

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

DANIEL BERNARDO RIBEIRO

**NÍVEL DAS APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS E DA
INDÚSTRIA 4.0 NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

**São Paulo
2022**

DANIEL BERNARDO RIBEIRO

**NÍVEL DAS APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS E DA
INDÚSTRIA 4.0 NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Walter C. Sátyro

**São Paulo
2022**

Ribeiro, Daniel Bernardo.

Nível das aplicações das tecnologias sustentáveis e da indústria 4.0 na indústria da construção civil brasileira. Daniel Bernardo Ribeiro. 2022.

121 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2022.

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

1. Indústria da construção civil. 2. Indústria 4.0. 3. Inovação. 4. Tecnologia Sustentável. 5. Sustentabilidade.

I. Sátyro, Walter Cardoso. II. Título

CDU 658.5



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE QUALIFICAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
DE

Daniel Bernardo Ribeiro

Título da Dissertação: Nível das Aplicações das Tecnologias Sustentáveis e da Indústria 4.0 na Indústria da Construção Civil Brasileira.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Daniel Bernardo Ribeiro **aprovado**.

São Paulo, 30 de março de 2022.

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

Prof(a). Dr(a). Carlos Roberto Camello Lima (Universidade Presbiteriana MACKENZIE) - Membro Externo

Prof(a). Dr(a). Fernando Celso de Campos (Universidade Metodista de Piracicaba-UNIMEP)

Prof(a). Dr(a). Luiz Fernando Rodrigues Pinto (UNINOVE/PPGEP) - Membro Interno

Dedico este trabalho a minha Mãe, Dona Maria Freire Ribeiro. Tive que abandonar os meus estudos ainda na infância, e lembro a felicidade que minha demonstrou no dia que falei que iria retomar meus estudos. Eu tinha 20 anos e, mesmo sem ela nunca ter tido a oportunidade de estudar, sabia da importância da educação como ferramenta de mudança de vida. Te amo Mãe.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- pela bolsa de estudo que proporcionou a estrutura para a dedicação ao curso e também à Universidade Nove de Julho – UNINOVE.

Agradeço a minha família, meu companheiro Roberto Soares e a filha que a vida me presenteou, Mariana Bernardo Araújo, meus irmãos, Silvino Bernardo, Renata Bernardo e João Bernardo. sem o incentivo e a cooperação deles, esse projeto não seria possível.

Agradeço meu orientador, Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho, mesmo com a dificuldade para expressar em palavras minha admiração e a grande satisfação em tê-lo conhecido nesse processo, posso dizer que sua postura e profissionalismo tornaram-se um exemplo a ser seguido, um parâmetro. Irei buscar diariamente a vontade de ajudar e inspirar os outros, assim como o Senhor fez comigo e os outros orientados. Meu respeito e sincera gratidão.

Agradeço meu orientador, Prof. Dr. Walter Sátyro, que aceitou minha orientação, mesmo com prazo curto para sua finalização. Minha admiração ao profissionalismo e o vasto conhecimento.

Agradeço aos professores da UNINOVE que, por meio da ministração de suas matérias e orientações, contribuíram para meu aperfeiçoamento pessoal e profissional. Agradecimentos especiais aos Professores Mauro Martens, Wagner Lucato, Rosangela Vanalle, Walter Sátyro e Aparecido Coutinho.

Agradeço aos professores da banca pela dedicação na leitura do meu trabalho, pelo intuito de contribuição e aperfeiçoamento do meu trabalho.

Agradeço aos amigos que contribuíram direta e indiretamente nas atividades em aula, debates em aula, participações em fóruns e congressos, especialmente ao Douglas Leonardo de Lima, Milena de Sousa, Felipe Vitucci, Carlos Borges e o Prof. Elder Abiaki pelo auxílio na revisão do texto.

Também agradeço aquele Ser, que nos dá orientação, energia, inspiração, proteção, conhecimento e sentido à vida.

“Se você não gosta do seu destino, não o aceite. Em vez disso, tenha coragem de mudá-lo do jeito que você quer seja.”

Naruto Uzumaki

RESUMO

A Indústria da Construção Civil é um setor com grande participação na economia mundial. Apesar desta relevância, há dois paradigmas a serem quebrados pelas empresas do setor: a baixa aplicação de tecnologia e o impacto ao meio ambiente. A opinião pública vem pressionando os setores produtivos a diminuir seus impactos ao meio ambiente, e esse fenômeno está motivando o setor a implementar novos sistemas de construções, baseados na manutenção do equilíbrio entre os ecossistemas naturais existentes. Nesse processo, as tecnologias possuem um papel importante, principalmente para o setor, que é um dos que mais consomem energia elétrica e água potável, além de ser responsável por 30% da extração de recursos naturais e de 25% dos resíduos sólidos gerados no mundo. O objetivo deste estudo foi avaliar a relevância das tecnologias sustentáveis, ou seja, as baseadas em tecnologias que dão suporte a alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), estabelecidos em 2015, e as tecnologias da Indústria 4.0, visando ao desenvolvimento tecnológico do setor, segundo o estado-da-arte. Inicialmente, usou-se a metodologia de pesquisa bibliométrica para elencar as principais aplicações tecnológicas da indústria da construção civil a nível mundial. Após, foi elaborado um levantamento em campo por meio de uma pesquisa *survey*, com objetivo de determinar o nível de aplicação dessas tecnologias na indústria da construção civil brasileira. Participaram da pesquisa 162 empresas brasileiras do setor, entre as maiores, segundo a revista o “O Empreiteiro”. Ao fim do levantamento em campo, foi observado que o setor brasileiro segue o padrão mundial em relação à adoção de tecnologias sustentáveis e da Indústria 4.0, ou seja, baixo nível de aplicações tecnológicas em sua cadeia produtiva. Os resultados indicaram que 70% das empresas participantes estão entre os dois níveis mais baixos de aplicação de tecnologias sustentáveis e 96% das empresas estão nos dois níveis mais baixos de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0. Para a reversão deste quadro, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas, investimento em empresas especializadas em inovações tecnológicas, e formação de profissionais especializados. Considera-se ser preciso a mobilização das empresas, por meio de mais investimentos, e dos governos, por meio de programas focados em modernização do setor e de incentivos fiscais. Este estudo colaborou para avanços na gestão da tecnologia e inovação, pois avaliou a relevância das tecnologias da Indústria 4.0 e das sustentáveis, de acordo com o estado-da-arte, assim como suas aplicações no setor.

Palavras chaves: Indústria da construção civil; Indústria 4.0; Inovação; Tecnologia Sustentável; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is a sector with a large participation in the world economy. Despite this relevance, there are two paradigms to be broken by companies in the sector: the low application of technology, and the impact on the environment. Public opinion has been pressing productive sectors to reduce their impacts on the environment, and this phenomenon is motivating the sector to implement new building systems, based on maintaining the balance between existing natural ecosystems. In this process, technologies play an important role, especially for the sector, which is one of the largest consumers of electricity and drinking water, in addition to being responsible for 30% of the extraction of natural resources and 25% of solid waste generated in the world. The objective of this study was to evaluate the relevance of sustainable technologies, that is, those based on technologies that support some of the Sustainable Development Goals (SDGs) established by the United Nations (UN) established in 2015 in 2015 and the technologies of Industry 4.0, aiming to technological development of the sector, according to the state-of-the-art. Initially, the bibliometric research methodology was used to list the main technological applications of the civil construction industry worldwide. Afterwards, a field survey was carried out through a survey, in order to determine the level of application of these technologies in the Brazilian civil construction industry. 162 Brazilian companies in the sector participated in the research, among the largest in the sector, according to the magazine "O Empreiteiro". At the end of the field survey, it was observed that the Brazilian sector follows the world standard in relation to the adoption of sustainable technologies and Industry 4.0, that is, a low level of technological applications in its production chain. The results indicated that 70% of the participating companies are between the two lowest levels of application of sustainable technologies and 96% of companies are in the two lowest levels of application of Industry 4.0 technologies. For the reversal of this situation, it is suggested the development of academic research, and investment in: companies specialized in technological innovations, and training of specialized professionals. It is considered necessary to mobilize companies through more investments and governments through programs focused on modernization of the sector and tax incentives. This study contributed to advances in technology management and innovation, as it evaluated the relevance of Industry 4.0 and sustainable technologies, according to the state-of-the-art, as well as their applications in the sector.

Keywords: Construction industry; Industry 4.0; Innovation; Sustainable Technology; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos e tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0).....	37
Figura 2: Periodicidade de publicações (TI4.0).....	40
Figura 3: Distribuição da QP com relação aos dez principais países (TI4.0).....	40
Figura 4: Empresas de utilizam pelo menos uma das dez tecnologias digitais	44
Figura 5: As 10 medidas da JI4.0	45
Figura 6: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	47
Figura 7: Distribuição da QP por ano de publicação	50
Figura 8: Frequência de publicações por países de autores e coautores.....	51
Figura 9: Modelo de avaliação	56
Figura 10: Processo metodológico das Tecnologias Sustentáveis (TS)	60
Figura 11: Pesquisa bibliométrica referente às tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0) ...	62
Figura 12: Modelo teórico	65
Figura 13: Questionário <i>survey</i>	68
Figura 14: Estrutura do questionário (pré-teste).....	69
Figura 15: Fluxograma para avaliação sobre o modelo teórico/questionário.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição por periódicos (TI4.0)	41
Tabela 2: As cinco universidades com maior número de publicações (TI4.0).....	42
Tabela 3: Os cinco periódicos com maior número de publicações.....	51
Tabela 4: As cinco universidades com maior número de publicações (TS).....	52
Tabela 5: Critério para seleção das empresas	67
Tabela 6: Classificação das tecnologias sustentáveis	73
Tabela 7: Classificação das tecnologias da Indústria 4.0.....	74
Tabela 8: Distribuição dos artigos por aplicações das tecnologias sustentáveis	75
Tabela 9: Tecnologias sustentáveis – Eficiência Energética	77
Tabela 10: Tecnologias sustentáveis – Saneamento e Recursos Hídricos.....	77
Tabela 11: Tecnologias sustentáveis – Energia Renovável	78
Tabela 12: Tecnologias sustentáveis – Resíduos.....	78
Tabela 13: Tecnologias sustentáveis – Emissão de CO ₂	79
Tabela 14: Distribuição dos artigos por tecnologia da I4.0	81
Tabela 15: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Manufatura Aditiva	82
Tabela 16: Aplicações das tecnologias da I4.0 – <i>Internet</i> das Coisas	83
Tabela 17: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Simulação Computacional.....	83
Tabela 18: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Robótica	84
Tabela 19: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Realidade Aumentada	85
Tabela 20: Aplicações das tecnologias da I4.0 – RFID.....	85
Tabela 21: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Big Data.....	86
Tabela 22: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Inteligência Artificial	87
Tabela 23: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Realidade Virtual.....	87
Tabela 24: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Sistemas Ciber-Físico.....	88
Tabela 25: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Sistemas Integrados.....	88
Tabela 26: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Computação em Nuvem.....	89
Tabela 27: Valores percentuais e estatísticos	92
Tabela 28: Percentagem de utilização das TI4.0 das empresas da ICC brasileira.....	92
Tabela 29: Tecnologias sustentáveis na ICC brasileira	93
Tabela 30: Valores percentuais e estatísticos	94
Tabela 31: Percentagem de utilização das TI4.0 das empresas da ICC brasileira.....	95
Tabela 32: Aplicações das tecnologias da I4.0 na ICC brasileira.....	96
Tabela 33: Aplicações das tecnologias da I4.0 na ICC brasileira.....	97

Tabela 34: Nível de aplicação de TS das empresas da ICC	98
Tabela 35: Nível a aplicações das TS por área de atuação	99
Tabela 36: Nível de aplicação de TI4.0 das empresas da ICC	100
Tabela 37: Nível a aplicações das TI4.0 por área de atuação	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais barreiras	35
Quadro 2: Tecnologias mais relevantes no contexto da I4.0	39
Quadro 3: Aplicações para as Tecnologias Sustentáveis	49
Quadro 4: Etapas do método de Mitre-Jones	55
Quadro 5: Etapas do método de Coates	55
Quadro 6: Exemplo da formulação dos Grupos de Classificação das tecnologias (Internet das Coisas)	63
Quadro 7: Atividades e objetivos do modelo teórico	66
Quadro 8: Unidade de análise	66
Quadro 9: Qualificações dos especialistas	68
Quadro 10: Método para a coleta de dados	71
Quadro 11: Resultados por etapa	90
Quadro 12: Comparação entre as tecnologias das pesquisas bibliométrica e <i>survey</i> ...	95
Quadro 13: Perguntas do questionário	124

LISTA DE ABRIVIAÇÕES E SIGLAS

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
C4.0	Construção 4.0
EE	Eficiência Energética
I4.0	Indústria 4.0
ICC	Indústria da Construção Civil
IEA	<i>International Energy Agency</i>
MA	Manufatura Aditiva
ODS	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentáveis
ONU	Organização das Nações Unidas
QA	Quantidade de Artigos
SC	Segurança Cibernética
TI4.0	Tecnologias da Indústria 4.0
TS	Tecnologias Sustentáveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	26
1.3	OBJETIVOS	27
1.3.1	Objetivo Geral	27
1.3.2	Objetivos específicos.....	27
1.4	JUSTIFICATIVA	28
1.5	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	29
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	29
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	31
2.1.1	Principais barreiras tecnológicas	34
2.1.2	Indústria da Construção Civil no Brasil	35
2.2	INDÚSTRIA 4.0.....	36
2.2.1	Indústria 4.0 no Brasil	43
2.3	TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS	46
3	METODOLOGIA	54
3.1	MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL TECNOLÓGICO DAS APLICAÇÕES DAS TS E DAS TI4.0	54
3.2	PESQUISA BIBLIOMÉTRICA	57
3.2.1	Etapa I – Definir dados a coletar (estado-da-arte).....	57
3.2.2	Etapa II – Identificar dados (estado-da-arte).....	58
3.2.3	Etapa III – Análise dos dados (estado-da-arte)	63
3.3	PESQUISA <i>SURVEY</i>	64
3.3.1	Etapa IV – Aplicação da pesquisa em campo	64
3.3.2	Etapa V – Análise dos dados	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	RESULTADOS DA PESQUISAS BIBLIOMÉTRICAS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	75
4.1.1	Distribuição por relevância das aplicações das Tecnologias Sustentáveis (TS)	75
4.1.2	Distribuição das tecnologias sustentáveis	77
4.1.3	Distribuição por relevância das Tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0)	80
4.1.4	Distribuição das aplicações das tecnologias da Indústria 4.0.....	82

4.2 RESULTADOS DA PESQUISA SURVEY	90
4.2.1 Teste <i>qui-quadrado</i> de Pearson (TS).....	91
4.2.2 Utilização das Tecnologias sustentáveis na ICC brasileira.....	93
4.2.3 Teste <i>qui-quadrado</i> de Pearson (TI4.0)	94
4.2.4 Aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira	96
4.2.5 Avaliação do Nível de aplicação de tecnologias sustentáveis na ICC brasileira	98
4.2.6 Avaliação do Nível de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira..	99
5 CONCLUSÕES	102
REFERÊNCIAS.....	105
APÊNDICE.....	124

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentadas a contextualização da pesquisa, o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a delimitação do tema e a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A modernização da Indústria da Construção Civil (ICC) é fundamental para a economia mundial. Segundo o Banco Mundial, em 2017 o PIB global foi de US\$ 80 trilhões, sendo que, 77% desse valor ficou concentrado no grupo das 20 maiores economias (G20). O destaque foi para os EUA, que contribuiu com 24% do PIB global (US\$ 19,4 trilhões), seguido pela China, com US\$ 12,2 trilhões. A contribuição do setor da construção civil em 2018 foi de US\$ 10 trilhões ou 13% do PIB mundial, a previsão é que esse valor seja de US\$ 10 trilhões até o ano 2025, além do setor, empregar 7% da população ativa mundial (RYFAN, 2018; T&T, 2019).

No Reino Unido, o setor atingiu US\$ 135,2 bilhões, além de empregar mais de 2,4 milhões de pessoas. Antes da pandemia da COVID-19, as projeções para o setor da ICC apontavam crescimento em muitos países, com o ritmo de crescimento médio de 3,7% ao ano no período 2018 – 2022; enquanto o grupo G20 registrava aumento de 5% em 2018, valor equivalente a US \$ 315 bilhões (RHODES, 2019).

Entretanto, a pandemia do COVID-19 resultou em interrupções de novos projetos e em dificuldades em todas as nações e indústrias. A ICC foi impactada de várias maneiras, como na cadeia de suprimentos, devido ao atraso na produção e/ou escassez de material, também na produção, devido à baixa taxa de produtividade e suspensão de projetos. Por outro lado, esse problema gerou uma série de novas oportunidades, como a redução nas taxas de juros para financiamentos habitacionais, aumento de construção na área da saúde, transportes e setores residenciais, também na contratação de trabalhadores mais qualificados, motivado pelo alto índice de desemprego em vários setores. Assim, os governos nacionais estão antecipando uma recuperação econômica liderada pela construção civil, acompanhada pelo desenvolvimento de práticas mais seguras de trabalho (STILES; GOLIGHTLY; RYAN, 2021; ALSHAREF *et al.*, 2021).

No Brasil, a ICC é um setor econômico de grande porte, dinâmico e complexo. Desde 2014 o país está passando por uma crise econômica, impactando o setor, que sofreu uma retração de 32,6% entre os anos 2014 a 2020 (NUNES *et al.*, 2020). Já em 2021, o setor registrou um aumento de 8% em seu PIB, sendo o maior crescimento dos últimos 10 anos e foi responsável pela geração de 245.939 postos de trabalho, aumento de 251% em relação a 2020 (SSP, 2022; CBIC, 2022). Durante a pandemia, foi um dos poucos setores que mantiveram suas

atividades, mesmo se tratando de um setor movido por alta concentração de pessoas, cultura de baixa implementação de tecnologias e baixo investimento em gerenciamento. Este mesmo cenário ocorre em diversos países em todo o mundo (PEREIRA; AZEVEDO, 2020).

A ICC é um setor econômico de alta complexidade, devido à abundância de áreas envolvidas em suas atividades, tornando imprescindível a utilização de ferramentas para obtenção de melhorias em seu gerenciamento, visto que o setor é repleto de problemas complexos. Entretanto, é tido como um setor com baixo nível de produtividade, altos níveis de desperdício de materiais e baixa qualificação de mão-de-obra, fatores indicativos da necessidade pela busca de novas práticas de gestão e controle de produção (AURELIANO *et al.*, 2019; DARKO *et al.* 2020).

Atualmente, a implementação de tecnologias é cada vez mais necessária para amenizar tais problemas, um grande desafio para o setor que ainda utiliza métodos ultrapassados e artesanais (AL-QUTAIFI; NAZARI; BAGHERI, 2018). Pesquisas realizadas no campo da inovação na ICC indicaram um baixo nível de utilização de tecnologias, de desenvolvimento tecnológico e baixa implementação de inovações tecnológicas (KLARIN, 2019). Contudo, as inovações são uma parte importante para o avanço das sociedades em geral e das empresas em particular. Os indivíduos podem se beneficiar das vantagens das inovações, enquanto as empresas podem manter ou aumentar sua participação no mercado e a lucratividade (ALBERTSEN; WIEDMANN; SCHMIDT, 2020).

Após enfrentar críticas pela adoção limitada de tecnologias de ponta por várias décadas, atualmente a ICC está passando por algumas mudanças profundas (WEI *et al.*, 2017). Por exemplo, os sistemas automatizados têm o potencial de solucionar grande parte das deficiências que o setor enfrenta; no entanto, o nível de adoção na ICC ainda é muito baixo, além de precisar implementar um novo sistema de construção, baseado na manutenção do equilíbrio entre os ecossistemas naturais existentes, devido ao seu impacto negativo, nos últimos anos, nos recursos naturais (DELGADO *et al.*, 2019; FERNEA *et al.* 2018).

A quarta revolução industrial teve início na indústria manufatureira e, ao longo dos anos, outros setores industriais passaram a investir e se modernizar, tendo-se como exemplo a ICC (DALLASAGA; RAUCH; LINDER, 2018). Após investimentos em pesquisas e desenvolvimento, novas tecnologias foram gradualmente incorporadas e adaptadas à ICC, de modo que passou a ser conhecida como “Construção 4.0”, ou C4.0 (OSUNSANMI, AIGBAYBOA; OKE, 2018).

As aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 são inovações disruptivas, essas tecnologias enfrentam barreiras para entrar no mercado convencional, pois tem como característica, a criação de um novo segmento no mercado e a descontinuação das tecnologias tradicionais, promovendo mudanças significativas. Contudo, os modelos de negócios inovadores podem ajudar a tornar as tecnologias mais atraentes e interromper os vínculos de mercado existentes (KHAN; BOHNSACK, 2020), dado que a tecnologia disruptiva impulsiona uma adaptação evolutiva para a ICC em um processo histórico sócio tecnológico (WOODHEAD; STEPHENSON; MORREY, 2018). Pelo enorme valor agregado e eficiência que as tecnologias proporcionam, inovações estão se popularizando no setor, principalmente em atividades gerenciais. Entretanto, essas tecnologias são pouco difundidas e, na maioria das vezes, aplicadas de forma limitada (MASKURIY *et al.*, 2019).

Análises revelaram que os profissionais da ICC estão dispostos a adotar as tecnologias da I4.0 para a execução de projetos e na produção; entretanto, ainda é reduzida a possibilidade de integrar totalmente tais tecnologias nas atividades da ICC. Isso ocorre porque as principais tecnologias, como Internet das Coisas (IoT — Internet of Things), robótica, interação homem-computador e Sistemas Ciber-Físicos (CPS — Cyber-Physical Systems), que incentivam a construção inteligente, ainda não se mostram atraentes para os profissionais da construção (TEMIDAYO *et al.* 2020). Por outro lado, a tendência é uma transformação geral, mesclando dois novos conceitos, a integração digital e engenharia inteligente. Esses conceitos indicam o avanço em direção ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, em que os dispositivos são equipados com inteligência artificial, possibilitando o aprendizado das máquinas e possibilitando a automação, sendo uma das prioridades do setor (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019).

Para lidar com megatendências da Indústria 4.0, com escolhas discretas relacionadas de transições entre o modelo atual e um modelo sustentável, baseado em tecnologias limpas, o desenvolvimento em base sustentável precisa ser acompanhado e legitimado pelos consumidores, como um meio eficaz para alcançar o desenvolvimento sustentável (DS). Também, deve os profissionais vinculados à academia cultivem profundos conhecimentos e habilidades na área que está em constante evolução (FU *et al.*, 2018; JOHN *et al.* 2019; LOCKREY; JOHNSON, 2013; ZEPPINI, 2015).

A ICC precisa implementar novos sistemas de construção, baseado na manutenção do equilíbrio entre os ecossistemas naturais existentes, devido ao seu impacto negativo nos últimos anos com relação ao aumento da extração dos recursos naturais (FERNEA *et al.* 2018), com impacto significativo e adverso sobre o meio ambiente, como poluição, alto consumo de

energia, entre outros (OGUNTONA; AIGBAVBOA, 2017). A ICC é responsável por mais de 30% da extração de recursos naturais, além de 25% dos resíduos sólidos gerados no mundo (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2020).

As emissões de carbono (C) pela ICC geram impactos negativos cada vez mais significativo no meio ambiente. Por exemplo, na China, a contribuição da ICC atingirá o pico da emissão de carbono em 2030 (LI *et al.*, 2020), motivado pelo aumento da demanda por água e energia elétrica gerados pela rápida expansão das edificações (HONG *et al.* 2019; LIU *et al.* 2018).

O setor possui potencial significativo para facilitar uma transição para práticas mais sustentáveis, ações e implementações que se adaptem aos novos paradigmas nas questões ambientais e que seja aplicado ao longo do ciclo de vida da construção, e também pela adaptação física de edifícios e ocupações para suportar mudanças presentes e futuras. No entanto, existem evidências limitadas de ações adaptativas significativas até o momento, e pouco se sabe sobre as barreiras existentes às ações de adaptação na ICC (HURLIMANN *et al.*, 2018).

A ausência de avaliações tecnológicas na ICC pode ser considerada uma problemática, dado que essa categoria de avaliação é utilizada em outros setores industriais, visa, coletar e analisar dados para apresentar o panorama tecnológico atual. Também, esses dados são utilizados como base para tomada de decisões através de uma abordagem mais próxima da realidade (MENDES; MELO, 2017).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Em 2020, o Brasil ocupou a posição de número 55 entre 180 países mais sustentáveis do mundo (EPI, 2020), mesmo possuindo uma das matrizes energéticas mais sustentáveis do planeta, dado que 82% da matriz energética composta por energias renováveis, contra 18% de energias não renováveis, valores inversos se forem comparados à produção mundial, com 24% renováveis e 76% não renováveis (MME, 2018). Entretanto, a implementação de tecnologias sustentáveis no país não é representativa, apresentando desafios e oportunidade de crescimento nesse aspecto. Algumas barreiras impedem o avanço desta categoria de tecnologia, como: baixa demanda de mercado, ausência de subsídios governamentais, alto preço de materiais sustentáveis, alto custo nos processos produtivos e inexistência de políticas de incentivos (PINSKY; KRUGLIANSKAS, 2017).

