

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

GILBERTO GOMES SOARES JÚNIOR

**TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS PARA
MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

SÃO PAULO

2021

GILBERTO GOMES SOARES JÚNIOR

**TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS PARA
MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Dissertação de mestrado apresentada ao
programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Produção da Universidade Nove de Julho -
UNINOVE, com o requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia de
Produção.**

Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro - Orientador

SÃO PAULO

2021

Soares Júnior, Gilberto Gomes.

Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil. / Gilberto Gomes Soares Júnior. 2021.

103 f.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2021.

Orientador (a): Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro.

1. Tecnologias habilitadoras.
2. Construção civil.
3. Indústria 4.0.
4. Segurança do trabalho.

I. Sátyro, Walter Cardoso.

II. Título

CDU 658.5



**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO**

DE

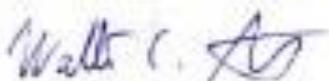
Gilberto Gomes Soares Júnior

Título da Dissertação: Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 Aplicadas para Melhoria da Segurança do Trabalho na Construção Civil.

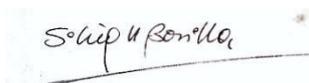
A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Gilberto Júnior Gomes Soares aprovado.

São Paulo, 23 de junho de 2021.

Prof(a). Dr(a).Walter Cardoso Sátyro (UNINOVE / PPGEP) – Orientador



Prof(a). Dr(a).Sílvia Helena Bonilla (UNIP/PPGEP) - Membro Externo- Membro Externo



Prof(a). Dr(a).Wagner Cezar Lucato (UNINOVE / PPGEP) - Membro Interno



Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio recebido, minha filha, Isabella Cristina Moura Soares, meus irmãos Márcio Gomes Soares e Sheila Gomes Soares, meus sobrinhos Maria Clara Soares Vieira, Davi Soares Vieira, Tiago Soares de Sá, vovó Floripes, tio Nelson Pereira da Silva e em especial aos meus pais, Gilberto Gomes Soares e Lúcia Soares Pereira da Silva Soares, que são meus exemplos de vida e a Deus.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Gostaria por este fato, expressar toda a minha gratidão e apreço a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para esta pesquisa se tornasse possível. A todos quero manifestar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por permitir esta tarefa possível e ao meu orientador Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro por toda paciência e profissionalismo com que conduziu todos os passos deste trabalho e aos professores que colaboraram com minha formação.

A minha família que me apoiou inúmeras vezes com conselhos, dedicação, compreensão por minhas ausências nos programas familiares.

Aos meus pais por me darem amor, suporte, carinho e por sempre acreditarem em meu potencial, aos meus irmãos Sheila Gomes Soares e Márcio Gomes Soares e o tio Nelson Pereira da Silva pelas conversas, aos amigos de curso, os professores, a Universidade Nove de Julho e o coordenado do curso o Prof. Dr. Mauro Martens sem o qual eu não teria feito o curso de Mestrado.

RESUMO

O trabalho tem por objetivo identificar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, podem ser aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil, uma vez que as empresas do setor da construção civil estão buscando aprimorar e desenvolver os trabalhos para diminuir os riscos e acidentes. A metodologia foi desenvolvida com embasamento na revisão da literatura referentes ao tema, e em pesquisa de campo, sendo que a coleta de dados se deu, por meio de entrevista com especialistas com 8 profissionais do setor da construção civil, com aplicação de um questionário em escala Likert de 5 pontos, para identificação da possibilidade de melhoria da segurança do trabalho na construção civil, através das tecnologias da Indústria 4.0. Os resultados desta pesquisa apontaram que as principais tecnologias elencadas para melhoria da segurança do trabalho para a construção foram: (1º) impressora 3D e o drone, (2º) realidade aumentada e sensores vestíveis, (3º) colete de segurança, (4º) realidade virtual, (5º) exoesqueleto biônico, (6º) BIM, RFID, capacete com sensores e capacetes inteligente, (7º) Internet das coisas e por fim, (8º) caminhão betoneira. A contribuição deste trabalho se dá pela apresentação de tecnologias da Indústria 4.0 que podem maximizar a segurança do trabalho na indústria da construção civil, mitigando os acidentes de trabalho, colaborando assim para a gestão da tecnologia e inovação. Para trabalhos futuros sugere-se ampliar esta pesquisa com mais especialistas, se possível de outros estados da federação e também de outros países.

Palavras-chave: Tecnologias habilitadoras; Construção civil; Indústria 4.0; Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

The work aims to identify how the enabling technologies of Industry 4.0 can be applied to improve job security in civil construction, since companies in the civil construction sector are seeking to improve and develop work to reduce risks and accidents. The methodology was developed based on the literature review related to the theme, and on field research, and the data collection took place, through a field research with 8 specialists in the construction sector, with application a 5-point Likert scale questionnaire to identify the possibility of improving work safety in civil construction, using the technologies of Industry 4.0. The results of this research pointed out that the main technologies listed for improving work safety for construction were: (1st) 3D printer and drone, (2nd) augmented reality and wearable sensors, (3rd) safety vest, (4th) reality virtual, (5th) bionic exoskeleton, (6th) BIM, RFID, helmet with sensors and smart helmets, (7th) Internet of things and finally, (8th) concrete mixer truck. The contribution of this work is given by the presentation of technologies from Industry 4.0 that can maximize work safety in the construction industry, mitigating accidents at work, thus collaborating for the management of technology and innovation. For future work it is suggested to expand this research with more specialists, if possible from other states of the federation and also from other countries.

Keywords: Enabling technologies; Civil construction; Industry 4.0; Job Security.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Estrutura do Trabalho.....	20
FIGURA 2 - Total de Óbitos por Ano na Construção – Período 2012 – 2018.....	36
FIGURA 3 - Incidência de trabalho por ocupação.....	37
FIGURA 4 - Notificação de acidentes que ocorrem no canteiro de obras.....	38
FIGURA 5 - Princípios Básicos da Indústria 4.0 (9 pilares).....	40
FIGURA 6 - Tecnologias 4.0 que ajudam melhorar a produtividade.....	41
FIGURA 7 - Impressão 3D na Construção.....	44
FIGURA 8 - A IoT na construção civil	45
FIGURA 9 - Caminhão de Betoneira Conectado.....	45
FIGURA 10 - Capacete com Sensor.....	47
FIGURA 11 - Colete de Segurança.....	47
FIGURA 12 - Capacete Inteligente.....	48
FIGURA 13 - Visor com capacete: Detalhes Construtivos.....	49
FIGURA 14 - Visão com óculos.....	49
FIGURA 15 - Exoesqueleto.....	50
FIGURA 16 - Exoesqueleto Lowes.....	50
FIGURA 17 - Simulação de acidente em ambiente virtual.....	51
FIGURA 18 - Uso de BIM para identificação de situações de risco.....	51
FIGURA 19 - Uso de BIM para identificação de situações de risco.....	51
FIGURA 20 - Drones na construção civil.....	52
FIGURA 21 – Componentes do sistema RFID.....	53
FIGURA 22 - RFID instalada em sistema guarda- corpo (GcR).....	53
FIGURA 23 - RFID instalada em sistema guarda- corpo (GcR).....	53
FIGURA 24 - Áreas onde a tecnologia auxilia na produtividade	54
FIGURA 25 - Representação visual do conceito BIM.....	56
FIGURA 26 - Teoria das 10 dimensões.....	58
FIGURA 27 - Estrutura Metodológica.....	66

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Normas Regulamentadoras (NR).....	32
QUADRO 2 - Benefícios ao Modelo BIM.....	57
QUADRO 3 - Tecnologias habilitadoras foco de pesquisa.....	59
QUADRO 4 - Etapas da revisão sistemática da literatura.....	64
QUADRO 5 - Protocolo de revisão de literatura.....	64
QUADRO 6 - Resultados de pesquisa de artigos.....	65
QUADRO 7 - Resultados das pesquisas com os entrevistados.....	69
QUADRO 8 - Escala Likert – Notas atribuídas.....	71
QUADRO 9 - Coeficiente de variação – Nível de dispersão.....	72
QUADRO 10 - Resultados das pesquisas com os entrevistados em termos de classificação.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção
AEAT - Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho
AI - Inteligência Artificial
BIM - Building Information Modelling.
CAD - Computer Aided Design
CAT - Comunicação de Acidente de Trabalho
CATs - Comunicação de Acidentes de Trabalhos
CBI - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CPS - Cyber-Physical Systems
CIM - Computer Integrated Manufacturing
CIPAs - Comissões internas de prevenção de acidentes
CMMS - Computerized Maintenance Management System
CSC - Cadeias de Abastecimento de Construção
CV - Coeficiente de variação
EPCs - Equipamento de Proteção Coletiva
EPI - Equipamento de Proteção Individual
EPIs - Equipamentos de Proteção Individuais
GIS - Geographic Information System
GPS - Global Positioning System
GcR - Guarda-corpo Rodapé
ICC - Indústria da construção Civil
INNS - Instituto Nacional do Seguro do Trabalho
IoT - Internet of Things
IoS - Internet of Services
JIT - Just in Time
LER - Lesões por esforços repetitivos
LiDAR - Light Detection and Ranging
NR - Normas Regulamentadoras
NRs - Normas Regulamentadoras
OEM's - fabricantes de equipamentos originais
PCMSO - Especifica o Programa de Controle Médico em Saúde Ocupacional
PPRA - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

RFID - Radio-Frequency Identification

RGB - Red-Green-Blue

RUB - Ruhr-Universität Bochum

SCM - Cadeia de Abastecimento em tempo real Gestão

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SF - Smart Factory

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SST – Seguranças e Saúde do Trabalho

TI - Tecnologia da Informação

TIC - Tecnologia de informação e comunicação

UAV - Veículos aéreos não tripulado

UHF - Ultra Ondas de rádio de alta frequência

VA - Realidade Aumentada

VDC - Virtual Design and Construction

VR - Realidade Virtual

3D - Sigla atribuída para terceira dimensão do BIM

4D - Sigla atribuída para quarta dimensão do BIM

5D - Sigla atribuída para quinta dimensão do BIM

6D - Sigla atribuída para sexta dimensão do BIM

7D - Sigla atribuída para sétima dimensão do BIM

8D - Sigla atribuída para oitava dimensão do BIM

9D - Sigla atribuída para nona dimensão do BIM

10D - Sigla atribuída para décima dimensão do BIM

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivo específico	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	CONCEITOS DE INDÚSTRIA 4.0 E SUAS: TECNOLOGIAS	21
2.2	ANÁLISE DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
2.2.1	Cenário da segurança do trabalho na construção civil	35
2.3	A INDÚSTRIA 4.0 COMO MELHORIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	39
2.3.1	Teconologias da Indústria 4.0	41
2.4	VISÃO DO BIM NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES	54
2.5	TECNOLOGIAS HABILITADORES FOCO DESTA PESQUISA	58
3	METODOLOGIA	60
3.1	A COLETA DE DADOS	66
3.2	ETAPAS DA PESQUISA	67
3.2.1	Caracterização dos respondentes	67
3.2.2	Protocolo para a entrevista	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
5	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE 1	97
	PROTOCOLO PARA ENTREVISTA E QUESTIONÁRIO	97

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa, para o Brasil, um dos setores empresariais com maior absorção de mão de obra, por ser um dos maiores poderes econômicos, com alta geração de oportunidade de emprego (TAKAHASHI et al., 2012). A construção civil é um segmento caracterizado pela precariedade na qualificação da mão de obra e pela não continuidade do processo industrial, pois há mobilização e desmobilização das equipes a cada obra executada (SILVA, 2015). Esta situação vivida pelo setor pode resultar no comprometimento da integridade física do trabalhador e acidentes, sendo estes grandes desafios encontrados dentro da construção civil (PEINADO, 2019; SILVA, 2015).

A construção civil é uma indústria que apresenta grande número de acidentes e que compreende várias particularidades que a diferem das diversas áreas industriais, sendo de essencial importância que sejam desenvolvidos estudos e pesquisas dirigidas ao que se refere à segurança e à saúde do trabalhador (PEINADO, 2019).

Dos setores com os maiores índices registrados de acidentes em todo o país, no ranking de ocupações que provocam acidentes que ocasiona incapacidade do trabalhador, a construção civil se encontra em primeiro (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO 2019).

Para Simões (2010), Tortato (2006) e Silva, (2015), diante desse contexto, entende-se que a construção civil tem como papel o elo com o bem-estar da população, compreendendo os princípios de cidadania, divisão de espaços públicos, inclusão social e a divisão de espaços particulares. Tortato (2006) e Silva (2015) destacam que o processo de crescimento e desenvolvimento econômico conta inegavelmente com a indústria da construção civil, sendo este, o maior fator estimulante da evolução da economia. Tal fato pode ser observado ao se verificar que, resultante da sua atividade, a indústria constrói equipamentos e máquinas que são usadas nas edificações, seja pelas atividades relacionadas à produção e à circulação, seja pelos serviços ligados à reprodução da força de trabalho braçal (TORTATO, 2006; SILVA, 2015).

Silva (2015) afirma que no setor da construção civil, raramente os acidentes não surgem por motivos de fácil solução, até porque quando de fato acontecem as consequências são de maior profundidade e sem haver consciência dos fatores reais das suas causas. Trata-se de uma situação comum em casos de acidentes que não geram lesões ou que sejam de natureza leve. Por isso, um estudo da área para verificar os riscos que envolvem os

trabalhadores precisa ser feito no canteiro de obra com base em uma elaboração e implantação de regras de segurança que sejam de fato eficazes (SILVA, 2015).

Segundo Bridi et al (2013) e Mariano (2008) os índices de acidentes de trabalho no setor da construção civil são os mais elevados quando comparados aos demais setores industriais e isso se dá devido as resistências existentes na utilização de equipamentos de segurança e a falhas no manuseio dos mesmos.

Para Silva (2015) e Colombo (2009) muitos acidentes de trabalho e riscos na construção civil surgem como resultado da falta de conhecimento por parte do trabalhador, pressa para entregar o produto final no prazo determinado pelo cliente, pela ausência de um devido planejamento e improvisos. Estes fatores fazem com que o canteiro de obras se transforme em um ambiente agressivo e vulnerável a ocorrência de acidentes do trabalho.

Segundo Brusius (2010) e Silva (2015), existem determinados fatores de riscos de acidentes de trabalho que estão associados ao setor da construção civil que precisam ser levados em consideração, principalmente, por ser um segmento que se destaca por empregar intensiva mão de obra, muitas vezes, desqualificada. Relacionado a isso, os serviços de construção tendem a ser concentrados e ocorrer sob pressão, o que leva a um maior risco de acidentes (BRUSIUS, 2010; SILVA, 2015). Desta forma, pode-se apontar como fatores que levam aos acontecimentos de acidentes na construção civil, o tempo das obras que é relativamente curto; há pouca ou nenhuma qualificação de mão de obra, resultando em alta rotatividade de pessoal; maior contato pessoal com os equipamentos da construção, causando exposição aos riscos; e execução das atividades sob condições climáticas desfavoráveis conforme, Brusius (2010) e Silva (2015).

Segundo Silva (2015), é sabido que dentro do setor da construção civil, há uma grande necessidade de qualificação da mão de obra. Segundo Peinado (2019), há uma diversidade de normas regulamentadoras, se todas fossem adequadamente implementadas, como resultado haveria melhorias das condições de segurança e saúde de todo o trabalhador no ambiente de trabalho.

A construção civil, conforme Medeiros e Rodrigues (2009) e Silva (2015), é um ramo em que se exige uma grande atenção quando o assunto envolve segurança, gestão com qualidade e respeito ao meio ambiente. Os trabalhadores desta área constituem um grupo de pessoas que realizam sua atividade laboral em ambiente insalubre e de modo arriscado. Geralmente, são atendidos inadequadamente em relação aos salários, alimentação e transporte, possui pequena capacidade reivindicatória e, possivelmente, reduzida

conscientização sobre os riscos aos quais estão submetidos e, acabam ignorando, de forma inconsciente, seus direitos e deveres nessa área.

De acordo com Farah (1993) e Silva (2015), cada condição de risco de acidente deve ser antecipadamente conhecida para que possam ser tomadas ações preventivas. Dessa forma, todos os envolvidos na concepção da obra devem prover soluções para a proteção dos operários através de detalhes e especificações, conscientizando, demonstrando e promovendo a saúde e a segurança, além da fiscalização constante.

Além disso, as condições de segurança são precárias devido à diversidade de atividades realizadas nos canteiros de obras, as quais ampliam a exposição dos trabalhadores aos riscos (OLIVEIRA; SERRA, 2017).

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 Indústria 4.0 (COTEAQUI, 2017).

A Indústria 4.0 possibilita oferecer produtos customizados individuais, mas da mesma forma como se fosse uma produção seriada, em massa (ACATECH, 2013). No Brasil, esse conceito ainda está em maturação e segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016), o baixo crescimento desta evolução é um entrave a sua utilização neste país.

As tecnologias da Indústria 4.0 existentes, começam a ser empregadas na engenharia civil em países desenvolvidos; segundo Portugal (2016) mesmo em pequenos projetos de construção, a integração e digitalização oferecem grandes benefícios em redução de falhas, aumento de eficiência e produtividade. Apesar de serem ainda preambular no Brasil, trazem soluções promissoras para diversos problemas diários que ocorrem nas obras (ZARDO; MUSSI; SILVA, 2020), com foco principalmente no alto desperdício de materiais e na baixa produtividade da mão de obra, frequentemente encontrados no setor.

Em pesquisa com todas as indústrias brasileiras, apenas 48% delas utilizam pelo menos uma tecnologia digital, o percentual cresce para 63% em grandes empresas e cai para 25% em pequenas empresas (CNI, 2016).

Para transformar com eficiência processos de negócios (como design de produtos, engenharia de produtos, produção, logística, vendas, entregas, etc.) em processos automatizados digitalmente, novos conceitos foram introduzidos nas indústrias de manufatura e construção. Sob o termo a Indústria 4.0 dentro da construção civil, emergem possibilidades promissoras para processos de produção de alto desempenho com base, por exemplo, em sistemas digitais e ciber-físicos. No entanto, a indústria da construção está atrasada na

adaptação dessas ideias e ainda enfrenta graves déficits de produtividade segundo Schimanski et al. (2019).

A Indústria 4.0 propiciaria maiores ganhos, flexibilidade, agilidade, eficiência produtiva e melhorias constantes de processo de distribuição com maior dinamismo (GILLIAND; WENZY, 2012).

A Indústria 4.0 traz uma série de evoluções tecnológicas que permitem às indústrias produzirem mais, em menor tempo, com menos custo e com muito mais qualidade, principalmente graças à automação industrial, à Internet das Coisas e ao *Big Data* (SCHWAB, 2016).

O investimento no desenvolvimento dos colaboradores se justifica com o advento da Indústria 4.0, que vai além de tecnologias inovadoras, incluindo também a mudança no perfil dos trabalhadores, passando do trabalho manual para o intelectual e exigindo que as empresas invistam na formação dos funcionários (AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2017), ao mesmo tempo que melhorem a segurança no trabalho.

Dada a relevância que a vida representa, a segurança do trabalho deveria ser ponto de relevantes estudos. Contudo, em pesquisa às bases de dados acadêmicos, notou-se escassez de referências bibliográficas sobre tecnologias da Indústria 4.0 que podem ser aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil, uma lacuna que este trabalho deseja preencher.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Por meio de pesquisa documental no período 2017 e 2018 ocorreram 97 mil acidentes de trabalho na construção civil, segundo dados SmartLab (Observatório Digital de Saúde e Segurança do trabalho), sendo o número de acidentes duas vezes maior que a média das outras atividades laborais (SintraconSP, 2017).

As tecnologias da Indústria 4.0 existentes, começam a ser empregadas na engenharia civil em países desenvolvidos. Apesar de serem ainda preambular no Brasil, trazem soluções promissoras para diversos problemas diários que ocorrem nas obras (ZARDO; MUSSI; SILVA, 2020), como principalmente no alto desperdício de materiais e na baixa produtividade da mão de obra, assim como no número de óbitos decorrentes de acidentes na construção civil.

Conforme o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho - AEAT (INSS, 2020) setor da construção civil, ainda é setor onde ocorrem muitos acidentes, sendo a segurança do

trabalho um tema relevante, onde espera-se que o uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 possam ajudar a maximizar a segurança do trabalho neste setor.

Para tal, formula-se a seguinte questão de pesquisa.

Como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem ser aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil?

1.2 OBJETIVOS

Assim, para responder a essa questão de pesquisa, os seguintes objetivos são propostos:

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é analisar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, podem ser aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos foram estabelecidos:

1. Analisar a segurança do trabalho na construção civil;
2. Analisar as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que possam ser aplicados na construção civil para melhoraria da segurança do trabalho;
3. Propor um modelo teórico no qual estejam identificadas as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 que sejam efetivas para melhorar a segurança do trabalho na construção civil.
4. Realizar pesquisa com especialistas da construção civil, segurança do trabalho e indústria 4.0 que trabalham em empresas privadas e públicas, consultores e em universidades públicas e privadas para analisar a aplicabilidade destas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em campo, para melhoraria da segurança do trabalho.

1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é um dos setores com maiores índices de acidentes de trabalho. Desta maneira impactam diretamente as atividades da obra, assim como, interferem com a qualidade de vida dos trabalhadores que se expõem a riscos desnecessários por falta de orientação e conhecimento, ou até mesmo pela omissão dos responsáveis pela execução e

fiscalização da obra. Espera-se que a utilização das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 maximize a prevenção de acidentes de trabalho na construção civil.

É importante salientar que as condições expostas aos trabalhadores da construção civil, tais como, riscos de queda, barulho, calor excessivo, esforço repetitivos, falta de equipamentos de proteção e segurança (EPIs) e imprudência durante o trabalho, além do desconhecimento da norma e dos regulamentos, que deveriam ser seguidos pelo profissional, podem ocasionar acidentes graves de trabalho.

Para Simões (2010) e Silva (2015), o crescimento da quantidade de obras não tem sido acompanhado na mesma velocidade no que se refere à fiscalização e segurança na construção civil, levando, como consequência, ao aumento do número de acidentes do trabalho, riscos à saúde do trabalhador e o comprometimento da integridade física deste.

Além disso, as condições de segurança são precárias devido à diversidade de atividades realizadas nos canteiros de obras, as quais ampliam a exposição dos trabalhadores aos riscos (Oliveira; Serra, 2017).

Segundo Souza (2017), os acidentes de trabalho devem ser investigados por pessoal capacitado da empresa objetivando mitigar o acontecimento de acidentes similares.

