 11

Quanto ao impacto de competir com outras construtoras que já implementaram a I4.0 na sua rotina, foi perguntando na questão 11 “*Avalie o impacto de competir com outras organizações que aplicam os conceitos da Indústria 4.0.*”. Foi aplicada uma escala de Likert de 1 a 5, onde 1 muito negativo e 5 muito positivo. Para 46,2% o impacto é visto como muito positivo, 42,4% avaliam como positivo e 11,5% avaliam como moderado.

4.2.12 Pergunta 12

A pergunta 12 foi “*Qual o nível de importância que as seguintes características da construtora que você trabalha precisa ter para se manter competitiva no mercado diante das mudanças provocadas pela Quarta Revolução Industrial?*”. Dentre as respostas obtidas, obteve-se que investir na capacitação dos colaboradores, investir em BIM e trabalhar com gestão colaborativa de projetos, são as características com maior potencial que precisam ser desenvolvidas e aplicadas para que a construtora consiga ganhar espaço no mercado e se manter competitiva. Na Tabela 11 são apresentadas as respostas.

Tabela 10 - Características para a construtora se manter competitiva

Característica	Quantidade de respostas				
	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito importante
Investir na capacitação dos colaboradores	1	0	0	5	20
Investir em BIM	0	1	0	6	19
Trabalhar com gestão colaborativa de projetos	0	1	0	6	19
Investir em ferramentas de gestão (Sienge, Construct, Stant, Coteaqui, entre outras)	0	1	3	7	15
Reutilização do material descartado no processo execução da obra	1	0	3	9	13
Trabalhar de forma sustentável	1	1	2	12	10
Utilização de materiais como concreto auto-curável, aerogéis e nanomateriais	1	1	6	8	10
Investir em impressão 3D	1	3	7	8	7

Fonte: A Autora (2022)

4.2.13 Pergunta 13

Na pergunta 13 “*Você acredita que com a utilização das ferramentas da Indústria 4.0 na construtora onde trabalha pode gerar vantagens quanto a lucratividade, produtividade, redução de custos e segurança do colaborador?*”. Buscou-se saber do respondente, se de acordo com a sua perspectiva a utilização de ferramentas da I4.0 pode gerar benefícios a construtora em que atua, 100% das respostas afirmam que o uso dessas ferramentas contribui para o crescimento como um todo da construtora.

4.2.14 Pergunta 14

A pergunta 14 foi “*A construtora na qual você trabalha tem intenção futura de aderir ou continuar investindo na Indústria 4.0?*”. Para 69,2% das empresas pretendem investir ou continuar investindo em ferramentas inovadoras, e 30,8% acreditam que talvez a empresa possa investir futuramente nesta inovação.

4.2.15 Pergunta 15

A última pergunta 15 foi “*Há mais algum comentário sobre o assunto que você gostaria de fazer?*”, não era obrigatória e tinha como finalidade saber dos respondentes se os mesmos tinham interesse em fazer algum comentário sobre o tema. Apenas 19,2% dos respondentes

responderam à questão, ou seja, 80,0% deixaram o campo de resposta em branco. Obteve-se as seguintes respostas:

R4: “É de extrema importância que a disseminação de conhecimentos correlatos a Indústria 4.0, BIM, TIC's dentre outros temas que envolva tecnologia sejam transmitidos / implementados de maneira estratégica nas construtoras / demais instituições prestadoras de serviço (público / privado) contemplando sempre o aumento de maturidade do indivíduos não apenas com relação ao conhecimento quanto as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 (manuseio de um determinado software ou equipamento), mais também, considerando as potencialidades com relação ao processo de transformação de cada agente envolvido (soft skills).”

R8: “Trabalho na Empresa X, lá estamos passando por um processo de industrializar a produção, definindo rotas de trabalho, organização de Layout no canteiro, etc. Tem sido lenta a implementação, mas já vemos ganhos de produtividade.”

R12: “Aprender sobre a indústria 4.0.”

R14: “Excelente tema!”

R25: “A indústria 4.0 vai transformar nosso conceito de construção civil.”

Em relação às respostas da questão discursiva, os respondentes citaram a importância do tema que a disseminação de conhecimentos associados a I4.0, dentre outros temas que envolvam tecnologia sejam transmitidos e implementados de modo estratégico nas construtoras, bem como instituições prestadoras de serviço, de forma a contemplar o aumento de maturidade dos indivíduos não somente com relação ao conhecimento das tecnologias habilitadoras da I4.0, mas também levando em consideração as potencialidades com relação ao processo de transformação de cada agente envolvido.

4.3 Teste das hipóteses

De posse das respostas do questionário, tornou-se possível testar as três hipóteses definidas no Capítulo 3, conforme demonstrado na Figura 6. No momento de realizar o teste das hipóteses, surgiu a oportunidade por trabalhar de forma mais detalhada a H1 geral

transformando-a em 5 hipóteses, para cada característica levantada na pergunta utilizada para validar a mesma.

Nesse estudo, as condições de normalidade não foram atendidas para ambas as condições propostas por Doane e Seward (2014) e Forbes et al. (2011), sendo justificado pelo tamanho pequeno da amostra que foi obtido no questionário, desta forma, foram utilizados testes não-paramétricos. Teste Binomial para as hipóteses H1 e H2, e Teste Exato de Fisher para a H3. Utilizou-se para testar as hipóteses H1, H2 os dados correspondentes das perguntas 10, 5, respectivamente, e para a hipótese H3 foram utilizadas duas perguntas 1 e 7, da seção 2 do questionário do Apêndice C.

Para realizar o Teste Binomial nas hipóteses H1 e H2, as alternativas correspondentes a pergunta 5 foram divididas em dois grupos: 1 = Bom + alto ; 0 = Nenhum + Baixo + Razoável + Não se aplica, para a pergunta 10 as alternativas também foram divididas em dois grupos: 1 = Muito importante + Importante ; 0 = Não é importante + Pouco importante + Moderado.

O Quadro 1 evidencia as perguntas utilizadas do questionário para testar as suas respectivas hipóteses, bem como a proporção do atributo observado (p).

Quadro 1 – Hipóteses e perguntas

	Hipótese a ser testada	Pergunta	(p)
H1a	A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta a cultura organizacional fechada para mudanças como desafios para adesão por parte das construtoras.	Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0?	0,139
H1b	A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta a falta de capital como desafios para adesão por parte das construtoras.	Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0?	0,376
H1c	A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta a falta de conhecimento sobre a Indústria 4.0 como desafios para adesão por parte das construtoras.	Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0?	0,139
H1d	A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta a falta de interesse da alta administração ou proprietários como desafios para adesão por parte das construtoras.	Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0?	0,139
H1e	A revolução digital em um contexto tradicional como a construção civil ainda enfrenta a falta de mão-de-obra qualificada como desafios para adesão por parte das construtoras.	Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0?	0,002

H2	Na cadeia produtiva da construção civil, a Indústria 4.0 desponta como caminho natural para aumentar competitividade, produtividade, redução de custos.	Você acredita que com a utilização das ferramentas da Indústria 4.0 na construtora onde trabalha pode gerar vantagens quanto a lucratividade, produtividade, redução de custos e segurança do colaborador?	0,264
H3	Quanto maior o nível de conhecimento do gestor sobre indústria 4.0 mais próxima da revolução digital a empresa se encontra.	Como você avalia seu conhecimento sobre a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0)? e Em uma escala de 1 a 5 quão próxima a construtora em que atua está da revolução digital que está ocorrendo no mercado?	0,264

Fonte: A Autora (2022)

Definido um nível de confiança de 95% (nível de significância de 5%) e o valor de $p_0 = 0,5$, com o auxílio do *software* SPSS versão 28.0.1.1, 14ª edição, 2022, as hipóteses foram testadas e suas validades confirmadas, com exceção da hipótese H1e.

Desta forma, conclui-se que há evidências de que uma cultura organizacional fechada para mudanças, falta de capital, falta de conhecimento sobre a I4.0 e falta de interesse da alta administração ou proprietários demonstraram ser razões pelas quais as construtoras não aderem a Quarta Revolução Industrial, já a falta de mão-de-obra qualificada estatisticamente demonstrou não ser uma razão de falta de interesse para que as construtoras busquem inovar nos seus processos. Conclui-se também que em relação a cadeia produtiva a I4.0 mostra-se um como um caminho natural para uma nova forma de se conduzir os processos, escolhas de materiais e execução de serviços.