Após a revisão de literatura, não foram identificadas avaliações que medissem o nível de aplicações de tecnologias na ICC. Entretanto, foram encontradas avaliações tecnológicas em

outros setores, sendo: avaliação tecnológica de linhagens de trigo (CAMARGO; CAMARGO, 1987), avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras (KURACHI *et al.*, 1989), avaliação tecnológica e análise custo-efetividade em saúde (SILVA, 2003), avaliação tecnológica em saúde (SILVA, 2004), avaliação tecnológica como competência do enfermeiro (ARONE; CUNHA, 2006), avaliação tecnológica de materiais para habitações (ROQUE, 2008), avaliação tecnológica de biscoitos (MORAES *et al.*, 2010), avaliação tecnológica dos sistemas de produção de leite bovino (MOURA *et al.*, 2013), avaliação tecnológica de cerâmicas tradicionais incorporadas com rejeito do minério de manganês (RODRIGUES *et al.*, 2014) e avaliação tecnológica de painéis de madeira para linha de produção industrial (BELINI; TOMAZELLO, 2021).

Segundo Mendes e Melo (2017), avaliações tecnológicas são ferramentas utilizadas em vários setores industriais, aplicada para levantar dados que possam apresentar o cenário real do setor estudado, ao nível tecnológico. Esses dados são utilizados para análise e principalmente para tomada de decisão.

Assim, torna-se relevante responder à seguinte questão de pesquisa:

Qual é o nível das aplicações das tecnologias sustentáveis e as da Indústria 4.0 na indústria da construção civil brasileira?

1.3 OBJETIVOS

Para responder à questão de pesquisa proposta, são considerados os seguintes objetivos.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar o nível das aplicações das tecnologias sustentáveis (TS) e as da Indústria 4.0 (TI4.0) na ICC brasileira.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estabelecer as aplicações das TS e quais são as principais tecnologias, no contexto da ICC empregadas em nível mundial.
- Estabelecer quais são as TI4.0 mais relevantes e quais são suas principais aplicações, no contexto da ICC empregadas em nível mundial;
- Levantar em campo (survey) quais das TS e suas aplicações são utilizadas na ICC brasileira;
- Levantar em campo (survey) quais das TI4.0 e suas aplicações são utilizadas na ICC brasileira.

1.4 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a sociedade está em meio à quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0 (I4.0) em que Sistemas Ciber-Físicos, inteligência artificial, automação inteligente e robótica estão cada vez mais presentes em praticamente todos os setores da indústria (PÉREZ *et al.*, 2019). Desde 2011, quando foi lançada, a I4.0 inspirou-se numa série de programas governamentais e privados em todo o mundo. No entanto, é um campo de pesquisa emergente e a academia exige mais pesquisas exploratórias, inclusive sobre os facilitadores e inibidores da implementação da I4.0 nos países, incluindo o Brasil (MOGOS; ELEFTHERIADIS; MYKLEBUST, 2019).

Nesse período de transição, a detenção de inovações tecnológicas pelos meios produtivos se torna cada vez mais essencial para equilibrar a competitividade econômica entre os países, visto que há uma característica em comum nos países desenvolvidos, o avanço tecnológico (MOGOS; ELEFTHERIADIS; MYKLEBUST, 2019).

Segundo McCarthy e Mari (2019), destaca-se uma classificação que mede os níveis de inovação de 126 economias, com base em uma série de critérios que vão desde sofisticação dos negócios até níveis de gastos com educação e produção criativa. Nessa classificação, a Suíça lidera, seguida pela Holanda e os Estados Unidos da América; na quarta posição, a Suécia, 10ª Israel e 11ª Coreia do Sul. Outro destaque é a China, que, pela primeira vez, fica entre os 20 primeiros colocados, ocupando a 17ª posição. O Brasil ocupa a 66ª posição, atrás de todos os países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia e China).

De acordo com Sodré (2019), outro dado importante mostra que os países investem cada vez mais em inova es tecnológicas, com destaque para Israel e Coreia do Sul, países que investem mais de 4% de seus respectivos PIB em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, sendo os países que investem mais para tal objetivo, seguidos por Su a (3,4%), Suécia (3,3%) e Áustria (3,1%). Por outro lado, o Brasil não está entre os principais países inovadores no contexto da ICC. Entretanto, a ado o das tecnologias da I4.0   uma forma eficaz para o avanço tecnológico do país, assim como para o setor.

Nos últimos anos, houve um aumento nas publica es de inova es tecnológicas aplicadas na ICC brasileira. Grande parte dessas publica es foca na implementa o da tecnologia BIM (Building Information Modeling) (RUSCHEL; ANDRADE; MORAIS, 2013; CUPERSCHMID; GRACHET; FABRÍCIO, 2016; OLIVEIRA *et. al.*, 2020). Mas, nota-se a carência de pesquisa de outras aplica es tecnológicas no setor.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está delimitado ao estudo da ICC, no mundo segundo o estado-da-arte e no Brasil conforme o levantamento em campo, por questionário limitado às maiores construtoras, incorporadoras, gerenciadoras e projetistas localizadas em todo o Brasil, não sendo extensivo com relação às outras várias construtoras que possam estar utilizando tais tecnologias.

A coleta de dados sobre as tecnologias aqui estudadas é advinda de artigos baixados nas bases de pesquisa: Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science, ProQuest e Taylor & Francis e selecionados por meio dos seguintes critérios: a) inclusão — Publicação de artigos entre 2016 a 2020, tecnologias sustentáveis, tecnologias da Indústria 4.0 e aplicações na indústria da construção civil. b) exclusão: artigos publicados em Conferências, Congressos ou Simpósio, Artigos repetidos e artigos cadastrados no sistema Qualis/CAPES.

As tecnologias estão restritas às aplicações das tecnologias sustentáveis com base em alguns ODS da ONU, estabelecidas em 2015, sendo: Saneamento e Recursos Hídricos, Energias Renováveis, Eficiência Energética (EE), Resíduos e Emissão de CO₂ e tecnologias que compõem o conceito da Indústria 4.0, segundo os autores referenciados no referencial teórico, sendo: Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos, Inteligência Artificial, Big Data, Computação em Nuvem, Sistemas Integrados, Segurança Cibernética, Etiquetas RFID (Radio Frequency Identification), Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Manufatura Aditiva, Robótica e Simulação Computacional.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está subdividida em 5 capítulos, os quais são descritos abaixo:

Capítulo 1 — Introdução, este, em que é apresentada a contextualização do tema, o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, as justificativas e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 — Referencial teórico, sobre três temas: Indústria da Construção Civil, Indústrias 4.0 e Tecnologias Sustentáveis.

Capítulo 3 — Metodologia, onde são explicados os procedimentos e métodos utilizados para a realização da avaliação do nível tecnológico das aplicações por meio das pesquisas, bibliométrica e survey.

Capítulo 4 — Resultados e discussões, refere-se aos resultados obtidos na pesquisa bibliométrica, sobre as TI4.0 e as TS mais relevantes e suas principais aplicações na ICC em nível mundial. Também, são apresentados os resultados obtidos em campo pela pesquisa

survey, indicando o nível tecnológico das aplicações das TI4.0 e as da TS na ICC brasileira. Assim como suas discussões.

Capítulo 5 — Conclusão, refere-se ao que a dissertação concluiu em relação à pesquisa, resultados obtidos e sua contribuição à acadêmica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, contempla-se a revisão da literatura que apoia o presente estudo. São tratados os seguintes temas: Indústria da construção civil; Principais barreiras tecnológicas; Indústria da construção civil no Brasil. Também, são apresentadas questões relacionadas aos dois grupos tecnológicos pesquisados e alguns resultados obtidos na pesquisa bibliométrica: Indústria 4.0 e Tecnologias sustentáveis.

2.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A ICC é um dos maiores setores industriais do mundo, com um orçamento anual na casa de dezenas de trilhões de dólares. Apesar do seu tamanho e de sua eficiência, o crescimento de sua produtividade tem sido relativamente baixo, se comparado com outros setores, como manufatura e agricultura (RAO et. al., 2022). A atual crise econômica causada pela pandemia da Covid-19 impactou negativamente o setor, promovendo redução do PIB a nível mundial. Em 2020, a queda foi de 7% nos EUA, 8% na Austrália, 33% no Reino Unido e de 60% na China (TE, 2021).

Esse fenômeno gerou uma grande queda no capital geral e muitas demissões. Entretanto, há sinais de recuperação do setor, causado pelo aquecimento do mercado imobiliário e de iniciativas tomadas pelas empresas atuantes no mercado, como ações de responsabilidade social, investimento em digitalização dos serviços e aplicação de novos métodos (PEDRO; BARBOSA, 2021).

Além desse problema pontual devido à pandemia da Covid-19, a ICC possui outros desafios, tais como recursos, tempo, custo, qualidade, segurança e meio ambiente (NGUYEN; CHOU; TRAN, 2022), além das pressões dos clientes para o aumento de aquisição de inovações tecnológicas, tanto no desenvolvimento, quanto na implementação nos projetos de engenharia civil. Nas últimas décadas, os clientes exigem por contrato a implementação de inovações tecnológicas, cuja iniciativa está impactando positivamente o setor (LENDERINK *et al.*, 2022).

Por décadas, a ICC sofreu críticas devido à baixa adoção de tecnologia, cenário que está passando por mudanças (KUBBA, 2017). No entanto, o trabalho manual continua a existir, mesmo em projetos complexos, resultando em produtos de baixa qualidade frente ao que foi projetado (AHN; HAN; AL-HUSSEIN, 2019). Estudos indicam que as perspectivas de integração de tecnologias no setor são relativamente baixas, o que ocorre porque tecnologias como Internet das Coisas integradas à robótica, interação homem-máquina e Sistemas Ciber-Físicos, que incentivam a construção inteligente, são consideradas de pouca importância pelos

profissionais da construção (OSUNSANMI *et al.* 2020). Além disso, há uma grave escassez de colaboradores qualificada, outra problemática recorrente no setor (WU *et al.*, 2019).

De acordo com Li, Greenwood e Kassem (2019), o setor possui um histórico de baixa produtividade, falta de colaboração, conformidade e de regulamentações, além de apresentar quase inexistente compartilhamento de informações. Esses fatores contribuíram para o atual atraso, em termo de produtividade, se comparado com outros setores da indústria (TEICHOLZ, 2017). Contudo, é inevitável a aplicação de tecnologias emergentes na ICC, principalmente para confrontar os principais problemas que o setor enfrenta, tais como: produtividade, segurança do trabalho e sustentabilidade (JOHN; SARKARA; DAVIS, 2022).

Em relação à produtividade, devido à crescente demanda, prazos curtos e alta exigências dos clientes por produtos mais customizados, o setor necessita melhorar sua produtividade e eficiência, sem impactar o custo, tempo e qualidade de seus empreendimentos (TIDHAR *et al.*, 2021). Algumas tecnologias podem impactar positivamente essa questão, como a simulação computacional, utilizada como uma ferramenta auxiliar nos processos construtivos (MOHAMMAD, 2013), também para a relação entre processos e custo (HU *et al.*, 2017; DALLASEGA; RAUCH; FROSOLINI, 2018), para colaboração com empreiteiros (KO; LI, 2014) e até para movimentação de guindastes (LI; CHAN; SKITMORE, 2012).

A ICC contribui significativamente para o desenvolvimento econômico em todo o mundo, mas é uma das indústrias mais perigosas, devido a sua natureza única, dinâmica e temporária, com alto número de mortes e acidentes todos os anos (JO *et al.* 2017; MOHAMMADI; TAVAKOLAN; KHOSRAVI, 2018; LUO *et al.*, 2022). Em 2017, um em cada cinco dos acidentes de trabalho fatais nos países da União Europeia (UE) foram no setor. Este problema é agravado devido ao setor europeu depender fortemente da força de trabalho de migrantes, estabelecendo um desafio, devido às barreiras linguísticas e diferentes culturas em relação à segurança (EUROSTAT, 2019).

À medida que novos avanços tecnológicos são incorporados ao setor da construção, a indústria da construção está exposta a inúmeros novos desafios em relação à segurança da construção (AMMAD *et al.*, 2021). Entretanto, as tecnologias possuem um papel importante para a prevenção de acidentes, um exemplo senso a aplicação das tecnologias de realidade aumentada e realidade virtual para o treinamento dos colaboradores em obra, seja para trabalho em altura (HASANZADEH, DE LA GARZA; GELLER, 2020; HABIBNEZHAD *et al.*, 2020), ou para combates contra incêndios (CHEN *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020).

No âmbito da sustentabilidade, as atividades de construção têm significativos impactos adversos no meio ambiente, que normalmente incluem emissões de poeira e gases, geração de

resíduos, alto consumo de água e energia e poluição do ar (DRÄGER; LETMATHE, 2022). A ICC é a responsável por 30% das emissões de CO₂. O setor consome uma proporção muito significativa, mais de 3 bilhões de toneladas de matérias-primas produzidas em todo o mundo, utilizando, por exemplo, 50% da produção global de aço. No entanto, fornece as edificações e a infraestrutura que a sociedade necessita para sua sobrevivência (WEF, 2016; AHMAD *et al.* 2016; HURLIMANN; MYERS; BROWNE, 2019, GUERRA *et al.* 2021; CHENG *et al.*, 2022).

Além do grande consumo dos recursos naturais, o setor produz uma abundante quantidade de resíduos, que traz impactos negativos significativos para o meio ambiente, economia e sociedade (DOMINGO; BATTY, 2021), principalmente dos resíduos produzidos por demolição, gerando aumento significativo nas últimas décadas (DING, 2021). A utilização das tecnologias de modelagem e simulação computacional por meio do BIM possui alto potencial de contribuição para o melhor gerenciamento desses resíduos e já é uma realidade no setor (CHENG; MA, 2013; BILAL *et al.*, 2016; AKINADE *et al.*, 2018).

Os países desenvolvidos e os em desenvolvimento enfrentam os desafios da descarbonização, resultando em estudos mais específicos em torno do tema, o que impactará a concepção em relação ao consumo e estoque nas obras nos próximos 30 a 40 anos (ORESZCZYN; LOWE, 2010).

Outro problema é o alto consumo de energia elétrica. Essa questão tornou-se uma preocupação urgente, visto que a geração de energia elétrica, via utilização de combustíveis fósseis, produz grande quantidade de gases poluentes. Em 2017, as indústrias da construção dos países desenvolvidos, tiveram maior grau de participação no comércio internacional. Levantamentos mostraram que a perspectiva da energia necessária para as execuções dos projetos é menor que as perspectivas da energia ofertada (LIU *et al.*, 2018).

Em relação às questões ambientais, o aquecimento de edifícios consome grande quantidade de energia, causando graves problemas ambientais, especialmente a poluição do ar (DU; SUN, 2019). Atualmente, a eficiência energética (EE) dos edifícios é uma das maiores preocupações, devido aos elevados impactos negativos ao ambiente, economia e sociedade. A utilização de materiais de baixa condutividade térmica vem sendo desenvolvida por diversos autores ao redor do mundo, com objetivo de diminuir o consumo de energia elétrica (CUNHA; AGUIAR, 2020).

Devido a esse cenário negativo do setor, a aplicação de tecnologias se torna um elemento importante para amenizar ou até resolver tais problemas, como a utilização de Internet das Coisas para duas aplicações, afim de obtenção de maior EE, utilizando sensores para controle da temperatura do ambiente (AHMAD *et al.*, 2016; CHANG; DZENG; WU, 2018;

GONZÁLEZ-VIDAL; JIMÉNEZ; GÓMEZ-SKARMETA, 2019; PNG *et al.*, 2019; TANG *et al.*, 2019), e para monitoramento de ocupação de ambientes (JEON *et al.*, 2018; RAFSANJANI; GHAFRAMANI, 2019; KIM *et al.* 2019). Outra tecnologia que contribui para o desenvolvimento de EE é a simulação computacional (FUKUDA; TOKUHARA; YABUKI, 2016; GHAFARIANHOSEINI *et al.*, 2019; PAPACHRISTOS *et al.*, 2020).

Também, outra forma de amenizar esse cenário é o aumento de geração de energias através de fontes renováveis integradas aos empreendimentos, como as tradicionais placas fotovoltaicas (LEE *et al.*, 2017; RODRÍGUEZ *et al.*, 2019) ou pela aplicação de janelas e fachadas de edifícios fotovoltaica (ABU-RUB *et al.*, 2010; LENZ *et al.*, 2010; YANG; ZOU, 2016; ZENG *et al.*, 2016). Ainda há outras tecnologias que contribuem para a geração de energia renováveis, como turbinas eólicas e biodigestores integrados à edificação (RAMOLA; SRIVASTAVA; VASUDEVAN, 2013; TOKBOLAT; CALAY; AL-ZUBAIDY, 2015; LIA; SHUA; CHENB, 2016; DU; HUANG; JONES, 2019).

A urbanização e a superpopulação, somadas à falta de gestão dos recursos hídricos, promove a escassez de água. Mundialmente, quando se espera que metade da população mundial deverá sofrer com a falta de acesso à água adequada até 2025 (GOKULANATHAN; ARUN; PERUMAL, 2021). A ICC tem um papel importante nesse caso, pois consome cerca de 21% da água tratada em todo o mundo (GALVÃO, 2021), tornando o consumo consciente e reaproveitamento de água um grande desafio para o setor. Algumas ações mitigatórias são a execução das obras ou a implementação de tecnologias nos empreendimentos, como a implementação de simulação computacional BIM pelas construtoras (MOHAMED; OTHMAN, 2017; HE *et al.*, 2020), sistemas inteligentes para captação de chuva (ANGRILL *et al.*, 2017; KRISHNARAJ *et al.*, 2019), tratamento de águas residuais e miniusinas para tratamento de escoto (PASSARINI, 2014; O'SULLIVAN, 2012; JIN *et al.*, 2014; YOONUS; AL-GHAMDI, 2020).

2.1.1 Principais barreiras tecnológicas

Mondal *et al.* (2010) abordaram barreiras que prejudicavam a aplicação de tecnologias sustentáveis no setor. Kumar, Cheng e MCGIBBNEY (2010) apontam o custo e sua baixa margem de lucro como a principal barreira na adoção de soluções de tecnologias da informação pelas construtoras. Atualmente, categorias de tecnologias com aplicações na ICC se multiplicaram, tornando suas barreiras mais complexas, chegando a Rezaee; Yousefi; Hayati (2019) apontarem vinte e seis barreiras para a implementação de tecnologias sustentáveis, enquanto Reindl e Palm

(2021) apontaram barreiras que prejudicam as aplicações de tecnologias sustentáveis, quinze no total.

Em relação às tecnologias de informação, Abdelmegid *et al.* (2020) indicam quinze barreiras. No Brasil, as principais barreiras que o setor possui são abordadas por Arrotéia, Freitas e Melhado (2021). Juntamente a Cristiano *et al.* (2021), foram comparadas as principais barreiras (Quadro 1) para aplicações de tecnologias na ICC em relação aos autores citados.

Quadro 1: Principais barreiras

Principais barreiras	Referência					
	REZAEI; YOUSEFI; HAYATI, 2019	MONDAL <i>et al.</i> 2010	ABDELMEGID <i>et al.</i> , 2020	CRISTIANO <i>et al.</i> , 2021	REINDL; PALM, 2021	ARROTÉIA; FREITAS; MELHADO, 2021
Financeiras / Econômica	X	X		X	X	X
Governamentais / Políticas / Regulatórias	X			X	X	X
Culturais/ Sociais/ Comportamentais	X		X	X		X
Mercado				X		X
Profissionais/ técnicas			X	X	X	X
Tecnológicas		X		X	X	

Fonte: Autor

Analisando-se o Quadro 1, baseado em número de referências, as principais barreiras do setor são: Financeiras/Econômica, Políticas, Governamentais/Políticas/ Regulatórias, Culturais/ Sociais/ Comportamentais e Profissionais/Técnicas.

2.1.2 Indústria da Construção Civil no Brasil

A Construção Civil pertence ao setor ao secundário, que abrange as fábricas e as indústrias. A ICC possui uma grande importância, tanto na economia, quanto na geração de empregos, estando o setor ligado ao desenvolvimento e produção nacional (FIRJAN, 2020). O setor possui uma grande participação no PIB nacional e na geração de postos de trabalho (CBIC, 2020). Mesmo sendo um dos principais setores do país, não há incentivo e investimento para sua modernização.

Historicamente, a ICC brasileira é conhecida como a de menor nível tecnológico, em comparação a outras indústrias do país, também por sua deficiência na gestão de seus empreendimentos. O setor é visto como pouco produtivo, devido às deficiências no

planejamento, controle e principalmente por suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

Outro problema que o setor enfrenta são práticas arcaicas construtivas aplicadas no canteiro de obras, resultando em indicadores desfavoráveis na questão da qualidade e na sua produtividade. Um dos fatores que proporcionam essa situação é a baixa qualificação de sua mão-de-obra, reconhecida historicamente por sua baixa escolaridade, fatores que dificultam a elaboração e aplicação de novas tecnologias e a implementação de técnicas modernas de construção (SILVA *et al.*, 2020).

De acordo com IDC (2020), em uma pesquisa com 835 profissionais de grandes construtoras em 12 países da Europa, Ásia e América, 58% das empresas ainda estão em fase inicial em busca de implementação de inovações, enquanto 28% estão no meio do processo de transformação e apenas 13% podem ser consideradas avançadas tecnologicamente. De acordo com essa pesquisa, o Brasil é o país com o menor nível de maturidade entre os países avaliados. O país está atrasado em relação aos outros países em aplicação de tecnologias como Big Data, Inteligência Artificial e modelagem 3D. O país com o setor mais digitalizado foi o Japão, seguido pela Alemanha e os Estados Unidos da América.

2.2 INDÚSTRIA 4.0

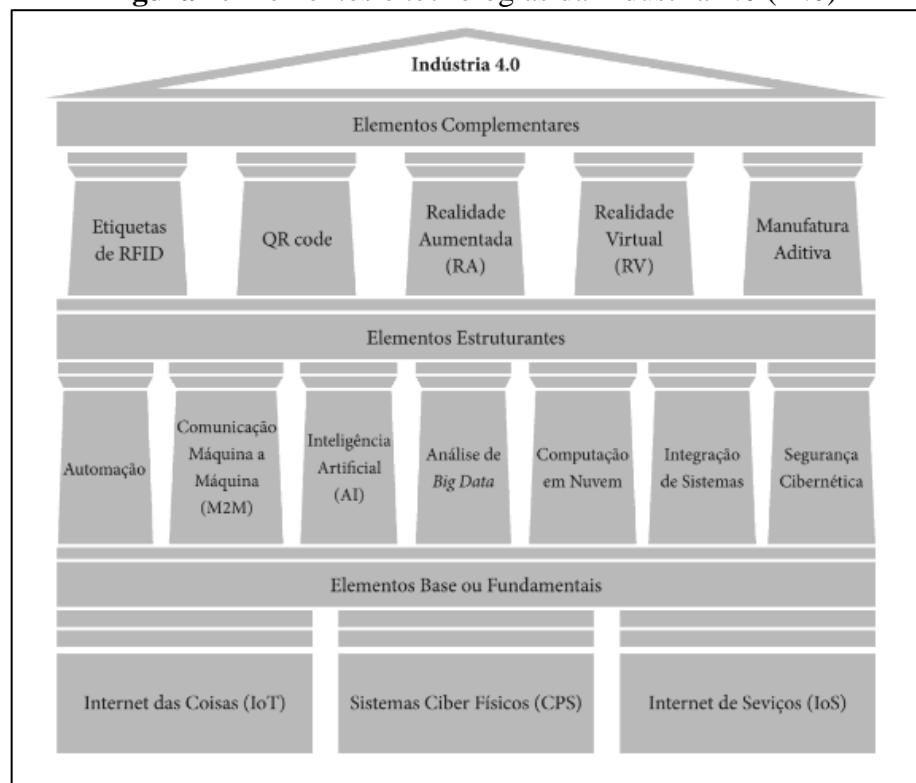
Em 2011, o governo da Alemanha lançou um projeto durante a Feira de Hanover, denominado Plataforma Indústria 4.0 (Plattform Industrie 4.0), visando desenvolver alta tecnologia, de modo a fazer com que os sistemas automatizados, que controlam os equipamentos industriais, pudessem se comunicar trocando informações/dados entre máquinas e seres humanos, para otimizar o processo de produção. Na ocasião, foi criado um grupo de trabalho público-privado que, do lado público, foi liberado por Henning Kagermann da Academia Nacional de Ciência e Engenharia (SACOMANO *et al.* p. 23, 2018).

De acordo com Kagermann *et al.* (2013), a indústria 4.0 (I4.0) corresponde à evolução dos computadores e automação, visando a gerar dispositivos inteligentes, acompanhados pela evolução da infraestrutura dos serviços de TI e avanço da computação em nuvem. A miniaturização dos dispositivos e suas conexões via Internet apresentaram um novo conceito de computação onipresente, com a inteligência artificial gerindo a linha de produção de uma determinada empresa.