A relevância de desenvolver esta pesquisa se dá pela análise e identificação de como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser aplicadas na construção civil, para melhoria da segurança do trabalho. O mesmo poderá servir como base em futuras tomadas de decisões estratégicas, de forma a tornar este setor importante da economia mais seguro.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

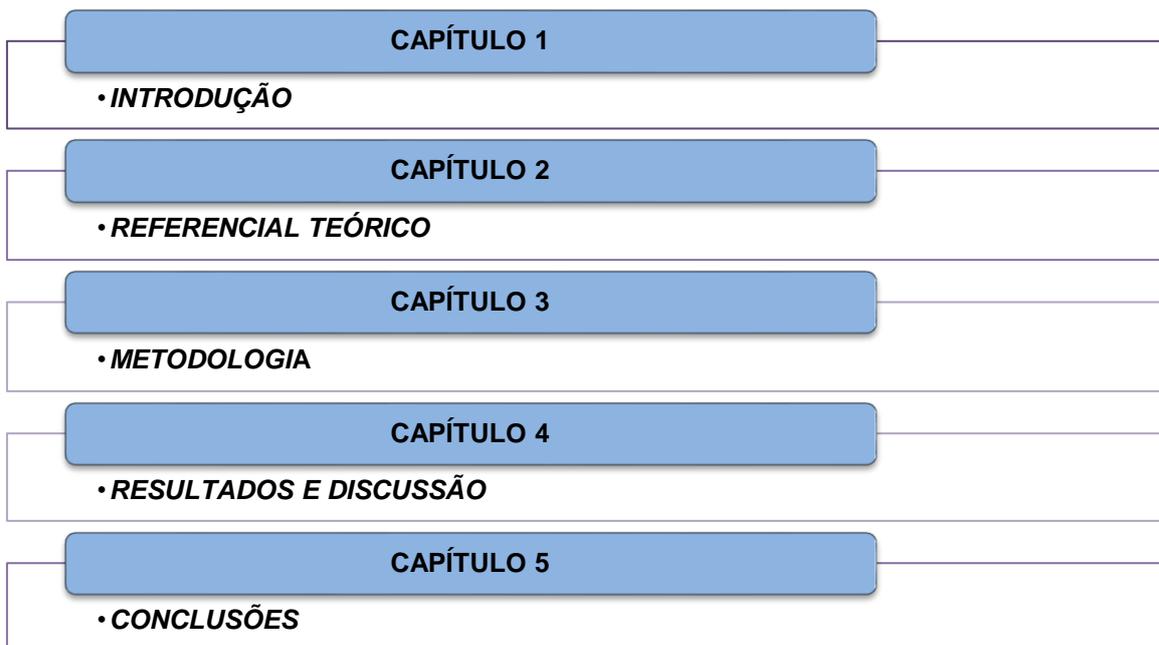
Este está limitado somente aos resultados e discussões sobre a utilização das tecnologias habilitadoras aplicadas para melhoria para segurança do trabalho na construção civil.

O foco está em explorar mais por meio das Normas de Regulamentação (NR) que se relaciona com a NR-18 (trata de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção em geral) e focar na análise do trabalho tangenciando no canteiro de obra para a Indústria 4.0 de maneira que este trabalho não aborda outras análises como ensaios de laboratórios, geotecnia, resíduos, incêndio, projetos, recursos, materiais, custo e outras não fizeram parte da delimitação deste trabalho.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para cumprir com os objetivos propostos, esta dissertação foi dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo contém a introdução, o problema de pesquisa, os objetivos (geral e os específicos), a justificativa, delimitação do estudo e a estrutura do trabalho. O capítulo dois traz a referencial teórico (revisão bibliográfica) que apresenta os conceitos e fundamentos relacionados ao tema e desenvolve os pressupostos de pesquisa. O capítulo três estabelece a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho e os procedimentos de análise. O quarto capítulo traz o resultado e a discussão desses resultados, conforme a metodologia descrita. Finalizando, o quinto e último capítulo apresenta as conclusões deste trabalho, incluindo sugestões e recomendações para futuras pesquisas. A figura 1 representa a estrutura do trabalho.

Figura 1: Estrutura do Trabalho.



Fonte: Autor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura por meio da análise de conteúdo dos artigos relevantes que tratam os conceitos da Indústria 4.0 para melhoria da segurança do trabalho na construção civil.

2.1 INDÚSTRIA 4.0 E SUAS: TECNOLOGIAS

A Primeira Revolução Industrial deu-se com a mecanização dos meios de produção, o uso da água e do vapor, no final do século XVIII (SIMON, 2013). O segundo estágio das revoluções industriais, conhecido com Segunda Revolução Industrial, ocorreu no Século XX, e foi caracterizado pelo uso intensivo da energia elétrica e pela produção em massa através da divisão do trabalho (LASI et al., 2014). Com a introdução da automação e da digitalização, através da eletrônica e dos sistemas de TI a partir dos anos 1970, surgiu a Terceira Revolução Industrial.

A Quarta Revolução Industrial baseia-se na utilização da Internet como infraestrutura e o Sistema Ciber-Físico interconectado (KERSTEN, 2014). Com o avanço da ciência, houve progressiva utilização da digitalização dentro das fábricas e nas atividades logísticas ligadas a fornecedores e clientes. Para Drost e Heyner (2015) a digitalização se caracteriza pela fusão da tecnologia da Internet com tecnologias futuras no campo conhecido dos chamados objetos inteligentes.

Concebida como estratégia de alta tecnologia, o governo federal alemão cunhou, em 2011, o termo Indústria 4.0. Wannewetsch (2014) destaca que na Alemanha exista mais de 30 definições sobre o conceito da Indústria 4.0. Descreve a integração de todas as áreas de negócios de valor agregado e de toda a cadeia de valor agregado com o auxílio da digitalização.

Conforme, Anderl (2014) a Indústria 4.0, a tecnologia de informação e comunicação (TIC) e automação estão integradas. Os processos de fabricação, a rede e a transparência de informações proporcionam uma mudança de paradigma da produção “centralizada” para a “local”. Hoje a manufatura já trabalha com “sistemas embarcados”, que coletam e repassam dados específicos (PORTER; HEPPELMANN, 2014). Na Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial, segundo (BRETTEL et al., 2014) o computador central organiza rede inteligente desses sistemas em (CPS) Sistemas Ciber-Físicos, que são capazes de trabalhar com

independência crescente. Através das interfaces homem-máquina, o mundo virtual e o físico, trabalham em conjunto: os requisitos são definidos pelo homem para que trabalhem, de forma que o gerenciamento do processo ocorre de forma autônoma entre eles.

A primeira Revolução Industrial foi marcada pela transição do trabalho manual para máquinas alimentadas a vapor (BITKOM et al., 2016).

A segunda fase da Revolução Industrial tem como característica o uso da ciência como forma de obter aumento produtivo e maximização do lucro no processo industrial. Essa fase, ao contrário da primeira, não ficou restrita a um único país. Ela teve desdobramentos nos Japão, Estados Unidos e em alguns, países da Europa como a Alemanha, França e Itália (SOUSA, 2016). Enquanto que na primeira fase o vapor era a principal força de energia, nesta obteve-se grande avanço na produtividade industrial com a utilização da eletricidade e do petróleo. Evidenciou-se também grandes resultados com a racionalização do processo produtivo com divisões do trabalho ao longo das linhas de produção (EDUCABRAS, 2016).

A terceira Revolução Industrial, também conhecida como a Revolução Técnico-Científica, teve início no século XX e ficou marcada pela introdução de novidades tecnológicas, principalmente as relacionadas a eletrônica e informática nos processos industriais, contribuindo para um significativo ganho de produtividade (PENA, 2016).

O termo Quarta Revolução Industrial é recorrente atualmente, pois para muitos especialistas está-se em momento de transição, superando a Terceira Revolução Industrial e entrando em um novo ciclo de desenvolvimento tecnológico (SCHWAB, 2016).

O setor industrial já está vivendo uma quarta revolução industrial e não uma continuidade da terceira, a velocidade e abrangência dos avanços tecnológicos que romperam a linearidade apresentada pelas primeiras revoluções estão contribuindo para profundas mudanças nos sistemas produtivos (SCHWAB, 2016).

Alguns autores seguem a mesma linha e afirmam que o setor industrial está “diante da quarta revolução industrial, que envolve inteligência artificial, robôs colaborativos, impressão 3D, internet das coisas e sobretudo, da nanotecnologia” (MACEDO, 2016), assim como a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 oferece um grande ganho de produtividade como a redução de custos e uma maior integração entre o físico e o virtual (CASSAPO, 2016). Também pode ser entendido como “um conceito de indústria proposto recentemente e que envolve todas as principais inovações tecnológicas da automação, controle e tecnologia da informação (TI), que são aplicadas aos processos de manufatura” (SILVEIRA, 2016).

Nos últimos anos, o uso crescente de novas tecnologias permitiu a digitalização, automação e a integração dos processos de construção em todas suas fases na sua cadeia de

valor da construção impactando o setor da construção (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Toda essa tendência pode ser referida como 'Construção 4.0' (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Para o Schwab (2016) a Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, vai além de sistemas e máquinas conectadas. Uma diferença desta revolução está em relação às outras revoluções se deve à fusão e na interação de tecnologias de diversas áreas do conhecimento.

Segundo Schwab (2016) a Indústria 4.0 é o produto de uma profusão de tecnologias aplicadas ao ambiente de produção, que podem ser chamadas de “megatendências”. Os *Cyber-Physical Systems* (CPS), a *Internet of Things* (IoT), a *Internet of Services* (IoS), os veículos autônomos, as impressoras 3D, robôs avançados, inteligência artificial, *Big Data*, nanomateriais e nanosensores (SCWAB, 2016; CNI & BCG, 2016).

Para esclarecer os fundamentos e os propósitos da 4ª Revolução Industrial, Schwab (2016) tomam como base cinco princípios (Operação em tempo real, Virtualização, Descentralização, Orientação e serviços e Modularidade) para o desenvolvimento e a implementação da Indústria 4.0.

Há outras Tecnologias 4.0 que são caracterizadas por sistemas conectados de sensores, máquinas inteligentes, dispositivos móveis, e novos aplicativos de software (GERBERT et al., 2016). Como exemplo, as tecnologias digitais avançadas agora incluem o uso de drones para pesquisar e inspecionar canteiros das obras (HILFERT; KÖNIG 2016). A manufatura aditiva com novos métodos, como o uso da impressão 3D, que são aplicáveis em componentes de construção em grande escala (GERBERT et al., 2016). Temos também, os scanners 3D que podem ser usados para criar modelos digitais de edifícios complexos, enquanto o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e de identificação por radiofrequência (RFID) que pode ser usada para rastrear materiais, equipamentos e trabalhadores (GERBERT et al., 2016).

No entanto, na prática, a Construção 4.0 não corresponde apenas ao uso de tecnologias novas ou existentes, pois no campo da construção da sua aplicação é ampla e complexa. O conceito de Construção 4.0 tem como implicação uma ampla e profunda transformação dos processos de gestão de projetos de empresas de construção através do uso e da sua exploração de dados coletados em tempo real que usa tecnologias novas ou existentes para fins de tomada de decisão (DALLASEGA et al., 2018).

Conforme Danjou et al., (2020), ao contrário do setor da manufatura, que viu o surgimento de muitos sistemas de gestão empresarial integrados ao *software*, a indústria da construção hoje ainda não existe uma solução única e integrada que reúna as Tecnologias 4.0.

O progresso limitado na adoção e implementação de novas tecnologias a construção civil se destaca, não apenas nas barreiras que são grandes potenciais na sua aplicação das tecnologias da Indústria 4.0, como na sua implementação econômica, custo, na aceitação da tecnologia, maior exigência de equipamentos e nos processos de construção, falta de conhecimento e hesitação individual (ARIPIN et al., 2019).

Dada a importância de uma boa gestão dos processos subjacentes em projetos de construção, qualquer melhoria no acesso às informações (por exemplo, ganhos em automação e informações de construção mais ricas) pode levar a tomada de decisão mais eficaz que poderia facilitar esses processos (ISIKDAG et al., 2012), resultando em custos menores (maior economia), redução de tempo, melhoria da qualidade e na segurança do trabalho (ARIPIN et al., 2019).

Dallasega et al. (2018) identificaram seis tópicos de pesquisa importantes que são relativos aos conceitos da Indústria 4.0 relevantes para as Cadeias de Abastecimento de Construção (CSC): (1) a digitalização (sistema de informação de gestão, Cadeia de Abastecimento em tempo real de Gestão, "construção baseada na Internet móvel (SCM)", (2) os sistemas de transporte inteligentes, os sistemas de veículos conectados, (3) a computação em nuvem (*Web* tecnologia de serviços, construção baseada na Internet móvel. SCM, tecnologia de colaboração), (4) BIM (monitoramento de CSC, informações integração e compartilhamento melhoria de desempenho da cadeia de suprimentos, suporte à decisão, BIM apoio à construção SCM), (5) impressão 3D, (6) rastreamento e localização "GIS" (*Geographic Information System* – Sistemas de Informação Geográfica), e "RFID" (*Radio Frequency Identification* – Identificação por Radiofrequência) e gerenciamento da cadeia de suprimentos eletrônicos (portal da *Web*, *e-business*, extranet).

Qin et al. (2016) apresentou uma estrutura para Indústria 4.0 e manufatura que combina três tecnologias de nível de inteligência atuando em três sistemas de automação de produção. Os nove tipos resultantes de as aplicações de manufatura indicam implementações industriais anteriores, recentes e futuras. Estas novas aplicações vão da automação simples e de baixa inteligência à automação complexa e de alta inteligência (como exemplo, a implementação do *Smart Factory*). Embora esta implementação da Indústria 4.0 lide com o setor manufatureiro, essa estrutura pode ser adaptada e aplicada na construção civil para ajudar a alcançar objetivos da Indústria 4.0.

Para outras obras, as tecnologias foram classificadas de acordo com as fases do ciclo de vida de um projeto de construção em que são usados principalmente. Son et al. (2010) relata através da maioria dos seus trabalhos que foram publicados no Simpósio Internacional

de Automação e Robótica na Construção no período “1990-2008” (exceto 1998) no qual concentra-se em tecnologias que estão mais estreitamente alinhadas com a fase de construção.

Gerbert et al. (2016) destacou que as principais tecnologias digitais podem ser aplicadas em todas as fases da engenharia e na construção da cadeia de valor. Groote e Lefever (2016) relatam de forma geral o alto nível da construção tradicional no setor de uma perspectiva do ciclo de vida da obra. Este relato geral mostra quais etapas convencionais estão envolvidos nos diferentes estágios como fabricação do produto, projeto, construção, operação, reforma e demolição em uma obra da construção civil.

O ciclo de vida de um projeto de construção inclui quatro fases. Essas fases incluem o projeto inicial e engenharia, seguido pela própria construção, a operação e manutenção do ambiente construído ao longo do curso de sua vida útil, e a renovação. É prática comum na indústria da construção avaliar a eficácia de uma tecnologia em termos dos valores agregados nas diferentes fases de um projeto de construção (BURGESS et al., 2018; CHOWDHURY et al., 2019; De GROOTE; LEFEVER (2016); MEGAHED, 2015; SON et al., 2010).

Hoje, o BIM é considerado uma das tecnologias centrais de importância para a digitalização da construção e ambiente de fabricação (Dallasega et al., 2018).

Outra tecnologia relevante da Indústria 4.0 que pode ser aplicada à ao BIM é a que se baseia no conceito de *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas (ALBERTIN; ALBERTIN 2017). A aplicação de BIM e seus algoritmos são usados, para apoiar a tomada de decisão e otimização para projetos de construção sustentável (LIM et al., 2018).

Edirisinghe (2019) fornece uma classificação das pesquisas existentes relacionadas ao desenvolvimento de tecnologias de sensores para canteiros de obras com base nas diferentes etapas do processo de desenvolvimento de tecnologia, possibilitando que os princípios básicos da construção civil sejam facilitados por esta tecnologia. As áreas de aplicação se concentram principalmente em: fase de construção, realidade aumentada, visualização baseada em modelo de informação de construção, rastreamento da mão de obra e da cadeia de suprimentos, gerenciamento de segurança, rastreamento de equipamentos móveis e no cronograma (EDIRISINGHE, 2019).

Tetik et al. (2019) desenvolveram uma prática de gestão de operações baseada em tecnologia que tem o objetivo de melhorar o desempenho ao longo do ciclo de vida do edifício por meio de um modelo de design digital detalhado e completo, resultando em maior capacidade de reutilização, diferenciação específica do projeto e automação de projetos e processos em projetos.

Hossain e Nadeem (2019) propuseram uma estrutura para incorporar novas tecnologias dentro projetos de construção. Esta estrutura incorpora, os avanços tecnológicos atuais relacionados a indústria da construção, requisitos legislativos, barreiras e requisitos de transformação empresarial.

Na verdade, embora o modelo integrado de BIM tenha sido uma força motriz central no surgimento da Indústria 4.0 no campo da construção, as tendências atuais incluem o surgimento de várias soluções tecnológicas não integradas (DANJOU et al., 2020).

Segundo Gerbert et al. (2016); Oesterreich e Teuteberg (2016) e Steel et al. (2010), o BIM pode ser considerado a principal característica da Construção 4.0. Por ser sucessor do CAD tradicional (projeto assistido por computador), o BIM agora atende a todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida do projeto, usando modelagem virtual e informações para simular qualquer aspecto do ciclo de vida do projeto (TEZEL; AZIZ, 2017). Nos últimos anos, o uso de BIM tem aumentando principalmente ao seu potencial por causa da sua metodologia para melhorar o desempenho do projeto de construção e eficiência, controlando efetivamente as metas de implementação do projeto de qualidade, custo e tempo, apoiando em tempo real tomada de decisão e descoberta de potenciais riscos de segurança com antecedência (SANTOS et al., 2017; WANG, 2013).

Integrado com outras tecnologias emergentes, o BIM possibilita maior manipulação de dados (TEZEL; AZIZ, 2017).

O monitoramento é um pré-requisito para a gestão eficaz e eficiente de custos de mão de obra, instalações e equipamentos, e materiais segundo, Pärn e Edwards, 2017.

Tradicionalmente, o acompanhamento do progresso em um canteiro de obras foi alcançado por meio de imagens de vídeo. Hoje, a tecnologia de digitalização a laser (como *Light Detection and Ranging*, LiDAR) foram utilizados para rastrear o progresso do trabalho estrutural e a qualidade (DALLASEGA et al., 2018), enquanto as etiquetas RFID são usadas para rastrear a localização e movimento de máquinas, os trabalhadores para capturar sua produtividade, na segurança e no desempenho (PÄRN; EDWARDS, 2017).

Entre as outras tecnologias e conceitos associados relacionados ao monitoramento estão a fabricação bem conhecida conceitos como gerenciamento de ciclo de vida ou produção *just-in-time* (JIT) que podem ser aplicados por meio de informações e tecnologias de comunicação como RFID e CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) (DALLASEGA et al., 2018; OESTERREICH.; TEUTEBERG, 2016). Outro ponto importante no campo da construção civil explorado por pesquisadores na categoria monitoramento é o uso de SIG ou GIS. A integração de GIS (*Geographic Information System*) ou SIS

``Sistemas de Informação Geográfica``) com múltiplos recursos, como BIM e sensores, facilitam a fusão de informações, beneficiando muitos campos, desde resposta a emergências, monitoramento urbano em edifícios inteligentes (ISIKDAG, 2015).

A ciência de dados pode apoiar os gerentes de projeto de forma mais eficaz na tomada de decisão por meio de maior acesso à informação (DALLASEGA et al., 2018). Tecnologias de base típicas e os conceitos de ciência de dados são computação em nuvem, transferência de dados e proteção de dados (WOODHEAD et al., 2018). O *blockchain*, tem várias aplicações potenciais em construção, pois permite a rastreabilidade que pode ser, em alguns casos, facilitado por contratos inteligentes (WOODHEAD et al., 2018).

A máquinas robóticas podem transformar dados em ações físicas, de forma autônoma e segura que podem ser utilizadas no setor da construção (GERBERT et al., 2016).

Isso permite tarefas automatizadas e não tripuladas em canteiros de obras (GERBERT et al., 2016). Drones e varreduras a laser são usados para medir os volumes de produção várias vezes ao dia, a fim de resolver problemas de produtividade para gestão (WOODHEAD et al., 2018). A análise de dados em tempo real tornou-se possível por meio do aprendizado de máquina (WHYTE; HARTMANN, 2017). Um nível mais alto de automação no projeto de construção sustentável também é essencial, para exemplos de aplicação através do BIM e AI ``inteligência artificial`` (LIM et al., 2018). Automação robótica da viga de aço, robôs de montagem e assentamento de tijolos agora são usados em canteiros de obras para substituir trabalhadores humanos (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Outras aplicações de tecnologia da informação de construção (TI) incluem, por exemplo, gestão visual baseada em TI, soluções de TI para a gestão de canteiros de obras remotos e integração de ferramentas de TI na organização e comunicação processos em projetos de construção (TEZEL; AZIZ, 2017).

Pode-se citar também, o uso de sensores embutidos como RFID, rastreamento automático de equipamentos e materiais podem reduzir os custos de materiais (DALLASEGA et al., 2018).

RFID também está sendo usado para controle de acesso para evitar o acesso ao local por pessoas não autorizadas e rastrear em tempo real o número e as identidades dos trabalhadores nos canteiros de obras (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Um grande número de tecnologias é usado para rastrear o posicionamento de humanos e materiais no espaço e Tempo. Na verdade, as soluções móveis em projetos de engenharia de construção foram melhoradas durante o último década LAINE; IKONEN, 2011). As velocidades de processamento de telefones inteligentes junto com a capacidade e

disponibilidade de redes móveis modernas agora permitem novas possibilidades para um gerenciamento de informações mais eficaz (LAINE; IKONEN, 2011). Câmeras de smartphone agora podem ser usadas para ler códigos de barras e etiquetas RFID digitais que são permanentemente anexados a elementos de construção específicos (LAINE; IKONEN, 2011). Redes móveis modernas (3G, 4G, 5G, Wi-Fi) capazes de utilizar larguras de banda de banda larga também se tornaram comuns (LAINE; IKONEN, 2011). RFID é usado para receber a intensidade do sinal como um proxy para distâncias para localizar pessoas e materiais dentro de edifícios usando Ultra Ondas de rádio de alta frequência (UHF) (WOODHEAD et al., 2018). A localização dos trabalhadores, ativos e equipamentos pode ser rastreado em tempo real usando a tecnologia RFID e GPS para gerenciamento de segurança, gerenciamento de instalações, gerenciamento de processos e para fins de medição do progresso da base de atividades (TEZEL; AZIZ, 2017). Os scanners a laser 3D também são muito eficazes na localização de características topográficas, definição de geometrias de recursos e criação de superfícies 3D para projetos de engenharia (TEZEL; AZIZ, 2017). A digitalização a laser 3D pode ser usada para reconstruir um edifício existente através da criação de modelos 3D virtuais (POCOBELLI et al., 2018).

Combinar fotogrametria digital com digitalização a laser permite a captura de fotografias de alta resolução de texturas de materiais e, como consequência, informações de degradação de materiais (POCOBELLI et al., 2018). O 3D em suas informações relativas ao patrimônio construído também pode ser coletada e processada usando fotogrametria (SCOTT et al., 2013). Sensores como scanners a laser 3D, câmera *Red-Green-Blue* (RGB) e a câmera térmica pode ser combinada para obter modelos 3D completos e precisos de nuvem de pontos térmicos de interiores de edifícios (ADÁN et al., 2017). Finalmente, a visualização 3D pode fornecer suporte importante para o planejamento urbano, construção e gestão (YENICELI; OZCELIK, 2015).

Simulação e visualização também ajudam planejadores de construção a identificar potenciais problemas de acessibilidade e situações inseguras em canteiros de obras e evitá-los no início dos estágios de projeto e planejamento (LIN et al., 2013). Por exemplo, os processos de transporte podem ser simulados em um ambiente virtual interativo e realista para identificar potenciais problemas de segurança e acessibilidade do plano de layout do site.

Smartphones podem ser usados para identificar elementos em canteiros de obras para solicitar e visualizar imagens de um *software* BIM (LAINE; IKONEN, 2011). A aquisição automática de textura também é possível por meio visual modelagem e RV (ORENI et al., 2012).

Lidar com questões como modelos 3D digitais (ORENI et al., 2012), Visualização 3D de informações de construção (SHUO, 2013) e gerenciamento de segurança (ABOLGHASEMZADESH, 2013), UAVs (veículos aéreos não tripulados, "drones") e a varredura a laser, também usada para teste e verificação de soluções de design dinâmico (GETULI et al., 2017) são desafios e a tendência o setor da construção civil. Os drones podem ser usados para modelagem 3D ou para fins de inspeção e segurança (OESTERREICH et al., 2016; TEZEL et al., 2017).

Todas as tecnologias na fase de construção, e as tecnologias de localização agora são utilizadas em vários processos de gestão de construção, incluindo gestão de custos, gestão de recursos humanos, gestão de risco, gestão de compras e gestão de segurança.