Além disso, há evidências, também, de que à medida que aumenta o conhecimento do gestor sobre I4.0 mais próxima da revolução digital a empresa se encontra. A validade dessas afirmações ganha força ao observar a percepção dos gestores que responderam ao questionário.

4.4 Discussão do capítulo

Diante do exposto, é perceptível como o avanço da tecnologia nos últimos tempos tem contribuído para o aumento da produtividade em diferentes mercados e que os gestores estão começando a se conscientizar da importância de investir em tecnologias para aprimorar seus processos. Uma evidência disto é o interesse dos mesmos em conhecer mais sobre a I4.0 e os benefícios alcançados por ela dentro do setor.

Contudo, encontra-se algumas barreiras para esse investimento, onde falta de conhecimento sobre aplicação e benefícios da I4.0, uma cultura organizacional fechada para mudanças e falta de interesse da administração ou proprietários, destacam-se como fatores para não adesão da mesma, como foi validado no teste da hipótese H1a, H1b, H1d. Em relação a

mão-de-obra qualificada para trabalhar com essas novas tecnologias foi destacado pelos respondentes como um item com pouca influência no momento de decidir em aderir as mesmas, sendo confirmado pelo teste de hipótese H1e. Tal afirmação não é validado pela literatura, onde afirma que para o desenvolvimento da I4.0 no setor da construção civil é necessário que o profissional da área esteja capacitado para os desafios desse novo cenário no mercado de trabalho (AKANMU, ANUMBA e OGUNSEIJU, 2021).

A importância do profissional habilitado e com conhecimentos adequados é percebido quando os respondentes destacaram que as formas mais eficientes para se obter conhecimento sobre a I4.0 são através de cursos profissionalizantes e artigos científicos, onde se faz necessário investir em capacitação profissional e acadêmica do indivíduo.

Percebeu-se que não há dúvidas de que a Quarta Revolução Industrial beneficia a cadeia produtiva do setor da construção em relação a aumento na competitividade, fortalecimento da qualidade, otimização da gestão, gestão financeira e estratégica da construtora, como demonstrando nas respostas da pergunta 5 e validado no teste de hipótese.

A entrada adequada de novas tecnologia no ramo construtivo geram algumas mudanças desejáveis dentro de sua cadeia produtiva. Seja no planejamento, processos de controle e gestão de obras são favorecidos em certos aspectos. Os benefícios acontecem também na gestão financeira, comercial e estratégica da empresa.

5 CONCLUSÃO

Estudos revelam que a 4ª Revolução Industrial já está gerando impactos significativos no modo de produção da Indústria da Construção Civil, como aumento da eficiência na utilização dos recursos disponíveis, mudança na forma para realizar o levantamento de dados e a própria maneira de execução dos processos, com introdução de máquinas com inteligência artificial nas ações hoje executadas por humanos.

A Revisão Sistemática de Literatura realizada teve o intuito de trazer informações gerais sobre a importância da aplicação de tecnologias advindas da I4.0 na cadeia produtiva da construção civil. Destaca-se o crescimento da quantidade de trabalhos sobre o assunto nos últimos anos e a variedade de aplicações que podem ser implementadas no decorrer de toda a execução da obra e entrega da mesma.

À vista das observações e pesquisas realizadas por meio de um questionário foi possível analisar que a implantação da indústria 4.0 na construção civil tem seu potencial ao longo de toda a cadeia produtiva construtiva, alcançando assim o objetivo específico 1, pois através das respostas obtidas nota-se que o conceito da Quarta Revolução Industrial já é algo conhecido pelos gestores do setor, contudo a sua aplicação ainda é realizada de maneira tímida, limitada a elaboração de projetos e ferramentas na execução da obra, o que demonstra que ainda há um distanciamento entre os conceitos de I4.0 apresentados na literatura e a realidade da indústria da construção do Agreste Pernambucano.

Quanto ao objetivo específico 2, tal avanço tecnológico estimula um ambiente de negócios cada vez mais dinâmico e acelerado, no que se refere às mudanças. Para que se mantenham competitivas, as construtoras precisam adotar novas formas de gerenciamento. Para isso, tecnologias que alcançam todos os grupos de processo de gestão de projetos estão emergindo, sendo de grande importância para auxiliar a execução das tarefas do ciclo de vida do projeto, onde a I4.0 contribui para a modernização organizacional, operacional e controle de processos aplicados na cadeia produtiva da construção civil. Já em relação ao objetivo específico 3, como visto, através de métodos como implantação de BIM, 3DP, MA e outras tecnologias a construtora pode aumentar sua eficiência no planejamento e otimização do controle da gestão da cadeia produtiva na indústria da construção civil.

Sendo assim, os objetivos propostos foram alcançados e validados, tanto pela literatura como pelo questionário. A indústria 4.0 já é uma realidade na indústria da construção civil, as

empresas que agirem de maneira rápida para adotar as soluções adequadas a essa nova revolução industrial vão tirar grande vantagem disso.

Portanto, a análise quantitativa realizada por meio dos testes de hipóteses, somada a análise qualitativa do questionário, tornou-se possível avaliar a percepção dos gestores sobre a importância da aplicação da I4.0 na cadeia produtiva do setor.

Além disso, é importante destacar que por utilizar de uma abordagem não probabilística para seleção dos respondentes do questionário, salienta-se que os resultados desse estudo não inferem sobre a população. Contudo, levantam indícios significativos que justificam a preocupação com a temática abordada e, conseqüentemente, o presente estudo.

Por fim, sendo o fortalecimento do planejamento e da gestão das cidades uma área prioritária do governo do estado de Pernambuco, este trabalho traz importante contribuição no diagnóstico das empresas que atuam no estado no segmento de edificações. Os resultados apresentados podem subsidiar as políticas públicas em busca da melhoria na gestão urbana dos municípios Pernambucanos.

5.1 Contribuições do trabalho

Portanto serão necessárias mudanças em toda a estrutura das organizações para que a Indústria 4.0 possa ser realmente inserida no contexto brasileiro, sobretudo na construção. Além disso, será um grande desafio que pode desprender não só tempo, mas também recursos para pesquisas e aquisições de tecnologias. Contudo, é importante entender que não é uma escolha, mas sim algo que já vem ocorrendo como uma tendência global para o desenvolvimento e é caminho sem volta.

5.2 Limitações e sugestão de futuros trabalhos

Quanto as limitações para realização da pesquisa, verificou-se escassez de estudos sobre a indústria 4.0 no setor de construção civil brasileira e a dificuldade de obter a participação de gestores. Outro fator limitante foi o número pequeno da amostra, devido ao contato limitado com as organizações e não localização de uma base de dados que contenha todas as construtoras que atuam na região estudada.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se:

- Identificar quais são empresas do Agreste Pernambucano que adotaram tecnologias da Indústria 4.0 e seu impacto no desempenho da empresa;

- Analisar a necessidade de mudança no perfil do profissional que atuará na Indústria da Construção Civil nos próximos anos, exigido pelos preceitos que a Indústria 4.0 vem trazendo, quebrando os paradigmas da formação trazida pelas universidades atualmente.

REFERÊNCIAS

- ABIOYE, S. O.; O., L. O.; AKANBI, L.; AJAYI, A.; DELGADO, J. M. D.; BILAL, M.; AKINADE, O. O.; AHMED, A. Artificial intelligence in the construction industry: A review of presente status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, v. 44, 2021.
- ACKER, A. V. Manual de sistemas pré-fabricados de concreto. *FIP*, n. Marcelo Ferreira, 2002.
- AGHIMIEN, D.; AIGBAVBOA, C.; AGHIMIEN, L.; THWALA, W.; NDLOVU, L. 3D printing for sustainable low-income housing in South Africa: a case for the urban poor. *Journal of Green Building*, vol. 16, n. 2, p. 129–141, 2021.
- AKANMU, A. A.; ANUMBA, C. J.; OGUNSEIJU, O. O. Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Special issue: 'Next Generation ICT - How distant is ubiquitous computing?', v. 26, 2021, pp. 505-525. Doi: 10.36680/j.itcon.2021.027
- ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; ZAWAWI, N. A.; KENNEDY, I. B. Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 11, 2020, pp. 225–230. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- ALBAR, A.; SWASH, M. R.; GHAFFAR, S. The Design and Development of an Extrusion System for 3D Printing Cementitious Materials. *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, p. 1-5, 2019. Doi: 10.1109/ISMSIT.2019.8932771
- ALSHAMMARI, A.; BEACH, T.; REZGUI, Y. Cybersecurity for Digital Twins in the Built Environment: Current Research and Future Directions. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 26, pp. 159-173. Doi: 10.36680/j.itcon.2021.010
- ALVES, R. *A realidade virtual como ferramenta de aprendizagem na formação do profissional da construção civil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014. 101f.
- ALVES, J. C.; V. P. Resíduos da Construção Civil em Obras Novas. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*. Aracaju, v.1, n.1, p. 53 – 65, fev/2015.