A industrialização começou com a introdução de equipamentos de fabricação mecânica no final do século XVIII, quando as máquinas, como o tear mecânico, revolucionaram a maneira como as mercadorias eram feitas. Em seguida, na virada do século XX, a produção em

massa de bens, com apoio da energia elétrica e com base na divisão do trabalho. Logo, chega-se à terceira revolução industrial, que começou durante o início dos anos 1970 e continuou até os dias recentes. Essa terceira revolução empregou eletrônicos e tecnologias da informação para a obtenção dos processos de fabricação, de modo que a implantação das tecnologias que compõem a I4.0, representando a 4ª revolução industrial, que fortalecerá a posição competitiva das empresas, gerando soluções para desafios globais (KAGERMANN *et al.*, 2013). A Figura 1 mostra um diagrama simplificado com os enquadramentos destes conceitos da I4.0.

Figura 1: Elementos e tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0)



Fonte: Sacomano *et al.*, (2018, p. 39)

Ainda, segundo Sacomano *et al.*, (2018, p.33), “O conceito de I4.0 ainda está em formação e a apresentação de novas propostas de classificação não pode ser definitiva, mas apenas de caráter didático para seu melhor entendimento”. Segundo o autor, os componentes da I4.0 podem ser classificados como a) fundamentais: Internet das Coisas (IoT), Sistemas Ciber-Físicos (CPS) e Internet de serviços (IoS); b) estruturantes: automação, comunicação máquina a máquina (M2M), inteligência artificial (IA), big data, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética; e c) complementares: etiquetas de RFID, QR code, realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e manufatura aditiva.

A IoT permite a conectividade entre sensores, máquinas, dispositivos móveis e humanos, e a interoperabilidade das organizações, tornando os dados mais acessíveis e ubíquos (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

O Sistema Ciber-Físico integra as tecnologias, promovendo interconexões e interdependências entre componentes físicos e componentes cibernéticos em rede (ARGHANDEH *et al.*, 2016).

Inteligência Artificial é uma tecnologia que possui sistema com a capacidade de interpretar dados externos e aprender com esses dados, além de utilizá-los para obter aprendizado de modo a atingir objetivos e tarefas específicas, se adaptando de forma flexível (HAENLEIN; KAPLAN, 2019).

O Big Data está relacionado às questões tecnológicas, utilizado para lidar com leitura e compilação de grandes quantidades de dados (DE MAURO; GRECO; GRIMALDI, 2016).

A Computação em Nuvem é a tecnologia onde se localizam os servidores que processam e armazenam dados localizados no ciberespaço (SACOMANO *et al.*, 2018).

A identificação por radiofrequência (RFID — Radio Frequency Identification) refere-se à moderna tecnologia aplicada para identificação por rádio de objetos de qualquer tipo (FINKENZELLER, 2010).

Realidade Aumentada corresponde a uma tecnologia que sobrepõe uma imagem gerada por um computador na visão do usuário do mundo real (ROMERO *et al.* 2016).

A realidade virtual se caracteriza pela participação em um ambiente virtual e pela observação externa, baseada em criação tridimensional, rastreamento de mão e/ou corpo e som bi neural. É uma experiência imersiva e estimulação multissensorial, sendo possível que o usuário possa se sentir presente em um universo virtual (LAVALLE, 2017).

A ASTM International (2012) define Manufatura Aditiva como sendo os “processos para unir materiais a fim de obter um objeto utilizando dados de modelos 3D, feitas geralmente camada sobre camada, ao contrário de metodologias tradicionais como a usinagem.

A simulação computacional é um sistema baseado em técnicas matemáticas usadas em computadores, de modo a reproduzir situações e/ou processos reais (PARAGON, 2019).

Robô é uma máquina que manipula de forma multifuncional e reprogramável, utilizado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de vários movimentos programados (RIA, 2010).

Para o bom funcionamento do sistema 4.0, os sistemas precisam estar integrados, este sendo um dos maiores desafios, pois as tecnologias de fabricantes diferentes devem apresentar interoperabilidade entre si (SÁTYRO *et al.*, 2017).

Para a definição das principais tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na ICC (Quadro 2), foi necessária uma prévia revisão na literatura, pois o conceito Indústria 4.0 encontra-se em desenvolvimento, contendo tecnologias que podem ser caracterizadas conforme o autor e com a base de pesquisa (SACOMANO *et al.*, 2018).

Quadro 2: Tecnologias mais relevantes no contexto da I4.0

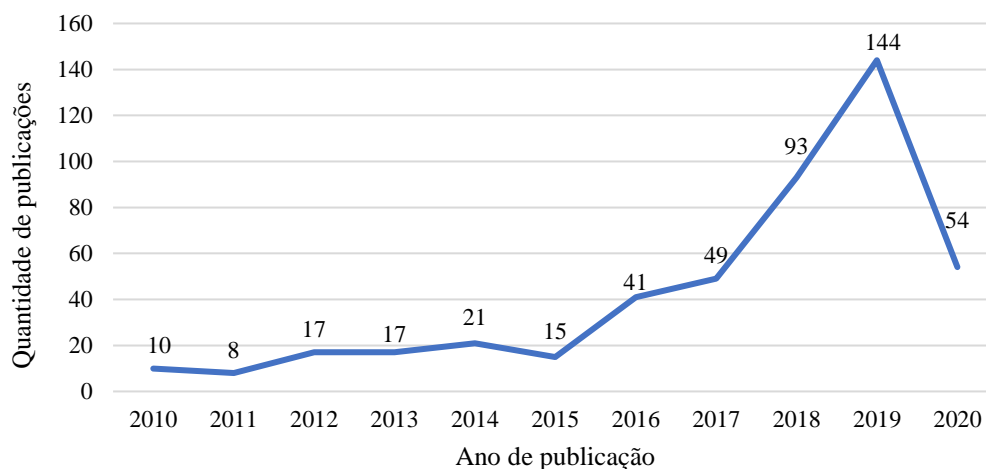
Tecnologia	Referências
1 <i>Internet das Coisas</i>	SACOMANO <i>et al.</i> ,2018 PEREIRA; ROMERO, 2017 PAGLIOSA <i>et al.</i> 2019 MASKURIY <i>et al.</i> , 2019 CHEN <i>et al.</i> , 2020)
2 Sistemas Ciber-Físicos	
3 Inteligência Artificial	
4 <i>Big Data</i>	
5 Computação em Nuvem	
6 Sistemas Integrados	
7 Segurança Cibernética	
8 RFID (<i>Radio Frequency Identification</i>)	
9 Realidade Aumentada	
10 Realidade Virtual	
11 Manufatura Aditiva	
12 Robótica	
13 Simulação Computacional	

Fonte: Autor

Após consulta na literatura dos autores referenciados no Quadro 2, foram identificadas 17 tecnologias vinculadas ao conceito Indústria 4.0, ou seja, possuem uma ou mais dessas características: interoperabilidade, virtualização, descentralização, orientação de serviço e capacidade em tempo real.

Foram selecionadas 13 tecnologias, também, foram identificadas outras quatro tecnologias que fazem parte do conceito, mas, não obtiveram artigos com aplicações na ICC, sendo, Máquina para Máquina, Internet de Serviços, Gêmeos Digitais e Código-QR.

Em relação ao estado-da-arte, este trabalho analisou através de uma pesquisa bibliométrica, questões relacionadas a Indústria 4.0 e ICC, conforme o capítulo 3.2. Foram analisados 469 artigos. A Figura 2 mostra a periodicidade da Quantidade de Publicações (QP) por ano. Destaca-se que as tecnologias já existiam antes da criação do conceito I4.0. Contudo, a partir de 2011, ano de criação do conceito I4.0, essas tecnologias apresentaram crescimento, embora tenha ocorrido uma queda nas publicações em 2015.

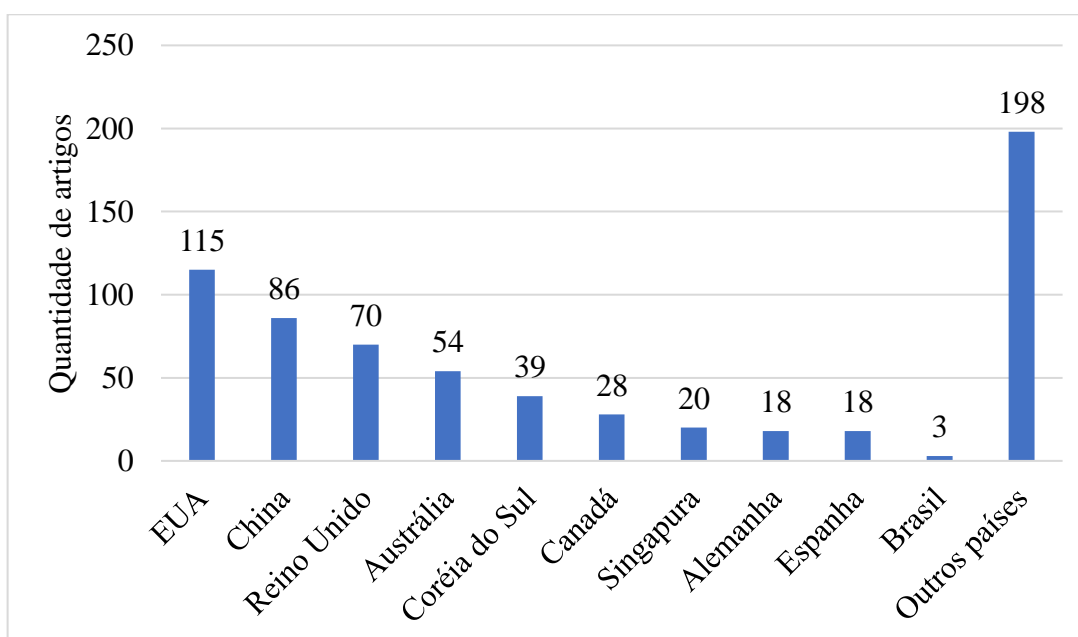
Figura 2: Periodicidade de publicações (TI4.0)

Fonte: Autor

A pesquisa demonstra a crescente relevância em relação ao tema. A partir do ano de 2015, houve um crescimento considerável nas publicações, um aumento de 1.440% entre os anos 2010 e 2019.

Com relação às publicações de 2020, foram obtidos e apresentados os dados até o mês de março, motivo da redução demonstrada na Figura 2.

Também, os artigos foram analisados quanto aos países e instituições de origem dos autores e coautores, em que foram encontrados 50 países, sendo os 10 principais países com mais publicações mostrados na Figura 3.

Figura 3: Distribuição da QP com relação aos dez principais países (TI4.0)

Fonte: Autor

Os dados mostram que os EUA possuem maior número de artigos publicados, seguidos pela China e Reino Unido. Por outro lado, com relação aos 50 países com publicações encontradas, a Ásia é o continente com maior número de publicações (221), seguido pela Europa (207), América do Norte (144), Oceania (59), África (12) e América do Sul (6). Nessa classificação, o Brasil ocupa a 34ª colocação, com 3 artigos publicados.

Em relação à distribuição dos periódicos, a Tabela 1 mostra os cinco com maior número de publicações por meio dos conjuntos de palavras-chave utilizados.

Tabela 1: Distribuição por periódicos (TI4.0)

Periódico	Quantidade de publicações	%
 <i>Automation in Construction</i>	172	36,67
 <i>Construction and Building Materials</i>	22	4,69
 <i>Advanced Engineering Informatics</i>	19	4,05
 <i>Composite Structures</i>	17	3,62
 <i>Engineering, Construction and Management</i>	17	3,62
Outros periódicos	222	47,33
Total	469	100






Fonte: Autor

Foram identificados 101 periódicos como fonte de publicações dos artigos, com destaque para o periódico “*Automation in Construction*”, com 172 artigos publicados entre os anos 2010 a 2020, que equivale a 37% do total dos artigos publicados, esse periódico é

especializado em artigos sobre tecnologias da informação, construção, manutenção e instalações aplicadas na ICC, nas fases de planejamento, execução e manutenção (ELSEVIER, 2022).

Foram identificados trabalhos cujos autores pertencem a 368 universidades diferentes. A Tabela 2 mostra às cinco universidades com maior número de publicações.

Tabela 2: As cinco universidades com maior número de publicações (TI4.0)

	Universidades	Quantidade de publicações	%
	<i>Hong Kong Polytechnic University</i>	21	4,48
	<i>University of Hohenheim</i>	16	3,41
	<i>University of Alberta</i>	15	3,20
	<i>Curtin University</i>	13	2,77
	<i>Nanyang Technological University</i>	13	2,77
	Outras Universidades	702	83,37
	Total	780	100

Fonte: Autor

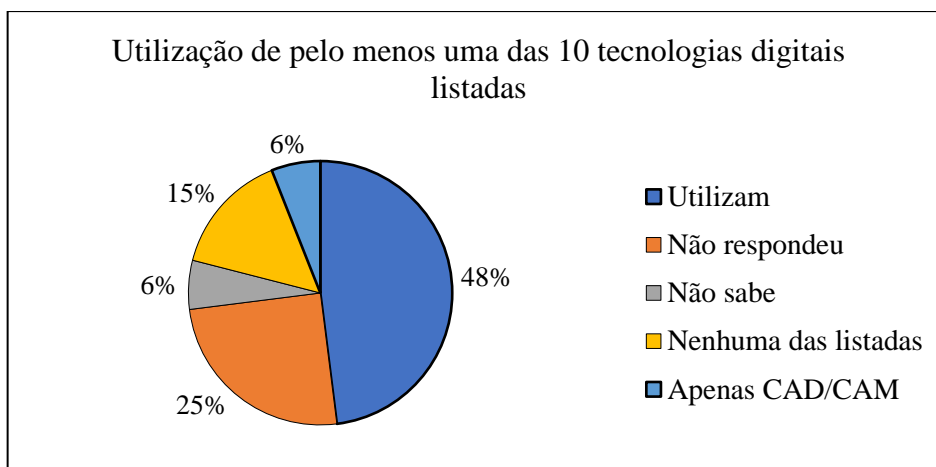
Entre as universidades, destaca-se a Hong Kong Polytechnic University — China/Hong Kong. É a 75ª melhor universidade do mundo, University of Hohenheim –Alemanha, não está entre as melhores universidade do mundo, University of Alberta — Canadá (119ª), Curtin University — Austrália (217ª) e a universidade com melhor colocação, Nanyang Technological University — Singapura (13ª) (QS, 2021).

O conceito Indústria 4.0 é relativamente novo, países desenvolvidos liberam esse campo, com destaque para a Alemanha. A quarta revolução industrial gera muitas oportunidades, na mesma proporção de barreiras existentes (NEWMAN *et al.*, 2020), mas, no contexto dos países em desenvolvimento, essa realidade está distante. O atraso tecnológico desses países afeta diretamente a aplicações das TI4.0. (AGHIMIEN *et al.*, 2020), além de fatores de risco que são inerentes dos países em desenvolvimento, sendo: fatores de risco humanos e financeiros, tecnológicos, jurídicos e de segurança, operacionais e socioeconômicos associados à digitalização das organizações de construção (AGHIMIEN *et al.*, 2021).

Países desenvolvidos como os Estados Unidos, Alemanha e Japão, também um em desenvolvimento, a China, estão em uma transição acelerada, pois investem maciçamente em estratégias de digitalização dos processos industriais, enquanto o Brasil precisa de medidas reais para aumentar a participação do setor industrial no PIB, para evitar perdas de competitividade. Os desafios da implantação da Indústria 4.0 no Brasil estão centrados em: definição de uma estratégia para implementação das TI4.0 e melhora nos níveis de qualificação de mão-de-obra, assim o país pode almejar uma indústria automatizada e mecanizada (SOUZA; VIEIRA, 2020).

2.2.1 Indústria 4.0 no Brasil

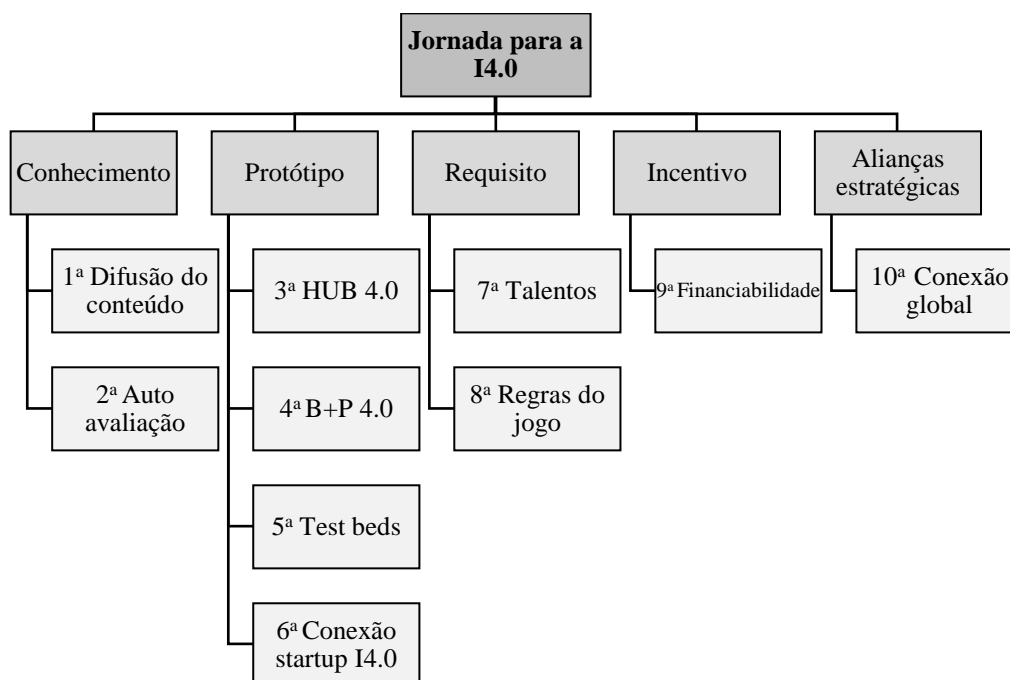
De acordo com o Portal da Indústria (2016), cerca de 58% dos setores da indústria reconhecem a importância do uso de tecnologias para o aumento da competitividade e levantou os seguintes os avanços tecnológicos da I.4.0: 1) Automação digital sem sensores; 2) Automação digital com sensores; 3) Monitoramento e controle (MES — *Manufacturing Execution Systems*; SCADA — *Supervisory Control and Data Acquisition*); 4) Sistemas integrados; 5) Manufatura aditiva; 6) Simulações; 7) *Big data*; 8) Computação em nuvem; 9) *Internet* das Coisas; 10) *Internet* de serviços. Apenas 48% das empresas utilizam uma ou mais, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4: Empresas de utilizam pelo menos uma das dez tecnologias digitais

Fonte: adaptado de Portal da Indústria (2016)

Outro exemplo foi a Agenda brasileira para a Indústria 4.0 (ABI 4.0), lançada pelo Governo Federal em 2018. O Programa era focado em cinco aspectos: desafios, impactos, governança, premissas e medidas para o fomento das tecnologias 4.0 no país. Tinha como principais desafios: aumentar a participação da indústria no PIB; melhorar a colocação no índice global de inovação; aumentar a produtividade; aumentar a competitividade da manufatura; tomar medidas para fomento, como empréstimos, criação de startups e tests beds. Essas etapas tinham a programação de início em 2018, com previsão de término em 2020 (VERMULM, 2018).

A estrutura de governança para fomento da I4.0 no Brasil era organizada na forma de uma aliança entre as associações empresariais, confederações, federações de indústrias e sindicatos. Também, para a estrutura, foram estabelecidas as premissas: fomentar iniciativas que facilitem o investimento privado; propor agenda centrada no industrial/empresário; testar, avaliar, debater e construir consenso através de projetos-piloto e medidas de apoio para pequenas e médias empresas. De modo a estruturar o desenvolvimento da I4.0, a agenda estabeleceu 10 medidas denominadas “Jornada para a Indústria 4.0” (JI4.0) criada a partir de cinco pilares, como mostra a Figura 5 (MDIC, 2018).

Figura 5: As 10 medidas da I4.0

Fonte: adaptado de VERMULM (2018)

O conceito I4.0 é pouco difundido no Brasil, assim como suas aplicações; de modo que o objetivo da 1ª etapa é popularizar o conceito, divulgar seus aspectos através de campanhas de comunicação. Para a 2ª etapa foi prevista a disponibilização de uma plataforma de autoavaliação da I4.0, com informações sobre o grau de maturidade pretendida pela agenda. Na 3ª etapa, o termo HUB corresponde a uma plataforma de serviços, integrada à plataforma de autoavaliação e permite que a empresa se conecte aos provedores de tecnologias. Sua utilização foi focada à digitalização e modernização de parques industriais. Para a 4ª etapa a ABI 4.0 apresentou o programa “Brasil Mais Produtivo”, com objetivo de aplicação de manufatura enxuta e suporte para as atender micro e pequenas empresas industriais, para que possam migrar para digitalização industrial.

A 5ª etapa está relacionada a capacitação e preparação de absorção de tecnologias pelas empresas, de modo que para cumprir esse objetivo, os governos federais e estaduais financiariam projetos de test beds, também projetos de formatação de “fábricas do futuro”. Na sequência, a 6ª etapa visa a massificação de startups 4.0, focadas nas necessidades da indústria nacional. Por outro lado, a 7ª etapa está focada no fator humano, ou seja, as formas de atender a demanda do mercado, qualificando e preparando a mão-de-obra da indústria.

A 8ª etapa define as regras legais em que as empresas brasileiras precisam se adequar para que possam migrar para conceito 4.0, como exemplo: robôs colaborativos (COBOT); Polo Industrial de Manaus (PIM); e a proteção de dados. A 9ª etapa corresponde aos financiamentos, por bancos públicos e privados, também, por agências de fomento. Por último, a 10ª agenda compreende iniciativas governamentais para o fomento da I4.0 as industriais, como: zerar as alíquotas do imposto de importação de diversas categorias de bens e insumos estratégicos; reduzir a alíquota do imposto de importação de robôs industriais e robôs colaborativos, para impressoras 3D e equipamentos voltados para a manufatura aditiva; atrelar tema da I4.0 nos acordos bilaterais de comércio entre o Mercosul e outros países ou blocos, assim como promover cooperações e projetos bilaterais em I4.0 com diferentes países, como: Plattform industrie 4.0, Industrie du Futur, etc.

O valor previsto para o programa era de R\$ 1,36 bilhões, distribuído nas suas 10 etapas, entretanto, o site do Governo Federal https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/industria4-0_cits_ahk.pdf que divulgava o programa, saiu do ar em 2020 sem aviso prévio e não há informações sobre as metas do programa foram cumpridas e se as empresas dos setores industriais recebem tais incentivos e benefícios financeiros.

2.3 TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu uma agenda junto a mais de 150 líderes mundiais em uma reunião na cidade de Nova York — EUA, de modo a adotar formalmente novos objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS). Foram 17 objetivos a serem implementados por todos os países, até 2030 (ONU, 2015).

Os objetivos visam à erradicação da pobreza e outras questões a nível mundial, através de estratégias que reduzam a desigualdade e estimulem o crescimento econômico, focando na melhoria da educação e da saúde. Contudo, é destacado que as estratégias e os planejamentos possuem como diretriz a preservação dos oceanos e das florestas, ambientes impactados diretamente devido à mudança climática (ONU, 2015).

Para cumprir tais indicativos, foram estabelecidos os seguintes objetivos: 1) Erradicação da pobreza, 2) Fome zero e agricultura sustentável, 3) Saúde e bem-estar, 4) Educação de qualidade, 5) Igualdade de gênero, 6) Água potável e saneamento, 7) energia limpa e acessível, 8) Trabalho decente e crescimento econômico, 9) Indústria, inovação e infraestrutura, 10) Redução das desigualdades, 11) Cidades e comunidades sustentáveis, 12) Consumo e produção responsáveis, 13) Ação contra a mudança do clima, 14) Vida na água, 15) Vida terrestre, 16)

Paz, justiça e instituições eficazes e 17) Parcerias e meios de implementação, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu>

Os seguintes objetivos são o foco desta pesquisa: Objetivo 6 — assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos; Objetivo 7 — assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos; Objetivo 13 — Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.

A promoção da administração dos ODS é considerada um componente essencial para os negócios e processos em todas as esferas da vida. Ao considerar os fatores externos que poderiam afetar a conservação de valor a longo prazo, os desenvolvedores comerciais iniciaram projetos de tecnologias sustentáveis para reduzir a poluição e os custos ambientais extras associados à construção (ZHANG, 2014).

Segundo Kishina *et al.* (2017), na transição para um mundo mais sustentável, o desenvolvimento de tecnologias sustentável precisa ser acompanhado pela promoção da legitimidade das tecnologias. Os consumidores que percebem uma tecnologia como desejável e apropriada têm maior probabilidade de adotá-la. As organizações podem colaborar para aumentar a legitimidade das novas tecnologias. Embora a pesquisa anterior tenha enfatizado a importância da colaboração no campo da sustentabilidade, ela não estudou os esforços colaborativos de organizações que visam alcançar a legitimidade de tecnologias sustentáveis.