A cobertura de tecnologias mais recentemente empregadas da construção civil envolve: drones, UAV (Veículos aéreos não tripulados), fotogrametria, GPS, RFID, Bluetooth, ultrassom, modelagem GIS, UHF, VR, WSN, nD e sensores avançados. Pesquisa em equipamentos de levantamento de peso, incluindo guindastes, que tem como foco a prevenção de colisões de guindastes, compreende tecnologias como GIS em projeto gestão de risco e redes neurais na gestão de segurança do projeto (ARASZKIEWICZ, 2017; IRIZARRY; KARAN, 2012). Além disso, pesquisas sobre tecnologias de monitoramento para a fase de construção, que incluem drones e UAV, fotogrametria, GPS, câmera / webcam, *RFID* e sensores avançados, tratam de aplicações como detecção dos movimentos humanos (HIILFERT et al., 2016), localização dos trabalhadores, máquinas e resíduos (CASTRO-LACOUTURE et al., 2014; PÄRM; EDWARDS, 2017; TEZEL; AZIZ, 2017), rastreamento de itens (DALLASEGA et al., 2018) e mapeamento de objetos no local (LAINE.; IKONEN, 2011), entre outros.

Automatizar na fase de construção se concentrou no triângulo tradicional de processos de gestão de qualidade, tempo e custo, a fim de melhorar a produtividade das tarefas de construção sem envolvimento humano / manual. Essas ferramentas abrangem as tecnologias automatizadas mais recentes, incluindo robôs móveis no local para montagem automatizada e substituição de trabalhadores (por exemplo, montagem de tijolos) (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Tecnologias de monitoramento, que empregam diversos tipos de robôs e sensores, tratam de uma ampla gama de aplicações, como remodelar as funções do edifício e layout por meio do redesenho de módulos, descarte de resíduo (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

Monitoramento de deformações estruturais (SANTOS et al., 2017). Dispositivos móveis, smartphones e ferramentas habilitadas para GPS são voltados para uma variedade de

aplicativos relacionados à segurança e resposta de emergência, como localização de ocupantes e fontes de incêndio, análises de segurança contra incêndio em edifícios, orientação em caso de evacuação e evacuação de ocupantes (WONG et al., 2018a).

Resíduos gerados durante a reforma e demolição de edifícios, estradas, pontes e outras instalações de infraestrutura têm recebido atenção crescente dos pesquisadores durante a última década. A este respeito, o potencial do BIM para facilitar a demolição e estimativa de resíduos de renovação parece ser um caminho promissor para a pesquisa (CHENG et al., 2013).

Outra categoria que tem atraído o interesse de vários pesquisadores nos últimos anos está no melhoramento da gestão da segurança em construção. Nesta área, segurança contra incêndio, prevenção de colisões de guindastes e planejamento de segurança do local são importantes (ABOLGHASEMZADEH, 2013; ARASZKIEWICZ, 2017; GETULI et al., 2017; IRIZARRY; KARAN, 2012; WONG et al., 2018a).

2.2 ANÁLISE DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pessoa (2014) explica que a indústria da construção civil tem apresentado um aumento econômico de grande representatividade.

Na construção civil o número de acidentes é duas vezes maior que a média das outras atividades laborais (SintraconSP, 2017). O Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção Civil de São Paulo (SintraconSP, 2017) realizou uma pesquisa com 659 trabalhadores da construção no estado e concluiu que as principais causas de acidentes são: falta de atenção, não utilização de EPI, falta de fiscalização no ambiente de trabalho e equipamentos obsoletos.

Já os principais tipos de acidentes são: quedas em altura, cortes e lacerações, L.E.R (lesões por esforços repetitivos), exposição constante a sons altos e picadas de insetos e animais venenosos (CARVALHO, 2017), acidentes estes que esta pesquisa procura encontrar meios na Indústria 4.0 para sua redução.

A segurança e a saúde do trabalho são de suma importância em uma obra, tornando-se indispensável, porém tem-se um enfraquecimento nessa área, como diz o autor (FILGUEIRAS, 2015 p. 32). No Brasil, as últimas décadas têm sido palco de uma ampla ofensiva patronal, na qual se insere o enfraquecimento dos instrumentos de defesa da saúde e segurança do trabalho (FILGUEIRAS, 2015 p. 32).

Marras (2000, p. 199), define a segurança no trabalho como “a área que responde pela segurança industrial, pela higiene e medicina do trabalho relativamente aos empregados da empresa, atuando tanto na área de prevenção quanto na de correção, em estudos e ações constantes que envolvam acidentes no trabalho e a saúde do trabalhador”. Por sua vez, Chiavenato (2000, p. 438), considera que a segurança no trabalho é “o conjunto de medidas técnicas, educacionais, médicas e psicológicas, empregadas para prevenir acidentes, quer eliminando as condições inseguras do ambiente, quer instruindo ou convencendo as pessoas da implantação de práticas preventivas”.

A segurança no trabalho no Brasil é regida pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, que aprovou a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT e é regulamentada por 29 Normas Regulamentares - NR's, das quais se faz uso das mais voltadas à construção civil, tais como (CONSTRUCT; ENEC 2018):

NR 5 - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA: estabelece a obrigatoriedade das empresas públicas e privadas organizarem e manterem em funcionamento, por estabelecimento, uma comissão constituída exclusivamente por empregados, com o objetivo de prevenir infortúnios laborais, mediante apresentação de sugestões e recomendações ao empregador para que melhore as condições de trabalho, eliminando as possíveis causas de acidentes do trabalho e doenças ocupacionais;

NR 6 - Equipamentos de Proteção Individual - EPI: estabelece e define os tipos de EPI's a que as empresas estão obrigadas a fornecer a seus empregados, sempre que as condições de trabalho o exigirem, a fim de resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores;

NR 8 - Padrões de edificações estabelece os requisitos técnicos mínimos que devem estar presentes nas edificações, visando garantir a segurança e o conforto de quem está trabalhando na construção.

NR 12 - Uso de maquinário visa garantir que máquinas e equipamentos de construção civil possam ser utilizados pelo trabalhador de maneira segura, prevenindo acidentes e doenças do trabalho através de medidas de proteção e de referências técnicas. A Norma ainda exige informações completas sobre o ciclo de vida dos equipamentos, incluindo o transporte, a instalação, a operação, manutenção.

NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção: estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento de organização, que objetivem

a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção civil (MTE, 2012).

Os funcionários de empresas de todos os setores necessitam utilizar equipamentos para a sua segurança, isto está garantido pelo Art. 166 (p. 21) da CLT: “A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, equipamento de proteção individual adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento, sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes e danos à saúde dos empregados”, e também conforme a NR-6, que regulamenta o uso do EPI “cabe ao empregador, exigir o uso dos EPI’s e ao empregado usá-lo apenas para a finalidade a que se destina”.

NR 35 - Segurança nas alturas estabelece os requisitos para a segurança das atividades realizadas nas alturas, ou seja, aquelas executadas acima de dois metros do nível do solo, onde há risco de queda.

O Brasil tem uma legislação bem específica para a questão da segurança e saúde do trabalhador. Em dezembro de 1977 a Lei 6.514, alterou o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à segurança e medicina do trabalho trazendo posições inovadoras referentes ao tema. Em 08 de junho de 1978 o ministério do Trabalho aprova a Portaria 3.214/78, que contém as Normas Regulamentadoras (NR), previstas no capítulo V da CLT. Toda estas procuram atingir todos os setores de atividades que possam requerer a prevenção de riscos de acidentes, como: o comercial, industrial, de transporte, mineração, agropecuária entre outros setores. No quadro 1 apresenta uma descrição sobre as Normas Regulamentadoras aprovadas até o momento, relativas à segurança do trabalho:

Quadro 1: Normas Regulamentadoras (NR).

Norma	Descrição
NR-1	Estabelece as disposições gerais das normativas que trata o trabalho, os órgãos e programas que tratam do tema.
NR-2	Descreve a inspeção prévia necessária das instalações da obra na construção civil.
NR-3	Estabelece os critérios para interdição ou embargo da obra, na qual fica sob responsabilidade do gerente regional do trabalho.
NR-4	Detalha os serviços especializados em Medicina do Trabalho e Engenharia de Segurança.
NR-5	Descreve a constituição, organização, atribuições e funcionamento das CIPAs (Comissões internas de prevenção de acidentes) visando tornar os trabalhadores mais participantes no quesito prevenção de acidentes e de danos à saúde.

NR-6	Trata dos EPIs (Os Equipamentos de Proteção Individual) tendo em seu Anexo I a lista dos equipamentos de proteção individual conforme as partes do corpo ou forma de proteção.
NR-7	Específica o Programa de Controle Médico em Saúde Ocupacional (PCMSO).
NR-8	Estabelece requisitos mínimos para Edificações com objetivo de garantir segurança e conforto aos trabalhadores.
NR-9	Determina a obrigatoriedade do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais).
NR-10	Trata da segurança em instalações e serviços em eletricidade.
NR-11	Refere-se a transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais.
NR-12	A segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.
NR-15	Refere-se a atividades e operações insalubres.
NR-16	Refere-se a atividades e operações perigosas.
NR-17	Trata da ergonomia, que remete à reflexão que os problemas no ambiente e nos processos de trabalho vão depender de como o trabalho se estrutura.
NR-18	As condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.
NR-21	Trata do trabalho a céu aberto.
NR-23	Trata da proteção contra incêndios.
NR-24	Aborda as condições sanitárias e de conforto.
NR-25	Trata dos resíduos industriais.
NR-26	Dispõe sobre a sinalização de segurança.
NR-27	Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho revogada em 2008.
NR-28	Trata da fiscalização e penalidades.
NR-32	Estabelecem diretrizes para estabelecimentos de saúde.
NR-33	Trata sobre espaços confinados.
NR-35	Refere-se ao trabalho em altura.

Fonte: MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras (2018).

A norma regulamentadora NR-18, é a norma específica para a indústria da construção, e neste caso atende as questões da Indústria da Construção Civil (ICC). Algumas normas se relacionam com a NR-18, pois tratam de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção em geral, e apenas algumas não são específicas para a construção civil, como a NR-19, NR-20, NR-22, NR-31, NR-32 e NR-34.

Conforme Sienge (2019), há vários riscos recorrentes das obras:

- Alergias e problemas respiratórios (ocorrer por falta do uso de luvas e máscaras);
- Andaimos (falta de proteção adequada conforme NR para evitar acidentes);

- Ausência de atenção e desorganização no canteiro de obras (o canteiro de obras exige muita concentração e foco dos colaboradores. Ao se distrair um funcionário pode se ferir ou causar um acidente com outro colega de trabalho);

- Balancim (falta de proteção adequada conforme NR para evitar acidentes portanto conecte o cinto de segurança em algum lugar fixo e independente da estrutura do balancim);

- Choques elétricos (nas tarefas que envolvem energia elétrica, a recomendação principal é que: este trabalho seja feito por profissional qualificado, com todos os equipamentos de segurança necessários EPI);

- Dermatoses (cimento, argamassas e outros causado por contatos sem o uso de luvas);

- Exposição a corpos estranhos (insetos e outros animais);

- Falta de sinalização (ao sinalizar de maneira correta e clara o seu canteiro de obras, deve-se informa aos colaboradores os riscos presentes em cada área da construção. Isso pode evitar acidentes. O uso de placas, barreiras, fitas zebreadas e outros métodos de sinalização);

- Quedas de materiais (muito comum no canteiro de obras, a queda de materiais pode causar acidentes graves. Por isso, é importante lembrar que seus colaboradores devem seguir as NRs e utilizar os EPIs e EPCs);

- Quedas de nível “trabalho em alturas” (muito comum no canteiro de obras, a queda de materiais pode causar acidentes graves. Por isso, é importante lembrar seus colaboradores devem seguir as NRs e utilizar os EPIs e EPCs), segundo Sienge;

- Utilização de ferramentas e máquinas sem proteção adequada (muitos acidentes na construção civil acontecem porque o colaborador não sabia utilizar uma ferramenta e nem sobre os riscos que ela poderia oferecer pelo mal uso. Deve-se treinar seus colaboradores e ter certeza de que eles sabem exatamente o que estão fazendo).

Riscos devido à construção:

- Acessos à obra;
- Atraso nos desenhos e nas instruções do projeto;
- Acidentes de trabalho (dos trabalhadores ou da própria obra – colisões, incêndios, etc.);

- Baixa qualificação profissional em grande parte dos trabalhadores em obra;

- Custo dos ensaios, dos testes e das amostras;

- Condições geológicas e geotécnicas do terreno da obra;

- Danos a pessoas ou bens;

- Disponibilidade de recursos e materiais;

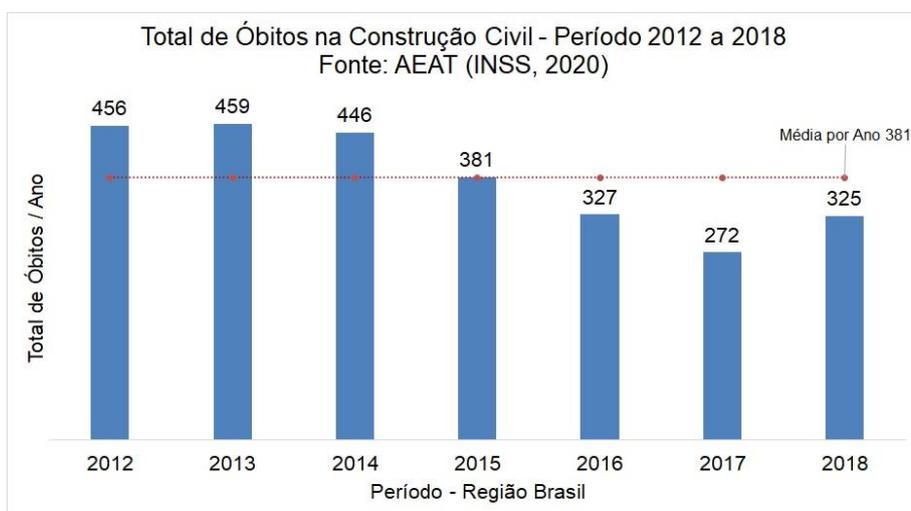
- Elevada rotatividade de pessoas;
- Falta de procedimentos e treinamentos;
- Maior contato individual dos trabalhadores com os itens (equipamentos e ferramentas) da construção civil;
- Mudanças no trabalho;
- Nível de detalhe do projeto fornecido pelo proprietário;
- Projeto defeituoso;
- Realização das atividades de trabalho sob condições de clima, como ventos ou chuvas fortes segundo (SIENGE, 2019).

A segurança do trabalho segundo Zavorochuka (2014), trata-se de uma série de medidas que tem por finalidade prevenir acidentes de trabalho (ZAVOROCHUKA, 2014).

2.2.1 Cenário da segurança do trabalho na construção civil

Entre 2017 e 2018 ocorreram 97 mil acidentes de trabalho na construção civil, segundo dados SmartLab (Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho, 2020), que totalizou mais de 4,4 milhões do total de acidentes no Brasil. Neste mesmo período o número de Acidentes com Óbito totalizou mais de 31,9 mil acidentes no Brasil, sendo que a construção civil registrou 2.666 óbitos.

No período de 2012 a 2018 houve uma média de 381 acidentes de trabalho na construção civil com fatalidade, segundo dados do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (SmartLab, 2020). A figura 2 a seguir mostra números de óbitos na construção civil, AEAT (INSS, 2020).

Figura 2: Total de Óbitos entre os anos de 2012 à 2018 na construção civil.

Fonte: AEAT (INSS, 2020).

Esses dados estatísticos mostram como o setor da construção por constituir ambientes de trabalho diversificados, conforme, os diversos tipos de construção ou canteiro de obras, propiciam a maior exposição dos trabalhadores em diferentes riscos ambientais. Os índices de acidentes de trabalho que ocorrem na indústria da construção civil podem ser reduzidos desde que redobre a sua atenção e priorize toda segurança e saúde do trabalho em canteiro de obras.

Conforme dados mais atualizados até fevereiro de 2020, disponíveis no AEAT (Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho), em 2017 ocorreram cerca de 12.651 casos de trabalhadores que não puderam retornar ou retornaram com algumas limitações ao trabalho, sendo que cerca de 1.000 destes casos aconteceram na construção civil (AEAT, 2017).

Em relação as fatalidades que ocorreram neste mesmo período de 2017, cerca de 2.096 foram acidentes fatais no Brasil, sendo que a indústria da construção civil, representou mais de 12% deste total, segundo Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT, 2017).

No Brasil a taxa de mortalidade é de 5,21 mortes para cada 100 mil com vínculos empregatícios de modo geral (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO, 2019).. Na indústria da construção civil esta taxa mais do que dobra, gerando 11,76 mortes para cada 100 mil vínculos. Todos esses números podem ser maiores quando considerarmos a existência de subnotificação na ocorrência nos acidentes de trabalho (CAT) no Brasil, que gerou uma média por ano de 22,63 % destes acidentes de trabalho subnotificados (AEAT, 2017).

Conforme os dados disponibilizados (SmartLab, 2020), todas as análises dos acidentes de trabalho que foram realizadas a partir das informações repassadas na CAT permitem identificar os agentes causadores, os tipos de lesões, as mais importantes doenças

ocupacionais e as partes do corpo que são mais atingidas. Uma visão mais crítica do ambiente de trabalho é associada a falha da Segurança e Saúde do Trabalho (SST) que são mais comuns na construção civil portando pode-se concluir que os principais tipos de acidentes de trabalho no Brasil, poderiam ter sido evitados, sobretudo, nos canteiros de obras com uma gestão mais efetiva para a Segurança e Saúde do Trabalho (SST).

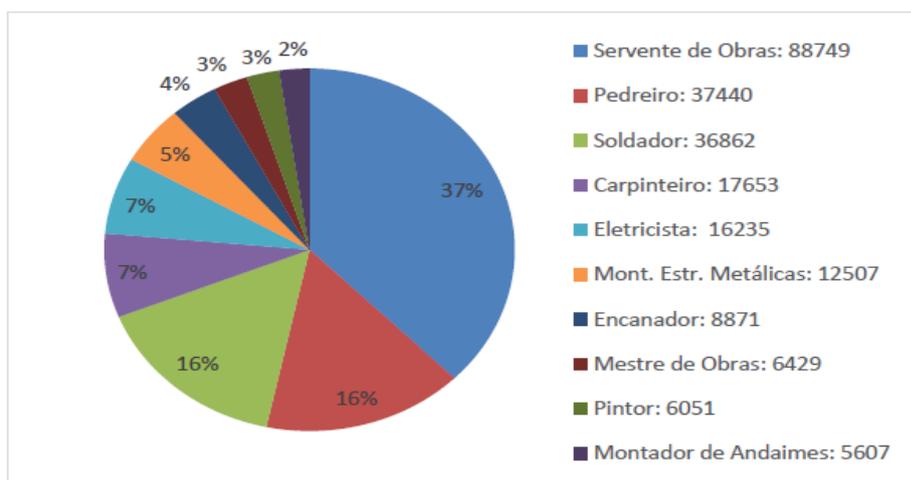
Acidentes em queda de altura provocou o registro de 37.057 CAT's, sendo que 161 ocorreram acidentes com óbito, segundo o INSS em 2017 (ONASEFTY, 2020).

Tipos de acidente que mais resultam em fatalidades nas obras da construção civil, podem decorrer de diversas causas, como (ONSEFTY, 2017):

- As condições físicas dos trabalhadores (cansaço, sonolência, dores no corpo e outros);
- Local de trabalho bem desorganizado;
- Falta de Equipamento Proteção Individuais (EPIs) ou uso inadequado;
- Falta de Sinalização de Segurança adequada no ambiente de trabalho nas obras;
- Poucas medidas para proteção coletiva.

A seguir a figura 3 apresenta a incidência de acidentes de trabalho por ocupação na construção civil.

Figura 3: Incidência de Trabalho por ocupação.



Fonte: Observatório de trabalho por ocupação (2017).

A figura 4 refere-se acidentes nos serviços de manutenção e nos canteiros de obras.

Figura 4: Notificações de Acidentes que ocorrem no canteiro de obras.

Eletricista de instalações 14%	Pedreiro 9%	Montador de estruturas metálicas 4%	Instalador de linhas elétricas de alta e baixa-tensão (rede aérea e subterrânea) 3%	Pintor de obras 3%	Eletricista de manutenção de linhas elétricas, telefônicas e de comunicação de dados 2%	Eletricista de instalações (cenários) 2%	
		Operador de escavadeira 2%	Motorista de caminhão (rotas regionais e internacionais) 2%	Operador de extrusora (química, petroquímica e afins) 2%	Empregado doméstico nos serviços gerais 1%	Montador de equipamentos elétricos (centrais elétricas) 1%	Apointador de produção 1%
Eletricista de manutenção eletroeletrônica 12%	Eletricista de instalações (edifícios) 6%	Encanador 2%	Auxiliar de manutenção predial 1%	Mestre (construção civil) 1%	Instalador-reparador de redes e cabos telefônicos 1%	Tratorista agrícola 1%	Armadador de estrutura de concreto armado 1%
		Faxineiro 2%	Trabalhador de serviços de limpeza e conservação de áreas públicas 1%	Motorista de carro de passeio 1%	Marceneiro 1%	Contínuo 1%	Engenheiro eletricista 1%
Servente de obras 12%	Soldador 5%	Instalador-reparador de redes telefônicas e de comunicação de dados 2%	Ceramista 1%	Técnico de telecomunicações (telefonia) 1%	Mecânico de manutenção de instalações mecânicas de edifícios 1%		
		Alimentador de linha de produção 2%	Serralheiro 1%	Encarregado de manutenção de instrumentos de controle, medição e similares 1%	Mecânico de manutenção de máquinas, em geral 1%		

Fonte: Observatório de trabalho por ocupação (2018).

Em relação as atividades relacionadas com a construção civil, notou-se no período de 2017 e 2018 que os profissionais mais vulneráveis são: eletricista de instalações (14%), seguido pelos eletricistas de manutenção eletroeletrônica (12%), serventes de obras (12%), pedreiro (9%), eletricista de instalações (nos edifícios) (6%) e, soldador (5%), totalizando 58% dos acidentes de trabalho que ocorre na construção civil. As principais causas destes acidentes são: choques elétricos, impactos com objetos, quedas, desmoronamento e soterramento (ONSAFETY, 2020).

O choque elétrico na construção civil é um acidente bem comum nos canteiros de obras e nos serviços de manutenção, que são causados por (ONSAFETY, 2020):

- Muitos equipamentos ligados em uma mesma extensão;
- Instalações elétricas inadequadas e com precariedades;
- Falta de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) ou uso inadequado.

Estudo realizado com a SintraconSP (2017) ao ouvir a opinião com 659 trabalhadores da construção no estado de São Paulo, concluiu que a falta de atenção é a maior causa de acidentes na construção civil, correspondendo a 73,39% do total. Destacou-se também a falta de prevenção de acidentes e negligência quanto da importância dos itens de segurança de

trabalho como parte desse cenário. Cerca de 8,35% dos trabalhadores entrevistados disseram que sofreram algum tipo de acidente (Sienge, 2021).

2.3. A INDÚSTRIA 4.0 COMO MELHORIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Indústria 4.0 é o produto de uma profusão de tecnologias aplicadas ao ambiente de produção, o que Schwab (2016) nomeia de “megatendências”. Entre elas, avultam-se os *Cyber-Physical Systems* (CPS), a *Internet of Things* (IoT), a *Internet of Services* (IoS), veículos autônomos, impressoras 3D, robôs avançados, inteligência artificial, *Big Data*, nanomateriais e nanossensores (SCHWAB, 2016; CNI, 2016; BCG, 2015a).