- ALVES, T.; TOMMELEIN, I. Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 31-44, abr./jun. 2007.
- ARAÚJO, C.; ALVES, C. Computação em nuvem: um estudo sobre a distribuição da produção de artigos publicados no período de 2007 a 2016. *Revista de Tecnologia Aplicada (RTA)*, v.8, n.1, 2019, pp.20-32.
- BADUGE, S.; NAVARATNAM, S.; ABU-ZIDAN, Y.; MCCORMACK, T.; NGUYEN, T.; MENDIS, P.; ZHANG, G.; AYE, L. Improving performance of additive manufactured (3D printed) concrete: A review on material mix design, processing, interlayer bonding, and reinforcing methods. *Structures*, vol. 29, p. 1597–1609, 2021.
- BALASUBRAMANIAN, S.; SHUKLA, V.; ISLAM, N.; MANGHAT, S. Construction Industry 4.0 and Sustainability: Na Enabling Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3110427>
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDES. Estudo “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil”. 2017. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-do-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>>. Acesso em: 06 fev. 2022.
- BARRETO, B. V.; SANCHES, J. L. G.; ALMEIDA, T. L. G.; RIBEIRO, S. E. C. O BIM no Cenário de Arquitetura e Construção Civil Brasileiro. *Open Journal Systems*, v. 08, n. 02, Jul/Dez, 2016. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/4811/2442> > Acesso em: 26 mar. 2021.
- BARISON, M. B. *Introdução de modelagem de informação da construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil. São Paulo, 2015, 387 p.
- BATISTA, A. *Drones como tecnologia multi-uso: dinâmicas empresariais e setoriais num novo mercado de crescimento*. Dissertação (Mestrado em Economia da Empresa e da Concorrência) - Programa de Pós-Graduação em Economia da Empresa e da Concorrência, Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2017. 128f.
- BEGIĆ, H.; GALIĆ, M. A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise. *Buildings*, v. 11, n. 337, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>

- BISWAS, K.; ROSE, J.; EIKEVIK, L.; GUERGUIS, M.; ENQUIST, P.; LEE, B.; LOVE, L.; GREEN, J.; JACKSON, R. Additive manufacturing integrated energy—enabling innovative solutions for buildings of the future. *United States*, 2016. Doi: doi:10.1115/1.4034980.
- BLANCO, J. L. et al. The new age of engineering and construction technology. *McKinsey&Company*. 2017.
- BOTON, C.; RIVEST, L.; GHNAYA, O.; CHOUCHEM, M. What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort. *Archives of Computational Methods in Engineering*, v. 28, 2021, pp. 2331–2350. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09457-7>
- CARVALHO, J. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. *Tecnológica*, v. 17, p. 19-28, 2008.
- CAVALCANTE, L.; SOUZA, G.; SODRÉ, M. A. C.; ABREU, M. S. D. de; MACIEL, T. da.; SILVA, J. M. de A. Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil. *Revista Campo do Saber*. vol.4, n. 4, ago/set de 2018.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. CBIC. *Construção civil é a locomotiva do crescimento, com emprego e renda*. 2020. Disponível em: <<https://cbic.org.br/construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda/>>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- _____. *Catálogo da Construção Civil*. Brasília: CBIC, 2016.
- CARNEAU, P.; MESNIL, R.; ROUSSEL, N.; BAVEREL, O. Additive manufacturing of cantilever - From masonry to concrete 3D printing. *Automation in Construction*, vol. 116, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103184>
- CHUNG, S.; CHO, C.; SONG, J.; LEE, K.; LEE, S.; KWON, S. Smart Facility Management System Based on Open BIM and Augmented Reality Technology. *Appl. Sci.*, v. 11, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/app112110283>
- CORTINA, J. M. What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Applied Psychology*. v. 78, 1993, p. 98-104.
- CRAVEIRO, F.; DUARTE, J. P.; BARTOLO, H.; BARTOLO, P. J. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*, 103, 2019, 251–267.

- DA SILVA, A.; GIL, M. M. Industrial processes optimization in digital marketplace context: A case study in ornamental stone sector. *Results in Engineering*, v. 7, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100152>
- DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: a systematic literature review. *Comput Ind*, 2018, 99:205–225. Doi: doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039
- DATHEIN, R. *Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas dominantes nos séculos XVIII e XIX*. Publicações DECON Textos Didáticos, Porto Alegre, Fevereiro 2003.
- DAVIS, F. Educational measurements and their interpretation. *Wadsworth Publishing Co.*: Belmont, California, 1964.
- DELGADO, J. M.; OYEDELE, L.; AJAYI, A.; AKANBI, L.; AKINADE, O.; BILAL, M.; OWOLABI, H. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry specific challenges for adoption. *Journal of Building Engineering*, v. 26, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100868>
- DELOITTE. *Industry 4.0: Challenges and Solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies*. 2014. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2021.
- DEMIRKESEN, S.; TEZEL, A. Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1059>
- DENG, T.; ZHANG, K.; SHEN, Z. A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, v. 6, 2021, pp. 125-134.
- DIAS, L. A. D. M. Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil. São Paulo: *Zigurate*, 2001.
- DOANE, D.P.; SEWARD, L. E. Applied Statistics in Business and Economics, 5. ed. *McGraw Hill-Education*, 2015.

- DOS SANTOS, C. C. *Robótica na construção – Uma aplicação prática*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade De Ciências e Tecnologia, Coimbra, 2002. 170f.
- DOUNAS, T.; LOMBARDI, D.; JABI, W. Framework for decentralised architectural design BIM and Blockchain integration. *International Journal of Architectural Computing*, vol. 19, ed. 2, pp. 157–173, 2021. Doi: 10.1177/1478077120963376
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K.; SANTOS, E. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: *Bookman*, 2014.
- EL-SAYEGH, S.; ROMDHANE, L.; MANJIKIAN, S. A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 20, n. 34, 2020.
- ESTEVES JÚNIOR, A.; MARTINS, R. Realidade virtual e aumentada em projetos de construção civil. *Revista Científica E-Locução*, v.1, n.17, 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. *The European construction sector: A global partner*. 2016. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/15866/attachments/1/translations/en/renditions/native>>. Acesso em: 26 fev. 2021.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO. FIEPE. Sondagem Industrial da Construção. Ano 23 – Nº 10 – outubro/2021.
- FIRJAN. Indústria 4.0 no Brasil: Oportunidades, perspectivas e desafios. *Firjan SENAI*, Finep. Rio de Janeiro, 2019.
- FLORES, M.; AL-ASHAAB, A.; MÖRTH, O.; USÓ, P.; PINAR, H.; ALFARAJ, F.; YU, M. The Construction Value Chain in a BIM Environment. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS) 2018, pp. 255-262. Doi: 10.1007/978-3-319-99707-0_32
- FORBES, C.; EVANS, M.; HASTINGS, N.; PEACOCK, B. *Statistical Distributions*, 4. ed. *Wiley*, 2011.