De acordo com Gwenzi *et al.* (2017), cerca de 600 milhões de pessoas não têm acesso à água potável, o que significa que alcançar o “Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (Garantir a disponibilidade e o gerenciamento sustentável de água e saneamento para todos até 2030)” exige uma transição rápida de pesquisas recentes em soluções práticas e econômicas nos 13 anos restantes. Como exemplo, destacam-se pesquisas feitas com centrais de tratamento de água (PURUSHOTTAM; RAVINDRA, 2017), sistemas de captação de água de chuva (ALAWNEH *et al.*, 2019; SAMEER; TARIQ; MOHAMMAD, 2018), medidores de eficiência hídrica (MARTINA *et al.*, 2012), sistema de tratamento de águas residuais (HERVÁS-BLASCO; NAVARRO-PERIS; CORBERÁN, 2020); (ADNAN; SALAM; SHERIF, 2017) e utilização de simulação computacional para melhora de eficiência hídrica (HUAN-FENG; FEI; HEXIANG, 2016; AL-ANI, 2018).

Uma tecnologia inovadora foi proposta para um sistema sustentável de saneamento e eliminação de resíduos para o desenvolvimento da urbanização moderna, em que um edifício possa reciclar no local os resíduos biológicos oriundos do esgoto, por exemplo, implementando um biorreator em sua área externa, de modo que a água de saneamento do edifício seria submetida a tratamento no local, e o lodo produzido seria canalizado para um tanque de detenção anaeróbico, na forma de um biorreator assistido por energia solar (HOSSAIN, 2019).

A arquitetura tornou-se um importante campo de pesquisa sobre mitigação das mudanças climáticas. A literatura contém uma série de estudos ambientais de edifícios e análise de melhorias na EE. Também foram feitos importantes avanços na integração de energias renováveis na envolvente do edifício (PANTOJA *et al.*, 2018). Por exemplo, o uso de sistemas elétricos alimentados de energias sustentáveis como: energia fotovoltaica, energia eólica e armazenamento hidráulico bombeado. De acordo com Gioutsos *et al.* (2018), o custo dos sistemas para geração de eletricidade diminui com o aumento da penetração de energia renovável, na faixa de 40 a 80% de penetração da luz solar. Além disso, a integração de eletricidade renovável da ordem de 60 a 90% ainda poderia ser alcançada sem custo adicional da situação inicial.

Na pesquisa bibliométrica descrita no item 3.2, foi necessário determinar quais das ODS mais se adaptam ao tema de pesquisa. Dessa forma, foram selecionados 3 objetivos, conforme mostra o Quadro 3. A criação dessas classificações foi necessária para a construção dos conjuntos de palavras-chave e busca dos artigos relacionados ao tema de pesquisa.

Quadro 3: Aplicações para as Tecnologias Sustentáveis

Objetivo	Descrição	Aplicações	Referências
	<i>Objetivo 6:</i> assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos	Saneamento e Recursos Hídricos	IEA, 2013; OGUNTONA; AIGBAVBOAB, 2017; AHMAD <i>et al.</i> , 2016; HERAVI; ABDOLVAND, 2019; HONG <i>et al.</i> , 2019; BENÁQUIO; FREITAS; TAVARES, 2020
	<i>Objetivo 7:</i> assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos	Energias Renováveis	
	<i>Objetivo 13:</i> Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos	Eficiência Energética Resíduos Emissão de CO ₂	

Fonte: Autor

Os objetivos 6, 7 e 13 foram selecionados porque a ICC contribui diretamente para o esgotamento dos recursos naturais, especialmente da água. A ICC é um dos principais responsáveis pela destruição do meio ambiente pelo consumo excessivo de recursos e produção de resíduos (GEHLOT; SHRIVASTAVA, 2021).

O elevado uso de energia, degradação e poluição ambiental são alguns dos inúmeros impactos da ICC (OGUNTONA; AIGBAVBOAB, 2017), visto que os edifícios são responsáveis pelo consumo de um terço da produção global de energia, contribuindo com 30% do total de emissões de CO₂ a nível mundial, tornando a melhoria por EE cada vez mais imprescindível, dado que as edificações representam 36% do consumo da energia global sendo responsáveis por 19% das emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2017; AHMAD *et al.*, 2016)

Também se destaca que a crise hídrica global afeta diretamente o setor, pois é grande o consumo de água, tanto para a construção, quanto para a produção de materiais de construção, como: tijolos, concreto, canos entre outros, principalmente nos projetos de edifícios residenciais, onde o consumo é considerável no pós-obra, onde seu consumo virtual de água é de 20,8 m³ por m². (HERAVI; ABDOLVAND, 2019). Por exemplo, na China, o consumo de água da ICC corresponde a 8,97% para bens e serviços do setor e 27,20% para extração, produção e transporte (HONG *et al.*, 2019).

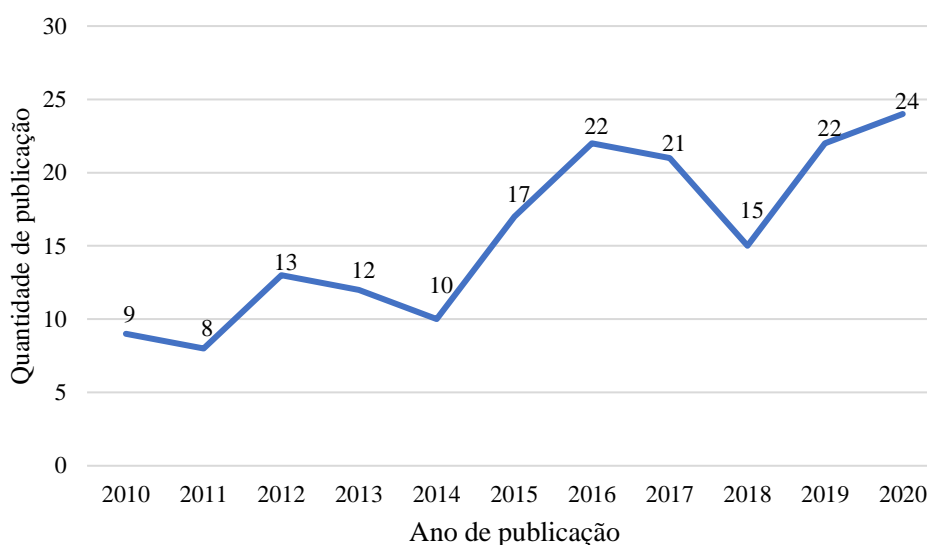
A pesquisa buscou identificar as principais tecnologias e suas aplicações que se enquadram em tais classificações: Saneamento, Saneamento e Recursos Hídricos, Energias Renováveis, Eficiência Energética, Resíduos e Emissão de CO₂.

Em relação ao estado-da-arte, esta pesquisa analisou através de uma pesquisa bibliométrica, artigos que apresentam aplicações de tecnologias sustentáveis na ICC, o processo metodológico está descrito no capítulo 3.2. Desta forma, os dados dos artigos foram tabulados por meio do *software Microsoft Excel* (2019), e analisados de forma quantitativa.

Foram pré-analisados 4.324 artigos através de análise dos seus títulos, conjuntos de palavras-chaves e resumos, publicados no período 2010-2020. Posteriormente, foram selecionados e baixados 564 artigos que relacionava aplicações de TS na ICC e aplicado os critérios de inclusão e exclusão (descritas no item 3.2.2.1). Após análise dos textos por completo, foram selecionados 173 artigos que apresentavam aplicações de TS na ICC de acordo com as aplicações delimitadas por essa pesquisa.

A Figura 7 mostra a frequência de publicação dos artigos relacionados ao tema, entre os anos de 2010-2020. Destaca-se que, no ano de 2020, constam os resultados até o mês de maio.

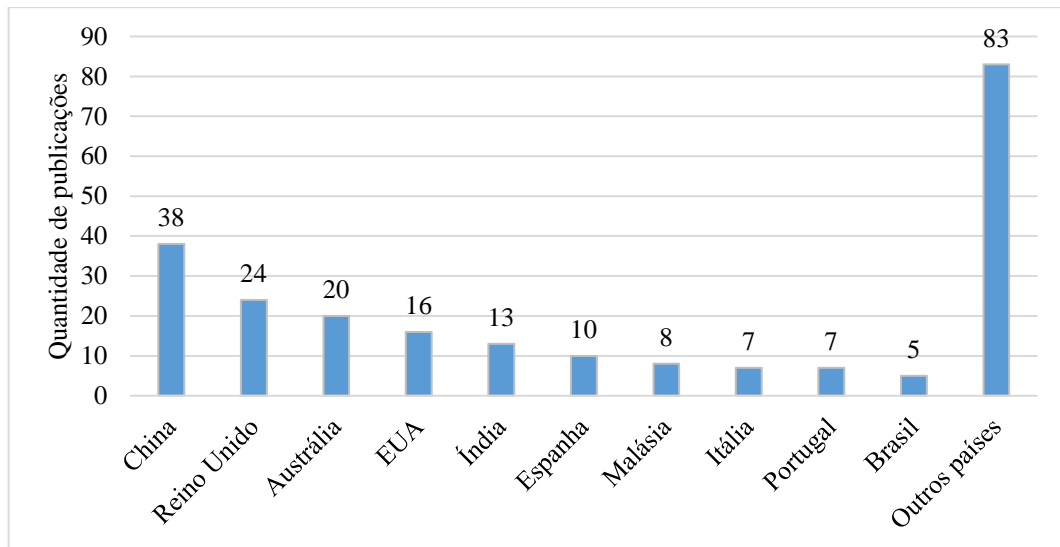
Figura 7: Distribuição da QP por ano de publicação



Fonte: Autor

A pesquisa aponta crescimento, mas com oscilações nas publicações de artigos relacionados ao tema, as principais quedas sendo nos anos de 2014 e 2018.

Com relação à localidade em que foram geradas as publicações, encontram-se 54 países dos 5 continentes. A Figura 8 apresenta os dez países com maior número de publicações, medido em relação às nacionalidades dos autores e coautores dos artigos publicados.

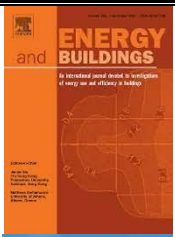
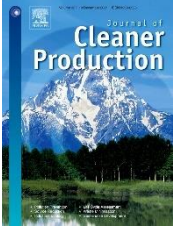
Figura 8: Frequência de publicações por países de autores e coautores

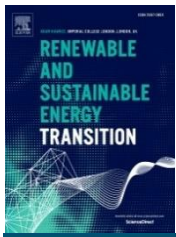


Fonte: Autor

Em relação aos países com maior número publicações referentes aos autores e coautores. A China ficou com a primeira colocação, destaca-se a Índia, Malásia e o Brasil, países em desenvolvimento, classificados entre os 10 primeiros países com maior número de publicações.

Em relação aos periódicos, a pesquisa mostra uma grande diversificação. Foram 82 periódicos diferentes que apresentaram publicações, sendo que a Tabela 3 mostra os cinco principais.

Tabela 3: Os cinco periódicos com maior número de publicações

Periódicos	Quantidade de publicações	%
 <i>Energy and Buildings</i>	23	13,29
 <i>Journal of Cleaner Production</i>	17	9,83




	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	8	4,62
	<i>Applied Mechanics and Materials</i>	5	2,89
	<i>Built Environment Project and Asset Management</i>	5	2,89
	Outros periódicos	115	66,4
	Total	173	100



Fonte: Autor

Destaca-se a grande quantidade de periódicos que publicaram artigos referente ao tema, nota-se que há três periódicos especializados em energia, *Energy and Buildings*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews e Energies*, exemplificando a preocupação do setor em relação aos impactos e problemáticas da produção e consumo de energia elétrica.

Foram identificadas 206 universidades com publicações. A Tabela 4 mostra as cinco com maior número de artigos publicados.

Tabela 4: As cinco universidades com maior número de publicações (TS)

	Universidades	Quantidade de publicações	%
	<i>Hong Kong Polytechnic University</i>	7	4,05
	<i>University of the West of England</i>	5	2,89
	<i>Aalto University</i>	4	2,31

	<i>City University of Hong Kong</i>	4	2,31
	<i>Queensland University of Technology</i>	4	2,31
	Outros universidades	115	86,13
Total		173	100

Fonte: Autor

Entre as universidades, destacam-se duas universidades de Hong Kong/China, sendo a *City University of Hong Kong* e *Hong Kong Polytechnic University*, às duas universidades são as mais bem colocadas de acordo com a classificação do QS (2021), ocupando a 48^a e 75^a colocações respectivamente. Segue as colocações das outras universidades. *University of the West of England* – Reino Unido (entre a 801^a - 1000^a), *Aalto University* – Finlândia (127^a) e *Queensland University of Technology* – Austrália (201^a).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada com abordagem quantitativa, pois busca fornecer conhecimento e descobrir novos fenômenos e a relação entre eles (MARCONI; LAKATOS, 2010), mensurando as variáveis através de valores quantificáveis (MARTINS, 2012). O objetivo é exploratório, ou seja, uma investigação empírica com finalidade de aumento da familiaridade dos pesquisadores a um determinado ambiente, fato ou fenômeno e esclarecer conceitos (MARCONI; LAKATOS, 2003). Foram empregadas duas técnicas de coletas de dados: pesquisa bibliográfica, para consultas de publicações científicas relativas aos temas propostos; questionário composto por uma série de perguntas, respondidas por questionários enviados por e-mail (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Para o levantamento em campo foi utilizado a pesquisa survey, que consiste em análise de questionários, aplicada a grandes amostras e apoiada em técnicas de amostragem e análise através de dados estatísticos (NAKANO, 2012).

Para obtenção da resposta da questão de pesquisa, foi necessária a criação de um método para avaliar o nível de aplicações de tecnologia da ICC brasileira, baseado em dois outros métodos, 1) Método de Mitre-Jones: desenvolvido pela equipe da Mitre-Corporation, no ano 1971; 2) Método de Coates: desenvolvido pelo Office of Tecnology Assessmet, no ano de 1974 (RATTNER, 1979).

3.1 MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL TECNOLÓGICO DAS APLICAÇÕES DAS TS E DAS TI4.0

O objetivo da avaliação tecnológica é apresentar e indicar alternativas de debate mais adequadas para o desenvolvimento de tecnologias, motivado pela preocupação com os efeitos inesperados que uma nova tecnologia possa gerar e não apenas pelo custo/benefício (RATTNER, 1979). Segundo Porter *et al.* (2004), alguns métodos e técnicas aplicáveis à avaliação de tecnologia podem ser rotulados como *hard* (quantitativos e numéricos).

Os métodos de Mitre-Jones (Quadro 4) e o de Coates (Quadro 5) foram base para algumas metodologias para avaliação tecnológica, como, por exemplo, para criação de um modelo para análise de tendências e indicadores de mudanças em tendências relacionadas a oportunidades de negócios (CASTORENA *et al.*, 2013), para avaliação tecnológica de portfólios de patentes (SANTIAGO *et al.*, 2015) e para monitoramento de tecnologias baseadas nas análises de patentes (JOUNG; KIM, 2016).

Quadro 4: Etapas do método de Mitre-Jones

Etapa	Atividade
1	Definir a tarefa de avaliação
2	Descrever as tecnologias relevantes
3	Desenvolver os pressupostos sobre o estado da sociedade
4	Identificar áreas de impacto
5	Realizar análises preliminares dos impactos
6	Identificar possíveis opções para ação
7	Completar a análise dos impactos

Fonte: JONES, 1971

O método de Mitre-Jones é composto por sete etapas, tem foco nas identificações das tecnologias relevantes, identificação das áreas impactadas e na identificação das opções de ações.

Quadro 5: Etapas do método de Coates

Etapas	Atividades
1	Examinar diferentes formulações do problema
2	Especificar alternativas sistêmicas
3	Identificar possíveis impactos
4	Avaliar os impactos
5	Identificar a estrutura decisória
6	Identificar as opções para ação da estrutura decisória
7	Identificar grupos de interesse
8	Identificar alternativas macrosistêmicas (outros caminhos para a meta)
9	Identificar variáveis exógenas ou eventos com prováveis efeitos sobre 1-8
10	Conclusões e recomendações

Fonte: COATES, 1974

O método de Coates foi baseado no método de Mitre-Jones, considerado mais completo, possui dez etapas e é mais focado nos problemas, impactos e nas partes interessadas.

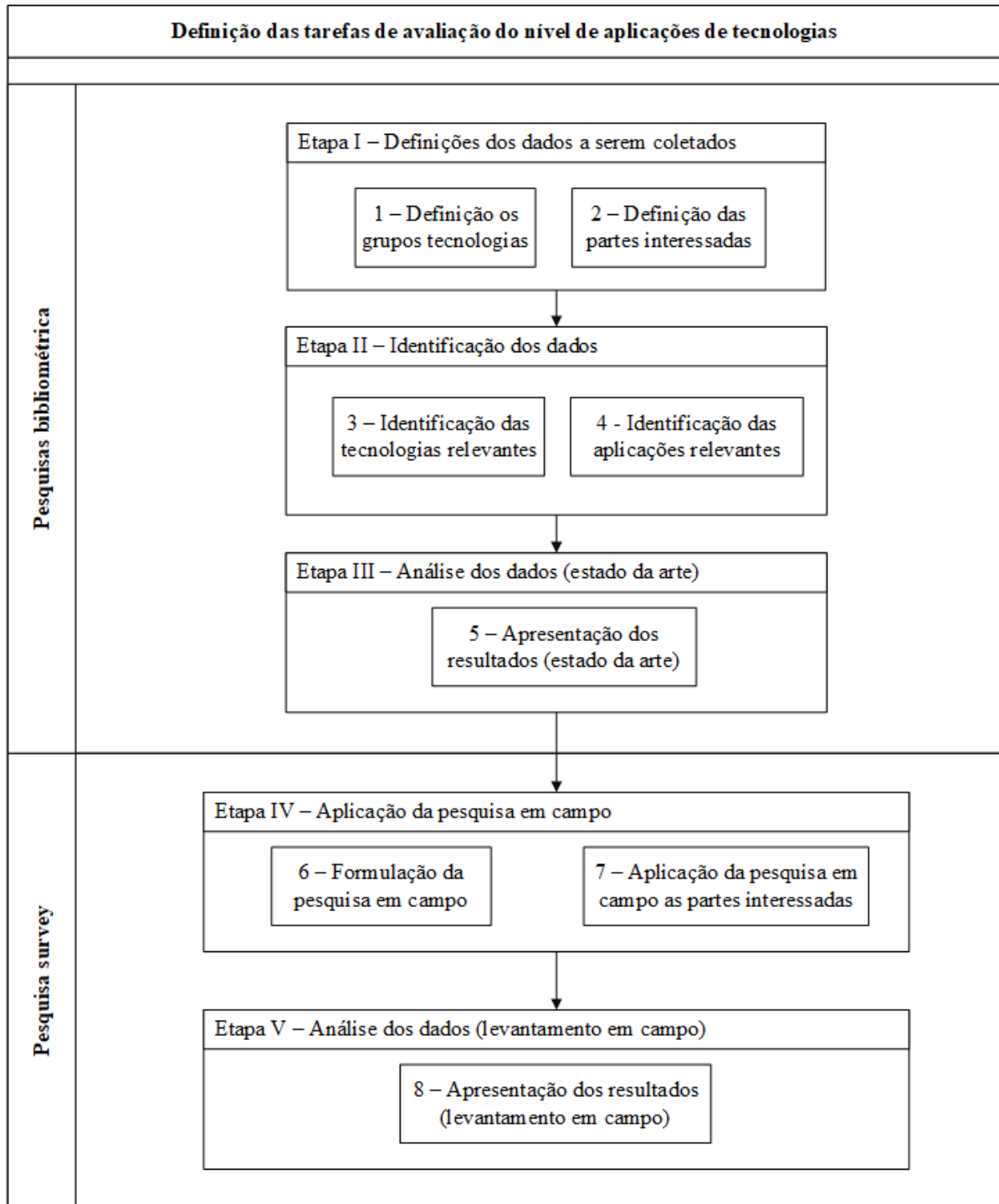
Para esta pesquisa, o modelo de avaliação foi elaborado em duas etapas distintas, na primeira etapa, foram classificados através uma pesquisa bibliométrica, o número de publicações de artigos, quais são as principais tecnologias e suas aplicações na ICC. Focado em dois grupos tecnológicos: Tecnologias sustentáveis e as da Indústria 4.0. Após sua classificação, foram estipuladas pontuações segundo a quantidade de artigos publicados, utilizado como parâmetros para a avaliação do levantamento em campo.

Na segunda etapa, foram levantados em campo quais das tecnologias e suas aplicações classificadas na pesquisa bibliométrica são mais aplicadas na ICC brasileira.

A Figura 9 mostra o modelo desenvolvido com base nos métodos de Mitre-Jones e no de Coates, de forma simplificada, pois não foram analisadas as áreas impactadas e as

problemáticas, devido aos artigos analisados não descreverem as áreas de aplicações das tecnologias.

Figura 9: Modelo de avaliação



Fonte: Autor

O modelo de avaliação é composto por cinco etapas:

- Etapa I: definição das aplicações das tecnologias sustentáveis, das tecnologias da Indústria 4.0 e das partes interessadas;
- Etapa II: identificação das aplicações e as tecnologias sustentáveis, das tecnologias da Indústria 4.0 e suas aplicações, segundo o estado-da-arte, por meio de duas pesquisas bibliométrica;
- Etapa III: Análise e apresentação dos resultados segundo o estado-da-arte;
- Etapa IV: Avaliação da pesquisa em campo, formulando a pesquisa e a aplicando junto às partes interessadas, por meio de uma pesquisa *survey*;
- Etapa V: Análise e apresentação dos resultados da pesquisa em campo.

3.2 PESQUISA BIBLIOMÉTRICA

A partir da Figura 9 serão detalhadas as etapas da Pesquisa Bibliométrica realizada.

3.2.1 Etapa I – Definir dados a coletar (estado-da-arte)

Essa etapa foi subdividido em três partes: 1) Definir as aplicação das tecnologias sustentáveis: com base nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS); 2) Definir as tecnologias da Indústria 4.0: com base na literatura; 3) Definir as partes interessadas: foram definidas as partes interessadas: construtoras, incorporadoras, projetistas e gerenciadoras.

Parte 1: Definição das Tecnologias Sustentáveis que se enquadram nos ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) da ONU e das tecnologias da Indústria 4.0

As aplicações das tecnologias sustentáveis com base nas ODS foram definidas de acordo o item 2.3 (Quadro 2). Sendo considerados: Saneamento e Recursos Hídricos, Energias Renováveis, Eficiência Energética, Resíduos e Emissão de CO₂.

As Tecnologias da Indústria 4.0 foram definidas de acordo o item 2.2 (Quadro 3). Sendo considerados: *Internet das Coisas*, Sistemas Ciber-Físicos, Inteligência Artificial, *Big Data*, Computação em Nuvem, Sistemas Integrados, Segurança Cibernética, RFID (*Radio Frequency Identification*), Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Manufatura Aditiva, Robótica e Simulação Computacional.

Parte 2: Definição das partes interessadas

As partes interessadas referem-se aos segmentos empresariais com mais atuantes na ICC brasileira. As empresas com maior representatividade participaram do levantamento em campo, divididas em quatro segmentos: Construtoras, Incorporadoras, Projetistas e Gerenciadoras. A seleção foi baseada na revista “O Empreiteiro”, que anualmente classifica as empresas por receita bruta. Foram avaliadas as edições N° 554, 562, 569, 576 e 581, entre os anos 2016 a 2020.

3.2.2 Etapa II – Identificar dados (estado-da-arte)

A identificação dos dados foi realizada por meio de pesquisa bibliométrica. A pesquisa bibliométrica ou cienciométrica é a área de investigação que auxilia a identificar tendências e padrões na literatura sobre uma área ou um determinado assunto; essa metodologia denota a área de estudo utilizando métodos matemáticos e estatísticos para investigar e quantificar os processos de comunicação escrita (PRITCHARD, 1969).

Nesta pesquisa, foram levantados indicadores por meio de duas pesquisas bibliométricas, uma para cada grupo de tecnologia, com objetivo descritivo e procedimento documental, sabendo que os dados observados são provenientes de artigos publicados em bases de dados *on-line* e publicados em periódicos.

A abordagem é quantitativa, pois utiliza instrumentos estatísticos para coleta e tratamento dos dados. Sua utilização teve a finalidade de identificação de dados para construção de um método para avaliação do nível tecnológico da ICC brasileira, com base nas tecnologias sustentáveis e as da Indústria 4.0, também a obtenção de materiais para referencial teórico, assim como dados pertinentes para cada tema pesquisado.