Para esclarecer os fundamentos e propósitos da 4ª Revolução Industrial, Schwab (2016) toma como base cinco princípios (Operação em tempo real, Virtualização, Descentralização, Orientação e Serviços e Modularidade) para o desenvolvimento e a implementação da Indústria 4.0.

- Operação em tempo real: Se no passado qualquer mudança no produto ou no processo produtivo exigia longos ajustes complexos em toda a cadeia de produção, agora a proposta é criar **unidades flexíveis capazes de trocar dados de maneira instantânea**, ou seja, controle em tempo real de toda a atividade industrial.

- Virtualização: Orientação e serviços e Modularidade para o desenvolvimento e a implementação da Indústria 4.0. O comando das operações, os ajustes de maquinário e a identificação de problemas não serão mais realizados de maneira direta, mas em **modelos virtuais capazes de descrever detalhadamente toda a atividade das fábricas** a partir de sensores espalhados pela planta.

Além de o controle de todos os processos ser realizado via internet a partir de computadores ou smartphones, por exemplo, a detecção de falhas é imediata e os ajustes realizados são muito mais precisos, evitando desperdícios e poupando tempo com eventuais reparos.

- Descentralização: As máquinas não apenas receberão ordens dos sistemas ciberfísicos (que integram entidades físicas com arquiteturas computacionais), como também serão capazes de gerar seus próprios dados, permitindo que os **diferentes módulos da instalação atuem de maneira descentralizada**.

- Orientação a serviços: Com a virtualização de toda a estrutura operacional das indústrias, será possível **programar softwares para tomarem decisões instantâneas de**

acordo com as necessidades da produção. Isso permitirá uma otimização em tempo real de todas as atividades dentro da empresa, além da integração com outros recursos e bases de dados.

- **Modularidade:** Uma das mais importantes propostas da Indústria 4.0 é promover o alinhamento entre a demanda e a produção e facilitar a personalização de produtos. A ideia é tornar o processo produtivo mais flexível com o acoplamento e desacoplamento de módulos, **aumentando as possibilidades de produção sem a necessidade de alterações complexas na cadeia produtiva.** A figura 5, representa os princípios básicos da Indústria 4.0 (9 pilares).

A Indústria 4.0 possui nove pilares (segurança da informação, internet das coisas, computação da nuvem, sistemas integrados, manufatura aditiva, simulações, robôs autônomos, *big data* e a realidade aumentada) que serão o seu apoio, estes são na realidade tecnologias que já estão em uso e a sua introdução no sistema produtivo fará com que se alcance o padrão 4.0 (ESTÉVEZ, 2016).

Figura 5: Princípios básicos da Indústria 4.0 (9 pilares).



Fonte: ENDEAVOR (2017).

Seguem abaixo algumas tendências para a Indústria 4.0 no setor da construção que podem ajudar na melhoria da segurança da construção civil (SIENGE 2019):

- Os **drones** podem ser utilizados em funções que ofereçam riscos aos trabalhadores, como a verificação de construções altas e o transporte de certos materiais;
- A **criação de módulos pré-fabricados**, por seguir padrões preestabelecidos, agiliza a produção, elimina chances de falhas e permite a personalização de acordo com as preferências do usuário;
- Os **robôs e máquinas** podem ser programados para transferir e capturar dados que, mais tarde, contribuirão para obras com visões práticas, ações rápidas e projetos rentáveis;

- A **geolocalização** e as pesquisas em alta definição, que servem para evitar diferenças entre o escopo do projeto e a realidade do solo;
- O uso da **realidade virtual** durante todo o processo do projeto, execução e finalização;
- A utilização de **materiais** como concreto auto curável, aerogéis e nanomateriais.

O sistema de funcionamento da Indústria 4.0 é composto por uma infraestrutura tecnológica formada por sistemas físicos e virtuais, com apoio do *Big Data*, *Analytics*, robôs automatizados, simulações, manufatura avançada, realidade aumentada e a IoT, ainda de acordo com a (FIRJAN, 2016) que podem ser aplicadas na construção civil.

Para Sales (2012) a Norma Regulamentadora que determina as condições de trabalho na construção civil é a NR-18, que cria diretrizes de ordem administrativa, elaboração e de organização, e que tem como objetivo adotar medidas de controle e sistema preventivo para a segurança dos trabalhadores na construção civil. A figura 6 representa o futuro da construção civil usando os conceitos da Indústria 4.0 que podem melhorar a sua produtividade.

Figura 6: Tecnologias 4.0 que ajudam melhorar a produtividade na construção civil.



Fonte: World Economic Forum (2018), The Boston Consulting Group (2018).

2.3.1 Tecnologia da Indústria 4.0

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2018) citam como exemplos das mudanças de paradigma relacionadas a Indústria 4.0 o compartilhamento digital de informações, a produção digital (impressoras 3D), a automatização de processos e a coleta de dados por sensores. Já entre as tecnologias da Indústria 4.0, tem-se a Internet das Coisas

(IoT), a inteligência artificial (AI), a manufatura aditivada, a realidade aumentada, a análise de *Big Data* e o *Building Information Modeling* (BIM) sendo que o BIM tecnologia com maior probabilidade de aplicação e grande impacto futuro na construção.

Muitas construtoras acreditam que através de um bom sistema de gestão e coordenação implicará em oportunidades de diminuir custos, reduzir retrabalhos, ganho de tempo e otimização na qualidade dos projetos. Em estudos de casos sobre coordenação de projetos nas edificações recorrem a serviços terceirizados de coordenação mesmo com profissionais qualificados dentro das construtoras.

A coordenação pela modelagem BIM pode ser um meio bastante eficiente para que uma equipe de projeto se estimule a investir em novos métodos de trabalho, bem como os coordenadores ou empreendedores possam entender como melhorar novos processos. As vantagens do uso da tecnologia BIM na compatibilização e a sua parte visual possibilitam uma grande capacidade de visualização e detalhamento dos projetos arquitetônicos (SOARES JR; BACHIM, 2020).

Com o surgimento do BIM as características de liderança exigidas do coordenador se tornarão mais importantes devido a maior velocidade de identificação e solução dos problemas de projeto em tempo real, durante as reuniões. Sendo cada vez será maior a sua responsabilidade na exigência de projetos em termos qualidade com a introdução de novas práticas de trabalho (SOARES JR; BACHIM, 2020).

A análise do potencial da ferramenta BIM, quando utilizada em condições de alta performance, contribue com benefícios práticos que objetivam um aumento da produtividade e da eficiência nos processos de gerenciamento da informação na construção, que possibilita um acréscimo de qualidade e numa redução de prazos e custos (SOARES JR; BACHIM, 2020).

Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (2018) apontam que a utilização da Internet das Coisas (IoT) é uma tendência concreta na construção civil. Dentre as diversas aplicações relacionadas a Internet das Coisas na indústria da construção civil, tem-se a utilização de etiquetas de RFID (*Radio Frequency Identification*) que é um método de identificação automática através de sinais de rádio, que permite o gerenciamento de materiais no canteiro, inclusive evitando perdas e desperdícios (PEREIRA, 2012). Outro grande campo para a aplicação da Internet das Coisas na indústria da construção civil é o monitoramento da saúde estrutural das estruturas, por meio do desenvolvimento e do uso de algoritmos de processamento de dados e o desenvolvimento de sensores interligados a uma rede (SONG; WANG; WANG, 2017).

Através da revisão da literatura e outras fontes de dados, são apresentadas a seguir algumas soluções das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicadas para a melhoria da segurança na construção civil.

A construção civil tem acompanhado os desenvolvimentos em técnicas de impressão 3D e começou a aplicá-los em maior escala. Principalmente a impressão de concreto e materiais cimentícios ultimamente tem ganhado muito interessados no campo da arquitetura e construção. A primeira técnica de impressão 3D para construção civil é chamada de *Contour Crafting11*, que é uma tecnologia de fabricação aditiva que usa o controle de computador para formar estruturas de materiais cerâmicos e a base de cimento (WOLFES, 2015).

WU et al. (2016), destaca que a utilização da impressora 3D pode trazer uma melhoria de produtividade em termos de:

a) Redução do desperdício. O processo de impressão 3D permite uma maior precisão da quantidade do material que o objeto requer;

b) Flexibilidade de design. O processo de impressão 3D permite que os projetistas desenvolvam estruturas que são difíceis de produzir usando as atuais práticas de construção;

c) Mão de obra reduzida. Como a maioria processo de impressão 3D é altamente automatizada, a mão de obra intensiva necessária no processo de construção pode ser significativamente reduzida.

d) Tempo de construção pode ser altamente reduzido utilizando impressão 3D. Por exemplo, o tempo de construção de uma parede estrutural foi reduzido em 35% utilizando-se impressão 3D, quando comparado a construção com alvenaria (Buswell et al., 2007).

A automatização do método de construção permite realizar uma produção maior em um menor período de tempo. Impressoras 3D operam até 90% do material. Ademais, presume-se que o emprego dessa tecnologia interfere profundamente na redução de mão de obra braçal no canteiro. Com a admissão da impressão 3D e maquinários robóticos, os trabalhadores são afastados das atividades manuais de maior perigo existentes nos canteiro de obras, onde habitualmente estariam expostos a diversos riscos e conseqüentemente, mais acidentes de trabalho (SIENGE, 2018).

A figura 7 representa um exemplo de solução de impressora 3D na construção civil.

Figura 7: A impressão 3D na construção civil.



Fonte: WordPress (2020).

Considerando os domínios de aplicação inerentes ao ambiente construído, Succar, Saleeb e Sher (2016) abordam que a integração de BIM e IoT deve consistir no uso do modelo BIM como uma interface beneficiada por dados fornecidos através de uma rede de equipamentos, sensores e dispositivos móveis. Os desdobramentos decorrentes dessa integração apontam para: (i) o uso do modelo BIM em tempo real, visando a exibição de dados coletados através de redes de sensores implantadas na edificação; (ii) o uso do modelo BIM para rastreamento de ativos, visando a localização de ativos fixos ou móveis por meio de tecnologias de rastreamento e marcação; e (iii) o uso do modelo BIM para automação predial, visando o monitoramento e controle da edificação.

A IoT no ramo da construção civil é relevante na aplicação de aparelhos que apresentam-se integrados a rede, possuindo o objetivo relatar, alterar, modificar e monitorar o ambiente. Diante disso, para que funcione, são empregados diferentes modelos de inteligências artificiais aptos e que responsabilizam-se na tomada de atitudes e prevenção de condutas, considerando suas bases de dados. A aplicação dessa tecnologia incorporada no canteiro de obras é bastante ampla (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2019).

Com o desempenho da Internet das Coisas (IoT), a segurança do trabalho obtém a capacidade de aprimorar-se por meio de tecnologia remota e outros mecanismos. O progresso da maquinaria voltado para a construção civil viabiliza o uso de operações deste gênero para evitar a exposição dos trabalhadores a riscos. Além disso, outra possibilidade de tornar o ambiente menos perigoso é o emprego de *Wearables*, que são modelos de ferramentas concedidas pela IoT, na qual são utilizadas como parte da vestimenta do profissional (MOBUS CONSTRUÇÃO, 2018).

Um exemplo disso é a utilização de tecidos que auxiliam a controlar a temperatura, aquecendo o corpo em circunstâncias de intenso frio. Também, sensores que possibilitem

averiguar o nível de pressão, fadiga entre outros indicadores da saúde do funcionário (MOBUS CONSTRUÇÃO, 2018). A figura 8 representa do IoT tecnologia habilitadora da indústria 4.0 dentro de um canteiro de obras.

Figura 8: A IoT na construção civil.



Fonte: Compacto Engenharia (2016).

Mas se ainda restavam algumas incertezas quanto à ascensão desse conceito de internet das coisas, um conceito mais novo veio para ajudar a enterrá-las: **o Caminhão Betoneira Conectado**. A solução não é simplesmente um caminhão conectado à internet representado na figura 9, mas sim uma betoneira incrementada com sensores, usados para monitorar atividades e enviar dados para análise das empresas (EXAME, 2020).

Figura 9: Caminhão Betoneira Conectado.



Fonte: EXAME (2020).

Monitoramento preciso de máquinas por meio da Internet das Coisas (IoT), os equipamentos podem 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 (INBEC, 2020).

Surgem também as tecnologias vestíveis, ou seja, tecnologias que o usuário veste, como os capacetes inteligentes *Daqri Smart Helmet*, capazes de exibir no campo de visão do usuário projeções 3D com informações e detalhes da obra, baseado no projeto *BIM* desenvolvido ou o uso de *smart glasses* ou óculos inteligentes que permitem ao usuário acessar rapidamente no seu campo de visão manuais, instruções ou ainda suporte remoto enquanto ficam com as mãos livres para focar nas tarefas sendo desenvolvidas (OESTERREICH; TEUTEBRG, 2016), como as HoloLens, da Microsoft.

Outros exemplos de tecnologias vestíveis são os sensores vestíveis. Trata-se de dispositivos que podem ser instalados nas roupas, capacetes e acessórios dos trabalhadores, e também em maquinários, para obter ganhos em segurança. Ou seja, os sensores são capazes de detectar e alertar sobre uma série de riscos e situações perigosas, como por exemplo relógios com sensores capazes de detectar a temperatura corporal do usuário, alertando para casos de temperaturas elevadas a fim de evitar a exaustão térmica, ou ainda sensores capazes de detectar níveis de substâncias tóxicas, como monóxido de carbono, alertando o usuário para concentrações perigosas (FORSYTHR et al., 2012). As aplicações são diversas e podem resultar em grandes ganhos tanto para a indústria, que pode reduzir custos habitualmente direcionados para remediação de 60 tipos de acidentes e indenizações de trabalhadores acidentados e observar aumentos de produtividade, qualidade e velocidade nas obras, quanto principalmente para os próprios trabalhadores, que passam a experienciar um ambiente de trabalho mais seguro, moderno e controlado. Afinal, a segurança do trabalho é um dos maiores pontos de deficiência na construção civil (OSTERREICH; TEUTEBERG, 2016) e a Indústria 4.0 promete avanços significativos nessa área.

Sensores vestíveis são dispositivos instalados nas roupas (em uniformes e EPIs, no caso da construção civil) dos operários para assistir a execução das atividades. Inúmeras empresas, principalmente nos Estados Unidos, estão trabalhando intensamente nos últimos anos para fazer-se possível que esse modelo de tecnologia seja mais variado e acessível (AIZA ENGENHARIA, 2020).

A tecnologia vestível é recente no Brasil, no entanto, garante resultados prósperos na construção civil. De acordo com estudos norte-americanos, essa inovação tecnológica pode elevar em 3,5% o bem-estar no local de trabalho e 8,5% a produtividade. Nos EUA, as empresas já instalaram sensores inteligentes nos trajes dos funcionários para adquirir maior segurança. Assim, eles utilizam capacetes com sensores, que fazem alertas de segurança, caso houver algum impacto, por exemplo; possuem relógios de pulso que monitoram a temperatura corporal, controlando a exaustão térmica. Além disso, é possível posicioná-los nos arreios

com a finalidade de controlar a quantidade de pessoas trabalhando em uma determinada estrutura. Dessa forma, é emitido um sinal de alerta em uma situação de ocorrência de queda súbita (PLANSERVICE, 2020).

Colocar os sensores vestíveis no vestuário já existente dos funcionários da construção civil é mais prático do que assegurá-los a utilizarem outro aparelho. Coletes de segurança, são exemplos comuns em canteiros de obras. Com isso, as companhias de tecnologia visam tornar suas inovações em instrumentos padrão (PLANSERVICE, 2020).

A *Red Point* produziu sensores de GPS precisos que possuem a capacidade de serem acoplados aos uniformes, mais precisamente em coletes, aumentando a segurança dos trabalhadores em grandes canteiros de obra, pois possibilita a localização quase imediata em caso de acidentes ou demais necessidades. Além disso, os trabalhadores que fazem uso do colete com sensores de GPS são alertados imediatamente ao entrar em zonas de perigo pré-definidas no canteiro da obra. Outra função é que os funcionários podem ser demandados a diminuir ou retirar-se de seus postos de trabalho quando identificados que portadores de coletes entraram em uma determinada área (PLANSERVICE, 2020). As figuras 10 e 11 representam exemplos de aplicações o capacete com sensor e colete para segurança na construção civil.

Figura 10: Capacete com sensor.



Fonte: PLANSERVICE (2020).

Figura 11: Colete de Segurança.



Fonte: PLANSERVICE (2020).

Projetado principalmente para o trabalho industrial, o capacete inteligente *Daqri* também pode auxiliar na construção civil, mais precisamente no canteiro de obras, reduzindo com eficácia os índices de acidentes de trabalho (PLANSERVICE, 2020).

Com artifícios de realidade aumentada, o visor inserido no capacete possibilita que o usuário contemple, em tempo real, dados virtuais que proporcionam rapidez, eficácia e segurança em variadas circunstâncias no cotidiano dos profissionais da construção civil (PLANSERVICE, 2020).

Assim, com essa tecnologia se torna possível relacionar imagens e informações para certificar se o funcionamento de mecanismos como válvulas e filtros está de acordo com as especificações instrumentadas pelo fabricante, sem que o funcionário necessite recorrer a computadores, smartphones ou manuais impressos. O capacete é composto por uma câmera de alta resolução 3D, quatro câmeras que mapeiam 360 graus e um esquema de medição de grande precisão, possibilitando que o trabalhador se desloque com segurança e precisão, e simultaneamente documente tudo que ocorre na obra (PLANSERVICE, 2020).

Além disso, agregando o seu desempenho com visão térmica, este dispositivo oferece aos trabalhadores a oportunidade de visualizar, medir e analisar temperaturas no seu ambiente de trabalho, viabilizando a capacidade de monitorização (PLANSERVICE, 2020).

Em relação à indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), mais precisamente sobre a digitalização de sistemas que esta indústria tem em vista, majoritariamente com recurso do método BIM (*Building Information Modeling*), este equipamento promete revolucionar o modo de interpretar projetos, e à maneira em que eles são implementados e coordenados em obra (ENGIBIM, 2019).

Com o alto nível de informação em diversas camadas, engenheiros conseguem entender melhor relações espaciais, identificar problemas estruturais e, de maneira geral, ter um julgamento mais rápido, melhor informado e com menos erros (CASACLAUDIA, 2020). As figuras 12 e 13 a seguir representam o Capacete Inteligente e Visor com capacete com detalhes construtivos.

Figura 12: Capacete Inteligente DAQRI.



Fonte: ENGEBIM (2019).

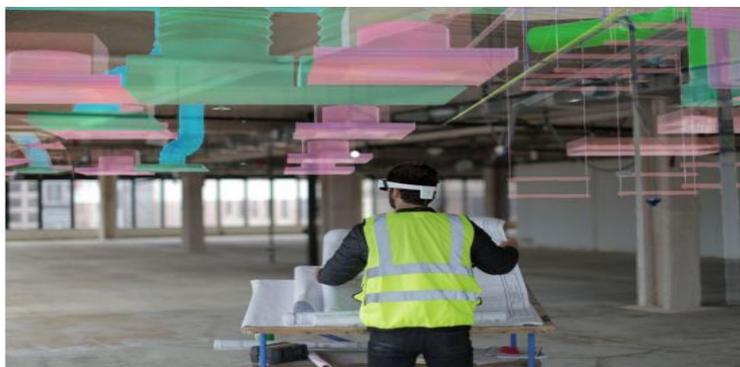
Figura 13: Visão com capacete: Detalhes Construtivos.



Fonte: ENGEBIM (2019).

Os óculos inteligentes permitem que os gerentes de obra sejam capazes de monitorar sua eficiência de trabalho e garantir que forneçam produtividade, uma vez que auxiliam em uma comunicação eficaz para o cumprimento das atividades, visto que são providos de uma câmera conectada à internet. Ademais, os óculos também têm a capacidade de serem usados para scanear informações, como códigos de barras, e assim consigam tornar o canteiro de obras mais produtivo e seguro (ENGEBIM, 2019). A figura 14 representa uma visão com óculos inteligentes em uma obra da construção civil.

Figura 14: Visão com óculos DAQRI BIM .



Fonte: ENGEBIM (2019).

Conseguir erguer cargas pesadas com menor esforço físico é a maior conquista alcançada pelos ternos de exoesqueleto biônico. Por meio deles, os profissionais da construção civil passam a possuir menos riscos de sofrer lesões ao carregar peso (FIEP, 2020).

Um exemplo de exoesqueletos da *Lowe's*, desenvolvido em parceria com a Virginia Tech, utiliza reforços de fibra de carbono flexíveis espalhados ao decorrer das costas e coxas dos usuários com a finalidade de desempenhar exercícios diários de curvatura, elevação e torção com menos força, auxiliando na redução da tensão nos músculos e articulações dos funcionários. A *Rise Robotics* com seu exoesqueleto no formato de mochila, a *Ekso Bionics*

com seu braço biônico e a *Vortec* com seu um colete que sopra e distribui ar fresco quente ou frio, ao redor do tronco e pescoço são outros modelos (FIEP, 2020). As figuras 15 e 16 representam exemplos de aplicação de com exoesqueleto em uma obra da Construção Civil.

Figura 15: Exoesqueleto Hyundai.



Fonte: Canaltech (2016).

Figura 16: Exoesqueleto LOWE'S.



Fonte: LOWE'S INNOVATION LABS (2017).

Pesquisadores alemães da Ruhr-Universität Bochum (RUB), desenvolveram uma plataforma de treinamento utilizando "realidade virtual" para conscientizar os trabalhadores da construção civil quanto as concepções de segurança do trabalho nos canteiros de obra (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2017).

Aplicando a Modelagem da Informação da Construção (BIM), eles permitem simular, em ambientes virtuais de obra, circunstâncias de risco aos funcionários, sendo equipados com óculos de "realidade virtual" e um aparelho de controle para atuar mutuamente com a plataforma de treinamento (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2017).

Além disso, é importante dar ênfase no que se refere ao processo de "gamificação" do treinamento (o uso de elementos do ambiente de jogos em atividades não relacionadas ao

entretenimento), que sensibiliza e incentiva o engajamento dos funcionários, além de favorecer o processo de aprendizagem. No método, após o trabalhador passar pelos desafios em meio virtual, ele é estimulado a contribuir com sugestões para tornar o canteiro de obras mais seguro (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2017).

Seguindo o mesmo princípio, estudiosos da universidade australiana *New South Wales*, projetaram uma plataforma que gera ambientes virtuais de canteiros de obras com a mesma meta de simular circunstâncias de perigo, que estão passando por testes em empresas australianas e chinesas da construção civil, como o exemplo da *Gammon Construction* em Hong Kong, que reconheceu a redução significativa no tempo de treinamento de seus funcionários com a utilização da plataforma (GAMMON CONSTRUCTION, 2020). A figura 17 representa um exemplo de simulação de acidente em ambiente virtual.

Figura 17: Simulação de acidente em ambiente virtual.



Fonte: Gammon Construction (2020).

As figuras 18 e 19 representam exemplos o uso de BIM para identificação de situações de risco.

Figuras 18 e 19: Uso de BIM para identificação de situações de risco.



Fonte: Bernardes (2003).

Esta plataforma possibilita que os funcionários possam aprender, além de encarar cenários de risco e se familiarizar com o ambiente de trabalho. Ademais, por haver uma modelagem em BIM são identificadas previamente situações de perigo que deverão ser monitoradas pelas equipes de projeto, planejamento e gestão (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2017).

Os drones na construção civil têm a função de complementar, tornando-se verdadeiros aliados, pois conseguem oferecer maior agilidade e significativa redução de riscos à segurança dos profissionais, resguardando-os da obrigação de irem a locais de difícil acesso (INSTITUTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2020).

“Existem casos na engenharia civil em que o profissional ou construtora trabalha em estruturas altas sem mecanismos simples de subida, localização difícil devido à topografia e aos recursos naturais, ou até mesmo na inspeção de obras com perigo.” (BELGO KAERT, 2020).