- FREITAS, R. C. F., MELHADO, S. B., CARDOSO, F. F. Os desafios e os esforços da cadeia produtiva da construção civil para a adoção do BIM. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 17., 2018, Foz do Iguaçu. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO – FJP. *Déficit Habitacional no Brasil*. 2021. Disponível em: < <http://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>>. Acesso: 16 out. 2021.
- GABRIEL, J. C.; DO AMARAL, M. A. Automação e robótica na construção civil. *Proceedings of the 4th Brazilian Technology Symposium*. 2018. Disponível em: < <https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym18/Papers/XX09.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6^a ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- GUIMARÃES, A. S.; DELGADO, J. M. P. Q.; LUCAS, S. S. Advanced Manufacturing in Civil Engineering. *Energies*, v. 14, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/en14154474>
- GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES AND OXFORD ECONOMICS. A Global Forecast for the Construction Industry by 2030. *Global Construction Perspectives and Oxford Economics*, London, UK, 2015 (ISBN 978-0-9564207-9-4). Disponível em: < https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2016/01/pwc_global-construction-summit-2030-enr.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.
- GOH, G.; SING, S.; YEONG, W. A review on machine learning in 3D printing: applications, potential, and challenges. *Artificial Intelligence Review*, vol. 54, p. 63–94, 2021.
- GORMAN, C.; MACKEN, A.; CULLEN, W.; SAUNDERS, J.; DUNNE, C.; HIGGINS, M. What Are The Differences Between A Literature Search, A Literature Review, A Systematic Review and A Meta-Analysis? And Why Is A Systematic Review Considered To Be So Good?. *Irish Medical Journal February 2013*, v. 106, n. 2, 2013.
- GRIFFIN, A.; HUGHES, R.; FREEMAN, C. Using advanced manufacturing technology for smarter construction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering*, v. 6, 2019, pp. 15–21. Doi: <https://doi.org/10.1680/jcien.18.00051>
- HACK, N.; BAHAR, M.; HÜHNE, C.; LOPEZ, W.; GANTNER, S.; KHADER, N.; ROTHE, T. Development of A Robot-Based Multi-Directional Dynamic FiberWinding Process for Additive Manufacturing Using Shotcrete 3D Printing. *Fibers*, v. 9, n. 39, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/fib9060039>

- HE, R.; LI, M.; GAN, V. J. L.; MA, J. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123505>
- HEWAVITHARANA, T.; NANAYAKKARA, S.; PERERA, A.; PERERA, J. Impact of Enterprise Resource Planning (ERP) Systems to the Construction Industry. *International Journal of Research in Electronics and Computer Engineering (IJRECE)*, v. 7, n. 2, 2019, p. 887-893. Doi: 10.6084/m9.figshare.8868392.
- HOUSTON, F. B. et al. Reinventing construction: a route to higher productivity. *McKinsey Global Institute*. 2017.
- HUSSEIN, M.; ELTOUKHY, A. E. E.; KARAM, A.; SHABAN, I. A.; ZAYED, T. Modelling in off-site construction supply chain management: A review and future directions for sustainable modular integrated construction. *Journal of Cleaner Production*, v. 310, 2021.
- INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. IEDI. Indústria 4.0: O Projeto Catapulta e A Estratégia Industrial do Reino Unido. 2018. Disponível em: <https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_847.html>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- INTERNATIONAL DATA CORPORATION. IDC. *Digital Transformation: The Future of Connected Construction*. Sponsored by Autodesk. 2020. Disponível em: <http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Custos da construção sobem 18,65% em 2021, maior taxa em nove anos*. 2022. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32719-custos-da-construcao-sobem-18-65-em-2021-maior-taxa-em-nove-anos>>. Acesso em: 21 jan. 2022.
- JAIN, V.; BENYOUCEF, L. Managing long supply chain networks: some emerging issues and challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 19, n. 4, pp. 469–496, 2008.

- JAVED, M. A.; MURAM, F. U.; HANSSON, H.; PUNNEKKAT, S.; THANE, H. Towards dynamic safety assurance for Industry 4.0. *Journal of Systems Architecture*, v. 114, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101914>.
- JOBLOT, L.; DANJOU, C.; PELLERIN, R.; LAMOURI, S. Industry 4.0 and BIM: Do They Share the Same Objectives?. *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing III*. JCM 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4_65
- KARMAKAR, A.; DELHI, V. S. K. Construction 4.0: What we know and where we are headed?. *Journal of Information Technology in Construction, (ITcon), Special issue: 'Next Generation ICT - How distant is ubiquitous computing?'*, v. 26, 2021, pp. 526-545. Doi: 10.36680/j.itcon.2021.028
- KAPLAN, R.; SACCUZZO, D. Psychological testing: Principles, applications and issues. Monterey, CA: *Brooks/Cole Publishing Company*, 1982.
- KEDIR, F.; HALL, D. M. Resource efficiency in industrialized housing construction e A systematic review of current performance and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, v. 286, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125443>
- KOZLOVSKA, M.; KLOSOVA, D.; STRUKOVA, Z. Impact of Industry 4.0 Platform on the Formation of Construction 4.0 Concept: A Literature Review. *Sustainability*, v. 13, ed. 2683, 2021. Doi: doi.org/10.3390/su13052683
- KRAINER, C. W. M.; KRAINER, J. A.; IAROZINSKI NETO, A.; ROMANO, C. A. Análise do impacto da implantação de sistemas ERP nas características organizacionais das empresas de construção civil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 117-135, 2013.
- KUIPERS, M.; TOMÉ, A.; PINHEIRO, T.; NUNES, M.; HEITOR, T. Building space–use analysis system—A multi location/multi sensor platform. *Automation in Construction*, v.47, 2014, p.10-23,.
- LASI, H.; FETTKE, P.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p.239-242, 19 jun. 2014.
- LENZ, L.; WEIST, K. C.; HOEPFNER, M.; PANAGIOTIS, S.; GRALLA, M. Symbiosis of life-cycle structural design and asset management based on Building Information Modeling: Application for industrial facility equipment. *Organization, Technology and Management in Construction*, v. 12, 2020; pp. 2170–2180

- LI, C. Z.; CHEN, Z.; XUE, F.; KONG, X. T. R.; XIAO, B.; LAI, X.; ZHAO, Y. A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. *Journal of Cleaner Production*, v. 286, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391>.
- LI, C. Z.; HONG, J.; XUE, F.; SHEN, G.Q; XU, X.; MOK, M.K. Schedule risks in prefabrication housing production in hong kong: a social network analysis. *Journal of Cleaner Production*. v. 134, n. Part B, p. 482-494, 2016.
- LOJANICA, V.; COLIC-DAMJANOVIC, V.; JANKOVIC, N. Housing of the Future: Housing Design of the Fourth Industrial Revolution. *5th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA)*, pp. 1-4, 2018. Doi: 10.1109/EFEA.2018.8617094.
- LONGENECKER, J.G.; MOORE, C. W.; PETTY, J. W. Administração de Pequenas Empresas: Ênfase na Gerencial Empresarial. Trad. Maria Lucia da Rosa e Sidney Stancatti. São Paulo: *Books*, 1997.
- LUNARDELLI, P. *Indústria da construção: como está o cenário e quais os impactos da pandemia*. 2021. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/industria-da-construcao-impactos-da-pandemia/#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil,exporta%C3%A7%C3%A3o%20e%20alta%20do%20d%C3%B3lar.>>. Acesso em: 07 fev. 2022.
- MACHADO, Fernanda Almeida; RUSCHEL, Regina Coeli. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 9, n. 3, 2018, p. 204-222.
- MAINARDES, C.; KRAINER, J.; IAROZINSKI NETO, A.; ROMANO, C.; SILVA, H. Análise dos impactos da utilização do ERP nos processos organizacionais de empresas de construção civil. *R. Eng. Constr. Civ.*, Curitiba - PR, v. 1, n. 1, 2014, p. 78-95.
- MANNINO, A.; DEJACO, M. C.; CECCONI, F. R. Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management—Literature Review and Future Needs. *Appl. Sci.*, v. 11, n. 3062, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/app11073062>