Parte 3 e 4: Identificar as aplicações das tecnologias sustentáveis relevantes e as tecnologias

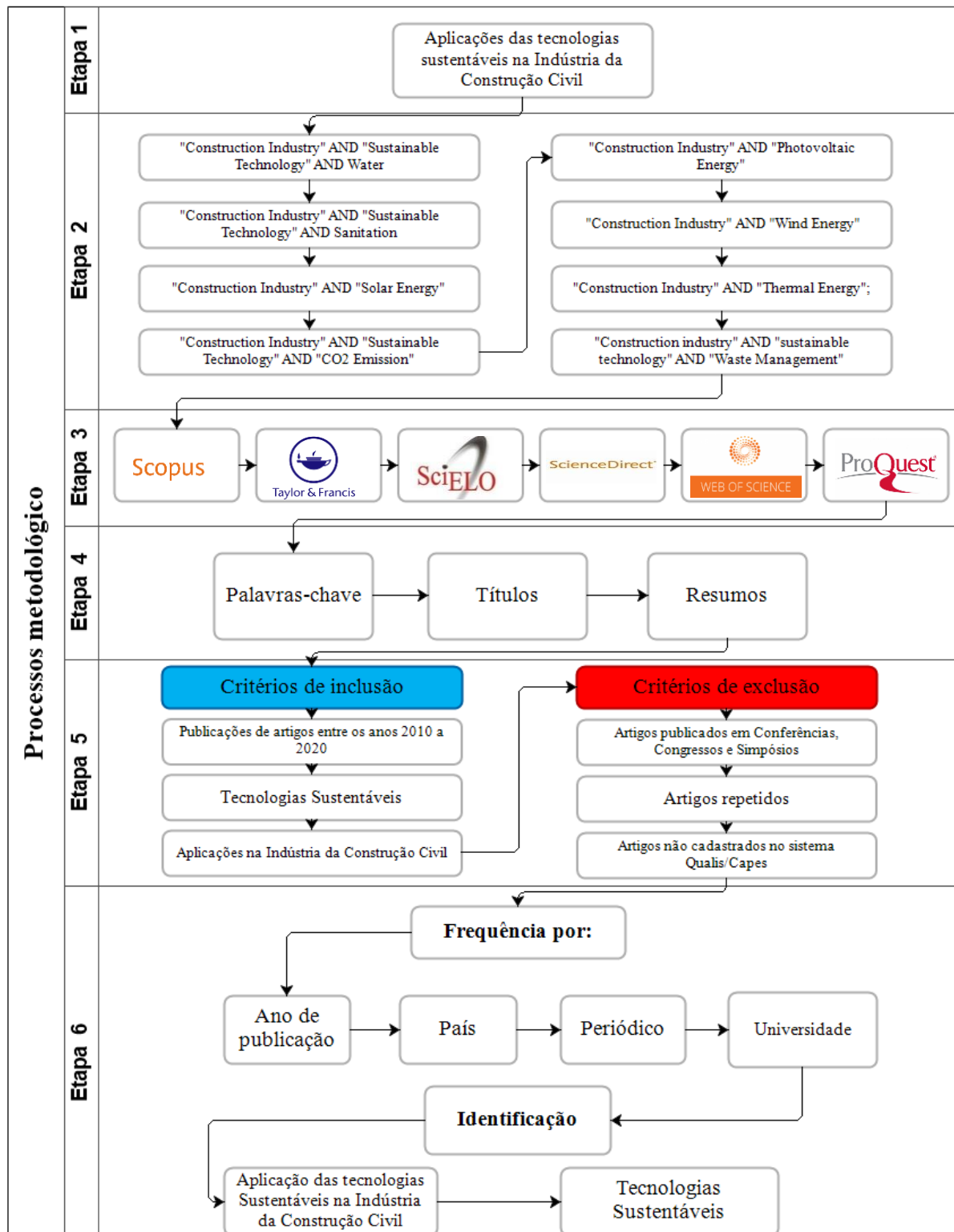
A pesquisa bibliométrica sobre as tecnologias sustentáveis foi subdividida em seis etapas (Figura 10) que correspondem a:

- a) escolha do tema: tecnologias sustentáveis na ICC;
- b) elaboração dos conjuntos de palavras-chave: "*Construction Industry*" AND "*Sustainable Technology*" AND *Water*; "*Construction Industry*" AND "*Sustainable Technology*" AND *Sanitation*; "*Construction Industry*" AND "*Solar Energy*"; "*Construction Industry*" AND "*Photovoltaic Energy*"; "*Construction Industry*" AND "*Wind Energy*"; "*Construction*

Industry" AND "Thermal Energy"; "Construction industry" AND "sustainable technology" AND "Waste Management"; "Construction Industry" AND "Sustainable Technology" AND "CO₂ Emission";

- c) escolha das bases de periódicos indexados: *Web of Science, ProQuest, Scielo, Taylor & Francis, Scopus e Science Direct;*
- d) determinação dos itens para pré-análise: títulos, resumos e palavras-chaves;
- e) criação dos critérios:
 - inclusão: publicações entre 2010-2020, tecnologias sustentáveis e aplicações na ICC.
 - exclusão: artigos repetidos, artigos não cadastrados no sistema Qualis/CAPES e artigos publicados em conferências, congressos e simpósios;
- f) sumarização dos dados: ano de publicação, países, periódicos, autores, Ap_{TS} = Aplicações das Tecnologias Sustentáveis baseadas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis e TS = Tecnologias Sustentáveis baseadas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis.

Figura 10: Processo metodológico das Tecnologias Sustentáveis (TS)



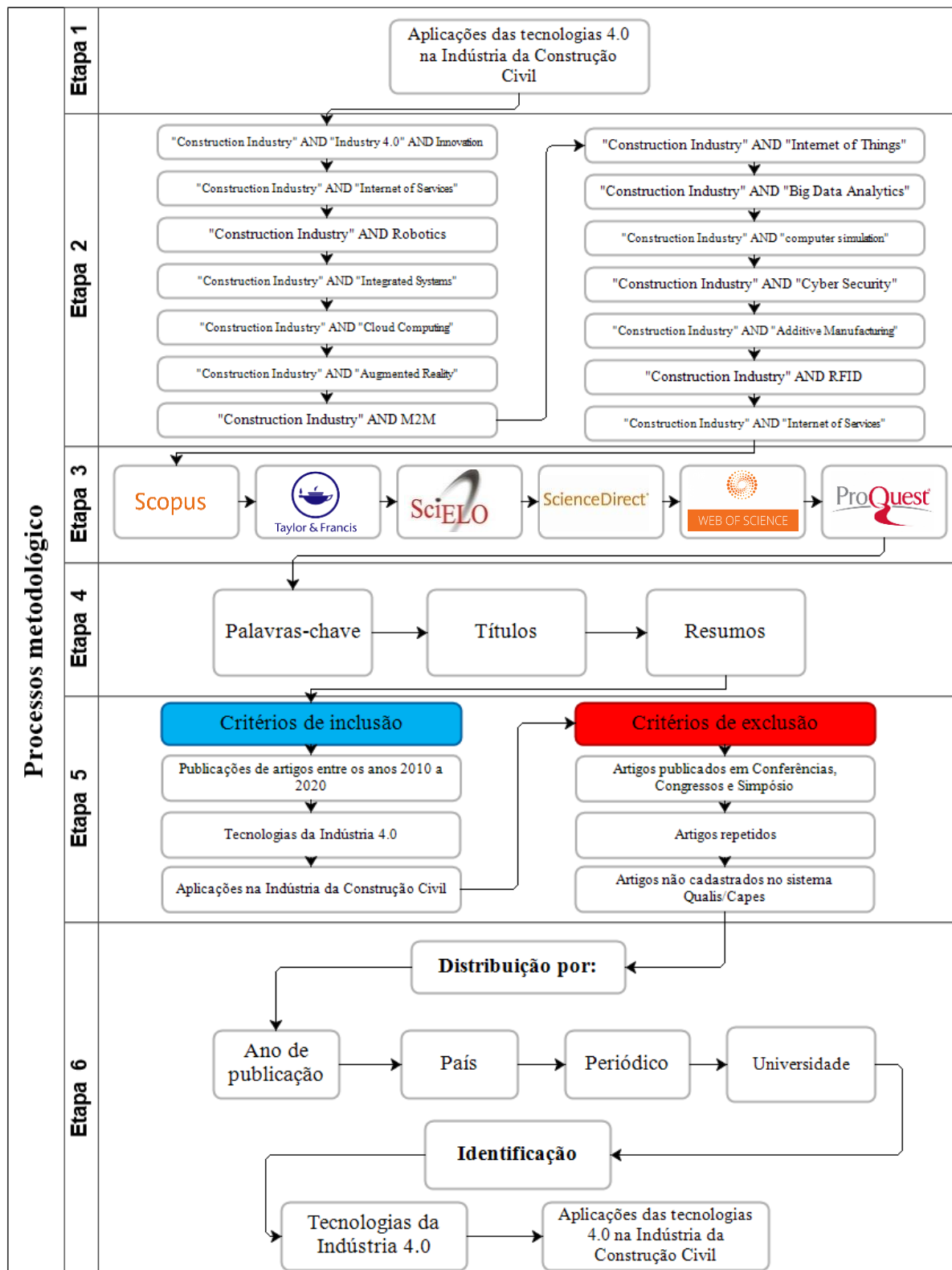
Fonte: Autor

Parte 3 e 4: Identificar tecnologias da Indústria 4.0 relevantes e suas aplicações

A pesquisa bibliométrica sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0) foi subdividida em seis etapas (Figura 11), que correspondem a:

- a) escolha do tema: tecnologia da Indústria 4.0 na ICC;
- b) elaboração dos conjuntos de palavras-chave: "*construction industry*" and "*industry 4.0*" and "*innovation*"; "*construction industry*" and "*internet of things*"; "*construction industry*" and "*internet of services*"; "*construction industry*" and "*big data analytics*"; "*construction industry*" and "*robotics*"; "*construction industry*" and "*computer simulation*"; "*construction industry*" and "*integrated systems*"; "*construction industry*" and "*cyber security*"; "*construction industry*" and "*cloud computing*"; "*construction industry*" and "*additive manufacturing*"; "*construction industry*" and "*augmented reality*"; "*construction industry*" and "*virtual reality*"; "*construction industry*" and "*RFID*";
- c) escolha das bases de periódicos indexados: pesquisa *Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science, ProQuest, Taylor & Francis*;
- d) determinação dos itens para pré-análise: Palavras-chave, títulos e resumos;
- e) criação dos critérios:
 - inclusão: artigos publicados entre 2010-2020; artigos sobre tecnologias da "indústria 4.0" e artigos sobre implementações de tecnologias na ICC;
 - exclusão: artigos publicados em Conferências, Congressos, Simpósios, artigos repetidos e artigos publicados em idiomas diferentes do idioma inglês;
- f) sumarização dos dados: ano de publicação, países, periódicos, autores, TI4.0 = Tecnologias da Indústria 4.0 e $Ap_{TI4,0}$ = Aplicações das Tecnologias da Indústria 4.0.

Figura 11: Pesquisa bibliométrica referente às tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0)



Fonte: Autor

As aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 foram agrupadas em temas pertinentes ao campo de estudo, considerada a tecnologia principal da publicação, somada à Quantidade de

Aplicações (QA) e agrupadas em temas específicos. Por exemplo, foram identificadas 60 aplicações diferentes da tecnologia *Internet* das Coisas, concentradas em 10 Grupos de Classificação (GC) com finalidades de organização existentes no setor. O Quadro 6 mostra, como exemplo, a formulação de dois GC da tecnologia *Internet* das Coisas: Eficiência Energética e Gestão de Equipamentos e Maquinários.

Quadro 6: Exemplo da formulação dos Grupos de Classificação das tecnologias (*Internet* das Coisas)

<i>Internet</i> das Coisas	
Aplicação específica	GC
Medição de energia, monitoramento de consumo de energia elétrica	Eficiência Energética
Avaliação energética de dispositivos e aparelhos	
Monitoramento de temperatura e ventilação de ambiente	
Monitoramento de recursos da Gestão da Cadeia de Suprimentos	
Monitoramento automático de materiais e equipamentos em tempo real	Gestão de Maquinário e Equipamentos
Sensores para montagem de pré-fabricados	
Visibilidade e rastreabilidade dos materiais na construção	
Sensores para monitorar automaticamente o status de materiais, equipamentos e atividades de construção em tempo real	

Fonte: Autor

3.2.3 Etapa III – Análise dos dados (estado-da-arte)

Parte 5: Apresentação dos resultados

Os dados serão organizados por grupos, 1) aplicações das tecnologias sustentáveis (Ap_{TS}), 2) tecnologias sustentáveis (TS), 3) tecnologias da Indústria 4.0 ($TI4.0$), 4) aplicações das tecnologias 4.0 ($Ap_{TI4.0}$). Esses dados serão apresentados através de tabelas e organizados por ordem decrescente, ou seja, por maior número de artigos e sua Pontuação por aplicação (P_a) (Equação 1), conforme seu grupo amostral, esse fator tem objetivo de atribuir pesos diferentes de acordo com a quantidade de artigos publicados e classificados nas pesquisas bibliométrica. Também, é apresentado o valor da Pontuação por aplicação (P_a) que foi concedido na pesquisa *survey*.

$$P_a = \frac{x}{n} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

P_a = Pontuação por aplicação;

x = valores observados: quantidade de artigos ou quantidade de aparições;

n = tamanho do grupo amostral.

3.3 PESQUISA *SURVEY*

3.3.1 Etapa IV – Aplicação da pesquisa em campo

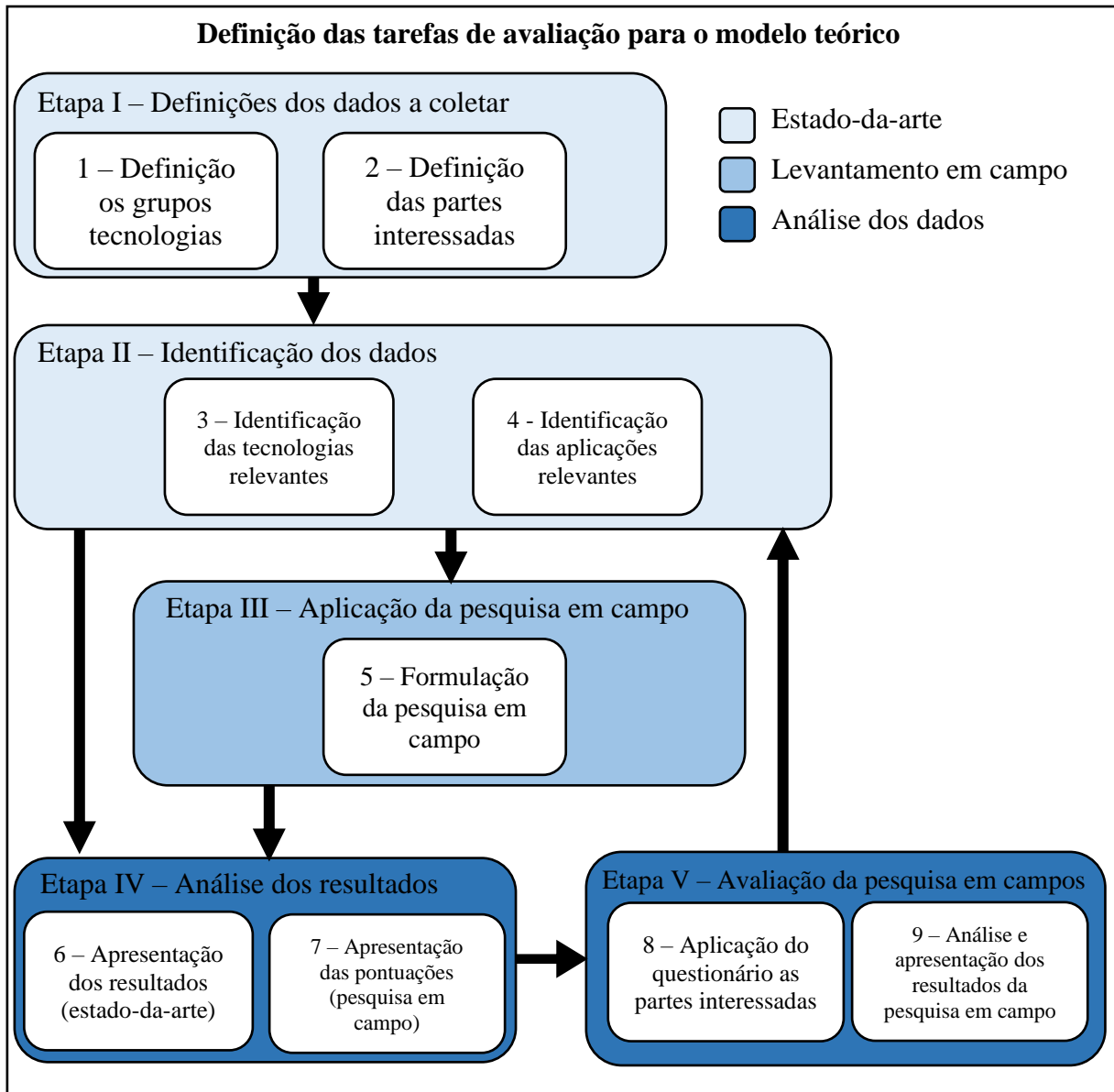
Parte 6 e 7: Formulação da pesquisa em campo

A formulação do levantamento em campo, foi utilizada uma *survey* exploratória e transversal (KUMAR, 2011). Segundo Gil (2002), a pesquisa *survey* é caracterizada pela interrogação direta de um grupo significativo que estão relacionados ao problema de estudo, extraíndo dados para análise quantitativa. Também, é um teste teórico, necessário a elaboração de um modelo teórico, devido a muitos processos em sua execução (FORZA, 2002). Assim, essa pesquisa inclui os seguintes subprocessos: a) construção do modelo teórico; b) desenvolvimento do projeto da *survey*; c) realização do teste piloto; d) realização da coleta de dados; e) análise e interpretação dos dados.

a) Modelo teórico

De acordo com Forza (2002), antes do início de uma pesquisa, é necessária a construção de um modelo teórico para que o pesquisador possa testar sua teoria. Com base nos Métodos de Jones (1971) e Coates (1974), o modelo teórico é composto por cinco etapas com nove atividades, conforme a Figura 12. A construção do modelo teórico foi exclusivamente utilizada no pré-teste, mediante a aprovação dos especialistas descritos no Quadro 9.

Figura 12: Modelo teórico



Fonte: Autor

O Quadro 7 apresenta a execução do modelo teórico, suas atividades e seus objetivos, enviados aos especialistas, mediante a aprovação dos mesmos.

Quadro 7: Atividades e objetivos do modelo teórico

Etapa I – Definições dos dados a coletar		
	Atividade	Objetivo
1	Definição os grupos de tecnologias	Definir quais são os grupos de tecnologias pesquisadas e as partes interessadas (público-alvo)
2	Definição das partes interessadas	
Etapa II – Identificação dos dados		
3	Identificação das tecnologias relevantes	Identificar quais tecnologias, suas aplicações e quais são as áreas problemáticas e/ou impactadas, segundo o estado-da-arte
4	Identificação das aplicações relevantes	
Etapa III – Formulação de parâmetros da pesquisa em campo		
5	Apresentação da pesquisa em campo	Formulação de um questionário de acordo com os dados coletados
Etapa IV – Análise dos resultados		
6	Apresentação dos resultados (estado-da-arte)	Formulação de um questionário de acordo com os dados coletados
7	Apresentação das pontuações (pesquisa em campo)	Utilização dos dados coletados em campo para medir o nível de aplicações das tecnologias sustentáveis e as da Indústria 4.0 na indústria da construção civil brasileira
Etapa V – Avaliação da pesquisa em campo		
8	Aplicação do questionário as partes interessadas	Envio do questionário as partes interessadas
9	Análise e apresentação dos resultados da pesquisa em campo	Análise e apresentação da pesquisa em campo determinando o nível de aplicações das tecnologias sustentáveis e as da Indústria 4.0 na indústria da construção civil brasileira

Fonte: Autor

b) Unidade de análise

De acordo com Flynn *et al.* (1990), a unidade de análise é a relação dos níveis dos dados analisados apresentados na pesquisa, podendo ser focado em indivíduos, grupos, divisões, empresas, projetos, sistema, etc. Sendo necessário a formulação das questões de pesquisa, tais como: Método de coleta de dados, tamanho da amostra e operacionalização do modelo teórico (SEKARAN, 1992). O Quadro 8, apresenta as unidades de análises do projeto.

Quadro 8: Unidade de análise

Unidade	Característica
População	Empresas da Indústria da construção civil brasileira.
Elemento populacional	Empresas brasileiras: Construtoras, Incorporadoras, Gerenciadoras e Projetistas de grande.
Quadro populacional	Maiores empresas do Brasil ranqueadas pela revista “O Empreiteiro”, como base na receita bruta anual entre os anos 2016-2020, nas edições N° 554, 562, 569, 576 e 581.

Fonte: Autor

No último levantamento realizado pelo IBGE (2018), a ICC brasileira possuía 124.522 empresas ativas em diversas áreas de atuação. No presente projeto, foram pesquisadas as 440 empresas mais atuantes na ICC no Brasil, ranqueadas por faturamento bruto anual pela revista especializada em engenharia “O Empreiteiro” entre os anos 2016-2020, edições N° 554, 562, 569, 576 e 581.

Para selecionar as maiores empresas do setor, foram calculadas as médias de Faturamento bruto entre os anos 2016-2020 de cada empresa (X_i), como mostra a Equação 2.

$$X_i = \frac{FB_{2016} + FB_{2017} + FB_{2018} + FB_{2019} + FB_{2020}}{5} \quad (\text{Eq. 2})$$

Foram somados os faturamentos brutos apresentados nas cinco edições e divididas por 5 (número de edições) para obtenção do valor médio de faturamento bruto entre os anos 2016 – 2020. Foram selecionadas as 250 empresas com as maiores médias e classificadas, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Critério para seleção das empresas

Posição	Empresa	2016 (R\$)	2017 (R\$)	2018 (R\$)	2019 (R\$)	2020 (R\$)	receita bruta média (R\$)
1	A	5.019.531	3.154.788	2.388.016	1.437.021	1.360.815	2.672.034
2	B	-	-	11.087.892	1.190.275	-	2.455.633
...
250	IP	2.275	1.584	2.159	1.203	1.790	1.802

Fonte: Autor

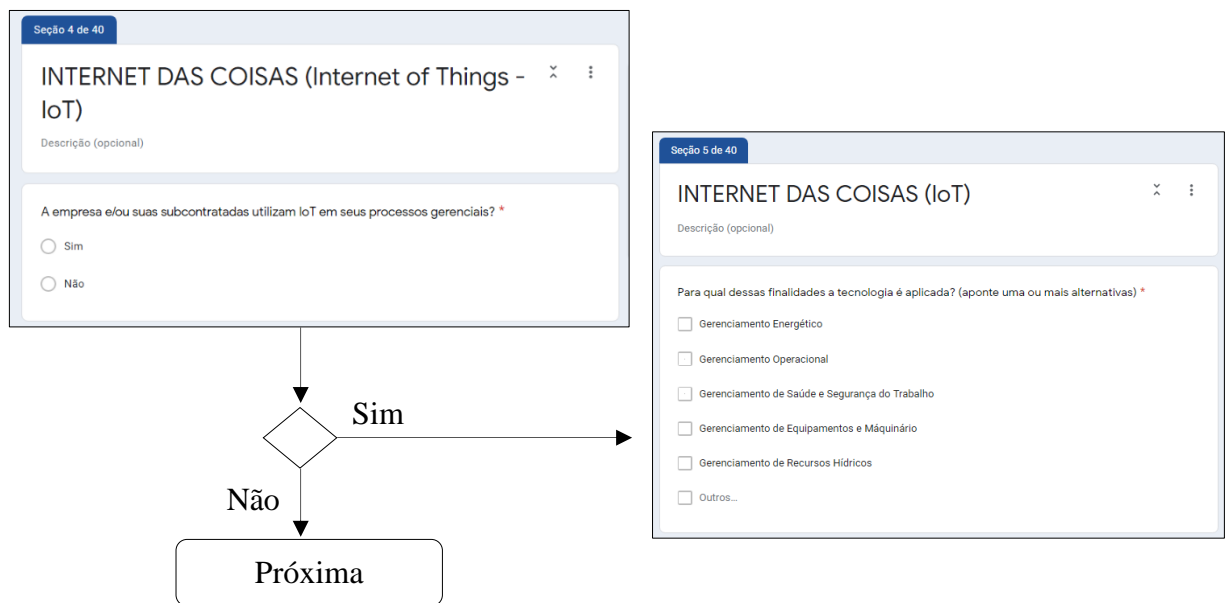
Após o cálculo, as empresas foram divididas em dois grupos: *a*) 250 empresas com maiores médias de faturamento bruto; e *b*) 250 empresas com menores médias de faturamento bruto, com objetivo de atingir de forma igualitária as maiores e menos empresas. Em seguida, foram selecionadas, de forma aleatória, 125 empresas do grupo (*a*) e 125 empresas do grupo (*b*), totalizando $N = 250$.

c) Teste piloto

Foi elaborado um questionário por meio da Plataforma *Google Form*, composto por perguntas fechadas, sendo 13 perguntas dicotômicas (sim ou não), perguntando se a empresa utiliza cada uma das tecnologias da Indústria (TI4.0); caso a resposta seja sim, há outra pergunta de múltipla escolha, apresentando 5 aplicações mais relevantes segundo a pesquisa

bibliométrica e um espaço para outras aplicações, caso a empresa utilize. O mesmo procedimento foi utilizado para as tecnologias sustentáveis (TS); entretanto, foram 5 perguntas sobre as aplicações de tecnologias sustentáveis e, caso a resposta fosse sim, foram apresentadas 5 categorias de tecnologias e espaço para descrição de outras, caso a empresa utilize. A Figura 13 mostra um exemplo da pesquisa *survey*.