Referente a isso, o drone torna-se uma revolução no âmbito da construção civil. Não se faz mais necessário colocar a saúde em risco por conta de uma atividade que demanda tempo e cuidado, podendo ser concluída em minutos através de um piloto remoto. Diante disso, o uso de drones na construção civil vai além do ponto de possuir uma perspectiva ampla da obra: é uma aplicação em segurança, monitoramento e agilidade de mecanismos que antes eram bem complicados ou até obsoletos (GLOBALTEC, 2020). A figura 20 representa o exemplo de aplicação de drones para segurança e monitoramento em uma obra da construção civil.

Figura 20: Drones na construção civil.



Fonte: Globaltec (2020).

Giretti et al. (2009) realizaram um experimento dedicado à gestão da segurança e saúde em canteiros de obras com o uso de novas tecnologias de comunicação, alimentadas por sistema de identificação por RFID. O sistema implantado emitia sinais de aviso de perigo quando o trabalhador se aproximava da região com maior risco de acidente. Assim, a função inicial do sistema RFID consistiu em identificar em tempo real o rastreamento da posição dos

trabalhadores envolvidos em atividades da construção civil e, para isso, foi desenvolvido um software capaz de controlar o acesso não autorizado às zonas perigosas. A figura 21 representa o sistema RFID.

Figura 21: Componentes do sistema RFID.



Fonte: OLIVEIRA; SERRA, 2017.

Segue exemplo de aplicação de RFID para implantação do sistema de monitoramento instalada em sistemas guarda-corpo rodapé (GcR) no canteiro de obras com intuito de assegurar a segurança conforme figuras 22 e 23.

Figuras 22 e 23: RFID instalada em sistemas guarda-corpo rodapé (GcR).



Fonte: OLIVEIRA; SERRA, 2017.

Estudos do SEBRAE (2018) apontam que a utilização da Internet das Coisas (IoT) é uma tendência concreta na construção civil. Dentre as diversas aplicações relacionadas a IoT na construção, tem-se (1) a utilização de etiquetas de identificação de rádio frequência (RFID), denominado como método de identificação automática que por meio da transmissão de sinais de rádio, permitindo o gerenciamento de materiais no canteiro, inclusive evitando perdas e desperdícios (HIPPERT; LONGO; MOREIRA, 2019; PEREIRA, 2012); (2) monitoramento da saúde das estruturas, através do desenvolvimento e do uso de algoritmos de processamento de dados e o desenvolvimento de sensores interligados a uma rede (SONG; WANG; WANG; 2017).

Dos elementos que tem impacto direto na produtividade da construção civil a Figura 24 apresenta uma lista de tecnologias que podem auxiliar no aumento da produtividade.

Figura 24: Áreas onde a tecnologia auxilia na produtividade.

Principais tecnologias						
	Qualificação da mão de obra	Retrabalho	Matéria-prima	Planejamento e controle	Layout do canteiro	Segurança do trabalho
BIM	●	●	●	●	●	●
BIM 4D	●	●	●	●	●	●
Automação	●	●	●	●	●	●
Telas Soldadas	●	●	●	●	●	●
Monoforte	●	●	●	●	●	●
Sistema de alvenaria estrutural	●	●	●	●	●	●
Sistema de lajes mistas	●	●	●	●	●	●
Sistema de CES	●	●	●	●	●	●
Tecnologia móvel	●	●	●	●	●	●
Microconcreto de alto desempenho	●	●	●	●	●	●
Concreto autoadensável	●	●	●	●	●	●
Painéis EPS	●	●	●	●	●	●
EAD	●	●	●	●	●	●
RFID	●	●	●	●	●	●

Fonte: SEBRAE (2018).

2.4 VISÃO DO BIM NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

No mercado de construção civil, nos últimos anos, o termo BIM - *Building Information Modelling*, ou Modelagem da Informação da Construção, deixou de ser um modismo com poucos pioneiros, para ser a peça central da tecnologia do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), abordando aspectos de projeto, construção e operação de edifícios. A maioria das empresas líderes mundiais de arquitetura, engenharia e construção estão usando BIM em seus projetos (EASTMAN et al., 2011).

BIM é uma metodologia de projeto que subsidia a integração da informação ao longo das etapas de processo de projeto, gestão de projetos e obras (BRITO; FERREIRA, 2015).

Devido a essas características, o BIM permite que os envolvidos no projeto possam ter acesso às informações consistentes ao longo das etapas do projeto, contribuindo para a precisão dos documentos e tomada de decisão (AHANKOOB et al., 2012). Segundo Wilson e Heng (2011), BIM está mudando em um sentido mais amplo as práticas tradicionais de construção, em termos de pessoas, processos, trabalho, cultura, comunicação e modelos de negócio.

Segundo Pereira (2013), a compatibilização de projeto utilizando a tecnologia BIM, tem o intuito de obter informação do processo de modelagem para melhoria da edificação.

Fabrício (2002) e Melhado (2005) definem bem os conceitos de gestão e coordenação de projetos de edificações, que devem ser conduzidos através de conceitos de engenharia simultânea, no intuito de obter integração do processo de desenvolvimento de projetos em suas diversas fases e a interação com a fase de execução da obra. A coordenação de projetos de edificações é considerada com meio para melhoria no processo produtivo, por meio de da organização, otimização e controle do fluxo de desenvolvimento de projetos produtos como base que é desenvolvida no empreendimento, como a execução e o planejamento da obra.

A escolha da modelagem da informação da construção como alternativa para os modelos de representação do projeto é justificada por sua abordagem sistêmica e integrada de todas as fases do ciclo de vida apresentadas em um modelo único e compartilhado das informações, levando a melhores resultados e a menos interferências entre a produção e as informações utilizadas pelos diversos agentes envolvidos no processo (ABAURRE, 2013).

Como a construção externa cresce em popularidade, um número crescente de produtos de construção é fabricado em um ambiente de fábrica controlado. Devido à complexidade dos produtos de construção e à crescente quantidade de automação usada na indústria, a produtividade atingiu um pico porque o planejamento do processo das atividades de fabricação ainda é feito manualmente, por exemplo, os modelos de informações de construção (BIM) não fornecem informações de fabricação para produtos de construção. Saber se uma máquina pode fabricar um produto de construção definido pelo modelo BIM é um pré-requisito crítico para novos produtos (AN; MARTINEZ; AL-HUSSEIN; AHMAD, 2020).

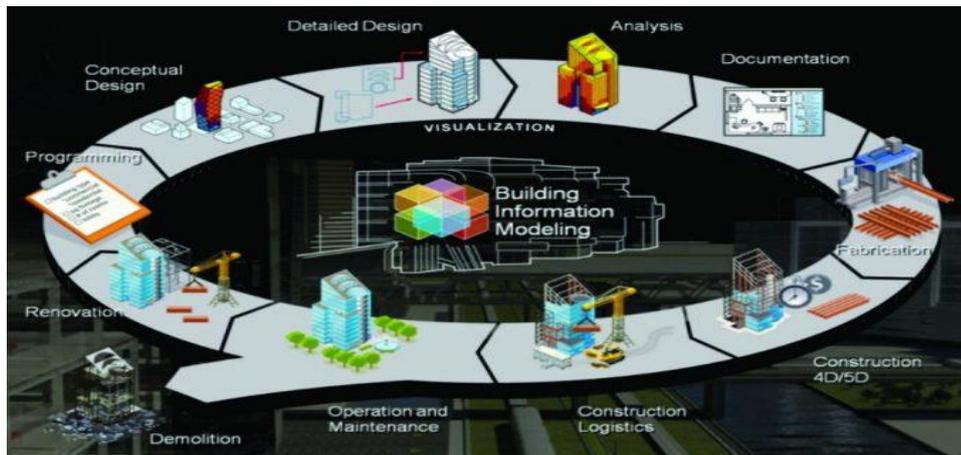
Esse modelo representa precisamente a geometria da edificação, além de possuir informações relevantes que poderão ser utilizadas no auxílio à documentação, projeto, pré-fabricação e execução do empreendimento (EASTMAN, 2011).

Os aplicativos de modelagem de informações de construção (BIM) estão sendo cada vez mais introduzidos em toda a indústria da construção e no meio acadêmico, uma grande quantidade de aplicativos BIM tem sido recomendada na literatura. No entanto, a cobertura da teoria da difusão BIM (que combina questões contextuais e técnicas das aplicações) permanece escassa e subdesenvolvida. A compatibilidade é um dos principais fatores contextuais da teoria da Difusão da Inovação que envolve a previsão do comportamento dos adotantes de BIM e a identificação de quais componentes requerem esforço extra para uma implementação bem-sucedida do BIM. No entanto, esse importante conceito teórico não foi desenvolvido na literatura BIM pertinente nem usado corretamente para estender o conhecimento existente, pois as variáveis de compatibilidade não são entendidas em um

contexto de construção. Isso impede seriamente o uso correto do BIM na construção (SHIROWZHAN; SEPASGOZAR; EDWARDS; LI; WANG, 2020).

A Coordenação de Projetos apresenta um processo complexo, com multidisciplinaridade que permite cumprir a função de gerenciamento do desenvolvimento dos projetos, com atividades administrativas e técnicas. Com a relação as atividades técnicas, fica evidente que as mudanças na forma de trabalho serão naturalmente transformadas quando os projetistas adotem a modelagem da construção. O uso de novas aplicações para a análise de modelos BIM será muito importante, para que possa buscar a qualidade dos trabalhos de cada área do projeto e a integração ou compatibilidade entre elas. Conforme o objetivo da modelagem e os usos aos quais os modelos serão submetidos, haverá necessidade de análises quanto à ausência de informações que serão requeridas em fases posteriores do empreendimento, como a fase de construção e manutenção Eastman (2011). A figura 25 representa de forma visual o conceito do BIM.

Figura 25: Representação visual do conceito do BIM.



Fonte: Adaptado Eastman (2011).

A coordenação é uma atividade de suporte ao desenvolvimento do processo de projeto voltado à integração dos requisitos e das decisões de projeto (MELHADO, 2004). O quadro 2 refere-se ao controle e planejamento junto com os benefícios ao Modelo BIM.

Quadro 2: Benefícios ao Modelo BIM.

Modelo BIM	Benefícios
3D - Colaborativo	<ul style="list-style-type: none"> ●Melhoria da colaboração multidisciplinar; ●Melhoria da visualização e comunicação da intenção de projeto; ●Redução do retrabalho.
4D - Agendamento	●Integração BIM com modelos de simulação 4D CAD trazem benefícios aos participantes em termos de otimização de planejamento.
5D - Estimado	●Integração BIM com modelos de simulação 5D CAD permite o desenvolvimento de construções sustentáveis mais eficientes e rentáveis.
6D - Sustentabilidade	●Integração BIM com modelos de simulação 6D leva a uma redução global no consumo de energia.
7D - Manutenção	●Integração BIM com modelos de simulação 7D CAD otimiza gestão de ativos desde a concepção à demolição.
8D - Segurança	●Integração BIM com modelos de simulação 8D para segurança e prevenção de acidentes (dimensão mais recente, que visa oferecer informações que proporcionem identificar antecipadamente quais problemas e riscos em relação à segurança do trabalhador podem ocorrer).

Fonte: Adaptado de Hamed (2015).

A Segurança de hoje seria dimensão 8D, pois um modelo projetado e BIM pode oferecer informações suficientes para que se possa identificar diversos problemas relacionados à segurança do trabalho antecipadamente. Entre os grandes benefícios do Bim 8D estão a colaboração empresarial, otimização do desempenho corporativo e tecnologia de sensor integrado, facilitando a análise de dados em tempo real (HAMED, 2015).

A oitava dimensão (8D) no modelo BIM diz respeito à segurança e prevenção de acidentes e, segundo Imriyas Kamardeen (2010), consiste em três tarefas: determinar os riscos no modelo, promover sugestões de segurança para perfis de alto risco e propor controle de riscos e de segurança do trabalho na obra para os perfis de riscos incontroláveis. Quando se na dimensão 8D que envolve a segurança e prevenção de acidentes precisaremos de um gestor capacitado, o Gerente BIM. O Gerente BIM pode ter várias funções adicionais como a definição de ‘templates’ de projeto, coordenação e integração de modelos, coordenação do acesso ao modelo, etc., mas sua função mais importante é orientar a equipe na tomada de decisões (POST, 2009). A nona dimensão (9D) do BIM é sobre a introdução da filosofia de gestão *lean* no setor da construção, chamada de

Construção Enxuta oferece muitos benefícios para todas as partes envolvidas, reduzindo os custos e focando na eliminação de desperdícios, consequentemente reduzindo também o tempo de ciclo do processo consequentemente evitando problemas com risco dentro do canteiro com os processos. Por fim, todas as dimensões têm como objetivo comum a décima dimensão (10D), para industrializar e tornar o setor da construção civil mais produtivo, integrando as novas tecnologias por meio de sua digitalização entender o processo de construção como ferramentas digitais de modelagem tridimensional em conjunto com um banco de dados tornar o setor da construção civil mais produtivo, integrando as novas tecnologias por meio de sua digitalização assim possibilitando a diminuição de risco no canteiro de obras como a prevenção e simulação de acidentes utilizando por exemplo as realidades aumentada e virtual integradas com o BIM (ARNAL, 2018).

Para este trabalho com a finalidade de melhorar a segurança do trabalho na construção civil o 8D é mais específico por proporcionar simulação para segurança e prevenção de acidentes (dimensão mais recente, que visa oferecer informações que proporcionem identificar antecipadamente quais problemas e riscos em relação à segurança do trabalhador podem ocorrer).

A figura 26 representa as 10 Dimensões do BIM.

Figura 26: A Teoria das 10 Dimensões.



Fonte: Adaptada de Arnal (2018).

2.5 TECNOLOGIAS HABILITADORES FOCO DESTA PESQUISA

Conforme devidamente detalhado nos itens acima, esta dissertação considerará como um modelo teórico composto pelas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 para melhorar a segurança de trabalho na construção civil, aquelas sumarizadas no quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Tecnologias habilitadoras foco desta pesquisa.

BIM
Caminhão betoneira
Impressora 3D
RFID
Internet das Coisas
Capacetes com sensores e inteligentes
Colete de segurança
Exoesqueleto biônico
Drones
Realidade aumentada
Realidade virtual
Sensores vestíveis

Fonte: Autor.

3 METODOLOGIA

Metodologia é a área do conhecimento que ensina os melhores métodos praticados em determinado campo a fim de produzir conhecimento (CERVO; BERVIAN, 2002). O termo metodologia ainda é conhecido como um conjunto de regras que beneficia uma disciplina (FACHIN, 2006; BARROS; LEHFELD, 2007). O ser humano sempre utilizou suas capacidades para conhecer o mundo que o rodeia nos primórdios da humanidade, esse processo era mais livre na base da tentativa e erro. Ao longo dos anos o homem foi sistematizando suas ações, criando instrumentos e técnicas que lhe permitiram conhecer a natureza das coisas, bem como o comportamento das pessoas (CERVO; BERVIAN, 2002; FACHIN, 2006; BARROS; LEHFELD, 2007).

Richardson (1999), salienta que método é “O caminho ou a maneira para se chegar a determinado fim ou objetivo”, e a metodologia pode ser entendida como “os procedimentos e regras utilizadas por determinado método”.

De acordo com Marconi e Lakatos (2011) “a característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primarias”.

A pesquisa adota para este trabalho foi a pesquisa / estudo de campo, que se caracterizam pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer (GIL, 2008).

Segundo Forza (2002), a pesquisa / estudo de campo envolve a coleta de informações por meio de indivíduos sobre eles mesmos ou sobre as organizações às quais eles pertençam, usando como instrumentos de coleta questionários, entrevistas ou outros meios de coleta de dados.

Este trabalho foi desenvolvido nos fundamentos de pesquisas bibliográficas, fundamentado a partir de materiais publicados em artigos científicos. Segundo CerVO, Bervian e da Silva (2007), a pesquisa bibliográfica “constitui o procedimento básico para os estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema”.

Quanto à natureza do trabalho foi adotada a pesquisa aplicada. Conforme Marconi e Lakatos (2010) a pesquisa aplicada, de campo ou empírica é a aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e / ou conhecimento acerca de:

- Determinado problema para o qual se procura uma resposta;

- Uma hipótese que se queira comprovar;
- Descobrir novos fenômenos ou uma relação entre eles.

O que diferencia a pesquisa qualitativa da quantitativa é a ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado e no ambiente no qual ele se insere (BRYMAN, 1989).

Quanto à avaliação desta pesquisa, considera-se a mesma uma pesquisa qualitativa, que segundo (BRYMAN, 1989):

- Significa o pesquisador visitar a organização pesquisada fazendo observações e coletando evidências;
- Por isso ela tende a ser menos estruturada para poder captar as perspectivas e as interpretações das pessoas pesquisadas.

Suas características são:

- Ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos;
- Delineamento do contexto do ambiente da pesquisa;
- Abordagem não muito estruturada;
- Múltiplas fontes de evidências;
- Importância na concepção da realidade organizacional;
- Proximidade com o fenômeno estudado.

A Estrutura metodológica da pesquisa baseia-se: Abordagem, Objetivos, Método e Coleta de dados.

Quanto aos objetivos a pesquisa é explicativa ou explanatória procura clarificar porquê e como há uma relação entre dois aspectos de uma situação ou fenômeno.

Foi identificado no estudo questões de pesquisa relativas ao tipo de pesquisa descritiva que trata:

- Investigações de pesquisa empírica com finalidade descrever sistematicamente uma situação, problema ou fenômeno;
- O propósito central desse tipo de pesquisa é descrever o que é prevalente em relação à questão ou problema em estudo.

Nakano (2012) apresenta uma tipologia que divide as pesquisas em categorias:

- Experimento – estudo da relação entre duas variáveis de um sistema por meio de experimentação controlada pelo pesquisador;
- Teórico/Conceitual – discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais;

Em relação ao estudo do trabalho foi adotado o estudo de campo e Teórico/Conceitual.

Para Marconi e Lakatos (2010), independentemente do método adotado, as técnicas de coleta de dados para os estudos empíricos envolvem:

- Pesquisa documental – consiste em obter dados por meio da análise de documentos públicos e particulares que trazem informações sobre o problema estudado;
- Pesquisa bibliográfica – envolve a consulta às publicações científicas relativas ao campo de conhecimento de interesse do pesquisador (*literature search*) ou ao problema específico que ele tenta responder (*literature review*);
- Observação – o pesquisador busca levantar dados sobre as suas questões de pesquisa por meio da observação direta ou indireta das ações, fatos ou fenômenos relacionados ao seu estudo.

Para Marconi e Lakatos (2010), independentemente do método adotado, as técnicas de coleta de dados para os estudos empíricos envolvem:

- Entrevista – é um encontro entre duas pessoas, a fim de que uma delas obtenha informações a respeito de determinado assunto, mediante uma conversação de natureza profissional;
- Questionário – neste caso as informações são obtidas por meio de instrumento de coleta de dados, constituído por uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito sem a presença do entrevistador;
- Formulário – é uma lista formal, catálogo ou inventário destinado à coleta de dados resultantes quer da observação, quer de interrogatório, cujo preenchimento é feito pelo próprio pesquisador à medida que faz as observações ou recebe as respostas do pesquisado, sob sua orientação.

As técnicas utilizadas nesta pesquisa, foram consideradas como procedimentos que servem para intervenção prática e efetivação das pesquisas, podem ser usadas por meio de

diferentes metodologias, mas precisam ser cabíveis com o método adotado na pesquisa (SEVERINO, 2013).

A técnica de coleta de dados selecionada neste estudo foi a de questionário e entrevista com profissional experiente no setor. Severino, (2013) relata entrevista sendo uma técnica de coleta de informações diretamente aos indivíduos pesquisados, e o questionário como o meio que se destina a levantar as informações escritas por parte dos indivíduos pesquisados.

A análise de dados foi tratada de uma maneira comparativa para concretizar a ideia fundamental deste trabalho que é mostrar aspectos, competências, diretrizes, conhecimentos, os conceitos da Indústria 4.0 para melhoria da segurança na construção civil. Após uma leitura sobre essas técnicas, o sucesso das mesmas pode ser confirmado por meio da aplicabilidade demonstrada nos textos lidos. Portanto, o critério utilizado foi o quão elas se mostraram reconhecidas e aplicáveis. As fases da metodologia adotada compreendem: palavras chaves, pesquisa bibliográfica, análise de dados, leitura dos artigos e teses escolhidas, elaboração da pesquisa, análise dos resultados e conclusão do artigo.

A primeira parte foi baseada em uma descrição simplificada de estudos e informações sobre um determinado assunto. E a segunda parte, teve um caráter narrativo, é baseada na aplicação de métodos de análise de artigos com maior rigor científico (Método de Contagem fracionada o peso de cada ligação de coautoria ou cocorrência, unidade de análise e palavra chave, número de ocorrências de uma palavra chave referente ao assunto), podendo alcançar melhores resultados e reduzir erros e o viés do pesquisador responsável pela investigação. Esse processo permite ao pesquisador compilar dados, refinar hipóteses, estimar tamanho de amostras, definir melhor o método de pesquisa a ser adotado para aquele problema, e por fim definir direções para futuras pesquisas (COOK; MULROW; HAYNES, 1997).

Para isto buscou-se nas fontes de consulta (Scopus e Web of Science) e artigos que contivessem as seguintes palavras chaves: “Industry 4.0”, “Civil Construction” e “Job Safety”. Desta maneira, foi possível acessar estudos já sendo feitos nessas áreas. As pesquisas foram feitas em inglês e português, com o objetivo de encontrar resultados globais, possibilitando uma visão abrangente sobre tecnologias sendo pesquisadas em todo o mundo.

Foi realizada também uma revisão sistemática da literatura adaptada de Tranfield et al. (2003), conforme ilustrado no quadro 4.

Quadro 4: Etapas da revisão sistemática da literatura.

Fases	Etapas
Revisão características	1. Identificação da necessidade de revisão da literatura 2. Desenvolvimento de um protocolo de revisão da literatura
Triagem	3. Identificação de documentos 4. Seleção de documentos relevantes
Análise e síntese	5. Categorização de documentos 6. Extração de dados
Resultados	7. Conclusão

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados da pesquisa.

O quadro 5 apresenta o protocolo utilizado nesta pesquisa, contendo informações sobre as palavras-chaves e os critérios para inclusão e exclusão de estudos de revisão (CROMBIE; DAVIES, 2003).

Quadro 5: Protocolo de revisão de literatura.

Corrente de busca	(Construction OR Civil Engineering OR Construction sector) AND (“Industry 4.0”) AND (Workplace Security OR Job Security)
Operador Boleano	OR entre palavras-chaves, AND entre grupos
Base de dados	Scopus e Web of Science
Campo de busca	Título, resumo ou palavra-chave
Critérios de exclusão	<ul style="list-style-type: none"> ● Documentos somente de Engenharia ● Artigos apenas
Idioma	Português e Inglês
Tipo de publicação	Artigos
Período de publicação	De 2014 a 2020
Período da pesquisa	Julho 2014 a Novembro 2020

Fonte: Autor.

As bases de dados Scopus e Web of Science foram consideradas por serem as maiores em termos de artigos científicos revisados por pares. Para garantir a atualidade dos resultados, foi aplicado o filtro de ano na pesquisa, para concentrar-se no período de 2014 a frente. Os resultados são apresentados no quadro 6 abaixo.

Quadro 6: Resultados de pesquisa de artigos.