- MÁSCULO, F. *Um panorama da engenharia de produção*. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. 2016. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?ss=1&c=924>>. Acesso em: 28 out. 2021.
- MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; KHERUN, N. A.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O. Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?. *Appl. Sci.*, v. 9, n., 2819, 2019. Doi:10.3390/app9142819
- MCKINSEY. *Modular construction: From projects to products*. 2019. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- MENG, X. Lean management in the context of construction supply chains. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 11, 2019, 3784-3798. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659>
- MESA, H. A.; MOLENAAR, K. R. ALARCÓN, L.F. Exploring performance of the integrated project delivery process on complex building projects. *International Journal of Project Management*. v. 34, n. 7, p.1089-1101, 2016.
- MESA-FERNÁNDEZ, J.; CAMBLOR, J.; PILOÑETA, M.; PALACIOS, H. Productive processes based on 3d printing versus conventional methodologies: a comparative analysis in the construction sector. *Construction Technology*, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.6036/9504>
- MIRANDA, R. das D. de.; SALVI, L. Análise da tecnologia Bim no contexto da indústria da construção civil brasileira. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04, Ed.05, Vol. 07, pp. 79-98, 2019.
- MUÑOZ, I.; LONSO-MADRID, J.; MENÉNDEZ-MUÑIZ, M.; et al. Life cycle assessment of integrated additive–subtractive concrete 3D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 112, p. 2149–2159, 2021.
- MURPHY, K. R.; DAVIDSHOFER, C. O. Psychological testing: Principles and applications. Englewood Cliffs, New Jersey: *Prentice Hall*, 1988.
- NAGY, O.; PAPP, I.; SZABÓ, R. Z. Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions. *Sustainability*, v. 13, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/su132112321>

- NANATH, K.; PILLAI, R. A Model for Cost-Benefit Analysis of Cloud Computing. *Journal of International Technology and Information Management*, v. 22, n. 3, p. 93-117, 2013.
- NASSEREDDINE, H.; VEERAMANI, A.; VEERAMANI, D. Exploring the Current and Future States of Augmented Reality in the Construction Industry. *Advances in Science, Technology & Innovation*, 2021. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1_31
- NEVES, J.; SAMPAIO, Z.; VILELA, M. A Case Study of BIM Implementation in Rail Track Rehabilitation. *Infrastructures*, v. 4, n. 8, 2019. Doi: [doi:10.3390/infrastructures4010008](https://doi.org/10.3390/infrastructures4010008)
- NEWMAN, C.; EDWARDS, D.; MARTEK, I.; TAI, J.; THWALA, W. D.; RILLIE, I. Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart and Sustainable Built Environment*, v. 10, n. 4, 2021, pp. 557-580. Doi: [10.1108/SASBE-02-2020-0016](https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016)
- NASCIMENTO, S.; TAVARES GONÇALVES, B.; DIAS CINTRA, L. Otimização da segurança em canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados (VANTS) com controle de voo via arduino yun. *Acta Tecnológica*, v. 12, n. 1, p. 63–72, 2018. Doi: [10.35818/acta.v12i1.576](https://doi.org/10.35818/acta.v12i1.576).
- NAWI, M. N. M.; BALUCH, N.; BAHAUDDIN, A. Y. Impact of Fragmentation Issue in Construction Industry: An Overview. *MATEC Web of Conferences*. 2014. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/265376388_Impact_of_Fragmentation_Issue_in_Construction_Industry_An_Overview > Acesso em: 26 mar. 2021.
- NGUYEN-VAN, V.; PANDA, B.; ZHANG, G.; NGUYEN-XUAN, H.; TRAN, P. Digital design computing and modelling for 3-D concrete printing, *Automation in Construction*, v. 123, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103529>.
- NGUYEN-VAN, V.; TRAN, P.; PENG, C.; PHAM, L.; ZHANG, G.; NGUYEN-XUAN, H. Bioinspired cellular cementitious structures for prefabricated construction: Hybrid design & performance evaluations, *Automation in Construction*, v. 119, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103324>.
- 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. *Comput Ind*, 2016, 83:121–139.

- OGHAZI, P.; RAD, F. F., ZAEFARIAN, G.; BEHESHTI, H. C., MORTAZAVI, S. Unity is strength: A study of supplier relationship management integration. *Journal of Business Research*, v. 69, n. 11, p. 4804-4810. 2016.
- OLIVEIRA, P. A quarta revolução industrial e a indústria 4.0. 2021. Disponível em: <<https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2021/05/A-QUARTA-REVOLUC%CC%A7A%CC%83O-INDUSTRIAL-E-A-INDU%CC%81STRIA-4.0-PAULO.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- OPOKU, D. J.; PERERA, S.; OSEI-KYEI, R.; RASHIDI, M. Digital twin application in the construction industry: A literature review. *Journal of Building Engineering*, v. 40, 2021.
- OTI-SARPONG, K.; PÄRN, E. A.; BURGESS, G.; ZAKI, M. Transforming the construction sector: an institutional complexity perspective. *Construction Innovation*, 2021. Doi: 10.1108/CI-04-2021-0071
- OZTURK, G. B. Digital Twin Research in the AECO-FM Industry. *Journal of Building Engineering*, v. 40, 2021.
- PAIM, F.; ALMEIDA, M. Estudo prospectivo sobre a utilização da impressora 3d na área da construção civil. *Cad. Prospec.*, Salvador, v. 11, Edição Especial, p.463-474, abr./jun. 2018. Doi.: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v11i2.23379>
- PAIVA, R. A. ‘Towards a new materiality’ of Modern Architecture in Fortaleza-Ceará (Brazil). *ECAADE SIGRADI 2019: Architecture in the age of the 4th industrial revolution*, v. 1. 2019.
- PANULINOVA, E.; HARABINOVA, S.; BASKOVA, R. Implementation of Digital Technologies into the educational process. *International journal of education and information Technologies*, v. 15, 2021. Doi: 10.46300/9109.2021.15.39
- PAN, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, D.; SONG, Y. 3D printing in construction: state of the art and applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 115, p.1329–1348, 2021. Doi: doi.org/10.1007/s00170-021-07213-0
- PAOLETTI, I. Mass customization with additive manufacturing: new perspectives for multi performative building components in architecture. *Procedia Engineering*, v. 180, 2017, pp. 1150 – 1159. Doi: [doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.275](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.275)
- PARASURAMAN, A.; GREWAL, D.; KRISHNAN, R. *Marketing Research*. 2nd Edition, Houghton Mifflin Company, Boston, 2006.

- PEZESHKI, Z.; SOLEIMANI, A.; DARABI, A. *Aplicação do BEM e uso do banco de dados BIM para o BEM: uma revisão. Journal of Building Engineering*, v.23, 2019, pp. 1-17.
- PERRIER, N.; BLED, A.; BOURGAULT, M.; COUSIN, N.; DANJOU, C.; PELLERIN, R.; ROLAND, T. Construction 4.0: A Survey Of Research Trends. *Journal of Information Technology in Construction*. ITcon vol. 25, 2020.
- PRUSKOVA, K. Beginning of Real Wide us of BIM Technology in Czech Republic. *Conf. Series: Materials Science and Engineering*, v. 471, 2019. Doi: doi:10.1088/1757-899X/471/10/102010
- QI, B.; RAZKENARI, M.; COSTIN, A.; KIBERT, C.; FU, M. A systematic review of emerging technologies in industrialized construction. *Journal of Building Engineering*, v. 39, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102265>
- QI, B.; QIAN, S.; COSTIN, A. A Predictive Analysis on Emerging Technology Utilization in Industrialized Construction in the United States and China. *Algorithms* 2020, 13, 180.
- QIAN, Y.; LENG, J. CIM-based modeling and simulating technology roadmap for maintaining and managing Chinese rural traditional residential dwellings. *Journal of Building Engineering*, v. 44, 2021.
- RIVERA, F. M.; MORA-SERRANO, J.; VALERO, I.; OÑATE, E. Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. *Archives of Computational Methods in Engineering*, v. 28, 2021, pp. 689–711. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>
- ROCHA, F. Modelo de simulação para avaliar o efeito chicote em cadeias de suprimentos. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Sociais Aplicadas. Departamento de Ciências Administrativas. Programa de Pós-graduação em Administração. Natal, RN, 2017. 199f.
- SAIEG, P.; SOTELINO, E. D.; NASCIMENTO, D.; CAIADO, R. G. G. Interactions of Building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review. *J Clean Prod*, 2018, 174:788–806.
- SANTOS JÚNIOR, J. E.; GALHARDO, C. X.; SANTOS, V. M. L. Inovações no setor de construção civil oportunizadas pelas tecnologias de informação. *Revista GEINTEC*, v. 9, n. 4, 2019, p. 5131-5145. Doi: 10.7198/geintec.v9i4.1382

- SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. São Paulo: *Edipro*, 2016.
- SCHÖNBECK, P.; LÖFSJÖGÅRD, M.; ANSELL, A. Quantitative Review of Construction 4.0 Technology Presence in Construction Project Research. *Buildings*, v. 10, n. 173, 2020. Doi: doi:10.3390/buildings10100173
- SCHRANZ, C.; URBAN, H.; GERGER, A. Potentials of augmented reality in a bim based building submission process. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Special issue: 'Next Generation ICT - How distant is ubiquitous computing?', v. 26, 2021, pp. 441-457. Doi: 10.36680/j.itcon.2021.024
- SEBRAE. *Cadeias produtivas dinâmicas e oportunidades de negócios*. 2008. Disponível: < https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PE/Anexos/livro_cenarios_parte_3.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- SEPASGOZAR, S. M. E. Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment. *Buildings*, v. 11, n. 151, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/buildings11040151>
- SEPASGOZAR, S.; SHI, A.; YANG, L.; SHIROWZHAN, S.; EDWARDS, D. Additive Manufacturing Applications for Industry 4.0: A Systematic Critical Review. *Buildings*, vol. 10, n. 231, 2020. Doi:10.3390/buildings10120231
- SHARMA, S.; AHMED, S.; NASEEM, M.; ALNUMAY, W.; SINGH, S.; CHO, G. W. A Survey on Applications of Artificial Intelligence for Pre-Parametric Project Cost and Soil Shear-Strength Estimation in Construction and Geotechnical Engineering. *Sensors*, v. 11, 2021.
- SHERRATT, F. D.; SHERRATT, S. Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Management, Procurement and Law*, 173(4): 145–152, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00053>
- SHI, Q.; DING, X.; ZUO, J.; ZILLANTE, G. Mobile Internet based construction supply chain management: a critical review. *Autom Constr*, 2016, 72:143–154.
- SIENGE. *Realidade aumentada aplicada na Construção Civil*. 2019. Disponível em: < <https://www.sienge.com.br/blog/realidade-aumentada-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 28 out. 2021.

- SILVA, A. D. de; SIMÃO, A. dos S.; MENEZES, C. A. G. *Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira*. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – XV *SEGeT*. 2018.
- SILVA, A. B. *A Pequena Empresa na Busca da Excelência*. João Pessoa: *Universitária*, 1998.
- SILVA, R. *Revolução, história e tempo*. *História: Debates e Tendências*, v. 15, p. 251-267, Jan./Jun. 2015.
- SIMÃO, A.; ALCOFORADO, L.; LONGO, O.; DOS SANTOS, D.; DOS SANTOS, F.; SILVA, A.; MENEZES, C.; MEIRELLES JÚNIOR, J. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 19670-19685. 2019. Doi: 10.34117/bjdv5n10-183
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE PERNAMBUCO. SINDUSCON-PE. *Indicadores de Velocidade de Venda – Setembro/2020*. 2020. Disponível em: <<http://www.sindusconpe.com.br/servicos/ivv>>. Acesso em: 24 jan. 2021.
- SOLAIMANI, S.; SEDIGHI, M. Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119213>
- SOUZA, B. A.; OLIVEIRA, C. A. C.; SANTANA, J. C. O. de; NETO, L. A. da C. V.; SANTOS, D. de G. Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico*, v. 17, ed. 31. 2015. Doi: <https://doi.org/10.21452/rde.v17i31.3480>
- RAMOS, C. E. da S.; RODRIGUES, L. F. P.; MELLO, L. C. B de B. *Aplicações da Indústria 4.0 na Construção Civil – Uma Revisão Narrativa*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – CONBREPPO, VIII., 2018, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: APREPRO, 2018.
- RUSCHEL, R.; ANDRADE, M.; MORAIS, M. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos?. *Ambient. constr.*, v. 13, n. 2, 2013. Doi: doi.org/10.1590/S1678-86212013000200012
- TAHMASEBINIA, F.; SEPASGOZAR, S.; SHIROWZHAN, S.; NIEMELA, M.; TRIPP, A.; NAGABHYRAVA, S.; MANSURI, Z.; ALONSO-MARROQUIN, F. Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0: Theoretical and laboratory investigations. *Construction Innovation*, vol. 20, n. 3, p. 379-400, 2020.

- TAY, Y.; PANDA, B.; PAUL, S.; MOHAMED, N.; TAN, M.; LEONG, K. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, n. 3, p. 261-276, 2017. Doi: 10.1080/17452759.2017.1326724
- THOMAS, A. J.; FRANCIS, R. F.; BYARD, P. Implementing Lean Six Sigma to Overcome the Production Challenges in an Aerospace Company. *Production Planning and Control*, v. 27 (7-8), 2016, 591-603.
- TO, A.; LIU, M.; HAIRUL, M.; DAVIS, J.; LEE, J.; HEESE, H.; NGUYEN, H. Drone-Based AI and 3D Reconstruction for Digital Twin Augmentation. In: Meiselwitz G. (eds) Social Computing and Social Media: Experience Design and Social Network Analysis. HCII 2021. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 12774. Springer, Cham. 2021. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77626-8_35
- TORI, R.; HOUNSELL, M. (org.). Introdução a Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.
- TURNER, C. J.; Oyekan, J.; Stergioulas, L.; Griffin, D. Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, v. 17, n. 2, 2021.
- UNITED NATIONS. *Population*. 2019 Disponível em: <<https://www.un.org/en/global-issues/population>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- VIEIRA, C. S.; MEIRELLES, F. de S. Computação em Nuvem: Análise bibliométrica da produção científica sobre os fatores que influenciam as empresas no seu uso. *Rev. Elet. Gestão e Serviços*, v.6, n.2, 2015.
- VIEIRA, H. F. Logística aplicada à Construção Civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2006. 178 p.
- VOLSKI, I. *Metodologia híbrida para caracterização da rede através da avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. 107f.
- WANG, M.; WANG, C.; SEPASGOZAR, S.; ZLATANOVA, S. A Systematic Review of Digital Technology Adoption in O-Site Construction: Current Status and Future Direction towards Industry 4.0. *Buildings*, vol. 10, ed. 204, 2020. Doi:10.3390/buildings10110204

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION – WIPO. Índice Global de Inovação. 2021. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo_pub_gii_2021_exec.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Competitiveness Report 2019. 2019. Disponível em: <https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

_____. Shaping the future of construction - future scenarios and implications for the industry. *World Economic Forum*, Geneva, Switzerland. 2018. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/Future_Scenarios_Implications_Industry_report_2018.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.

_____. Shaping the future of construction - a breakthrough in mindset and technology. *World Economic Forum*, Geneva, Switzerland. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

WU, C.; SHANG, G.; WU, L.; GUO, H. Application and Research of 3D Printing Technology in the Field of Architecture. *4th International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME)*, 2021. Doi 10.1109/ICEDME52809.2021.00024

XU, J.; MOREU, F. A Review of Augmented Reality Applications in Civil Infrastructure During the 4th Industrial Revolution. *Front. Built Environ*, v. 7, 2021. Doi: 10.3389/fbuil.2021.640732

YEVU, S. K.; YU, A. T. W.; DARKO, A. Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 322, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129093>.

ZAINI, A. A.; RAZALI1, A. W.; GUI, H. C.; ZAINI, N.; TAMJEHI1, S. D. Assessing Strategies of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Sarawak Construction Industry. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020.