Figura 13: Questionário *survey*



Fonte: Autor

Antes da aplicação em campo, o questionário e o modelo teórico passaram pelo teste piloto (pré-teste), eles foram enviados a 5 especialistas (engenheiros com mais de dez anos de atuação na ICC), conforme mostra o Quadro 9, em empresas como: construtoras, gerenciadoras, projetistas e/ou incorporadoras, com objetivo de testar aspectos do questionário, modelo teórico e conferir se cumpre o objetivo da pesquisa (DILLMANN, 1978).

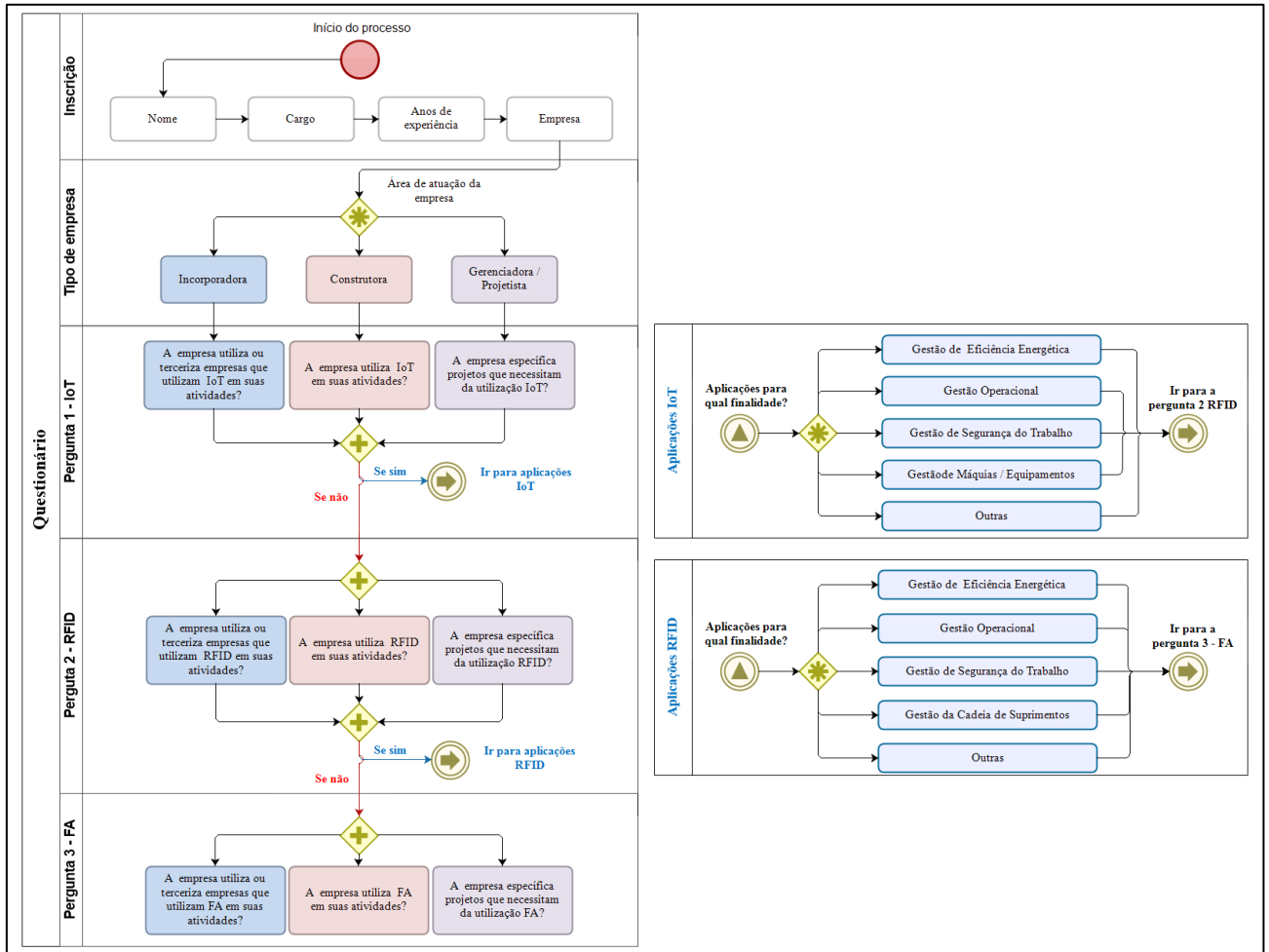
Quadro 9: Qualificações dos especialistas

Especialistas	Função	Formação	Anos de experiência
1	Diretor de contratos	Engenharia civil	Mais de 20 anos
2	Diretor Financeiro	Engenharia civil	Mais de 20 anos
3	Diretor geral	Engenharia civil	Mais de 20 anos
4	Diretor comercial	Engenharia civil	Entre 15 e 20
5	Supervisor de engenharia	Engenharia mecânica	Entre 10 e 15

Fonte: Autor

Foram enviados aos especialistas selecionados, via *e-mail*, o modelo teórico e descrição de sua metodologia e um *link* para acesso ao questionário, que possui a estrutura descrita na Figura 14.

Figura 14: Estrutura do questionário (pré-teste)

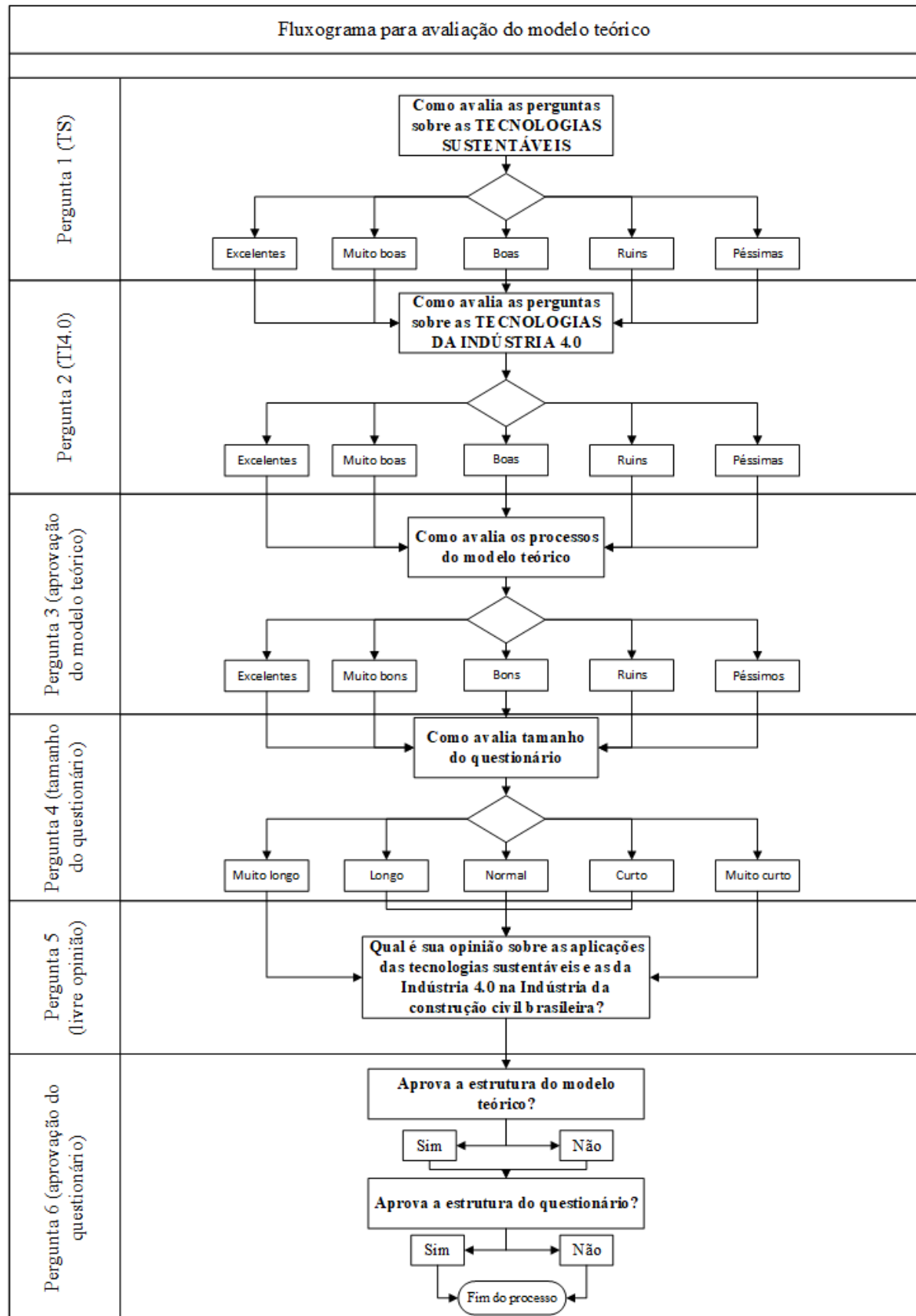


Fonte: Autor

O questionário é composto pelos dados de inscrição dos participantes, seguido pelo tipo de empresa que ele atua e as perguntas sobre a utilização das tecnologias e caso a resposta seja sim, foram apresentadas as aplicações.

Ao fim do questionário padrão, foram incluídas mais cinco perguntas focadas a avaliação dos aspectos da pesquisa, quatro perguntas tipo matriz e uma pergunta aberta, com intuito de saber a opinião do respondente e, por fim, duas perguntas dicotômicas, questionando se aprova ou não o modelo teórico e questionário, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Fluxograma para avaliação sobre o modelo teórico/questionário



Fonte: Autor

d) Coleta em campo

O método usado para coleta de dados foi executado em três etapas (Quadro 10), através de questionários eletrônicos (*Google form*), iniciando por contato via *e-mail* para todas as empresas selecionadas aleatoriamente, o *e-mail* enviado solicitava o encaminhamento para o responsável da empresa pela tecnologia e/ou engenharia e a se havia interesse na participação da pesquisa. No mesmo período as empresas foram contactadas via redes sociais (*Facebook, Twitter e Instagram*), por último, foram conectados os colaboradores das empresas via LinkedIn.

Quadro 10: Método para a coleta de dados

Forma		Processo	Encaminhado
1°	E-mail, ou mensagem via <i>site</i>	Envio de convite para a participação da pesquisa e envio por e-mail dos <i>links</i> , mediante interesse da empresa	Empresa
2°	Redes sociais	Envio de convite para a participação da pesquisa e envio dos <i>links</i> via e-mail e/ou via plataforma, mediante interesse da empresa.	Empresas - colaboradores: supervisores, coordenadores, diretores, sócios/proprietários
3°	Telefone	Verificação de recebimento do e-mail e convite para participação da empresa.	Empresa

Fonte: Autor

Para determinar o mínimo de questionários respondidos, para obtenção de confiabilidade entre 90% a 99%, foi aplicado o cálculo descrito na Equação 3, (HARREL, 2001).

$$n = \frac{\left(\frac{Z_{\alpha}}{n}\right)^2 \times P(1 - P) \times N}{e^2 \times (N - 1) + \left(\frac{Z_{\alpha}}{n}\right)^2 \times P(1 - P)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

n = número de elementos necessários para a amostra;

$z_{\alpha/2} = 1,96$ (grau de confiança = 1,64 para 90% ou 1,96 para 95% ou 2,58 para 99%);

P = 0,5, corresponde ao percentual de variação do fenômeno (Obs: Se não há evidência prévia da estimativa de comportamento desse percentual, recomenda se utilizar 50%, (HARREL, 2001));

N = 250 (tamanho da população, conforme planejado);

e = 0,05 (erro máximo pretendido para a amostra).

e) Análise e interpretação dos dados

De acordo com Meredith (1998), é apropriada a escolha de testes estatísticos para que o pesquisador possa passar os dados do domínio empírico para o teórico, estabelecendo processos que implicam considerações de inferências e generalização. Dessa forma, nesta pesquisa, foram analisados os questionários respondidos, sendo os dados apresentados utilizando estatística descritiva.

Os questionários respondidos foram analisados e tabulados usando *SigmaPlot* (*Systat Software, Inc.*), sendo que as análises realizadas, incluíram, estatísticas descritivas e testes de hipóteses utilizando a comparação de duas médias por meio do teste *qui-quadrado* de Pearson.

As empresas participantes foram divididas em dois grupos A e B, sendo, A = “Grupo das empresas com os maiores médias de faturamento bruto” e B = “Grupo das empresas os menores de faturamento bruto”. De acordo com a revista o “Empreiteiro” (edições: N° 554, 562, 569, 576 e 581, entre os anos 2016 a 2020).

Sendo hipótese nula (H_0):

Se $p > 0$, $H_0 =$ Não há diferenças significativas entre os dois grupo;

Sendo hipótese alternativa (H_1):

Se $p = 0$, $H_1 =$ Há diferenças significativas entre os dois grupo.

Foram utilizados, $\alpha = 0,050$ e grau de liberdade = 1. Para analisar as aplicações das tecnologias da I4.0 da pesquisa, foram utilizadas estatísticas descritivas, frequência e média amostral.

Parte 8: Apresentação dos resultados

Para a análise e interpretação dos dados gerados pela pesquisa em campo, e determinar o Nível de Aplicações de Tecnologias Sustentáveis (NA_{TS}) e o Nível de Aplicações de Tecnologias da Indústria 4.0 ($NA_{TI4.0}$), foram concedidos 10 pontos para cada tecnologia da I4.0 e 10 ponto para cada aplicação de TS que as empresas declararam utilizar, esse valor foi multiplicado pelo total de artigos de seu grupo amostral (valor estipulado na pesquisa bibliométrica), de modo a estabelecer maior importância para as tecnologias mais relevantes segundo o estado-da-arte. Também, foram somados as médias amostrais de todas as aplicações de TI4.0 e por cada TS que as empresas de utilizam.

3.3.2 Etapa V – Análise dos dados

Por meio da avaliação da pesquisa *survey*, foram calculadas de acordo com as pontuações por aplicações das tecnologias sustentáveis, estabelecidos da pesquisa bibliométrica, calculado para cada empresa (Equação 4). Assim como o Nível de aplicação de tecnologias sustentáveis na ICC brasileira, somando-se todas NA_{TS} e dividindo pelo total de empresas participantes (n) (Equação 5).

$$NA_{TS,1} = \sum PA_{TS} + \sum [PA_{(TS,1)} + PA_{(TS,2)} + PA_{(TS,3)} + PA_{(TS,4)} + PA_{(TS,5)}] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$NA_{TS,ICC} = \frac{\sum (NA_{TS,1} + \dots + NA_{TS,162})}{n} \quad (\text{Eq. 5})$$

Também se calculou o Nível de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira $NA_{TI4.0}$ (Equação 6)

$$NA_{TI4.0,1,ICC} = \sum PA_{TI4.0} + \sum [PA_{(TI4.0,1)} + \dots + PA_{(TI4.0,13)}] \quad \text{Eq. (6)}$$

Em que, com o valor $NA_{TS,1}$ as empresas participantes foram classificadas de acordo com seu nível. A pontuação das Tecnologias sustentáveis (TS) varia entre 0 e 15 ponto e, para as Tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0), varia entre 0 e 22.

Os níveis tecnológicos das empresas foram medidos conforme as escalas descritas nas Tabelas 6 e 7, os valores estipulados são escalados de acordo com sua pontuação máxima dividido por 5 (número de níveis). As tecnologia e aplicação que as empresas apresentaram e não estavam entre as do questionário, foram considerado o valor mais baixo entre seu grupo amostral.

Tabela 6: Classificação das tecnologias sustentáveis

Valor de NA_{TS}	Nível de aplicação de TS
0 a 3,0	Baixíssimo
3,1 a 6,0	Baixo
6,1 a 9,0	Médio
9,1 a 12,0	Alto
12,1 a 15	Altíssimo

Fonte: Autor

O valor de NA_{TS} determina se o nível de aplicações de tecnologias sustentáveis de cada empresa questionada. Baixíssima, caso o valor de NA_{TS} entre 0 a 3,0 pontos, baixo, caso o valor de NA_{TS} entre 3,1 a 6,0 pontos, médio, caso o valor de NA_{TS} entre 6,1 a 9,0 pontos, alto, caso valor de NA_{TS} entre 9,1 a 12 pontos e altíssimo, caso o valor de NA_{TS} entre 12,1 a 15.

No final, as pontuações de todas as empresas foram somadas e divididas pelo número de empresas participantes (n). A pontuação dessa média foi enquadrada na Tabela 6 para determinar o Nível de Aplicação de Tecnologias Sustentáveis da Indústria na Construção Civil brasileira.

Tabela 7: Classificação das tecnologias da Indústria 4.0

Valor de $NA_{T4.0}$	Nível de aplicação de TI4.0
0 a 4,8	Baixíssimo
4,9 a 9,6	Baixo
9,7 a 14,4	Médio
14,5 a 19,2	Alto
19,3 a 22	Altíssimo

Fonte: Autor

O valor de $NA_{T4.0}$ determina se o nível de aplicações de tecnologias sustentáveis na ICC brasileira: baixíssima, caso o valor de $NA_{TI4.0}$ entre 0 a 4,8 pontos, baixo, caso o valor de NA_{TS} entre 4,9 a 9,6 pontos, médio, caso o valor de $NA_{TI4.0}$ entre 9,7 a 14,4 pontos, alto, caso valor de $NA_{TI4.0}$ entre 14,5 a 19,2 pontos e altíssimo, caso o valor de $NA_{TI4.0}$ entre 19,3 a 22.

No final, as pontuações de todas as empresas foram somadas e divididas pelo número de empresas participantes (n), sendo a pontuação dessa média enquadrada na Tabela 7 para determinar o Nível de Aplicação de Tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos em três partes: resultados da pesquisa bibliométrica das tecnologias da Indústria 4.0; resultados da pesquisa bibliométrica das tecnologias sustentáveis; e resultados da pesquisa *survey*.

4.1 RESULTADOS DA PESQUISAS BIBLIOMÉTRICAS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

4.1.1 Distribuição por relevância das aplicações das Tecnologias Sustentáveis (TS)

Este trabalho realizou uma pesquisa bibliométrica que consiste em analisar a produção científica sobre aplicações de tecnologias sustentáveis na Indústria da construção civil. A amostragem inicial, foram pré-analisados 4.324 artigos, desse total, foram baixados 564 artigos para análise e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Ao fim da análise e aplicação dos critérios, a Quantidade de Artigos (QA) de artigos selecionados que se enquadraram nos parâmetros desta pesquisa, foram de 173 artigos no total.

A Tabela 8 mostra a distribuição por quantidade de aparições nos artigos selecionados das aplicações das tecnologias sustentáveis com base nas ODS.

Tabela 8: Distribuição dos artigos por aplicações das tecnologias sustentáveis

Classificação	Grupo de classificação das aplicações	QA	$PA = \frac{QA}{TA}$	$PA_{TS} = P_a \times 10$
$Ap_{TS,1}$	Eficiência Energética	85	0,360	3,602
$Ap_{TS,2}$	Saneamento e Recursos Hídricos	60	0,254	2,542
$Ap_{TS,3}$	Energias Renováveis	49	0,208	2,076
$Ap_{TS,4}$	Resíduos	37	0,157	1,568
$Ap_{TS,5}$	Emissão de CO ₂	5	0,021	0,212
Total de Artigos (TA)		236		

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, PA = Pontuação por aplicação; PA_{TS} = Pontuação por aplicação das tecnologias sustentáveis

Entre os 173 artigos analisados, foram encontradas 263 aparições, ressaltando que foram identificados duas ou mais aplicações no mesmo artigo. Dessa forma, foram encontrados 85 artigos com aplicações tecnológicas para Eficiência Energética; 60 artigos para Saneamento e Recursos Hídricos; 49 artigos para Energias Renováveis; 37 artigos para Gestão de Resíduos e 5 artigos para Gestão de Emissão de CO₂. O levantamento mostra que aplicações focadas em Saneamento e Recursos Hídricos somado com as aplicações em Eficiência Energética são os mais relevantes segundo o estado-da-arte, somados, representam 61,44% dos artigos analisados.

Entre as aplicações das tecnologias sustentáveis destaca-se a Eficiência Energética, sendo a aplicação mais relevante. Essa aplicação é de grande importância no cenário atual do setor, pois essa aplicação impacta positivamente em várias áreas. Segundo Baniassadi, Heusinger e Sailor (2018), a relevância das tecnologias para EE está relacionada a questões ambientais, custos e fornecimento limitado de energia. Eles apontam que esses problemas têm intensificados os esforços para as aplicações de novas tecnologias nos edifícios, principalmente tecnologias com objetivo de maior EE.

Já Gao *et al.* (2019) aponta que a questão das tecnologias para EE está ligada à rápida expansão de indústria de construção, devido à grande urbanização, que resulta em um aumento acentuado no consumo de energia indústria de construção. Enquanto Masia, Kajimo-Shakantu e Opawole (2020) indica que a questão da importância das tecnologias de EE está ligada ao conceito de construções verdes.

Outro destaque foram as tecnologias para geração de energias renováveis, principalmente a captação de energia solar. Segundo Chen *et al.* (2022), a substituição do sistema de geração energia convencional por um sistema de energia integrado composto por dispositivos de conversão de energia renovável e de alta eficiência, podem diminuir o consumo de combustíveis fósseis e mitigar os problemas ambientais.

Wang e Feng (2018) apontam que as mudanças estruturais, tecnologias para monitoramento e eficiência do uso de energia, contribuem para reduções de emissões poluentes (WANG; FENG, 2018). Maqbool (2018) indica que projetos de energia renovável bem-sucedidos são cruciais para que o meio ambiente seja mais limpo e sustentável. Esses motivos, estão pressionando os países e formularem políticas para forçar o mundo a dobrarem suas participações na produção e consumo de energia renovável até 2030.

A aplicação de TS com menor número de artigos publicados, foi para a gestão de emissões de CO₂, esse dado é negativo, pois a questão de emissões de gases poluentes é uma das grandes problemáticas do setor (WEF, 2016; AHMAD *et al.* 2016; HURLIMANN; MYERS; BROWNE, 2019, GUERRA *et al.* 2021; CHENG *et al.*, 2022). De acordo com Yang, Yang e Jia (2021) o desenvolvimento de tecnologias tem um papel relevante para a mitigação das emissões de CO₂, e suas aplicações é de extrema importância, visto que o setor está entre os que emitem mais CO₂ na atmosfera (ZHANG *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2022).

4.1.2 Distribuição das tecnologias sustentáveis

Eficiência Energética foi a aplicação com maior número de aparições nos artigos selecionado, a Tabela 9 mostra as principais tecnologias focadas em sustentabilidades.

Tabela 9: Tecnologias sustentáveis – Eficiência Energética

Eficiência Energética			
Classificação	Tecnologias sustentáveis	Qa	$P_{a,1} = \frac{Qa}{Ta_1}$
$TS_{1,1}$	Simulação Computacional (Energia e temperatura)	19	0,146
$TS_{1,2}$	Matérias de baixa condutividade térmica	13	0,100
$TS_{1,3}$	Sistema Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (HVAC)	11	0,085
$TS_{1,4}$	<i>Heat pump</i> (Bomba de calor)	11	0,085
$TS_{1,5}$	Telhado Verde	11	0,085
$TS_{1,6}$	Fachadas com Isolamento (Térmico / Opacas / Duplas)	10	0,077
	Outras tecnologias	55	
Total de aparições nos artigos (Ta1)		130	

Legenda: Qa = Quantidade de aparições nos artigos, Pa = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 22 tecnologias, sendo que, entre essas tecnologias, destaca-se Simulação Computacional (19), a tecnologia com maior número de estudos. Dentre outras tecnologias, constam: Dispositivo de sombreamento solar (8) Projeto com sensores de Iluminação Natural (8), Sistema de Ventilação Natural (7), BIM (5), Dispositivo para Medição de Eficiência Energética (5), Iluminação Artificial Baixo Gasto Energético (4), Paredes Verdes (4), Armazenamento de Energia (3), *Trombe wall* (3), Janela Eficiente (2), Chaminé solar (1), Gêmeos Digital (1), Inteligência Artificial (1), Ventiladores de velocidade variável (1), Pisos para aquecimento e refrigeração (1) e Sensores de Ocupação (1).

A segunda aplicação foi Saneamento e Recursos Hídricos, a Tabela 10 mostra as 6 tecnologias com mais aparições nos artigos selecionados.