Tecnologias da Indústria 4.0 na construção civil				
Fases da pesquisa	Corrente de busca	Nº de artigos		
		Scopus	Web of Science	Total
1 ^a	Civil Construction	10.111	2.207	12.318
2 ^a	Industry 4.0	1.152	24	1.176
3 ^a	Civil Construction AND Industry 4.0	75	28	103
4 ^a	Civil Construction AND Industry 4.0 AND (workplace safety OR safety)	11	1	12

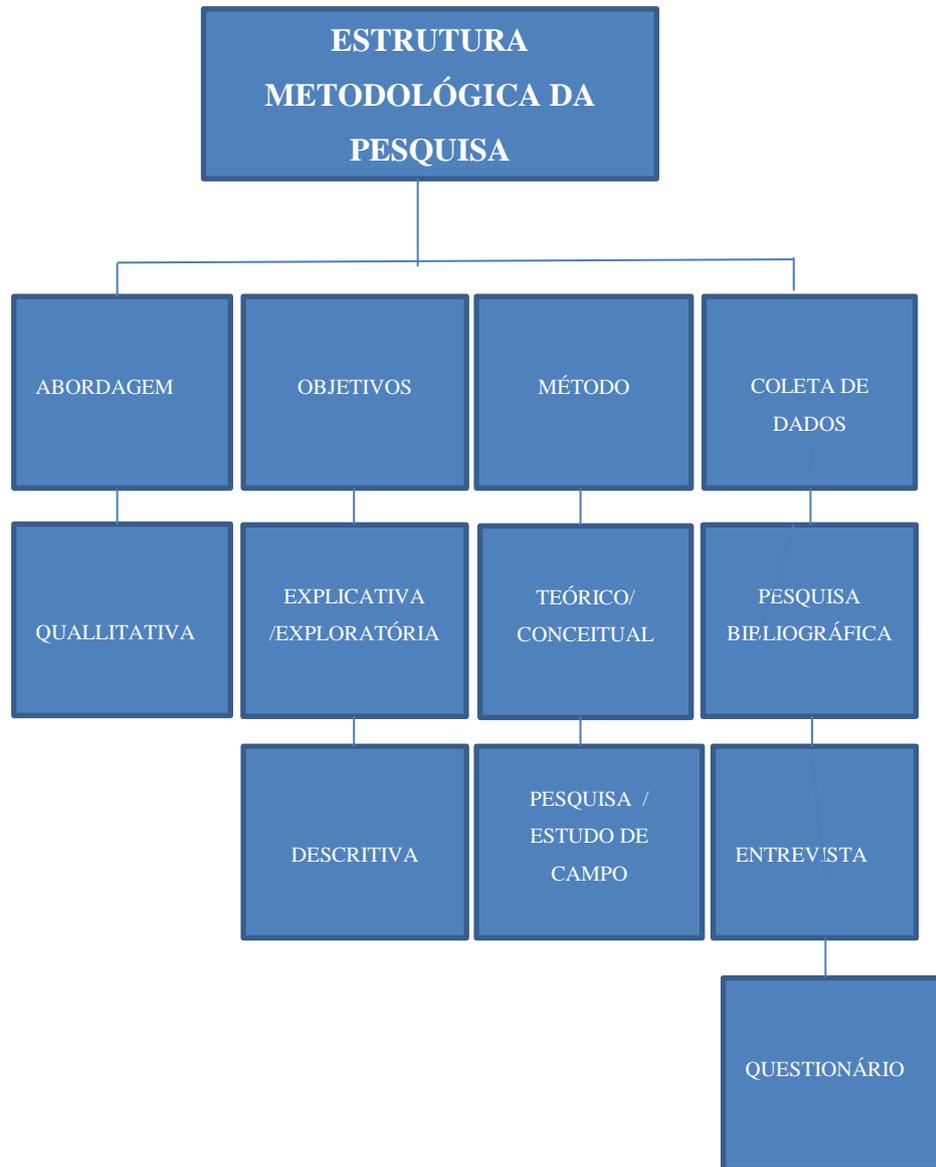
Fonte: Autor.

Após a primeira fase da pesquisa, usando a palavra-chave “Civil Construction” resultou em 12.138 artigos, na segunda, utilizando-se “Industry 4.0”, obteve-se 1.176 artigos, e a seguir na terceira fase utilizando-se a string de busca: “Civil Construction” AND “Industry 4.0”, foram encontrados 103 artigos. Um quarto refinamento foi realizado, usando a string de busca: “Civil Construction” AND “Industry 4.0” AND (“workplace safety” OR safety), porém considerou-se o resultado de 12 artigos baixo para esta pesquisa, retornando-se para a análise dos 103 artigos da terceira fase.

Excluídos os artigos duplicados nestas bases de dados, atingiu-se 87 artigos, que tiveram seus resumos lidos, sendo selecionados 42 artigos, que foram então lidos integralmente. Desta análise selecionou-se 12 artigos que serviram de base para este trabalho.

Em resumo, a metodologia se deu essencialmente através da pesquisa, armazenamento, processamento e análise de dados bibliográficos, trazendo para este trabalho um detalhamento de tecnologias existentes e também de estudos prospectivos de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas ou concebidas. A partir disso, serão apresentados os resultados encontrados e então analisados. A Estrutura Metodológica da pesquisa compreende da seguinte maneira: Abordagem (Qualitativa), Objetivos (Explicativa/Explanatória e Descritiva), Método (Teórico/Conceitual e Levantamento de Campo “Survey”) e Coleta de Dados (Pesquisa Bibliográfica, Entrevista e Questionário), conforme Figura 27.

Figura 27: Estrutura Metodológica.



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados da pesquisa.

3.1 A COLETA DE DADOS

Em um primeiro momento foi feito uma pesquisa de campo com especialistas da construção civil, segurança do trabalho e indústria 4.0 que trabalham em empresas privadas e públicas, consultores e em universidades públicas e privadas. Outros especialistas da

construção civil, segurança do trabalho e indústria foram solicitados a participar da pesquisa, mas até o momento não houve resposta.

Foram utilizadas questões de múltipla escolha, identificando os requisitos de maior importância dos conceitos / Tecnologias da Indústria 4.0 para melhoria da segurança do trabalho na construção civil, e, um segundo questionário em escala Likert de 5 pontos, com o intuito de avaliar e mensurar a viabilidade destes conceitos / Tecnologias da Indústria.4.0 para melhoria da segurança do trabalho na construção civil na empresa pesquisada.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Para poder alcançar os objetivos propostos por este trabalho, realizou-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica para se estabelecer as lacunas de pesquisa e os pressupostos teóricos considerados nesta dissertação, seguindo as recomendações de Marconi e Lakatos (2010).

Em uma segunda etapa, realizou-se uma pesquisa de campo com oito (8) especialistas do segmento em questão da Indústria da construção civil (foram adotadas essas empresas devido aos critérios adotados para a pesquisa), com aplicações de dois questionários com questões de fechadas sendo o primeiro para identificar as formas de seleção utilizadas atualmente nos conceitos da Indústria.4.0 aplicados para melhoria da segurança do trabalho na construção civil, e um segundo questionário em escala Likert de 5 pontos, a fim de avaliar e direcionar a pesquisa, para análise viabilidade para segurança do trabalho na construção civil.

3.2.1 Caracterização dos respondentes

As informações sobre as empresas / respondentes pesquisados serão obtidas durante os estudos de campo pelo pesquisador.

Foram entrevistados oito especialistas, sendo 25% especializados em segurança do trabalho (entrevistados A e H), 50% especializados em construção civil (entrevistados B, C, D e E) e 25% especializados em indústria 4.0 (F e G). Os especialistas em segurança do trabalho e em construção civil informaram conhecer a indústria 4.0, de forma que a entrevista pode ser feita. Com relação à experiência dos entrevistados, apenas 1 tinha um ano de experiência na função como especialista na construção civil, sendo que os demais tinham no mínimo 5 anos de experiência de função como especialista. Neste havia 2 especialistas na construção civil com 37 e 48 anos de experiência na função.

Os entrevistados A, B e H são da região do Paraná com cerca de 37,5% (totalizando 3 destes 8) e os entrevistados C, D, E, F e G trabalham na região de São Paulo cerca de 62,5% (totalizando 5 entrevistados destes 8).

Os entrevistados B e C trabalham empresa pública compondo 25% dos entrevistados e os entrevistados A, D, E, F, G e H trabalham com empresa privada 75% dos entrevistados.

Os entrevistados A, E, F, G e H trabalham em empresas de porte pequeno com cerca de 62,5% e os entrevistados B, C e D trabalham em empresas de médio porte com cerca de 37,5%. Em relação ao de fundação o ano da empresa onde os especialistas trabalhavam, houve grande variação desde 1967 a mais antiga e a mais recente de 2020, conforme o apresentado o Quadro 7 abaixo.

Quadro 7: Caracterização da pesquisas com os entrevistados.

RESULTADOS DA PESQUISA							
ENTREVISTADO	FORMAÇÃO	TEMPO DE ATUAÇÃO	FUNÇÃO	ESTRUTURA DA EMPRESA	EMPRESA (Natureza)	SETOR DE ATIVIDADE	ANO (Fundação)
A	ENGENHEIRO DE SEGURANÇA DO TRABALHO (ESPECIALISTA)	24 ANOS	GERENTE FUNDADOR	PORTE PEQUENO (PR)	PRIVADA	SEGURANÇA DO TRABALHO E CONSTRUÇÃO CIVIL	2017
B	ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA)	6 ANOS	PLANEJAMENTO	PORTE MÉDIO (PR)	PÚBLICA	FISCALIZAÇÃO DE OBRA, PROJETOS, LICITAÇÃO, ORÇAMENTO, ALVARÁ, HABITE-SE	1967
C	ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA MESTRE)	37 ANOS	ANALISTA DE PROJETOS, FISCAL DE OBRAS E PROFESSOR UNIVERSITÁRIO (INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO)	PORTE MÉDIO (SP)	PÚBLICA	GERENCIAMENTO DE OBRAS	2009
D	ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA EMPREENDEDORISMO E INOVAÇÃO TECNOLOGIA NAS ENGENHARIAS)	7 ANOS	ANALISTA DE ORÇAMENTO	PORTE MÉDIO (SP)	PRIVADA	CONSTRUÇÃO CIVIL	1997
E	ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA)	1 ANO	DIRETOR	PORTE PEQUENO (SP)	PRIVADA	PROJETOS, ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL	2020
F	ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA INDÚSTRIA 4.0 DOUTOR)	48 ANOS	CONSULTOR OBRAS E PROFESSOR UNIVERSITÁRIO (UNIP)	PORTE PEQUENO (SP)	PRIVADA	CONSULTORIA (PROJETOS, PLANEJAMENTO, GESTÃO) E EDUCAÇÃO	1971
G	ARQUITETO/ ENGENHEIRO CIVIL (ESPECIALISTA INDÚSTRIA 4.0 DOUTOR)	20 ANOS	CONSULTOR OBRAS E PROFESSOR UNIVERSITÁRIO (UNIP)	PORTE PEQUENO (SP)	PRIVADA	CONSULTORIA (PROJETOS, PLANEJAMENTO, GESTÃO) E EDUCAÇÃO	2017
H	ENGENHEIRO DE SEGURANÇA DO TRABALHO (ESPECIALISTA /MESTRE)	14 ANOS	GERENTE TÉCNICO	PORTE PEQUENO (PR)	PRIVADA	CONSULTORIA EM SEGURANÇA DO TRABALHO	2009

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Protocolo para a entrevista

Para a realização da entrevista, foi construído um protocolo, como instrumento regulador e orientador da condução desta estratégia de pesquisa, conforme Martins e Theóphilo (2009). Foi solicitado o preenchimento do questionário em escala Likert, e adicionalmente colheu-se a opinião de cada entrevistado, sobre cada item da escala Likert, de forma a possibilitar checar se os valores atribuídos por cada entrevistado.

O questionário encontra-se no Apêndice 1, porém o protocolo encontra-se abaixo.

a) Procedimentos Iniciais:
Contato inicial:
Agendamento Inicial da visita de campo: dia / /
Objetivo: Agendamento de entrevista em empresa da construção civil, para dissertação de Mestrado sobre “TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS PARA MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL”.
Nome do entrevistado:
Verificação dos procedimentos para coletas dos dados:
<ol style="list-style-type: none"> 1) Autorização para gravação da entrevista; 2) Permissão para visitar a empresa logo após a entrevista, ou data futura 3) Coleta de materiais (folders, publicitário, informações gerais).
b) Questões para o questionário
A segunda parte do questionário, foi constituída por um conjunto de questões que refletem as proposições constituídas por meio da revisão teórica sobre as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil, que foram utilizados como fonte de orientação pelo pesquisador. (Vide Apêndice 1). Obs: “Foi elaborado um pré-teste para o Apêndice 1 feito com dois especialistas em Indústria 4.0 que tem trabalhos publicados em Congresso Internacional.”

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentada a análise da pesquisa / estudo de campo (especialistas da construção civil, segurança do trabalho e indústria 4.0 que trabalham em empresas privadas e públicas, consultores e em universidades públicas e privadas) e aos critérios adotados com relação às tecnologias da indústria 4.0 aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil encontrados em variadas fontes, como literatura científica, revistas especializadas e sites de empresas especializadas. O objetivo é avaliar a aplicabilidade / utilização destas tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 construção civil no Brasil.

Foi atribuído para cada respostas, com base no padrão na escala Likert, os valores abaixo conforme o quadro 8.

Quadro 8: Escala Likert – Notas atribuídas.

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO	
RESPOSTA	NOTA
Discordo totalmente	1
Discordo	2
Nem discordo /Nem concordo	3
Concordo	4
Concordo Totalmente	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Coefficiente de Variação (CV) é uma medida importante e amplamente usada de dispersão, empregada para comparar a variabilidade relativa de duas ou mais populações (GOWEN, 1920; Al-JARALLAH & ALY 2014; SCHIANO-LOMORIELLO et al. 2020).

O Coeficiente de variação (CV) é dado pela seguinte fórmula:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}$$

Sendo S = desvio padrão amostral e \bar{x} = média (dos valores da escala Likert de cada resposta do entrevistado referente a cada tecnologia habilitadora adota para o questionário).

Foi adotado como metodologia a análise da média e do Coeficiente de Variação (CV), conforme Contador, Sátyro, Contador e Spinola (2020), utilizando o seguinte nível de concordância conforme quadro 9:

Quadro 9: Coeficiente de Variação (CV) – Nível de dispersão.

$CV \leq 25\%$	baixa dispersão (alta concordância entre os entrevistados)
$25\% < CV \leq 50\%$	dispersão mediana (concordância mediana entre os respondentes)
$CV > 50\%$	alta dispersão (baixa concordância entre os entrevistados)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 10 abaixo mostra resultados das pesquisas com os entrevistados aos especialistas em termos de classificação em relação às tecnologias mais importantes respondidas aos entrevistados que possibilita a melhoria da segurança do trabalho na construção civil.

Quadro 10: Resultados das pesquisas com os entrevistados em termo de classificação.

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO				
ENTREVISTADOS (A,B,C,D,E,F,G,H)	Somatória	Média (M)	Desvio padrão da amostra (S)	Coefficiente de Variação (CV)
1)A tecnologia da impressora 3D melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	40	5	0	0%
1)A tecnologia do drone melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	40	5	0	0%
2)A tecnologia da realidade aumentada melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	38	4,7	0,4	10%
2)A tecnologia dos sensores vestíveis melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	38	4,7	0,4	10%
3)A tecnologia do colete de segurança com sensores melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	38	4,7	0,7	15%
4)A tecnologia da realidade virtual melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	37	4,6	0,7	16%
5)A tecnologia do exoesqueleto biônico melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	36	4,5	0,7	17%
6)A tecnologia BIM melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	36	4,5	0,9	21%
6)A tecnologia do RFID (identificação por rádio frequência) melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	36	4,5	0,9	21%
6)A tecnologia do capacete com sensores	36	4,5	0,9	21%

melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?				
6)A tecnologia dos capacetes inteligentes melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	36	4,5	0,9	21%
7)A tecnologia da internet das coisas (IoT) melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	35	4,3	0,9	21%
8)A tecnologia caminhão betoneira melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	32	4	1,1	38%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado das entrevistas aos especialistas, temos a seguinte classificação:

1º) Impressora 3D e drone, que teve a média máxima = 5 e com convergência unânime de opiniões (CV = 0%).

1.1) Impressão 3D

Isto é corroborado como se podem ver abaixo todos entrevistados A, B, C, D, E, F, G, H tiveram opinião sobre a relevância desta tecnologia.

Entrevistado B: **“ Sim. Com o aumento do uso, a tecnologia tende a ter o seu custo reduzido, sendo mais atrativo, assim poderíamos explorar todo o seu potencial. Construções mais controladas e menos acidentes”**.

Entrevistado D: **“Sim, esta tecnologia soluciona muitos problemas e pode evitar atrasos. Oferece inúmeras possibilidades inclui a criação de peças específicas até prédios inteiros e casas, possibilita que profissional da área faça muito mais com menos tempo, com uma maior qualidade proporciona a diminuição em gastos com mão-de-obra e segurança, assim permitindo uns menores índices de falhas e desperdício”**.

1.2) Drone

Os entrevistados A, B, C, D, E, F, G, H ratificaram opinião convergente sobre esta tecnologia.

Entrevistado D: **“Sim, conseguimos visualizar os serviços onde não podemos alcançar. Possibilita fazer mapeamento de lotes e construções, fazer inspeções em fachadas, podemos acompanhar melhor o controle de materiais, fazer transporte de equipamentos, monitorar os serviços a serem executados e auxiliares para fazer laudos para perícias”**.

Entrevistado F: **“A utilização de drone na construção civil já é uma prática que está ocorrendo na construção brasileira e mundial em muitos nas grandes construtoras**

conseguem rastrear o trabalhador dentro do canteiro de obras e verificar a execução correta da tarefa. Esses softwares registram as informações e compartilham com a equipe de engenheiros de obras``.

2º) Realidade Aumentada e sensores vestíveis, que teve a média máxima = 4,7 e CV = 10%.

2.1) Realidade aumentada

Os entrevistados A, B, D, F, G, H salientam como destaque opinião convergente sobre estas tecnologias.

Entrevistado A: **“A realidade aumentada tem sua importância também na interatividade com o usuário, possibilitando que ele visualize de forma real e interativa como ficará o projeto. Essa tecnologia é mais do que um método de escaneamento melhor, a captura de realidade representa um novo padrão de análise e planejamento para projetos de construção. Ela pode impactar a cadeia de construção de várias formas importantes, como: *as built*, monitoramento estrutural, nos levantamentos topográficos, treinamento de funcionários, na investigação de acidentes e desastres naturais``.**

Entrevistado B: **“Sim. Tem que ganhar escala, para ser mais acessível e se tornar viável. Certamente evitaria muitos acidentes``.**

2.2) Sensores vestíveis

Os entrevistados B, C, D, E, F, G reconhecem validando estas tecnologias.

Entrevistado E: **“Sim, acredito que podem ser utilizados como elementos de segurança e poderão oferecer maior conforto aos trabalhadores, pois saberão que os sensores irão auxiliar a garantir a segurança nas atividades. Além disso, é uma tecnologia que pode ser facilmente exequível se tiver um bom investimento``.**

Entrevistado F: **“A utilização de sensores vestíveis é bastante importante principalmente no aspecto de segurança do trabalho e solução de produtividade dentro da obra. Permite aos gestores mapear a localização no canteiro e mensurar, em tempo real, o grau de fadiga dos trabalhadores``.**

Atuando como um meio de comunicação, o sensor pode, ainda, detectar vazamentos de gás, enviar pedidos de ajuda e emitir sinal de evacuação em caso de emergência assim como sinais de alerta se o trabalhador está cansado e com sono``.

3º) Colete de segurança, que teve a média máxima = 4,7 e CV=15%.

3.1) Colete de segurança

Os entrevistados A, B, C, D, E, F, G relevância opinião convergente sobre estas tecnologias.

Entrevistado C: **“Sim. Possibilita a verificação da localização dos empregados possibilitando melhor alocação dos recursos humanos na obra”**.

Entrevistado E: **“Sim, a tecnologia GPS se integrada com sensores em outros locais na obra, poderá auxiliar as pessoas se posicionarem na obra, evitando possíveis acidentes relacionados à movimentação de trabalhadores, veículos e equipamentos”**.

4º) Realidade virtual, que teve a média máxima = 4,6 e CV=16%.

4.1) Realidade virtual

Os entrevistados A, D, E, F, G, H legitimam opinião a importância destas tecnologias.

Entrevistado A: **“Sim. Sendo esta uma ferramenta que auxilia muito na visualização geral e o mais próximo da realidade possível, podendo o funcionário adiantar-se em seu “próximo passo”. O Sistema de realidade virtual pode proporcionar aos engenheiros a visualização por completa dos eixos de rotação e translação, o que facilita a identificação de problemas em uma obra. Ela pode ser utilizada desde o planejamento da obra até o gerenciamento da construção e a apresentação para o cliente”**.

Entrevistado H: **“Totalmente viável, otimizando a obra, pré-visualizações, possíveis alterações. Excelente!”**.

5º) Exoesqueleto biônico, que teve a média máxima = 4,5 e CV=17%.

5.1) Exoesqueleto biônico

Os entrevistados A, D, E, F, G, H realçaram opinião convergente sobre estas tecnologias.

Entrevistado E: **“Sim, sabemos que dentro do ambiente da obra há diversos equipamentos e materiais pesados, que dependo da forma que são movimentados podem acabar lesionando o trabalhador, desta forma um Exoesqueleto biônico poderá auxiliar na postura e movimentação”**.

Entrevistado G: **“A utilização do exoesqueleto biônico na construção civil é bastante viável principalmente ao garantir que o conforto, saúde e segurança do trabalhador em auxiliar nas tarefas desgastantes e na atividade de pegar cargas pesadas e no seu manuseio dentro do canteiro de obra além de possibilitar uma maior produtividade do trabalhador”**.

6º) BIM, RFID, capacete com sensores e capacetes inteligentes que teve a média máxima = 4,5 e CV=21%.

6.1) BIM

Os entrevistados B, C, D, F, H realçaram com opinião convergente estas tecnologias.

Entrevistado C: **“Sim. Facilita a compreensão e o acompanhamento de todo o processo quase que em tempo real”**.

Entrevistado G: **“O BIM é uma plataforma para processo e gerenciamento do canteiro de obras portanto só a utilização dele será viável se na implantação a empresa pense neste aspecto. Um dos grandes problemas dentro do canteiro de obras é a falta de coordenação na hierarquia pois por causa da terceirização dos serviços dentro da obra, problemas com compatibilização nas diversas áreas, mão de obra qualificada e uso de EPI neste aspecto ajudaria muito sua aplicação. (O BIM terá sua aplicação com maior ênfase se houver uma interação entre o processo e planejamento)”**.

Embora o entrevistado G tenha concordado como a utilização do BIM ser viável foi enfática em dizer o seu será benéfico se a empresa tiver um processo e bom planejamento para toda a cadeia.

6.2) RFID

Os entrevistados B, D, E, F, G, H detiveram opinião convergente sobre estas tecnologias.

Entrevistado B: **“Sim, algo extremamente útil para mapear todos os itens do canteiro de obras, bem como na indústria da construção civil. Certamente que seu emprego em larga escala facilitaria e muito esta área”**.

Entrevistado D: **“Sim. Tudo que pode melhorar, otimizar e trazer segurança para os trabalhadores é sempre bem-vinda. Para a construção civil, o RFID está a ser implementada com sucesso no controlo de acessos, sistemas de aviso de proximidade, para o rastreamento de materiais, no controle da produção, no seu armazenamento e na sua localização de materiais e assim como na manutenção de edifícios, proporcionando grandes benefícios, como, melhor organização da obra, assim como no controle em tempo real dos processos e materiais que gera uma grande diminuição dos acidentes de trabalho na obra”**.

6.3) Capacete com sensores

Os entrevistados A, C, D, F, G tiveram opinião convergente sobre esta tecnologia.

Entrevistado A: **“ Sim. Diminuição de acidentes de trabalho, controle e verificação dos sinais vitais dos empregados”**.