ZARZUELO, I.; SOEANE, M.; BERMÚDEZ, B. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 20, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100173>

APÊNDICE A – DADOS GERAIS DOS ARTIGOS DA RSL

ID	Autor (es) e ano	Periódico da publicação	Área de estudo	País do autor principal
P1	Abioye et al. (2021)	Journal of Building Engineering	Implantação da Indústria 4.0	Reino Unido
P2	Aghimien et al. (2020)	International Journal of Housing Markets and Analysis	Manufatura Aditiva	África do Sul
P3	Akanmu, Anumba e Ogunseju (2021)	Journal of Information Technology in Construction	Gêmeo Digital	Estados Unidos
P4	Alaloul et al. (2020)	Ain Shams Engineering Journal	Implantação da Indústria 4.0	Malásia
P5	Albar, Rafiq Swash e Ghaffar (2019)	3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)	Manufatura Aditiva	Reino Unido
P6	Alshammari, Beach e Rezgui (2021)	Journal of Information Technology in Construction	Internet das Coisas	Reino Unido
P7	Balasubramanian et al. (2021)	IEEE Transactions on Engineering Management	Meio Ambiente	Emirados Árabes Unidos
P8	Baduge et al. (2021)	Structures	Manufatura Aditiva	Austrália
P9	Begić e Galić (2021)	Buildings	BIM	Croácia
P10	Biswas et al. (2017)	Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme	Manufatura Aditiva	Estados Unidos
P11	Boton et al. (2021)	Archives of Computational Methods in Engineering	Implantação da Indústria 4.0	Espanha
P12	Carneau et al. (2020)	Automation in Construction	Manufatura Aditiva	França
P13	Chung et al. (2021)	Applied Sciences (Switzerland)	Realidade Aumentada	Coréia do Sul
P14	Da Silva (2020)	Results in Engineering	BIM	Portugal
P15	Dallasega, Rauch e Linder (2018)	Computers in Industry	Implantação da Indústria 4.0	Itália
P16	Delgado et al. (2019)	Journal of Building Engineering	Implantação da Indústria 4.0	Reino Unido
P17	Demirkesen e Tesel (2021)	Engineering, Construction and Architectural Management	Implantação da Indústria 4.0	Turquia
P18	Deng, Zhang e Shen (2021)	Journal of Management Science and Engineering	Gêmeo Digital	China
P19	El-Sayegh, Romdhane e Manjikian (2020)	Archives of Civil and Mechanical Engineering	Manufatura Aditiva	Emirados Árabes Unidos
P20	Flores et al. (2018)	Advances In Production Management Systems: Smart Manufacturing For Industry 4.0, Apms 2018	BIM	Reino Unido
P21	Goh, Sing e Yeong (2021)	Artificial Intelligence Review	Manufatura Aditiva	Singapura
P22	Griffin et al. (2019)	Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering	Manufatura Aditiva	Reino Unido
P23	Guimarães, Delgado e Lucas (2021)	Energies	Manufatura Aditiva	Portugal
P24	Hack et al. (2021)	Fibers	Manufatura Aditiva	Alemanha

P25	He et al. (2021)	Journal of Cleaner Production	BIM	China
P26	Hussein et al. (2021)	Journal of Cleaner Production	Construção fora do local	China
P27	Javed et al. (2021)	Journal of Systems Architecture	Implantação da Indústria 4.0	Suécia
P28	Joblot et al. (2021)	Lecture Notes in Mechanical Engineering	Implantação da Indústria 4.0	França
P29	Karmakar e Delhi (2021)	Journal of Information Technology in Construction	Implantação da Indústria 4.0	Índia
P30	Kedir e Hall (2021)	Journal of Cleaner Production	Implantação da Indústria 4.0	Suíça
P31	Kozlovská, Klosova e Strukova (2021)	Sustainability (Switzerland)	Impacto da Indústria 4.0	Eslováquia
P32	Lenz et al. (2021)	Organization, Technology and Management in Construction	BIM	Alemanha
P33	Li et al. (2021)	Journal of Cleaner Production	Construção fora do local	China
P34	Lojanica, Colic-Damjanovic e Jankovic (2018)	5th International Symposium on Environmental-Friendly Energies and Applications (EFEA 2018)	Manufatura Aditiva	Sérvia
P35	Mannino, Dejacó e Cecconi (2021)	Applied Sciences (Switzerland)	BIM	Itália
P36	Maskuriy et al. (2019)	Applied Sciences (Switzerland)	Implantação da Indústria 4.0	Malásia
P37	Mesa-Fernández et al. (2020)	Dyna (Spain)	Manufatura Aditiva	Espanha
P38	Muñoz et al. (2021)	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Manufatura Aditiva	Dinamarca
P39	Nagy, Papp e Szabó (2021)	Sustainability (Switzerland)	Implantação da Indústria 4.0	Hungria
P40	Nassereddine, Veeramani e Veeramani (2021)	Advances in Science, Technology and Innovation	Implantação da Indústria 4.0	Estados Unidos
P41	Neves, Sampaio e Vilela (2019)	Infrastructures	BIM	Portugal
P42	Newman et al. (2021)	Smart and Sustainable Built Environment	Implantação da Indústria 4.0	Reino Unido
P43	Nguyen-Van et al. (2021)	Automation in Construction	Manufatura Aditiva	Vietnã
P44	Nguyen-Van et al. (2020)	Automation in Construction	Novas fórmulas de concreto	Austrália
P45	Opoku et al. (2021)	Journal of Building Engineering	Gêmeo Digital	Austrália
P46	Oti-Sarpong et al. (2021)	Construction Innovation	Implantação da Indústria 4.0	Reino Unido
P47	Ozturk (2021)	Journal of Building Engineering	Gêmeo Digital	Turquia
P48	Paiva (2019)	ECAADE SIGRADI 2019: Architecture In The Age Of The 4th Industrial Revolution	BIM	Brasil
P49	Panulinova, Harabinova e Baskova (2021)	International Journal of Education and Information Technologies	BIM	Eslováquia
P50	Paoletti (2017)	Procedia Engineering	Manufatura Aditiva	Itália
P51	Perrier et al. (2020)	Journal of Information Technology in Construction	Implantação da Indústria 4.0	Canadá
P52	Pruskova (2019)	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	BIM	República Tcheca

P53	Qi et al. (2021)	Journal of Building Engineering	Implantação da Indústria 4.0	Estados Unidos
P54	Qi, Qian e Costin (2020)	Algorithms	Implantação da Indústria 4.0	Estados Unidos
P55	Qian e Leng (2021)	Journal of Building Engineering	BIM	China
P56	Rivera et al. (2021)	Archives of Computational Methods in Engineering	Implantação da Indústria 4.0	Espanha
P57	Schönbeck, Löfsjögård e Ansell (2020)	Buildings	Implantação da Indústria 4.0	Suécia
P58	Schranz, Urban e Gerger (2021)	Journal of Information Technology in Construction	Realidade Aumentada	Áustria
P59	Sepasgozar (2021)	Buildings	Gêmeo Digital	Suíça
P60	Sepasgozar et al. (2020)	Buildings	Manufatura Aditiva	Austrália
P61	Solaimani e Sedighi (2020)	Journal of Cleaner Production	Filosofia Lean	Países Baixos (Holanda)
P62	Tahmasebinia et al. (2020)	Construction Innovation	Manufatura Aditiva	Austrália
P63	Tay et al. (2017)	Virtual and Physical Prototyping	Manufatura Aditiva	Singapura
P64	Turner et al. (2021)	IEEE Transactions on Industrial Informatics	Implantação da Indústria 4.0	Reino Unido
P65	Wang et al. (2020)	Buildings	Construção fora do local	Austrália
P66	Wu et al. (2021)	Proceedings - 2021 4th International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering, ICEDME 2021	Manufatura Aditiva	China
P67	Xu e Moreu (2021)	Frontiers in Built Environment	Realidade Aumentada	Estados Unidos
P68	Yevu, Yu e Darko (2021)	Journal of Cleaner Production	Cadeia de suprimentos digital e tecnologias de aquisição	Hong Kong

APÊNDICE B – ALFA DE CRONBACH

	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Alfa de Cronbach se o item for excluído
P1	28,81	48,882	,245	,873
P2a	28,92	49,834	,147	,874
P2b	28,50	47,620	,342	,871
P2c	28,19	48,002	,351	,871
P2d	28,15	47,015	,563	,867
P2e	28,31	48,142	,282	,873
P2f	28,19	47,122	,504	,868
P2g	28,23	47,785	,366	,871
P3	28,00	49,600	,232	,873
P4	27,96	50,278	,000	,874
P5a	28,08	48,474	,374	,871
P5b	28,04	48,118	,553	,869
P5c	28,08	47,434	,610	,868
P5d	28,08	48,474	,374	,871
P5e	28,19	47,122	,504	,868
P6	28,73	48,445	,276	,872
P7	28,58	50,814	-,110	,881
P8a	28,81	49,042	,214	,873
P8b	28,31	46,142	,592	,866
P8c	28,81	49,522	,120	,875
P8d	28,38	47,366	,383	,871
P8e	28,35	46,555	,514	,868
P8f	28,73	48,685	,235	,873
P8g	28,46	47,698	,329	,872
P9a	28,38	47,046	,431	,869
P9b	28,88	50,826	-,160	,877
P9c	28,73	48,525	,262	,873
P9d	28,42	48,974	,147	,876
P9e	28,38	47,846	,313	,872
P10a	28,23	47,225	,458	,869
P10b	28,35	47,355	,392	,870
P10c	28,23	47,465	,419	,870
P10d	28,31	47,822	,331	,872
P10e	28,19	47,442	,448	,869
P11	28,08	49,514	,144	,874
P12a	28,12	47,146	,593	,867
P12b	28,00	48,480	,644	,869
P12c	28,12	47,386	,544	,868
P12d	28,27	46,605	,537	,867
P12e	28,00	48,480	,644	,869
P12f	28,38	47,526	,360	,871
P12g	28,12	48,906	,240	,873
P12h	28,00	48,480	,644	,869
P13	27,96	50,278	,000	,874
P14	28,27	47,805	,346	,871

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO

Pesquisa: Impacto da indústria 4.0 na gestão da cadeia de suprimentos na indústria da construção civil

Meu nome é Gabriela Eloanne Vidal Leite, sou mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, e estou realizando esta pesquisa como parte integrante do meu projeto de mestrado, aprovado pela FACEPE (IBPG-1394-3.08/19).