Tabela 10: Tecnologias sustentáveis – Saneamento e Recursos Hídricos

Saneamento e Recursos Hídricos			
Classificação	Tecnologias sustentáveis	Qa	$P_{a,2} = \frac{Qa}{Ta_2}$
$TS_{2,1}$	Sistema de Tratamento de Águas Cinzas	14	0,275
$TS_{2,2}$	Sistema de Captação de Água da Chuva	10	0,196
$TS_{2,3}$	Chuveiros, torneiras e vasos Eficientes	8	0,157
$TS_{2,4}$	Simulação Computacional (Hídrico)	6	0,118
$TS_{2,5}$	Central de Tratamento de Água	5	0,098
$TS_{2,6}$	Dispositivo para Eficiência Hídrica	3	0,059
	Outras tecnologias	5	
Total de aparições nos artigos (Ta2)		51	

Legenda: Qa = Quantidade de aparições nos artigos, Pa = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 10 tecnologias aplicadas em Saneamento e/ou Recursos Hídricos. Destacam-se: Sistema de Tratamento de Águas Cinzas (14) e Sistema de Captação de Água da Chuva (10). Entre as outras tecnologias, estão: Vaso Sanitário a Vácuo (2), Sistema de irrigação de jardins inteligentes (1), Detectores de Umidade do Solo (1) e Sistema de geração com armazenamento de neve (1).

A terceira aplicação mais relevante foram as tecnologias focadas para produção de energias renováveis, a Tabela 11 mostra as 7 principais tecnologias para a produção de energia renovável.

Tabela 11: Tecnologias sustentáveis – Energia Renovável

Energia Renovável			
Classificação	Tecnologias sustentáveis	Qa	$P_{a,3} = \frac{Qa}{Ta_3}$
<i>TS</i> _{3,1}	Sistema de Captação de Energia Fotovoltaica	41	0,603
<i>TS</i> _{3,2}	Sistema de Captação de Energia Fototérmica	10	0,147
<i>TS</i> _{3,3}	Fachada Fotovoltaica	6	0,088
<i>TS</i> _{3,4}	Biodigestores	4	0,059
<i>TS</i> _{3,5}	Turbina Eólica Integrada	4	0,059
<i>TS</i> _{3,6}	Simulação Computacional (Energia)	2	0,029
<i>TS</i> _{3,7}	Micro Usina Hidrelétrica	1	0,015
Total de aparições nos artigos (Ta₃)		68	

Legenda: Qa = Quantidade de aparições nos artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 7 tecnologias para a produção de energia renovável, com destaque para Sistema de Captação de Energia Fotovoltaica (41), sendo considerada a tecnologia sustentável com maior número de aparições entre todas as tecnologias encontradas.

A quarta aplicação das tecnologias sustentáveis está relacionada aos Resíduos, a Tabela 12 mostra as 7 tecnologias identificadas.

Tabela 12: Tecnologias sustentáveis – Resíduos

Resíduos			
Classificação	Tecnologias sustentáveis	Qa	$P_{a,4} = \frac{Qa}{Ta_4}$
<i>TS</i> _{4,1}	Materiais Reutilizados de Resíduos	13	0,361
<i>TS</i> _{4,2}	Software de gestão de resíduos	9	0,250
<i>TS</i> _{4,3}	Concreto Sustentável	9	0,250
<i>TS</i> _{4,4}	<i>Big Data Analytics</i>	2	0,056
<i>TS</i> _{4,5}	Simulação computacional	1	0,028
<i>TS</i> _{4,6}	Robótica	1	0,028
<i>TS</i> _{4,7}	<i>Internet das Coisas</i>	1	0,028
Total de aparições nos artigos (Ta₄)		36	

Legenda: Qa = Quantidade de aparições nos artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Das 7 tecnologias identificadas, destacam-se, Materiais Reutilizados de Resíduos (13), Software de gestão de resíduos (9) e Concreto Sustentável (9).

As tecnologias sustentáveis para gerenciamento de emissão de CO₂ se mostrou a aplicação sustentável com menos aparições e com o menor número de tecnologias, a Tabela 13 mostra as 4 tecnologias identificadas.

Tabela 13: Tecnologias sustentáveis – Emissão de CO₂

Emissão de CO ₂			
Classificação	Tecnologias sustentáveis	Qa	$P_{a,5} = \frac{Qa}{Ta_5}$
TS _{5,1}	Sensor de Monitoramento de Qualidade do Ar	3	0,429
TS _{5,2}	Identificação por Rádio Frequência (RFID)	2	0,286
TS _{5,3}	Realidade Virtual de emissões de CO ₂	1	0,143
TS _{5,4}	Simulação Computacional de emissões de CO ₂	1	0,143
Total de aparições nos artigos (Ta₅)		7	

Legenda: Qa = Quantidade de aparições nos artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Entre as tecnologias focadas na emissão de CO₂, destacam-se: Sensor de Monitoramento de Qualidade do Ar (3) e RFID (2).

Em relação às tecnologias para as aplicações sustentáveis, a simulação computacional foi a que obteve maior destaque, pois, foi a única tecnologia identificadas em todas as aplicações sustentáveis. A grande quantidade de aplicações na ICC vem provando que a simulação computacional é uma ferramenta útil de apoio à decisão para projetos de construção há mais de quatro décadas. No entanto, não ganhou ampla adoção pela indústria (ABDELMEGID *et al.*, 2019).

Hao, Hills e Huang (2007), apontavam que a integração de simulação ao modelo de execução teria o potencial de ajudar os tomadores de decisão e ajudaria os profissionais a entender melhor a complexidade das informações e processos envolvidos no gerenciamento ao longo do ciclo de vida de um projeto. Também, como a utilização de simulação computacional contribui para o desenvolvimento de metodologias dinâmicas, por exemplo: construção de planejamento estratégico para resíduos de demolições. Entretanto, dois fatores afetam diretamente a aplicação de simulação computacional, a participação ativa dos envolvidos e o custo (HAO *et al.*, 2010).

Já Akin *et al.* (2021) indicam que a utilização de SC contribui diretamente a EE de edifícios, dado que sua aplicação melhoraram o desempenho de iluminação natural das edificações estudadas, também, que a ferramenta é eficaz em termos de percepção aumentada, processos de design contínuos, design performativo de iluminação natural e interação de

modelos. No entanto, suas ferramentas e integração com outros *softwares* é desafios a serem resolvidos.

E de acordo com Liu *et al.* (2021), a utilização de simulação computacional se mostrou importante para estudos relacionados aos coeficientes de transferência de calor, absorção de radiação solar das paredes externas, telhado e janelas, que impactam positivamente nas escolhas dos materiais para a construção de edifícios para que os mesmos, obtenha melhorias em relação a sua EE. Porém, é importante uma boa execução dos projetos simulados de iluminação, sombreamento e ventilação natural, para que a edificação obtenha uma EE conforme o projetado (BANSAL; PAL, 2009; YILDIRIM; HIDAYETOGLU; SEN, 2012; MUSHTAHA; MORI; MASAMICHI, 2012; DE LUCA *et al.*, 2018).

Em relação às tecnologias para geração de energias renováveis, de acordo com Miranda, Szklo e Schaeffer (2015) A energia solar fotovoltaica é uma fonte promissora de geração de eletricidade, entretanto, sua implementação é custo relativamente alta. Entre as principais TS para esse objetivo, Alrashed e Asifab (2015), assinalam às três principais tecnologias de geração de energias renováveis: solar fotovoltaica, microturbinas eólicas e aquecedores solares de água. A tecnologia mais popular encontrada nesta pesquisa foi a solar fotovoltaico.

Já, Akata, Njomo e Agrawal (2017) apontam que a aplicação de placas fotovoltaicas é viável economicamente. Suas análises mostraram que o sistema é capaz de reduzir o consumo anual de energia primária, no caso, de 79,58 kWh/m² para 13,64 kWh/m², além das reduções dos custos que seriam gastos com materiais e mão de obra para a construção da cobertura de um edifício convencional.

No caso dos recursos hídricos, sistemas para captação de água da chuva é uma ferramenta que contribui para combater uma grande problemática do setor. Ghisi *et al.* (2018), apontam que esse sistema é uma alternativa sustentável e viável financeiramente e Jing *et al.* (2017) mostram que, em termos de economia e viabilidade, sistemas de captação de água da chuva com maior capacidade de armazenamento, permitem maior eficiência em sua economia e na confiabilidade no tempo de abastecimento de água. Enquanto Wu *et al.* (2020) apontam que captação de água da chuva, reciclagem de água e tecnologias para o controle e monitoramento são as principais ferramentas para elaboração de projetos de edificações verdes.

4.1.3 Distribuição por relevância das Tecnologias da Indústria 4.0 (TI4.0)

Este trabalho realizou uma pesquisa bibliométrica que consiste em analisar a produção científica sobre aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 na Indústria da construção civil. A amostragem inicial, foram pré-analisados 2.255 artigos, desse total, foram baixados 1.079

artigos para análise e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Ao fim da análise e aplicação dos critérios, a Quantidade da Artigos (QA) de artigos selecionados que se enquadraram nos parâmetros desta pesquisa, foram de 469 artigos no total.

A Tabela 14 mostra a quantidade e o percentual dos artigos selecionados, sendo classificados por meio das tecnologias da Indústria 4.0 mais representativas. Destaca-se que as tecnologias *Internet* de Serviços, automação e comunicação Máquina para máquina, não obtiveram amostras relevantes ou foram nulas.

Tabela 14: Distribuição dos artigos por tecnologia da I4.0

Classificação	Tecnologias da Indústria 4.0	QA	$P_a = \frac{QA}{TA}$	$Pa_{TI4.0} = P_a \times 10$
TI4.0 ₁	Manufatura Aditiva	90	0,192	1,919
TI4.0 ₂	Internet da Coisas	70	0,149	1,493
TI4.0 ₃	Simulação Computacional	65	0,139	1,386
TI4.0 ₄	Robótica	38	0,081	0,810
TI4.0 ₅	Realidade Aumentada	33	0,070	0,704
TI4.0 ₆	RFID	32	0,068	0,682
TI4.0 ₇	<i>Big Data</i>	31	0,066	0,661
TI4.0 ₈	Inteligência Artificial	27	0,058	0,576
TI4.0 ₉	Realidade Virtual	26	0,055	0,554
TI4.0 ₁₀	Sistema Ciber-físico	18	0,038	0,384
TI4.0 ₁₁	Sistema Integrado	18	0,038	0,384
TI4.0 ₁₂	Computação em Nuvem	17	0,036	0,362
TI4.0 ₁₃	Segurança Cibernética	4	0,009	0,085
Total de Artigos (TA)		469	1	10

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação, PA_{TI4.0} = Pontuação por aplicação das tecnologias da Indústria 4.0

Os resultados da pesquisa bibliométrica refletem a busca por melhorias nos principais problemas da ICC, as principais apontadas no referencial teórico. Entre as TI4.0, destaca-se a Manufatura Aditiva (MA), como a mais relevante. Segundo Pessôal *et al.* (2021) a MA é apontada como uma tecnologia disruptiva, ou seja, de revolucionar a ICC, impulsionado pela popularização do BIM e pelo aumento da demanda de novas estrutura em obras de alto desempenho que exigem a construção de formas geométricas de difícil execução em campo (WANG, 2017; KANYILMAZ *et al.*, 2022).

Outra razão para a popularidade da MA é condição de viabilizar novos projetos, com maior grau de liberdade de criação de estruturas mais complexas com maior economia na execução (LACHMAYER *et al.*, 2021). Entretanto, de acordo com Sepasgozaar, Shirowzhan e

Wang (2017) ainda, existem grandes barreiras para a implementação bem-sucedida da MA em projetos de construção, devido à falta de conhecimento em relação à operação do maquinário, trabalhadores pouco qualificados e processos complicados de análise de dados.

Um destaque negativo foi a tecnologia Segurança Cibernética (SC), foi a menos relevante, segundo Mantha, Soto e Karri (2021) A digitalização e a automação estão tornando realidade na ICC, mas o setor é vulnerável a ataques cibernéticos. Turk *et al.* (2022) afirmam que a tendência de hoje é a elaboração e gerenciamentos de projetos por meio de tecnologias digitais, tornando o setor cada vez mais exposto a riscos de segurança cibernética.

No entanto, a indústria da construção é um seguimento relativamente novo e específico, precisando de uma estrutura especializada que ajude a entender e gerenciar a segurança cibernética (TURK *et al.*, 2022). Nota-se que para uma segurança eficaz, carece de alto investimento, visto que devido a ataques de *hackers* a empresas, órgãos governamentais e indivíduos, aumenta a preocupação com a segurança cibernética. Reflexo dessa preocupação é o crescimento um setor de segurança cibernética do Reino Unido, estimado em mais de £ 6 bilhões ou US\$ 8 bilhões de dólares (TYRER, 2015).

4.1.4 Distribuição das aplicações das tecnologias da Indústria 4.0

Fabricação Aditiva foi a tecnologia da Indústria 4.0 com maior número de artigos publicados, a Tabelas 15 mostra as seis aplicações mais relevantes.

Tabela 15: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Manufatura Aditiva

Manufatura Aditiva			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,1} = \frac{QA}{TA_1}$
Ap _{TI4.0(1),1}	Fabricação de estruturas em concreto	25	0,269
Ap _{TI4.0(1),2}	Fabricação de materiais metálicos	14	0,151
Ap _{TI4.0(1),3}	Utilização/fabricação de aditivos e compósitos	12	0,129
Ap _{TI4.0(1),4}	Fabricação de materiais (cabos, tijolos, canos etc.)	11	0,118
Ap _{TI4.0(1),5}	Fabricação de materiais cimentícios	10	0,108
Ap _{TI4.0(1),6}	Fabricação Aditiva com Robôs	5	0,043
	Outras aplicações	16	
Total de Artigos (TA₁)		93	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 14 aplicações, sendo Fabricação de estruturas em concreto (25), a aplicação com maior número de publicações. Em outras publicações podemos citar: Elaboração de metodologias para Aplicações (4), Fabricações de peças modulares (3), Fabricação com

matérias sustentáveis (2), Fabricação de concreto armado (2), Utilização de tinta para impressão (2), Criação de dispositivos para conversão de energia (1), Fabricação de Estruturas de Aço (1) e Fabricação de Residências (1).

A segunda tecnologia da indústria 4.0 mais relevante foi Internet das Coisas. A Tabela 16 mostra as principais aplicações.

Tabela 16: Aplicações das tecnologias da I4.0 – *Internet das Coisas*

<i>Internet das Coisas</i>			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,2} = \frac{QA}{TA_2}$
Ap _{TI4.0(2),1}	Gerenciamento de Eficiência Energética	33	0,471
Ap _{TI4.0(2),2}	Gerenciamento Operacional	11	0,157
Ap _{TI4.0(2),3}	Gerenciamento de Segurança do Trabalho	10	0,143
Ap _{TI4.0(2),4}	Gerenciamento de Equipamento e Máquinas	7	0,100
Ap _{TI4.0(2),5}	Gerenciamento de Recursos Hídrico	3	0,043
Ap _{TI4.0(2),6}	Integração entre Máquina	2	0,029
	Outras aplicações	4	0,85
Total de Artigos (TA₂)		70	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 9 aplicações da Internet das coisas, sendo para o gerenciamento de Eficiência Energética (33) a aplicação com maior número de publicações. Em outras aplicações foram encontrados: Integração entre Máquina (2), Gerenciamento de Manutenção (2), Gerenciamento de Emissão de Gases Poluentes (1) e Coleta de Dados (1).

Simulação computacional foi a terceira tecnologia mais relevantes. A Tabela 17 mostra as principais tecnologias identificadas.

Tabela 17: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Simulação Computacional

<i>Simulação computacional</i>			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,3} = \frac{QA}{TA_3}$
Ap _{TI4.0(3),1}	Simulação da Produtividade de Mão-de-Obra	13	0,188
Ap _{TI4.0(3),2}	Simulação de Treinamento de Segurança do Trabalho	11	0,159
Ap _{TI4.0(3),3}	Simulação de Eficiência Energética	10	0,145
Ap _{TI4.0(3),4}	Simulação em Execução de Projeto	8	0,116
Ap _{TI4.0(3),5}	Simulação da Cadeia de Suprimentos	5	0,072

$Ap_{TI4.0(3),6}$	Simulação de Processos Construtivos	5	0,072
	Outras aplicações	17	0,072
Total de Artigos (TA₃)		69	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 12 aplicações, com destaque para Simulação da produtividade de mão de obra (13), Simulação de treinamento sobre riscos e saúde do trabalho (11) e Simulação de eficiência energética (10). Em outras aplicações foram identificadas: Simulação de Emissões de CO₂ (4), Simulação Operacional de Equipamentos Pesados (4), Simulação de Custos (3), Simulação sobre o comportamento do Concreto (2), Simulação dos Processos Produtivos x Valor Orçado (2), Simulação Relacionada a Contratações (2).

A quarta tecnologia mais relevante foi a Robótica, a Tabela 18 mostra as seis principais tecnologias identificadas.

Tabela 18: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Robótica

Robótica			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,4} = \frac{QA}{TA_4}$
$Ap_{TI4.0(4),1}$	Robôs para Montagem de Pré-Fabricados (Modular)	8	0,229
$Ap_{TI4.0(4),2}$	Robôs de Construção no Local	7	0,200
$Ap_{TI4.0(4),3}$	Robôs de Inspeção	5	0,143
$Ap_{TI4.0(4),4}$	Robôs de Perfuração e Monitoramento Subterrâneo	3	0,086
$Ap_{TI4.0(4),5}$	Drone para Gerenciamento de Obra	2	0,057
$Ap_{TI4.0(4),6}$	Robôs Operados a Distância	2	0,057
	Outras aplicações	2	0,057
Total de Artigos (TA₄)		29	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 13 aplicações, sendo as principais: Robôs para Montagem de Pré-Fabricados (8) e Robôs de Construção no Local (7) as principais aplicações em Robótica. Em outras aplicações foram identificadas: Robôs para Lançamento de Concreto (2), Guindastes Móveis (1), Plataforma Robótica (1), Robôs Autônomo para Limpeza (1), Robôs para Fabricação de Estruturas Leves (1), Robôs para Soldagem (1), Varreduras de ambientes Internos (1).

Realidade Aumentada foi a quinta tecnologia mais relevante, a Tabela 19 mostra as seis principais tecnologias identificadas.

Tabela 19: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Realidade Aumentada

Realidade Aumentada			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,5} = \frac{QA}{TA_5}$
Ap _{TI4.0(5),1}	Treinamento Segurança do trabalho	5	0,172
Ap _{TI4.0(5),2}	Montagem	4	0,138
Ap _{TI4.0(5),3}	Ambiente de Interatividade	2	0,069
Ap _{TI4.0(5),4}	Eficiência energética	2	0,069
Ap _{TI4.0(5),5}	Inspeção de Infraestrutura	2	0,069
Ap _{TI4.0(5),6}	Guia de Montagem e Instalação	1	0,034
	Outras aplicações	13	
Total de Artigos (TA₆)		29	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 19 aplicações, sendo que a Realidade Aumentada apresentou o maior número de aplicações. Esta tecnologia apresentou uma grande distribuição entre suas publicações: Imagem de inspeção de qualidade (1), Informações em tempo real para solda (1), Manutenção (1), Monitoramento progresso da obra (1), Projeção de Imagem em Campo (1), Projeção em Tempo Real (1), Treinamento de Máquinas Pesadas (1), Treinamento de Montagem (1) e Treinamento Físico-Virtual(1).

A sexta tecnologia mais relevantes foi a identificação por Radiofrequência (RFID), a Tabela 20 mostra as aplicações identificadas.

Tabela 20: Aplicações das tecnologias da I4.0 – RFID

RFID			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,6} = \frac{QA}{TA_6}$
Ap _{TI4.0(6),1}	Gerenciamento Operacional	15	0,469
Ap _{TI4.0(6),2}	Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos	8	0,250
Ap _{TI4.0(6),3}	Gerenciamento de Segurança do trabalho	3	0,094
Ap _{TI4.0(6),4}	Eficiência energética	2	0,063
Ap _{TI4.0(6),5}	Integração entre dispositivos	2	0,063
Ap _{TI4.0(6),6}	Compartilhamento de informações	1	0,031

$Ap_{TI4.0(6),7}$	Gerenciamento de manutenção	1	0,031
Total de Artigos (TA₆)		32	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 7 aplicações e destacam-se, Gerenciamento de Produção (15) e Gerenciamento da Gestão da Cadeia de Suprimentos (8).

A sétima tecnologia com maior número de publicação foi *Big Data*, a tabela 21 mostra suas principais aplicações.

Tabela 21: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Big Data

Big Data			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,7} = \frac{QA}{TA_7}$
$Ap_{TI4.0(7),1}$	Captação e Análise de Dados para Gerenciamento de Eficiência energética	6	0,176
$Ap_{TI4.0(7),2}$	Captação e Análise de Dados sobre Gestão de Resíduos	4	0,118
$Ap_{TI4.0(7),3}$	Captação e Análise de Dados sobre Segurança do Trabalho	4	0,118
$Ap_{TI4.0(7),4}$	Captação e Análise de Dados sobre Desempenho Produtivo	3	0,088
$Ap_{TI4.0(7),5}$	Captação e Análise de Dados sobre Atividades de Maquinário	2	0,059
$Ap_{TI4.0(7),6}$	Captação e Análise de Dados para Manutenção energética	2	0,059
	Outras aplicações	13	
Total de Artigos (TA₇)		34	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 17 aplicações, sendo Captação e Análise de Dados para Gerenciamento de Eficiência energética (6) a aplicação mais relevante, entre as outras aplicações identificadas, Captação e Análise de Dados sobre Saneamento e Saneamento e Recursos Hídricos (2), Captação e Análise de Dados sobre Sustentabilidade (2), Análise de Dados de Falhas (1), Análise de Dados sobre Preferências dos Usuários (1), Captação e Análise de Dados sobre condições de Infraestruturas (1), Captação e Análise de Dados sobre Custo (1), Captação e Análise de Dados Sobre Qualidade (1), Condições Geológicas (1), Gerenciamento de Recursos (1), Sensores para Captação de Dados (1) e Planejamento de obra (1).

A oitava tecnologia da Indústria 4.0 foi Inteligência Artificial, a Tabela 22 mostra as 6 aplicações com maior número de aparições nos artigos analisados.

Tabela 22: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Inteligência Artificial

Inteligência Artificial			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,8} = \frac{QA}{TA_8}$
Ap _{TI4.0(8),1}	Análise de Concreto	6	0,214
Ap _{TI4.0(8),2}	Eficiência Energética	5	0,179
Ap _{TI4.0(8),3}	Segurança do Trabalho	4	0,143
Ap _{TI4.0(8),4}	Análise de Materiais	3	0,107
Ap _{TI4.0(8),5}	Análise Estrutural	3	0,107
Ap _{TI4.0(8),6}	Treinamento e Aprendizagem Contínua	2	0,071
	Outras aplicações	5	
Total de Artigos (TAs)		28	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 11 aplicações, além das 6 apresentadas, também foram identificadas, Análise de Solo (1), Análise de satisfação facial (1), Saneamento e Recursos Hídricos (1), Manutenção (1) e Modelo de casas (1).

A nona tecnologia foi a Realidade virtual, a Tabela 23 mostra as 6 aplicações com maior número de aparições.

Tabela 23: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Realidade Virtual

Realidade Virtual			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,9} = \frac{QA}{TA_9}$
Ap _{TI4.0(9),1}	Ambiente para Treinamento - Segurança do Trabalho	7	0,269
Ap _{TI4.0(9),2}	Ambiente de Treinamento - Aperfeiçoamento Profissional	5	0,192
Ap _{TI4.0(9),3}	Ambiente para Encontros Colaborativos/Corporativos	3	0,115
Ap _{TI4.0(9),4}	Simulação de Análise de Risco	3	0,115
Ap _{TI4.0(9),5}	Gerenciamento de Eficiência Energética	3	0,115
Ap _{TI4.0(9),6}	Comportamento Estrutural	2	0,077
	Outras aplicações	3	
Total de Artigos (TA₉)		26	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 9 aplicações, destacando-se Ambiente para Treinamento - Segurança do Trabalho (7) e Ambiente de Treinamento - Aperfeiçoamento Profissional (5). Entre as outras aplicações têm-se: Ambiente para Construção de Maquete (1), Ambiente para Seleção e Teste de Materiais de Acabamento (1) e Supervisão de Atividades (1).

Sistema Ciber-Físico foi a decima tecnologia com maior número de artigos publicados, a Tabela 24 mostra as 6 aplicações mais relevantes.

Tabela 24: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Sistemas Ciber-Físico

Sistema Ciber-Físico			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,10} = \frac{QA}{TA_{10}}$
Ap _{TI4.0(10),1}	Eficiência Energética	3	0,231
Ap _{TI4.0(10),2}	Integração entre Dispositivos	3	0,231
Ap _{TI4.0(10),3}	Coordenação de modelo Virtual e Físico	1	0,077
Ap _{TI4.0(10),4}	Gerenciamento de Processos da Gestão da Cadeia de Suprimentos	1	0,077
Ap _{TI4.0(10),5}	Gestão da Informação de Ativos	1	0,077
Ap _{TI4.0(10),6}	Gestão da Instalações	1	0,077
	Outras aplicações	3	
Total de Artigos (TA₁₀)		13	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram encontradas 9 aplicações, sendo a Gestão de Eficiência Energética (3) e Integração entre Dispositivos (3) com maior número de aparições. Dentre as outras aplicações, estão: Monitoramento Estruturas temporárias (1), Operações Remoto de Máquinas Pesadas (1) e Progresso Produtivo (1).