Entrevistado F: **“A utilização do capacete com sensor é bastante viável na construção civil como maior obtenção ganhos para evitar acidentes com**

acompanhamento real dos trabalhadores com informações de tudo que está acontecendo com ele, além proporciona maior produtividade aos serviços realizados pelo trabalhador`.

6.4) Capacete inteligentes

Os entrevistados A, C, D, E, F, G tiveram opinião convergente sobre esta tecnologia.

Entrevistado C: **“Sim. Possibilita melhor organização da obra, verificação da situação da obra e acompanhamento em tempo real da obra”.**

Entrevistado E: **“Sim, o capacete inteligente poderá auxiliar ao usuário uma experiência nova, proporcionando uma nova visão de alguns elementos na obra, ou se alguma forma trazer ao campo de visão materiais, veículos e equipamentos que poderiam passar despercebido pelo mesmo”.**

7º) Internet das coisas (IoT), que tiveram a média máxima 4.3 e CV=21%.

7.1) Internet das coisas (IoT)

Os entrevistados B, C, D, F, G elucidaram opinião relevante convergente sobre estas tecnologias.

Entrevistado D: **“A utilização da IoT na construção civil permite que os equipamentos integrados em rede como objetivo de relatar, alterar e monitorar o ambiente no canteiro de obras. Sua aplicação nos canteiros de obras é bastante ampla, uma vez que novas soluções são criadas a cada dia. Outras tecnologias que estão relacionadas à IoT, como a Inteligência Artificial para tomar decisões, que prever os riscos, com base em dados compilados, a realidade virtual e a realidade aumentada podem ser usadas para interagir com a obra, que pode visualizar as quais serão as fases futuras de uma obra, assim evitando então falhas no processo e também os drones que podem realizar o monitoramento do andamento das obras”.**

Entrevistado G: **“O uso da internet das coisas é muito viável para construção civil pode facilitar até mesmo o monitoramento dos EPI's assim como controlar as condições físicas dos colaboradores, podendo otimizar sua produtividade, possibilita por meio dos sensores integrar materiais de construção, monitorar o desempenho de um material quanto à sua resistência (como exemplo) monitorar a carga sobre uma planta em tempo real e contínuo, o canteiro de obras, condições físicas dos colaboradores, otimizando sua produtividade e os equipamentos utilizados dentro do canteiro de obras. Entre outras tecnologias que são relacionadas à IoT, podemos citar a utilização da inteligência artificial para tomar decisões, podendo antever riscos, com base em dados compilados, realidade virtual e a realidade aumentada podendo interagir com a obra, visualizar as**

fases futuras da obra, evitando então falhas no processo assim com os drones realizando o monitoramento do andamento de obras``.

8º) Caminhão betoneira, que teve a média máxima 4 e CV=38%.

8.1) Caminhão betoneira

Os entrevistados B, C, D, F, H tiveram opinião convergente mediana sobre estas tecnologias.

Entrevistado C: **“Sim. Facilita o acompanhamento do caminhão em tempo real``.**

Entrevistado F: **“A utilização do caminhão betoneira conectado pode contribuir bastante para o controle do concreto, tempo de entrega, a hora que chega (monitoramento) e para ensaios com maior qualidade``.**

O entrevistado A foi o único que teve opinião discordante quanto a esta tecnologia melhorar a segurança do trabalho na construção civil.

Entrevistado A: **“Com o avanço atual da construção civil, onde se pode comprar concretos e argamassas pré-fabricados e nas especificações indicadas em projeto, NÃO vejo de muita valia esse equipamento diretamente “conectado” à construção civil. Além do custo para sua implantação em que a maioria das empresas fabricantes de concreto não tem interesse em investir mesmo sabendo que com essa tecnologia é possível estimar o horário preciso de chegada da betoneira, possibilitando otimizar os processos e reduzindo as perdas``.**

5 CONCLUSÕES

O objetivo geral do presente trabalho foi analisar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, podem ser aplicadas para melhoria da segurança do trabalho na construção civil.

A indústria da construção civil é um dos setores com maiores índices de acidentes de trabalho. Desta de maneira impactam diretamente as atividades da obra, assim como, interferem com a qualidade de vida dos trabalhadores que se expõem a riscos desnecessários por falta de orientação e conhecimento, ou até mesmo pela omissão dos responsáveis pela execução e fiscalização da obra.

É importante salientar que as condições expostas aos trabalhadores da construção civil, tais como, riscos de queda, barulho, calor excessivo, esforço repetitivos, falta de equipamentos de proteção e segurança (EPIs) e imprudência durante o trabalho, além do desconhecimento da norma e dos regulamentos, que deveriam ser seguidos pelo profissional, podem ocasionar acidentes graves de trabalho. Tipos de acidente que mais resultam em fatalidades nas obras da construção civil, podem decorrer de diversas causas, como: as condições físicas dos trabalhadores (cansaço, sonolência, dores no corpo e outros), local de trabalho bem desorganizado, falta de Equipamento Proteção Individuais (EPIs) ou uso inadequado, falta de Sinalização de Segurança adequada no ambiente de trabalho nas obras e poucas medidas para proteção coletiva.

A literatura cita a forte resistência à introdução de novas técnicas e aplicações na indústria da construção civil, principalmente por ser uma indústria muito tradicional.

Para atender ao objetivo geral, buscou-se por meio de revisão da literatura acadêmica e especializada, tecnologias da Indústria 4.0 que pudessem ser adotadas, estavam sendo propostas, e/ou recentemente adotadas por empresas inovadoras, para melhoria da segurança do trabalho na construção civil.

A pesquisa adota para este trabalho foi a pesquisa / estudo de campo, que se caracteriza pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer (GIL, 2008).

Como contribuição teórica desta pesquisa, identificou-se as principais tecnologias habilitadoras selecionadas com respeito à segurança do trabalho, sendo:

1º) Impressora 3D e drone;

2º) Realidade Aumentada e sensores vestíveis;

- 3º) Colete de segurança;
- 4º) Realidade virtual;
- 5º) Exoesqueleto biônico;
- 6º) BIM, RFID, capacete com sensores e capacetes inteligentes;
- 7º) Internet das coisas (IoT);
- 8º) Caminhão betoneira.

A contribuição prática se dá que estas tecnologias da Indústria 4.0 podem ser usadas para uma melhor gestão de operação na construção civil com potencial de maximizar a segurança do trabalho, mitigando os acidentes de trabalho.

Como contribuição social, esta pesquisa buscou identificar tecnologias da Indústria 4.0, que pudessem ajudar o trabalho na construção civil a ser realizado em condições mais seguras, contribuindo para a preservação da vida.

Como limitação, tem-se que o reduzido número de entrevistados, oito, não permite generalizações das aplicações destas tecnologias, contudo apontam uma direção neste sentido.

Como sugestão para realização de estudos futuros, sugere-se a ampliação do número de entrevistado, bem como da pesquisa em regiões geográficas diferentes para pode ser fazer comparações com os resultados deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABAURRE, M. W. **Modelos de contrato colaborativo e projeto integrado para modelagem da informação da construção**. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ABARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S., & SRIDLHAR, M. **Imagining construction's digital future**. 2016. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/ourinsights/imagining-constructions-digital-future>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

ABOLGHASEMZADEH, P. A comprehensive method for environmentally sensitive and behavioral microscopic egress analysis in case of fire in buildings, **Safety Science**, 59, 1-9, 2013.

ACATECH. **National Academy of Science and Engineering**. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Working Group, Germanz, 2013.

ADÁN, A.; PRADO, T.; PRIETO, S.A. AND QUINTANA, B. Fusion of thermal imagery and LiDAR data for generating TBIM models. In Proceedings of the 16th IEEE sensors conference, **IEEE**, 1-3, 2017.

AEAT. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**. Disponível em: <<https://basedosdados.org/dataset/anuario-estatistico-de-acidentes-do-trabalho-aeat>>. Acesso em: 18 out. 2020.

AHANKOB, A. *et al.* Optimizing Construction Scheduling Through Use of Building Information Modeling in Construction Industry. **In: MANAGEMENT IN CONSTRUCTION RESEARCH ASSOCIATION**, 2012, Malaysia. Proceedings [...]. Malaysia: University Technology Malaysia, p. 166-171. 2012.

AIRES, R. W. do A.; MOREIRA, F.K.; FREIRE, P. de S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. In: **SEMINÁRIO UNIVERSIDADES CORPORATIVAS E ESCOLAS DE GOVERNO**, I. 2017, Florianópolis, SC.

AIZA ENGENHARIA. **Sensores vestíveis na Construção Civil**. Disponível em: <<https://aiza.com.br/sensores-vestiveis-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 18 out. 2020.

ALBERTINI, A. L.; ALBERTINI, R. M. M. A Internet das Coisas Irá Muito Além das Coisas. **GVEXECUTIVO**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.12-17, abr. 2017.

AL-JARALLAH, R.; & ALY, E.-E. A. A. Nonparametric tests for comparing several coefficients of variation. (2014). **Communications in Statistics—Theory and Methods**, 43(17), 3602–3613.

AMORIM, S. R. L. **Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos**. 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

ANDERL, R. *Industrie 4.0 – technological approaches, use cases, and implementation. **Automatisierungstechnik***, p. 1-2, 2015.

An S., Martinez P., Al-Hussein M.; Ahmad R. **BIM-based decision support system for automated manufacturability check of wood frame assemblies**. *Automation in Construction* (2020). Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0.085075236204&doi=10.3390%2fapp9224728&partnerID=40&md5=c1257c97230e26741696be5d1d0f4795>. Acesso em: 21 fev. 2020.

ARASZKIEWICZ, K. Digital technologies in facility management – the state of practice and research challenges. **Procedia Engineering**, 196, 1034-1042, 2017.

ARIPIN, I. D. M.; ZAWAWI, E. M. A.; ZULHABRI, I. Factors influencing the implementation of technologies behind industry 4.0 in the Malaysian construction industry. **In MATEC Web of Conferences**, Vol. 266, EDP Sciences, 1-6, 2019.

ARNAL, IGNASI PÉREZ. **Why don't we start at the beginning?** The Basics of a Project: Lean Planning and Pre-Construction, BIM News Last trends of the AECO sector, BIM Community, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO. **Construção civil esta entre os setores com maior risco de trabalho**. < <https://anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>> Acesso em: 10 mar. 2021.

BALAGUER, C.; ABDERRAHIM, M. Trends in Robotics and Automation in Construction, p.1-22. In: BALAGUER, C.; ABDERRAHIM, M. **Robotics and Automation in Construction, Europe Union: InTech**, 2008.

BARROS, A. J. da S.; LEHFELD, N. A. de S. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BELGO BEKAERT. **Drones na construção civil entende mais sobre essa prática**. Disponível em: < <https://blog.belgobekaert.com.br/drones-na-construcao-civil-entenda-mais-sobre-essa-pratica/>> Acesso em: 21 fev. 2020.

BERNARDES, M. M. S.; **Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil**. 1 ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

BITKOM; VDMA; ZVI. **Implementation strategy industrie 4.0**: report on the results of the industrie 4.0 platform. Frankfurt, Alemanha, 2016.

BOSTON CONSULTING GROUP. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. BCG Perspectives, 2015. Disponível em: < https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_in_dustry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/> Acesso em 13 maio 2019.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Normas regulamentadoras. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normasregulamentadoras>.> Acessado em 15 dez. 2018.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How Virtualization , Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Information and Communication Engineering**, v.8, n.1, p. 37–44, 2014.

BRIDI, M. E. *et.al*. Identificação de práticas de gestão da segurança e saúde no trabalho em obras de construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 43-58, 2013. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/38495/27144>.> Acesso em 02 mar. 2021.

BRITO, D. M.; & FERREIRA, E. A. M. **Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 203-223, out./dez. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000400047>.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Unwin Hyman, 1989.

BRUSIUS, C. K. **A influência do turismo na expansão da construção civil no município de Garopaba**. 2010. 71f. Monografia (Curso de Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BURGESS, G., JONES, M., MUIR, K. BIM in the UK house building industry: opportunities and barriers to adoption. **University of Cambridge, Cambridge Centre for Housing & Planning Research**, 2018.

BUSWELL, R.; SOAR, R.; GIBB, A. *et al*. **Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for Construction**, 2007.

CANALTECH. **Hyundai apresenta exoesqueleto comparado a armadura do Homem de Ferro**. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/robotica/hyundai-apresenta-exoesqueleto-comparado-a-armadura-homem-de-ferro-66011/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

CARVALHO, D. **Acidentes na Construção Civil – uma Infeliz Realidade do Setor**, 2017. Disponível em: <<https://sienge.com.br/blog/acidentes-na-construcao-civil>>. Acesso em 20 out. 2020.

CASACLAUDIA. **Este capacete revolucionará o modo como arquitetos comandam obras**. Disponível em: <<https://casaclaudia.abril.com.br/arquitetura/este-capacete-revolucionara-o-modo-como-arquitetos-comandam-obras/>>. Acesso em 20 out. 2020.

CASTRO-LACOUTURE, D.; QUAN, S.J. and YANG, P.P.-J. GIS-BIM Framework for integrating urban systems, waste stream and algal cultivation in residential construction. In **Proceedings of the 31st international symposium on automation and robotics in construction and mining, Sydney: University of Technology**, p.576-583, 2014.

CASSAPO, Felipe. Indústria 4.0 – **Indústria em Revista** – Abr a Jun/2016 | Ano III n° 10, p. 14 – 20).

CBIC. **Cbic Hoje: Indústria 4.0 e o futuro da construção são discutidos em reunião da Comat/CBIC**. 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/06/CBIC-HOJE-14.06.2018-1.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, p. 61, 2007.

CHENG, J.C.P.; MA, L.Y.H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, 33(6), 1539-1551, 2013.

CHIAVENATO, I. **Gestão de Pessoas**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010.

CHIAVENATO, I. **Recursos humanos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CHOWDHURVY, T.; ADAFIN, J.; WIKINSON, S. Review of digital technologies to improve productivity of New Zealand construction industry. **Journal of Information Technology in Construction**, 24, 569-58, 2019.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. **Novas tecnologias aplicadas a segurança do trabalho nos canteiros de obra**. Disponível em <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/03/27/novas-tecnologias-aplicadas-a-seguranca-do-trabalho-nos-canteiros-de-obra/>> Acesso em 07 abr. 2020.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. **Uso da Internet das Coisas (IoT) para Construção Civil**. Disponível em <civilizacaoengenharia.wordpress.com/2019/02/18/uso-da-internet-das-coisas-para-a-construcao-civil/> Acesso em 07 abr. 2020.

ÇIDIK, M.S., BOYD, D. AND THURAIRAJAH, N. Ordering in disguise: digital integration in built environment practices. **Building Research & Information**, 45(6), 665-680, 2017.

COLOMBO, C. B. **O acidente do trabalho e a responsabilidade civil do empregador**. 2009. 84f. Monografia (Curso de Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

COMPACTOENGENHARIA. **A internet das coisas na construção civil**. Disponível em <<http://www.compactoengenharia.com.br/a-internet-das-coisas-na-construcao-civil/>> Acesso em 07 abr. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-nobrasil/#>> Acesso em 07 out 2019.

CONTADOR, J.C., SATYRO, W.C., CONTADOR, J.L. SPINOLA, M.M. Flexibility in the Brazilian Industry 4.0: Challenges and Opportunities. **Global Journal of Flexible Systems Management** 21, 15–31 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40171-020-00240-y>.

CONSTRUCT. **Normas regulamentadoras da construção civil**. Disponível em: < <https://constructapp.io/pt/normas-regulamentadoras-da-construcao-civil/> > Acesso em 07 mar 2020.

CNI. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016a.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0**. – Brasília: CNI, 2017.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria**. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br> > Acesso em: 20 out 2020.

COSTIN, A., M.; TEIZER, J.; SCHONER, B. RFID and bim-enabled worker location tracking to support real-time building protocol control and data visualization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 20, p. 495-517. 2015.

CONTOUR CRAFTING. **Building Construction**. Disponível em: < <https://www.contourcrafting.com/building-construction> > Acesso em: 31 mar. 2020.

COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. **Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions**. *Annals of Internal Medicine*, v.126, n.5, pp.376-380, 1997.

COTEAQUI. **PwC Global**. Disponível em <: http://blog.coteaqui.com.br/industria-4-0-e-a-construcao-civil/_>_. Acesso em: 20 out. 2020.

DALLASEGA, P., RAUCH, E. and LINER, C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, v. 99, pp.205-225, 2018.

DANJOU, C.; BLED, A.; COUSIN, N., ROLAND, T.; PERRIER, N., BOURGAULT, M., PELLERIN, R. Industry 4.0 in construction site logistics: a comparative analysis of research and practice. **The Journal of Modern Project Management**, v. 7, n. 4, 2020.

DAVIES, H.T.O.; CROMBIE, I.K. **What is a Systematic Review?** Haywards Medical Communication (HMC). Serie: What is Health Economics? v.1, n.5, p.1-2. 2003. Disponível em: < <http://www.evidence-basedmedicine.co.uk/ebmfiles/WhatisSystreview.pdf> >. Acesso em: 12 jul. 2019.

DE GROOTE, M.; LEFEVER, M. **Driving transformational change in the construction value chain**. Belgium: Buildings Performance Institute Europe, 2016.

DROST, W.; HEYNER, T. **Industrie 4.0** – Deutschland als Vorreiter der digitalisierten Vernetzung von Produkten und Produktionsprozessen. Politische Handlungsempfehlungen, 2015.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

EDIRISINGHE, R. **Digital skin of the construction site: smart sensor technologies towards the future smart construction site**, Engineering, Construction and Architectural Management, v. 26, n. 2, p.184-223, 2019.

EDUCABRAS. **"Segunda Revolução Industrial e o Neocolonialismo"**, 2016. Disponível em:
<https://www.educabras.com/ensina_medio/materia/historia/historia_geral/aulas/aulas/seguida_revolucao_industrial_e_neocolonialismo>. Acesso em: 16 jul.2020.

EL-REEDY, M. **Construction management for industrial projects**. Wiley-Scrivener, 1st edition, 2012.

ENDEAVOR. **Você já sabe as oportunidades por trás da indústria 4.0?** Disponíveis em:
<https://endeavor.org.br/uncategorized/oportunidades-industria-4_0/>. Acesso em: 12 out. 2019.

ENEC. **As principais NRS para construção civil**. Disponíveis em:
<<http://enecengenharia.com.br/blog/as-5-principais-nrs-para-construcao-civil/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

ENGIBIM. **Daqri Smart Helmet- Da ficção científica à vida profissional**. Disponível em: <<https://engibim.pt/daqri-smart-helmet-da-ficcao-cientifica-vida-profissional/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

ESTÉVEZ, Ricardo. **"Lós 9 pilares de la Indústria 4.0"**. 2016.Disponível em:<<http://www.ecointeligencia.com/2016/06/9-pilares-industria-40-1/>>. Acesso em: 15 ago.2016.

EXAME, Revista. **Tecnologia betoneira conectada e prova de que a internet das veio para ficar**. Disponíveis em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/betoneira-conectada-e-prova-de-que-a-internet-das-coisas-veio-para-ficar/>>Acesso em: 12 mar. 2020.

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002.Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo: Saraiva, 2006.

FANG, Qi et al. **Computer vision aided inspection on falling prevention measures for steplejacks in an aerial environment**. Elsevier: [s.n.], 2018. 17 p. Disponível em: <<http://ira.lib.polyu.edu.hk/handle/10397/79475>>. Acesso em: 09 abr. 2020.

FARAH, M. F. S. **Estratégias empresariais e Mudanças no Processo de Trabalho na Construção Habitacional no Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1993.

FIEP. **Trabalhador biônico da construção civil será realidade em breve**. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/boletins-setoriais/4/especial/trabalhador-bionico-daconstrucao-civil-sera-realidade-em-breve-2-32020-356481.shtml>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

FILGUEIRAS, V. A. **Saúde e Segurança do Trabalho na Construção Civil Brasileira**, 2015. 32p.

FIRJAN. **A Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**. Tendências e Inovação, Rio de Janeiro, Jan. 2019.

FITZ, T.; THEILER, M., & SMARRSLY, K. **A metamodel for cyber-physical systems**. **Advanced Engineering Informatics**, 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85066272826&doi=10.1016%2fj.aei.2019.100930&partnerID=40&md5=adc208a2f8ad908eb62cf57b3731e165>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

FORSYTH, D. A.; PONCE, J. **Computer vision: a modern approach**. New Jersey: Pearson, 2012.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 22, n. 2, pp. 152 – 194, 2002.

GAMMON CONSTRUCTION. Disponível em: <<https://www.gammonconstruction.com/en/index.php>> Acesso em: 11 Abr. 2020.

GERBERT, P.; CASTAGNINO, S.; ROTHBALLER, C.; RENZ, A. and FILITZ, R. **Digital in engineering and construction: The transformative power of building information modeling**. The Boston Consulting Group, Inc, 2016.

GETULI, V.; VENTURA, S.M.; CAPONE, P. and CIRIBINI, A.L.C. BIM-based code checking for construction health and safety. **Procedia Engineering**, v.196, p.454-461, 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social** / Antônio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo : Atlas, 2008.

GILLIAND, G.; WENZY, H. **Transformation the business model for IT services**. Boston Consulting Group. Boston, p. 1-4. 2012.

GIRETTI, A. *et al.* Design and First Development of an Automated Real-Time Safety Management System for Construction Sites. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 15, n. 4, p. 325-336, 2009.

GLOBALTEC. Disponível em: <<https://www.globaltec.com.br/>>. Acesso em: 11 Abr. 2020.

GOWEN, J. W. (1920). Conformation and its relation to milk producing capacity in Jersey cattle. **Journal of Dairy Science**, v.3, n.1, p.1–32.

GUIMARÃES, D. B. O.; CASTRO, A. E. D.; SOARES, É. M. C.; FERNANDES, M. A. **Saúde e segurança na construção civil: relato sobre as contribuições da enfermagem**. Revista de Enfermagem UFPE On Line. Recife, 11 (Supl. 3): 1351-9, mar. 2017. Acesso em: 15 fev. 2020.

HAMED, J. **BIM o 3D ao 7D. 2015.** Disponível em : <https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/>>Acesso em: 14/09/2019.

HILFERT, T.; TEIZER, J.; KÖNIG, M. **First Person Virtual Reality for Evaluation and Learning of Construction Site Safety.** In: International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 33., 2016, Auburn. Anais.

HILFERT, T.; KÖNIG, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. **Visualization in Engineering**, v.4, n.2, p.1-18, 2016.

HIPPERT, M. A. S.; LONGO, O. C.; MOREIRA, A. C. RFID na edificação: proposta de modelo de sistema para organização das informações de manutenção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 155-173, out./dez. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400348>.

HOSSAIN, MD A.; NADEEM, A. Towards digitizing the construction industry: state of the art of construction 4.0. In D. Ozevin, H. Ataei, M. Modares, A. Gurgun, S. Yazdani, S. and A. Singh (Eds), **Proceedings of the 10th international structural engineering and construction conference, ISEC Press**, 13-1–13-6, 2019.

HYUNDAI. **Hyundai apresenta exoesqueleto comparado a armadura homem de ferro.** Disponíveis em: < canaltech.com.br/robotica/hyundai-apresenta-exoesqueleto-comparado-a-armadura-homem-de-ferro-66011/>Acesso em: abr. 2020.

KAMARDEEN, Imriyas. **8D BIM Modelling tool for accident prevention through design.** Faculty of Build Enviroment, University of New South Wales, Australia, 2010.

INBEC. **Conheça 6 exemplos da internet das coisas na construção civil.** Disponíveis em: < inbec.com.br/blog/conheca-6-exemplos-internet-coisas-construcao-civil/>Acesso em: abr. 2020.

ISIKDAG, U.; ZLATANOVA, S.; UNDERWOOD, J. **An opportunity analysis on the future role of BIMs in urban data management.** In S. Zlatanova, H. Ledoux, E. M. Fendel and M. Rumor (Eds.), Urban and Regional Data Management–UDMS Annual 2011. London: Taylor & Francis, p.25-36, 2012.