Este projeto tem o objetivo de analisar o desenvolvimento da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos da indústria da construção civil no agreste pernambucano segundo os critérios de processos, organização, eficiência e planejamento de obras. Como principal resultado espera-se ampliar a compreensão acerca dos impactos da chegada da Indústria 4.0 com foco na construção civil, em prol do seu fortalecimento econômico.

Desta forma, peço sua colaboração a esta pesquisa.

Os resultados obtidos com o questionário serão utilizados na elaboração da minha dissertação de mestrado, sob orientação da Prof^ª Dr^ª Marcele Elisa Fontana, líder do Grupo de Pesquisa em Decisões Estratégicas em Produção e Logística (DEPLog) da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

A todos os respondentes é assegurado o anonimato e o direito de saber os resultados desta pesquisa. Todos os dados coletados serão mantidos sob sigilo, uma vez que apenas os pesquisadores vinculados ao DEPLog terão acesso as respostas.

Este questionário é composto por duas seções:

- Seção 1: Perguntas gerais sobre o respondente.
- Seção 2: Perguntas específicas sobre o tema do estudo.

O questionário é breve, não existe resposta certa ou errada, apenas a sua visão sobre o assunto é o meu interesse. Responder ao questionário não é obrigatório, o respondente pode desistir de participar da pesquisa a qualquer momento.

Bloco 1 - Sociodemográfico**1) Gênero**

Masculino

Feminino

2) Data de nascimento

____/____/____

3) Escolaridade

Ensino Fundamental Incompleto

Ensino Fundamental Completo Ensino

Médio Incompleto Ensino Médio Completo

Ensino Superior Incompleto Ensino

Superior Completo

Mestrado

Doutorado

Curso Técnico

Pós Graduação

MBA

4) Qual a sua especialidade ou graduação (caso se aplique)?

5) Em qual cidade fica localizada a sede da construtora que você trabalha?

6) Qual o cargo que você ocupa na construtora?

Analista

Auxiliar

Encarregado

Engenheiro

Estagiário

- Supervisor
- Técnico
- Outro:

7) Há quanto tempo você trabalha na construtora?

8) Qual o porte da construtora em que você trabalha?

- Micro-pequeno (até 49 funcionários)
- Médio (50 a 99 funcionários)
- Grande (100 ou mais funcionários)

Bloco 2 - Questões específicas

1) Como você avalia seu conhecimento sobre a Quarta Revolução Industrial(Indústria 4.0)?

	Nenhum/Péssimo	Razoável	Médio	Bom	Ótimo
Indústria 4.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2) Quais são as melhores formas de se obter conhecimento sobre a Indústria 4.0?

	Ineficiente	Pouco eficiente	Neutro	Eficiente	Muito eficiente
Telejornais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revistas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Casos de sucesso de outras construtoras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cursos profissionalizantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consultores e clientes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Artigos científicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Internet (Blogs, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3) Qual dessas alternativas melhor descreve os objetivos da Indústria 4.0?

- Acabar totalmente com a mão de obra humana nas empresas
- Alcançar a evolução da raça humana a um nível cibernético
- Conectar, integrar e automatizar a empresa, tornando-a mais produtiva

Produzir armas para uma eventual Terceira Guerra Mundial

4) Você acredita que a Indústria 4.0 pode trazer benefícios para a construção civil?

Sim Não Talvez

5) Quais são os benefícios que a Indústria 4.0 pode proporcionar a construção?

	Nenhum	Baixo	Razoável	Bom	Alto	Não se aplica
Minimizar a ocorrência de erros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimizar o desperdício de insumos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aumento da produtividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Redução de custos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Encontrar novas oportunidades	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6) Em que contexto das revoluções industriais você acredita que seja possível classificar a construtora em que você trabalha?

1ª Revolução Industrial (Produção totalmente manual)

2ª Revolução Industrial (Divisão de trabalho e a mecanização parcial)

3ª Revolução Industrial (Utilização parcial de tecnologias e equipamentos semi automatizados)

4ª Revolução Industrial (Utilização de sistemas de gerenciamento [ERP], utilização de nível a laser, trenas por infravermelho, softwares BIM, impressoras 3D, entre outros)

7) Em uma escala de 1 a 5 quão próxima a construtora em que atua está da revolução digital que esta ocorrendo no mercado?

	1	2	3	4	5	
Muito longe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muito próxima

8) Qual é o seu conhecimento sobre os seguintes conceitos da Indústria 4.0?

	Nenhum/Péssimo	Razoável	Médio	Bom	Ótimo
Big Data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Cloud Computing	()	()	()	()	()
Sistemas ERP (Sistemas de Gerenciamento)	()	()	()	()	()
Internet das coisas	()	()	()	()	()
Robótica Avançada	()	()	()	()	()
Impressão 3D	()	()	()	()	()

9) Quais tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 são aplicadas na construtora na qual você atua?

	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequente
Aplicação de projetos em softwares BIM (Building Information Model)	()	()	()	()	()
Sensores inteligentes nos equipamentos de segurança para monitoramento de possíveis acidentes durante a obra	()	()	()	()	()
Utilização de drones	()	()	()	()	()
Sistemas ERP (Sistemas de Gerenciamento)	()	()	()	()	()
Utilização de tablets e internet no canteiro de obra	()	()	()	()	()
Utilização de trenas infravermelho, nível a laser, estações topográficas computacionais e sistemas de gerenciamento	()	()	()	()	()

10) Quão importante são os seguintes motivos para que as construtoras não apliquem os conceitos da Indústria 4.0 são:

	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito importante
Cultura organizacional fechada para mudanças	()	()	()	()	()
Falta de capital	()	()	()	()	()
Falta de conhecimento sobre a Indústria 4.0	()	()	()	()	()

Falta de interesse da alta administração ou proprietários	()	()	()	()	()
Falta de mão-de-obra qualificada	()	()	()	()	()

11) Avalie o impacto de competir com outras organizações que aplicam os conceitos da Indústria 4.0.

	1	2	3	4	5	
Muito negativo	()	()	()	()	()	Muito positivo

12) Qual o nível de importância que as seguintes características da construtora que você trabalha precisa ter para se manter competitiva no mercado diante das mudanças provocadas pela Quarta Revolução Industrial?

	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito importante
Trabalhar de forma sustentável	()	()	()	()	()
Trabalhar com gestão colaborativa de projetos	()	()	()	()	()
Investir em ferramentas de gestão (<i>Sienge, Construct, Stant, Coteaqui</i> , entre outras)	()	()	()	()	()
Utilização de materiais como concreto auto-curável, aerogéis e nanomateriais	()	()	()	()	()
Investir em BIM (<i>Building Information Model</i>)	()	()	()	()	()
Investir em impressão 3D	()	()	()	()	()
Reutilização do material descartado no processo execução da obra	()	()	()	()	()
Investir na capacitação dos colaboradores	()	()	()	()	()

13) Você acredita que com a utilização das ferramentas da Indústria 4.0 na construtora onde trabalha pode gerar vantagens quanto a lucratividade, produtividade, redução de custos e segurança do colaborador?

() Sim () Não () Talvez

14) A construtora na qual você trabalha tem intenção futura de aderir ou continuar investindo na Indústria 4.0?

Sim Não Talvez

15) Há mais algum comentário sobre o assunto que você gostaria de fazer?