IRIZARRY, J.; KARAN, E. P. Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration. **Journal of Information Technology in Construction**, v.17, p.351-366, 2012.

INSTITUTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Drones na construção civil: Como utilizá-los nas obras de engenharia.** Disponíveis em: < <https://www.institutodaconstrucao.com.br/blog/drones-na-construcao-civil/>>Acesso em: abr. 2020.

KAMARDEEN, I. **8D BIM modelling tool for accident prevention through design.** In: Annual ARCOM Conference, 26, 2010, Leeds, United Kingdom. Anais.

KERZNER, H. **Gestão de projetos - As melhores práticas.** 2 ed. São Paulo, 2004.

KERSTEN, W.; Koller, H.; Lödding, H. **Industrie 4.0**. Wie intelligente Vernetzung und kognitive System unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito. V. 2014.

LAINE, R.; IKONEN, J. A construction plan image service for smart phones. In **Proceedings of the 12th international conference on computer systems and technologies**, v. 578, ACM, 292-297, 2011.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Indústria 4.0. **Business & Information System Engineering**, v.6, p.239–242, 2014.

LEONARD, J. Building Tomorrow's Delivering the benefits of Industry 4.0 requires robust communication. **Professional Engineering**, v.28, n.2, p.16, 2015.

LIM, Y.-W.; MAJID, H.A.; SAMAH, A.A.; AHMAD, M.H.; OSSEN, D.R.; HARUN, M.F. AND SHAHSAVARI, F. BIM and genetic algorithm optimization for sustainable building envelope design. **International Journal of Sustainable Development Planning**, v.13, n.1, p.151-159, 2018.

LIN, J.J.-C.; YANG, C.-E., HUNG, W.-H. AND KANG, S.-C. Accessibility evaluation system for site layout planning – a tractor trailer example. **Visualization in Engineering**, v.1, n.12, p.1-11, 2013.

LOWE'S INNOVATION LABS. **EXOSUITS**. Disponível em: <
<http://www.lowesinnovationlabs.com/exosuits/>> Acesso em abr. 2020.

MACEDO, Daniel Almeida de. “**A quarta revolução industrial**”, 2016. Disponível em:<
<http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/60/materia/467815/t/aquarta-revolucao-industrial>>. Acesso em: 02 ago.2020.

MAHALINGA, A.; YADAV, A.K.; VARAPRASAD, J. Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.141, n.7, p. 1-22, 2015.

MARCONI, M.D.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos da metodologia científica**. 7^a ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8^a. ed. São Paulo, Atlas, 2011.

MARIANO, D. C. **Aspectos comportamentais relativos à segurança do trabalho decorrentes da subcontratação dos serviços em canteiros de obras de construção civil**. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/19931>. >. Acesso em: 02 mar.2021.

MARRAS, J. P. **Administração de recursos humanos: do operacional ao estratégico**. 8. ed. São Paulo: Futura, 2000.

MARTINS, G.A; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia Científica para ciências sociais aplicadas**. 2^a. ed. São Paulo, Atlas, 2009.

MARTINS, R.A. **Abordagens quantitativa e qualitativa**. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. (Coord.). Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

MEDEIROS, J. A. D. M.; RODRIGUES, C. L. P. **A existência de riscos na indústria da construção civil e sua relação com o saber operários**. PPGE/UFPPB, 2009.

MEGAHED, N.A. Towards a theoretical framework for HBIM approach in historic preservation and management. **International Journal of Architectural Research**, v.9, n.3, p.130-147, 2015.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. São Paulo: 2001. 235p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MELHADO, S. B. **Escopo de serviços para coordenação de projetos**. Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, IV WBGPOPE, Rio de Janeiro, 2004.

MELHADO, S. B. **Coordenação de Projetos de Edificações**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Normas Regulamentadoras (NRs)**. Disponível em: <<https://www.maconsultoria.com/normas-regulamentadoras-atualizadas-mte>> . Acesso em: 18 jul. 2020.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Legislação: normas regulamentadoras**. Disponível em: <[MOBUS CONSTRUÇÃO. **Como a Internet das Coisas \(IoT\) pode transformar a gestão de obras na indústria da construção**. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/internet-das-coisas-na-construcao/>>. Acesso em: 18 jul. 2020.](https://www.crea-pr.org.br/ws/portal-de-apoio-ao-profissional-do-servico-publico/legislacao-normas-regulamentadoras-do-trabalho-nr#:~:text=As%20Normas%20Regulamentadores%20do%20MTE,Leis%20do%20Trabalho%20(CLT).>>. Acesso em: 18 jul. 2020.</p></div><div data-bbox=)

MOUM, A. Design team stories: Exploring interdisciplinary use of 3D object models in practice. **Automation in Construction**, v.19, n.5, p.554-569, 2010.

NAKANO, D. **Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e gestão de operações**. In: MIGUEL, P.A.C. (Coord.). Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Registros de Acidentes de Trabalho com Mortes**, 2017a. Disponível em: <<https://observatoriosst.mpt.mp.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Registros de Acidentes por Atividades Econômicas**, 2017a. Disponível em: <<https://observatoriosst.mpt.mp.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Registros de Acidentes por ocupação**, 2017c. Disponível em: <<https://observatoriosst.mpt.mp.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. **Understanding the implications of digisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**. *Computers In Industry*, [s.l.], v. 83, p.121-139, dez. 2016.

OLIVEIRA, V. H. M.; SERRA, S. M. B. **Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras**. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 61-77, out./dez. 2017.

ONASEFTY. **Os Principais Acidentes de Trabalho De Suas Causas**. Disponível em: <<https://onsafety.com.br/principais-causas-de-acidentes-de-trabalho/#comments>>. Acesso em: 18 out. 2020.

ONASEFTY. **Acidentes na construção civil: Como evita-los?** Disponível em: <<https://onsafety.com.br/acidentes-na-construcao-civil-como-evita-los/>>. Acesso em: 18 out. 2020.

ORENI, D.; CUCA, B.; BRUMANA, R. Three-dimensional virtual models for better comprehension of architectural heritage construction techniques and its maintenance over time. In M. Ioannides, D. Fritsch, J. Leissner, R. Davies, F. Remondino and R. Caffo (Eds.), **Lecture notes in computer science**: Vol. 7616. Progress in cultural heritage preservation. Berlin: Springer-Verlag, p.533-542, 2012.

PAPADONIKOLAKI, E.; WAMELINK, H. Inter- and intra-organizational conditions for supply chain integration with BIM. **Building Research & Information**, v.45, n.6, p.649-664, 2017.

PÄRM, E.A. EDWARDS, D. Vision and advocacy of optoelectronic technology developments in the AECO sector. **Built Environment Project and Asset Management**, v.7, n.3, p.330-348, 2017.

PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation and research methods**. Newbury Park: Sage, 1990.

PEINADO, Hugo Sefrian. **Segurança e Saúde do Trabalho na Indústria da Construção Civil**. São Carlos: SCIENZA, 2019.

PENA, RODOLFO F. ALVES. **"Terceira Revolução Industrial"**. 2016. Disponível em: <<https://contratedesenvolver.com.br/rh-4-0>> . Acesso em: 18 jul.2020.

PEREIRA, A. P. C. **Adoção do paradigma BIM em escritórios de arquitetura em Salvador**. 2013. 201 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de

Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

PEREIRA, S. L. **Avaliação da Modernização Portuária no Desenvolvimento da Cidade do Rio de Janeiro**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PESSOA, L. L. **Riscos de acidente de trabalho na construção civil**. JusNavigandi, Teresina, v. 19, n. 3871, fev., 2014. REVISTA PROTEÇÃO. 2013. Disponível em: Acesso em: 20 de maio, 2019.

POST, N. M. **3D Modeling Spurs Architect To Reorganize Divisions of Labor**, **Engineering News-Record**, 262 (14), 2019.

PLANSERVICE. **Sensores Vestíveis**. Disponível em: <http://planservice.com.br/noticias/post/121-sensores-vestiveis_> Acesso em: 15 fev. 2020.

POCOBELLI, D.P.; BOEHM, J.; BRYAN, P.; STILL, J. AND GRAU-BOVE, J. BIM for heritage science: a review. **Heritage Science**, v.6, n.30, p.1-15, 2018.

PORTER, M.; HEPPELMANN, J. How smart, connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**, v. 92, v. 11, p. 65-68, 2014.

PORTUGAL, M. A. **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil**. Rio de Janeiro: Brasport, 2016.

PwC Global. **Industry 4.0: Building the digital enterprise – Engineering and construction key findings**. 2016. Disponível em < <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industry-4-0.html>>. Acesso em: 20 out. 2020.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP** v.52, p.173-178, 2016.

REDE JORNAL CONTABIL. **Índice de acidentes e mortes no trabalho cresceu na construção ciivil**. Disponível em < <https://www.jornalcontabil.com.br/indice-de-acidentes-e-mortes-no-trabalho-cresceu-no-setor-de-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 FEV. 2020.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

RODRIGUES, F.; ALVES, A. **Contribution of BIM for hazards' prevention through design**. In: International Symposium on Safety and Hygiene, 2015. Anais.

RODRIGUES, C.L.P. **Evolução da segurança do trabalho**. Engenharia de Segurança do Trabalho I. Rio de Janeiro: UFRJ, 1986.

SALES, H. F. S. **Aplicabilidade da NR18 em obra da Construção Civil: abordagem da enfermagem à saúde do trabalhador**, Fortaleza, 2012.

SANTOS, R.; COSTA, A.A.; GRILO, A. Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. **Automation in Construction**, v.80, p.118-136, 2017.

SCHIANO-LOMORIELLO, D., BONO, V., ABICCA, I., & SAVINI, G. Repeatability of anterior segment measurements by optical coherence tomography combined with Placido disk corneal topography in eyes with keratoconus. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1124, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57926-7>.

SCHIMANSKI, C.P.; MONIZZA, G.P.; MARCHER, C.; MATT, D.T. **Pushing digital automation of configure-to-order services in small and medium enterprises of the construction equipment industry: A design science research approach**. . Applied Sciences (Switzerland), 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072373940&doi=10.3390%2fapp9183780&partnerID=40&md5=37be42b6f3983adacc56ad5252e47c09>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SCOTT, J.; LAING, R. AND HOGG, G. Built heritage digitization: Opportunities afforded by emerging cloud based applications. In **Proceedings of the IEEE 5th international conference on cloud computing technology and science**, Vol. 2, Cloud Computing Association, p.88-93, 2013.

SEBRAE. **Use a tecnologia para aumentar a produtividade na construção civil**. Disponível em <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/use-atecnologia-para-aumentar-a-produtividade-na-construcaocivil,bc7e424bf57bf410VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acessado em 31 de mar. 2020.

SHIROVZHAN S.; SEPASGOZAR, S.M.E.; EDWARD, D.J.; LI H.; WANG, C. **BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor**. **Automation in Construction**, 2020. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.085078567856&doi=10.1016%2fj.autcon.2020.103086&partnerID=40&md5=d6af74b09cf d7c05ecec d4738a542d3>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: World Economic Forum, 2016.

SCHWAB, K. **“Klaus Schwab: Navigating the Fourth Industrial Revolution”**. 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ST_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Klaus+Schwab:+Navigating+the+Fourth+Industrial+Revolution%E2%80%9D.+2016.&ots=DUfyaUuCUP&sig=AL1sOfpc9A9sKoAIuaDV1sPpCoU#v=onepage&q&f=false> Acesso em: 02 ago.2020.

SEBRAE. **Relatório de Inteligência: Internet das Coisas (IoT)**. 2018. Disponível em: <<https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/internet-das-coisasiot/5b8d3a00d4f78d1a00f95df3#download>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23°. Ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SHUO, W. Integrated digital building delivery system based on BIM and VR technology. **Applied Mechanics and Materials**, v.380-384, p.3193-3197, 2013.

- SIENGE. **Análise de risco na construção civil**. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/riscos-construcao-civil/>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- SIENGE. **Impressoras 3D na construção civil**. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/impressoras-3d-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 12 out. 2019
- SIENGE. **Acidentes na construção civil - Uma infeliz realidade do setor**. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/acidentes-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 fev. 2021.
- SILVA, M. A. C.; SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003. 181.p, 2003.
- SILVA, T. F.; MELHADO, S. B. **Gestão de projetos industriais**. 1 . ed. São Paulo: Pini, 2014.
- SILVA, M. A. D. da. **Saúde e qualidade de vida no trabalho**. São Paulo: Best Seller, 1993.
- SILVA, A. A. R. **Segurança no Trabalho na Construção Civil**. Revista Pensar Engenharia, v.1, n. 1, Jan./2015 - Faculdade Kennedy, Belo Horizonte. Disponível em: <www.revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a144.pdf> Acesso em 14 de fev. de 2020.
- SILVA, L. A. **Segurança de Trabalho: Uma revisão literária**. Revista: Journal of Engineering Technology, Innovation and Sustainability. Ano: 2019. Volume I.
- SILVEIRA, Cristiano Bertolucci. **"Indústria 4.0"**. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 01 ago.2020.
- SIMÕES, T. M. **Medidas de proteção contra acidentes em altura na construção civil**. 2010. 84f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- SIMON, W. Blick in die Zukunft: Industrie 4.0. Die Fusion von Produktionstechnik, Informations technologie und Internet. In: **Industrial Engineering**, v. 2, p. 38-40, 2013.
- SINTRACON. **Acidentes na construção civil diminuem 38%**. Disponível em: <<https://www.sintraconsp.org.br/noticia/acidentes-na-construcao-civil-diminuem-38/>>. Acesso em: 16 jul.2020.
- SOARES JR, G. G.; BACHIM, T. A Gestão de projetos Building Information Modelling (BIM) em projetos da Construção Civil. **VIII SINGEP. Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**. Out. 2020.
- SON, H.; KIM, C.;KIM, H.; HAN, S.H.; KIM, M.K. Trend analysis of research and development on automation and robotics technology in the construction industry. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v.14, n.2, p.131-139, 2010.

SONG, G.; WANG, C.; WANG, B. **Structural Health Monitoring (SHM) of Civil Structures. Applied Sciences**, [s.l.], v. 7, n. 8, ago. 2017.

SOUSA, Rainer Gonçalves. "**Segunda Revolução Industrial**". Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 16 jul.2020.

SUCCAR, B.; SALEEB, N.; SHER, W. **Model Uses: Foundations for Modular Requirements Clarification Language**. In: AUSTRALASIAN UNIVERSITIES BUILDING EDUCATION (AUBEA2016), 2016. Proc... Cairns, Australia, 2016.

SMARTLAB. **Perfil dos casos**. Disponível em: <<https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=perfilCasosAcidentes>>. Acesso em: 18 out. 2020.

STEEL, J.; DROGEMULLER, R.; and TOTH, B. Model interoperability in building information modelling. **Software and Systems Modeling**, v.11, n.1, p.99-109, 2010.

TAKAHASHI, M. A. B. C. **Precarização do Trabalho e Risco de Acidentes na construção civil: um estudo com base na Análise Coletiva do Trabalho (ACT)**, Saúde Soc. São Paulo, v.21, n.4, p.976-988, 2012.

TAN, L.; WANG, N. **Future Internet: The Internet of Things, Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)**. 3rd International Conference. vol. 5, 2010.

TETIK, M.; PELTOKORPI, A.; SEPPANEN, O.; HOLMSTRÖM, J. Direct digital construction: technology-based operations management practice for continuous improvement of construction industry performance. **Automation in Construction**, 107(November), p.1-13, 2019.

TEZEL, A.; AZIZ, Z. From conventional to IT based visual management: a conceptual discussion for lean construction. **Journal of Information Technology in Construction**, v.22, p.220-246, 2017.

THOMAZ, E. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção**. São Paulo: Pini, 2001.

TORTATO, R. G. **Empresas incorporadoras da construção civil e o desenvolvimento local de Curitiba e região metropolitana: aspectos exógenos e endógenos na determinação de sua sustentabilidade**. 2006. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/IIseminario/pdf_reflexoes/reflexoes_22.p> Acesso em: 10 janeiro, 2019.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. Emerging technologies for BIM 2.0. **Construction Innovation**, v.11, n.3, p.252- 258, 2011.

ZARDO, P.; MUSSI, A. Q.; SILVA, J. L. Tecnologias digitais no processo de projeto contemporâneo: potencialidades e desafios à profissão e à academia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 425-440, jun. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200407>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

ZAVOROCHUKA J, V. **Gestão em segurança no trabalho**. 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n04/15360403.html>>. Acesso em: 26 de março de 2020.

WANNENWETSCH, H. **Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung**. 5. ed. Berlin: Springer Vieweg Fachmedien, 2014.

WAN, X.; YUNG, P.; LUO, H.; and TRUIJENS, M. An innovative method for project control in LNG project through 5D CAD: A case study. **Automation in Construction**, v.45, p.126-135, 2014.

WANG, D. Analysis and application of BIM technology in the project goal control. **Advanced Materials Research**, v.671-674, n.3, p.2978-2981, 2013.

WHYTE, J.K.; AND HARTMANN, T. How digitizing building information transforms the built environment. **Building Research & Information**, v.45, n.6, p.591-595, 2017.

WILSON, W.S.; HENG, L. **Building information modeling and changing construction practices**. **Automation in Construction**. v. 20, [S.n], pag. 99–100, mar. 2011.

WOLFES, R. **3D Printing of Concrete Structures**. Graduation Thesis, Eindhoven University of Technology, 2015.

WOODHEAD, R.; STEPHENSON, P.; MOREY, D. Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem. **Automation in Construction**, v.93, p.35-46, 2018.

WONG, J.K.W.; GE, J.; AND HE, S.X. Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions. **Automation in Construction**, v.92, p.312-326, 2018.

WORDPRESS. **A impressora 3D na construção civil**. Disponível em: <<https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2015/05/21/a-impressora-3d-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **WEFORUM**. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2018/06/construction-industry-future-scenarios-labour-technology/>> Acesso em 13 maio 2019.

WU, P.; WANG, J.; WANG, X. **A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry**. Curtin University, 2016.

YENICELI, S.; AND OZCELIK, M. Practical application of 3D visualization using geotechnical database: A case study Karsiyaka (Izmir) settlement area (Turkey). **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.44, n.1, p.129-134, 2015.

APÊNDICE 1

PROTOCOLO PARA ENTREVISTA E QUESTIONÁRIO

A entrevista foi fundamentada nas seguintes etapas:

- **Primeira Etapa:** Foi encaminhado um e-mail solicitando a participação da empresa para participar de entrevista e um questionário sobre o trabalho de dissertação de mestrado.
- **Segunda Etapa:** Após a confirmação da entrevista foi feito um contato por telefone marcando uma data (conforme a disponibilidade de cada entrevistado).
- **Terceira Etapa:** Foi enviado um arquivo em pdf sobre a dissertação **“TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS PARA MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL”** para que o entrevistado pudesse fazer uma leitura sobre o assunto e entender a pesquisa.
- **Quarta Etapa:** Entrevista.
- **Quinta Etapa:** Análise das entrevistas e dos questionários.
- **Sexta Etapa:** Após a entrega do questionário entrei em contato com o entrevistado e fizemos uma outra entrevista onde foi esclarecido mais sobre o tema pois entrevistado teve dúvidas em algumas questões para que respondesse de novo o questionário.
- **Sétima Etapa:** Após a entrega do questionário foi encaminhado um e-mail agradecendo e o entrevistado agradeceu pela oportunidade disse que se precisa-se de algo poderia entrar em contato. Devido a pandemia não foi possível fazer agendar uma visita na empresa, mas foi combinado que assim fosse possível faria uma visita.

Fase 1 - Pesquisa Demográfica

- 1) Nome da Empresa:**
- 2) Setor de atividade:**
- 3) Quando a empresa foi fundada?**
- 4) Qual a sua função na empresa?**
- 5) Qual a sua formação?**
- 6) Quantos anos de formado?**
- 7) Quanto tempo trabalha na empresa?**
- 8) Quantos funcionários a empresa tem?**
- 9) Estrutura da empresa?** Administrativo; ●Comercial; ●Financeiro;
●Projetos; ●Parcerias (Terceirizados); ●Marketing; ●Tecnologias;
●Engenharia; ●Manutenção; ●Outros:
- 10) Como vê a indústria da construção civil compara com outras indústrias sob o aspecto da tecnologia?**
- 11) Conhece o novo paradigma de produção Indústria 4.0, que vem sendo muito pesquisado pelo setor de manufatura?**
- 12) Como classifica o seu grau de conhecimento sobre indústria 4.0?**
● Desconheço ● Conheço pouco ● Tenho conhecimento intermediário
●Conheço ● Especialista
- 13) O que acha sobre o uso dos conceitos/ Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 para a melhorias da Segurança do Trabalho na Construção Civil?**

Fase 2 - Pesquisa utilizando escala Likert e questionário:

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
1)A tecnologia BIM melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A			(X)		
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E			(X)		
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
2)A tecnologia caminhão betoneira melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A	(X)				
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E				(X)	
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G				(X)	
Entrevistado H					(X)
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
3)A tecnologia da impressora 3D melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
4)A tecnologia do RFID (identificação por rádio frequência) melhora as condições de segurança no trabalho na	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente

construção civil?					
Entrevistado A				(X)	
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C				(X)	
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO

5)A tecnologia da internet das coisas (IoT) melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A				(X)	
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E			(X)		
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H				(X)	

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO

6)A tecnologia do capacete com sensores melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B			(X)		
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E			(X)		
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H			(X)		

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO

7)A tecnologia do colete de segurança com sensores melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)

Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H			(X)		
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
8)A tecnologia do capacetes inteligentes melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B			(X)		
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H			(X)		
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
9)A tecnologia do exoesqueleto biônico melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B				(X)	
Entrevistado C				(X)	
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H			(X)		
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LOKERT E QUESTIONÁRIO					
10)A tecnologia da realidade virtual melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B			(X)		
Entrevistado C				(X)	
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)
PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO					
11)A tecnologia da realidade aumentada melhora as condições de	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente

segurança no trabalho na construção civil?					
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C				(X)	
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E				(X)	
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LOKERT E QUESTIONÁRIO

12)A tecnologia do drone melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A					(X)
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H					(X)

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LOKERT E QUESTIONÁRIO

13)A tecnologia dos sensores vestíveis melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo / Nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Entrevistado A				(X)	
Entrevistado B					(X)
Entrevistado C					(X)
Entrevistado D					(X)
Entrevistado E					(X)
Entrevistado F					(X)
Entrevistado G					(X)
Entrevistado H			(X)		

Resultados

PESQUISA UTILIZANDO ESCALA LIKERT E QUESTIONÁRIO			
ENTREVISTADOS (A, B, C, D, E, F, G, H)	Média	Desvio padrão da amostra (S)	Coefficiente de Variação (CV)
1)A tecnologia BIM melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,5	0,9	21%
2)A tecnologia caminhão betoneira melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4	1,1	38%
3)A tecnologia da impressora 3D melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	5	0	0%
4)A tecnologia do RFID (identificação por rádio frequência) melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,5	0,9	21%
5)A tecnologia da internet das coisas (IoT) melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,3	0,9	21%
6)A tecnologia do capacete com sensores melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,5	0,9	21%
7)A tecnologia do colete de segurança com sensores melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,7	0,7	15%
8)A tecnologia dos capacetes inteligentes melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,5	0,9	21%
9)A tecnologia do exoesqueleto biônico melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,5	0,7	17%
10)A tecnologia da realidade virtual melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,6	0,7	16%
11)A tecnologia da realidade aumentada melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,7	0,4	10%
12)A tecnologia do drone melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	5	0	0%
13)A tecnologia dos sensores vestíveis melhora as condições de segurança no trabalho na construção civil?	4,7	0,4	10%