Sistemas Integrados foi a decima primeira tecnologia com maior número de publicações, foram identificadas 6 aplicações e Integração entre Modelagem com Geolocalização (9) foi a aplicação que obteve maior destaque, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Sistemas Integrados

Sistemas Integrados			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,11} = \frac{QA}{TA_{11}}$
Ap _{TI4.0(11),1}	Integração entre Modelagem com Geolocalização	9	0,529
Ap _{TI4.0(11),2}	Integração entre Dispositivos Inteligentes	2	0,118

$Ap_{TI4.0(11),3}$	Integração entre Sistemas de Segurança do Trabalho	2	0,118
$Ap_{TI4.0(11),4}$	Integração de Sistemas para Auxílio de Tomada de Decisão	2	0,118
$Ap_{TI4.0(11),5}$	Integração de Dispositivos para Gestão de Atividades no Canteiro	1	0,059
$Ap_{TI4.0(11),6}$	Integração entre dispositivo para produção em massa	1	0,059
Total de Artigos (TA_{11})		17	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Computação em Nuvem foi a tecnologia com menor número de artigos publicados, a Tabela 26 mostra as 6 aplicações com maior número de aparições.

Tabela 26: Aplicações das tecnologias da I4.0 – Computação em Nuvem

Computação em Nuvem			
Classificação	Grupo de Classificação das aplicações	QA	$P_{a,12} = \frac{QA}{TA_{12}}$
$Ap_{TI4.0(12),1}$	Plataforma de Gerenciamento de Projeto	6	0,353
$Ap_{TI4.0(12),2}$	Plataforma sobre Produtividade	4	0,235
$Ap_{TI4.0(12),3}$	Plataforma sobre Qualidade	4	0,235
$Ap_{TI4.0(12),4}$	Plataforma de Dados sobre Competividade Empresarial	1	0,059
$Ap_{TI4.0(12),5}$	Plataforma para Gerenciamento de Manutenção	1	0,059
$Ap_{TI4.0(12),6}$	Plataforma Integrado sobre Segurança	1	0,059
Total de Artigos (TA_{12})		17	

Legenda: QA = Quantidade de Artigos, P_a = Pontuação por aplicação

Foram identificadas 6 aplicações, com destaque para Plataforma de Gerenciamento de Projeto (6), Plataforma sobre Produtividade e Qualidade (4) e Plataforma sobre Metodologias (4).

Entre aplicações das TI4.0, destacam-se dois pontos, 1º) em 163 artigos dos 469 analisados, foram para aplicações ligadas as operações/produktividade, uma vez que autores apontam esse ator como um dos principais problemas do setor (TEICHOLZ, 2017; LI; GREENWOOD; KASSEM, 2019; JOHN; SARKARA; DAVIS, 2022), 2º) em 77 artigos dos 469 analisados, foram de aplicações das TI4.0 visando sustentabilidade, apontadas como outro ponto problemático do setor (CHENG; MA, 2013; BILAL *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2018; AKINADE *et al.*, 2018; DOMINGO; BATTY, 2021; DING, 2021).

Entretanto, a aplicação que obteve valor expressivo na pesquisa foi, EE, pois obteve 89 artigos dos 469 analisados, também foi a aplicação que mais apareceu nas TI4.0, em 8 das 13 tecnologias selecionadas. Balali, Hakimelahi e Valipour (2020) diz que a otimização do consumo de energia do edifício é uma questão importante nas cidades. Devido à grande taxa de uso de energia, que provoca o aumento do consumo de combustíveis fósseis e consequentemente o aumento das emissões de CO₂ na atmosfera terrestre.

Segundo a IEA (2013), a ICC é responsável pela utilização de mais de um terço da produção global de energia elétrica. Se nenhuma ação for tomada para melhorar sua EE, o consumo deverá aumentar em 50% até o ano de 2050, tornando a aplicação e aperfeiçoamento das tecnologias para EE ainda mais importante.

4.2 RESULTADOS DA PESQUISA SURVEY

Foram analisadas as empresas atuantes da ICC brasileira, classificadas pela revista “O Empreiteiro”, que possuem as maiores médias de faturamento bruto anual. As 250 empresas e selecionadas conforme o item 3.3.1.2, foram contactadas em etapas e de quatro formas diferentes 1) e-mail, 2) redes sociais (diretamente com a empresa), 3) telefone e 4) redes sociais (diretamente aos colaboradores das empresas), foram contabilizados os resultados para cada tipo contato, com objetivo de identificar, qual deles foram os mais eficazes, o Quadro 11 mostra os resultados.

Quadro 11: Resultados por etapa

Forma	Envio Quantidade	Retorno Quantidade	Questionários respondidos Quantidade
E-mail / Mensagem via <i>site</i>	244	5	0
Redes sociais (Empresas)	250	12	0
Telefone	105	37	7
Redes sociais (Colaboradores)	1.358	663	229

Fonte: Autor

No início da pesquisa foram enviados e-mail para todas as 244 empresas, pois 6 empresas apresentaram problemas em seus *sites* (*off-line* ou sem endereço de *e-mail*), dos 244 *e-mails* enviados, 5 empresas retornaram, dessas, 3 empresas aceitaram participar, entretanto, não responderam aos questionários enviados.

Em seguida, foram enviados convites para as 250 empresas selecionadas em pelo menos uma das suas redes sociais (Facebook, Twitter, LinkedIn e Instagram), 12 empresas retornaram, mas, nenhuma respondeu ao questionário.

Algumas empresas apresentaram dificuldade de contato de forma *on-line*, para essas empresas o contato foi via telefone, foram 105 empresas, apenas 37 se interessaram a responder o questionário, mas, apenas 7 o responderam em conformidade.

Entre os processos de envio de e-mail e telefonemas, foram feitos contatos diretos aos colaboradores das empresas participantes via redes sociais, esse meio se mostrou o mais eficiente, foram 1.358 profissionais contactados, sendo que 663 aceitaram participar. Foram 236 questionários respondidos, porém, foram eliminados os questionários que foram respondidos por colaboradores de empresas que não estão entre as empresas escolhidas aleatoriamente, os respondidos pela mesma pessoa duas vezes e de colaboradores da mesma empresa, sendo selecionado o de maior cargo. Ao fim, restaram 162 questionários respondidos corretamente conforme o especificado na metodologia.

Essa quantidade de questionários respondido é um número superior ao mínimo para obtenção de 95% de grau confiabilidade, uma vez que o valor de (n) descrito na Equação 3, foi de 152 questionários:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 0,5 \times (1 - 0,5) \times 250}{0,05^2 \times (250 - 1) + (1,96) \times 0,5 \times (1 - 0,5)} = 152$$

Em que:

$z_{\alpha/2}$ = grau de confiança = 1,96 para 95%

P = 0,5 (percentual de variação do fenômeno)

N = 250 (Tamanho da população)

e = 0,05 (erro máximo pretendido para a amostra)

4.2.1 Teste *qui-quadrado* de Pearson (TS)

A Tabela 27 mostra os valores percentuais e estatísticos obtidos pela pesquisa *survey* sobre as 5 aplicações de tecnologias sustentáveis em relação as empresas da ICC brasileira. Foi aplicado o *teste qui-quadrado* de Pearson para identificar se há diferenças significativas com base nos Grupo A (empresas com faturamentos brutos) e o Grupo B (empresas com menores faturamentos brutos).

Tabela 27: Valores percentuais e estatísticos

Aplicação	Grupo	Sim (%)	Não (%)	Valor de p	Hipótese		
Emissão de CO ₂	A	19	23,46	62	76,54	p = 1	H ₀
	B	18	22,22	63	77,78		
Eficiência Energética	A	38	46,91	43	53,09	p = 0,752	H ₀
	B	35	43,21	46	56,79		
Energia Renováveis	A	28	34,57	53	65,43	p = 0,744	H ₀
	B	31	38,27	50	61,73		
Saneamento e Recursos Hídricos	A	37	45,68	44	54,32	p = 0,874	H ₀
	B	35	43,21	46	56,79		
Resíduos	A	49	60,49	32	39,51	p = 1	H ₀
	B	48	59,26	33	40,74		

Legenda: H₀ = Não há associação significativa entre as variáveis qualitativa

Os dados da Tabela 27 indicam a que não há associação significativa em nenhum dos grupos pesquisados. Logo, pode-se afirmar que não há relação entre, renda bruta e maior ou menor quantidade de aplicações de tecnologia sustentáveis na ICC brasileira.

A Tabela 28, mostra a quantidades de empresas que possuem aplicações de TS, e sua porcentagem em relação a amostra (N = 162).

Tabela 28: Percentagem de utilização das TI4.0 das empresas da ICC brasileira

Aplicações das Tecnologias sustentáveis	Quantidade de empresas	(%)
1 Resíduos	97	59,88
2 Eficiência Energética	73	45,06
3 Saneamento e Recursos Hídricos	72	44,44
4 Energia Renováveis	59	36,42
5 Emissão de CO ₂	37	22,84

Menos da metade das empresas participantes utilizam tecnologias sustentáveis para 4 das 5 aplicações pesquisadas, apenas a aplicação tecnológica para gestão de resíduos ultrapassou 50% das empresas.

A única mudança relevante em relação à classificação da pesquisa bibliométrica foi a aplicação tecnológica para gestão de resíduos, foi a mais utilizada na ICC brasileira e a penúltima em relação às publicações.

4.2.2 Utilização das Tecnologias sustentáveis na ICC brasileira

Nas tabelas abaixo, seguem as tecnologias sustentáveis mais utilizadas entre as empresas da ICC brasileira. Na Tabela 29, estão as cinco tecnologias para a aplicação de Eficiência Energética, Saneamento e Recursos Hídricos, Energia Renovável, Resíduos e Emissão de CO₂.

Tabela 29: Tecnologias sustentáveis na ICC brasileira

Eficiência Energética				
	C	Tecnologias sustentáveis	QE	%
Eficiência Energética	1	Projeto de Iluminação Natural Inteligente	47	29,01
	2	Sistema Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (HVAC)	45	27,78
	3	Projeto de Ventilação Natural Inteligente	40	24,69
	4	Materiais de Baixa Condutividade Térmica	35	21,60
	5	Simulação Computacional (Energia e temperatura)	15	9,26
			Outras tecnologias	39
Saneamento e Recursos Hídricos	1	Sistema para Captação de Água da Chuva	59	36,42
	2	Central para Tratamento de Água e Esgoto	45	27,78
	3	Sistema para Tratamento de Águas Residuais	45	27,78
	4	Sistema Inteligente para irrigação de Jardins	16	9,88
	5	Simulação Computacional (R. hídricos)	7	4,32
			Outras tecnologias	5
Energia Renovável	1	Sistema para Captação de Energia Fotovoltaica	41	25,31
	2	Sistema para Captação de Energia Solar/Fototérmica	37	22,84
	3	Turbina Eólica (Integrados)	9	5,56
	4	Fachada/Vidraças Fotovoltaicas	4	2,47
	5	Biodigestores (Integrados)	4	2,47
			Outras tecnologias	1
Resíduos	1	Materiais de Resíduos Reciclados	64	39,51
	2	Building Information Modeling (BIM)	51	31,48
	3	Concreto Sustentável	14	8,64
	4	<i>Big Data</i>	9	5,56
	5	Nanotecnologia Verde	2	1,23
			Outras tecnologias	1
Emissão de CO₂	1	Sensor de Monitoramento de Qualidade do Ar	25	15,43
	2	Simulação Computacional	13	8,02
	3	Etiquetas de Rádio Frequência (RFID)	4	2,47
	4	Realidade Virtual	4	2,47

Legenda: C = Classificação, QE = Quantidade de Empresas que utilizam as tecnologias, % = Percentual de Empresas que utilizam as tecnologias

Nota-se que apenas duas das 24 tecnologias pesquisadas, ultrapassam a marca de 50% de utilização pelas empresas pesquisadas. Sendo Sistemas para captação de água da chuva e a utilização de materiais de resíduos reciclados as tecnologias com maior utilização entre as empresas brasileiras da ICC.

4.2.3 Teste *qui-quadrado* de Pearson (TI4.0)

A Tabela 30 mostra os valores percentuais e estatísticos obtidos pela pesquisa *survey* sobre as 13 tecnologias da Indústria 4.0 em relação as empresas da ICC brasileira. Foi aplicado o teste *qui-quadrado* de Pearson para identificar se há diferenças significativas com base nos Grupo A (empresas com maiores rendas brutas) e o Grupo B (empresas com menores rendas brutas).

Tabela 30: Valores percentuais e estatísticos

Tecnologia	Grupo	Sim	(%)	Não	(%)	Valor de p	Hipótese
Manufatura Aditiva	A	9	11,1	72	88,89	p = 1	H ₀
	B	8	9,88	73	90,12		
Internet das Coisas	A	27	61,36	54	66,67	p = 0,112	H ₀
	B	17	38,64	64	79,01		
Simulação Computacional	A	45	55,56	36	44,44	p = 0,346	H ₀
	B	35	46,9	43	53,09		
Robótica	A	12	14,82	69	85,19	p = 0,474	H ₀
	B	8	9,88	73	90,12		
Realidade Aumentada	A	16	19,75	65	80,25	p = 0,399	H ₀
	B	11	13,58	70	86,42		
RFID	A	13	16,05	68	83,95	p = 0,491	H ₀
	B	9	11,11	72	88,89		
Big Data	A	22	27,16	59	72,84	p = 0,082	H ₀
	B	12	14,82	69	85,119		
Inteligência Artificial	A	15	18,52	66	81,48	p = 0,384	H ₀
	B	10	12,35	71	87,65		
Realidade Virtual	A	17	21,00	64	79,00	p = 0,462	H ₀
	B	22	27,20	59	72,80		
Sistema Ciber-Físico	A	10	12,35	71	87,65	p = 0,608	H ₀
	B	7	8,64	74	91,36		
Sistema Integrado	A	67	82,72	14	17,28	p = 0,666	H ₀
	B	56	69,14	25	30,86		
Computação em Nuvem	A	67	82,72	14	17,28	p = 0,831	H ₀
	B	69	85,19	12	14,82		
Segurança Cibernética	A	42	51,85	39	48,15	p = 0,875	H ₀
	B	40	49,38	41	50,62		

Legenda: H₀ = Não há associação significativa entre as variáveis qualitativas

Os dados da Tabela 30 indicam a que não há associação significativa entre os grupos pesquisados, ou seja, em nenhuma das 13 tecnologias da I4.0 mostram que há relação entre, renda bruta e aplicação de tecnologias da I4.0, mostrando que as principais empresas classificadas pela revista “*O Empreiteiro*”, entre os anos de 2016-2020, estão no mesmo patamar tecnológico em relação às tecnologias da I4.0.

A Tabela 31, mostra a quantidades de empresas que possuem aplicações de TI4.0, e sua porcentagem em relação à amostra (N = 162).


Tabela 31: Percentagem de utilização das TI4.0 das empresas da ICC brasileira


Classificação	Tecnologia	Quantidade de empresas	(%)
1	Computação em Nuvem	136	83,95
2	Sistema Integrado	123	75,93
3	Simulação Computacional	83	51,23
4	Segurança Cibernética	82	50,62
5	Internet das Coisas	44	27,16
6	Realidade Virtual	39	24,07
7	Big Data	34	20,99
8	Realidade Aumentada	27	16,67
9	Inteligência Artificial	25	15,43
10	RFID	22	13,58
11	Robótica	20	12,35
12	Sistema Ciber-Físico	17	10,49
13	Fabricação Aditiva	17	10,49

O Quadro 12 traz a comparação entre as classificações das tecnologias da I4.0, entre a das pesquisas bibliométrica e a pesquisa *survey*.

Quadro 12: Comparação entre as tecnologias das pesquisas bibliométrica e *survey*

Pesquisa bibliométrica			Pesquisa <i>survey</i>	
1	Manufatura Aditiva	↔	1	Computação em Nuvem
2	<i>Internet</i> da Coisas		2	Sistema Integrado
3	Simulação Computacional		3	Simulação Computacional
4	Robótica		4	Segurança Cibernética
5	Realidade Aumentada		5	<i>Internet</i> das Coisas
6	RFID		6	Realidade Virtual
7	<i>Big Data</i>	↔	7	Big Data
8	Inteligência Artificial		8	Realidade Aumentada
9	Realidade Virtual		9	Inteligência Artificial
10	Sistema Ciber-físico		10	RFID
11	Sistema Integrado		11	Robótica
12	Computação em Nuvem		12	Sistema Ciber-Físico
13	Segurança Cibernética		13	Manufatura Aditiva

 Tecnologias mais publicadas
  Tecnologias mais aplicadas

 Tecnologias menos publicadas
  Tecnologias menos aplicadas

Nota-se que as tecnologias com menos publicações estão entre as mais implementadas na ICC brasileira (segurança cibernética, computação em nuvem e sistema integrado), o mesmo acontece com as tecnologias com mais publicações (manufatura aditiva, robótica e RFID), as tecnologias com mais publicações estão entre as menos implementadas, mostrando a dificuldade do setor em incorporar inovações.

4.2.4 Aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira

Abaixo seguem as aplicações das TI4.0 mais utilizadas pelas empresas da ICC brasileira.

Na Tabela 32, seguem as aplicações das TI4.0 utilizadas na ICC brasileira, sendo as seis primeiras classificadas na pesquisa bibliométrica: Manufatura Aditiva, *Internet das Coisas*, Simulação Computacional, Robótica, Realidade Aumentada e RFID.

Tabela 32: Aplicações das tecnologias da I4.0 na ICC brasileira

	C	Aplicações das TI4.0	QE	%
Manufatura Aditiva	1	Fabricação de estruturas em concreto	10	6,17
	2	Fabricação de Materiais Metálicos	6	3,70
	3	Fabricação de materiais (cabos, tijolos, canos etc.)	5	3,09
	4	Utilização/fabricação de aditivos e compósitos	1	0,62
	5	Fabricação Aditiva com Robôs	0	0,00
Internet das Coisas	1	Gerenciamento Operacional	36	22,22
	2	Gerenciamento de Segurança do Trabalho	14	8,64
	3	Gerenciamento de Equipamentos e Máquinas	11	6,79
	4	Gerenciamento de Eficiência Energética	7	4,32
	5	Gerenciamento de Recursos Hídricos	6	3,70
Simulação Computacional	1	Simulação em Execução de Projeto	70	43,21
	2	Simulação em Produtividade de Mão-de-Obra	47	29,01
	3	Simulação de Treinamento de Segurança do Trabalho	19	11,73
	4	Simulação da Cadeia de Suprimentos	19	11,73
	5	Simulação de Eficiência Energética	9	5,56
Robótica	1	Drone para Gerenciamento de Obra	17	10,49
	2	Robôs de Inspeção	5	3,09
	3	Robôs de Construção no Local	4	2,47
	4	Robôs para Montagem de Pré-Fabricados	0	0,00
	5	Robôs Operados a Distância	0	0,00
Realidade Aumentada	1	Ambiente de Interatividade	15	9,26
	2	Guia de Montagem e Instalação	9	5,56
	3	Projeção de Imagem em Campo	7	4,32
	4	Treinamento em Segurança do Trabalho	5	3,09
	5	Eficiência Energética	0	0,00
RFID	1	Gerenciamento Operacional	21	12,96
	2	Gerenciamento de Segurança do Trabalho	5	3,09

3	Integração entre Dispositivos	5	3,09
4	Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos	3	1,85
5	Eficiência Energética	2	1,23

Legenda: C = Classificação, QE = Quantidade de Empresas que utilizam as tecnologias, % = Percentual de Empresas que utilizam as tecnologias

Entre as aplicações das seis TI4.0 mais relevantes desta pesquisa, destaca-se o baixo percentual de aplicações em todas as tecnologias com exceção da aplicação de Simulação em execução de projeto, a única aplicação utilizada em mais de 40% das empresas da ICC brasileiras pesquisadas.

Na Tabela 33, segue as aplicações TI4.0 utilizadas na ICC brasileira, sendo as seis últimas classificadas na pesquisa bibliométrica:

Tabela 33: Aplicações das tecnologias da I4.0 na ICC brasileira

	C	Aplicações das TI4.0	QE	%
<i>Big Data Analytics</i>	1	Captação e Análise de Dados sobre Desempenho Produtivo	27	16,67
	2	Captação e Análise de Dados sobre Segurança do Trabalho	10	6,17
	3	Captação e Análise de Dados sobre Atividades de Maquinário	9	5,56
	4	Captação e Análise de Dados sobre Gestão de Resíduos	6	3,70
	5	Captação e Análise de Dados para Gerenciamento de Eficiência Energética	5	3,09
Inteligência Artificial	1	Análise Estrutural	11	6,79
	2	Análise de Concreto	10	6,17
	3	Segurança do Trabalho	8	4,94
	4	Eficiência Energética	4	2,47
	5	Gestão de Projetos	3	1,85
Realidade Virtual	1	Ambiente para Encontros Colaborativos/Corporativos	21	12,96
	2	Ambiente para Treinamento - Aperfeiçoamento Profissional	17	10,49
	3	Ambiente para Treinamento - Segurança do Trabalho	9	5,56
	4	Supervisão de Atividades	7	4,32
	5	Gerenciamento de Eficiência Energética	1	0,62
Sistema Ciber-Físico	1	Integração entre Dispositivos	12	7,41
	2	Coordenação de Modelos Virtual e Físico	9	5,56
	3	Gerenciamento dos Processos da Cadeia de Suprimentos	9	5,56
	4	Eficiência Energética	2	1,23
	5	Integração entre Dispositivos	12	7,41
Sistema Integrado	1	Integração de Dispositivos para Gestão de Atividades no Canteiro	86	53,09
	2	Integração de Sistemas para Auxílio de Tomada de Decisão	63	38,89

	3	Integração entre Sistemas de Segurança do Trabalho	41	25,31
	4	Integração entre Dispositivos Inteligentes	34	20,99
	5	Integração entre dispositivo para produção em massa	1	0,62
Computação em Nuvem	1	Plataforma de Gerenciamento de Projeto	129	79,63
	2	Plataforma de Dados sobre Produtividade	79	48,77
	3	Plataforma de Dados sobre Qualidade	88	54,32
	4	Armazenamento de Dado sobre Competitividade Empresarial	28	17,28
	5	Plataforma Integrado sobre Segurança	0	0,00

Legenda: C = Classificação, QE = Quantidade de Empresas que utilizam as tecnologias, % = Percentual de Empresas que utilizam as tecnologias

Neste grupo, estão às seis TI4.0 menos relevantes dessa pesquisa, conforme a pesquisa bibliométrica. Nota-se que, Sistema Integrado e Computação em Nuvem contém as duas aplicações com maiores números de utilização entre as empresas pesquisadas, Integração de dispositivos para gestão de atividades no canteiro com 86 empresas e utilização de plataforma para gerenciamento de projetos com 129 empresas.

4.2.5 Avaliação do Nível de aplicação de tecnologias sustentáveis na ICC brasileira

Por meio da avaliação da pesquisa *survey*, foram calculadas de acordo com as pontuações por aplicações estabelecidos da pesquisa bibliométrica, foram calculados os valores das empresas ($NA_{TS,1}$ a $NA_{TS,162}$) e classificadas de acordo com seu nível (Tabela 34).

Tabela 34: Nível de aplicação de TS das empresas da ICC

Quantidade de empresas	(%)	Valor de NA_{TS}	Nível de aplicação de TS
62	38	0 a 3,0	Baixíssimo
35	22	3,1 a 6,0	Baixo
25	15	6,1 a 9,0	Médio
26	16	9,1 a 12,0	Alto
14	9	Mais de 12,1	Altíssimo

Nota-se que o maior percentual das empresas está no nível baixíssimo (38%) e apenas 9% das empresas alcançaram o maior nível de aplicação de TS. Se somado, 60% das empresas estão no nível baixo ou baixíssimo.

Em relação à pontuação por área de atuação de empresas, há uma discrepância em relação ao número de empresas, uma vez as empresas participantes são na sua maioria construtoras e consultoras/arquitetura, com 54% e 35% do total. A Tabela 35 mostra a pontuação médias de cada área de atuação das empresas participantes.

Tabela 35: Nível a aplicações das TS por área de atuação

Área de atuação	Quantidade de empresas (QE)	Pontuação (P)	Pontuação média $\left(\frac{P}{QE}\right)$	Nível de aplicação de TS
Construtora	88	428,65	4,87	Baixo
Consultora/arquitetura	57	333,55	5,85	Baixo
Gerenciadora	9	44,00	4,89	Baixo
Incorporadora	8	53,90	6,74	Médio

Incorporação (Incorporadoras) é a categoria de empresa que obteve o nível médio de aplicação de TS, o maior nível entre as quatro categorias de empresas pesquisadas. Mediante a grande discrepância de concentração número de empresas participantes, não podemos afirmar que as incorporadoras são mais avançadas tecnologicamente que as outras, mas, que sua contribuição foi significativa para a pontuação geral dessa pesquisa. Então, sugere-se uma pesquisa com levantamento homogêneo, como quantidades iguais de empresas, com objetivo de determinar se realmente há alguma área de atuação que possui um nível tecnológico maior que a outra.

A pontuação de todas as empresas somadas, foi de 860,07, sendo que se todas as empresas utilizassem todas as tecnologias e suas aplicações o valor mínimo seria de 2.430. O aproveitamento de pontuação foi de 35,39%. Assim, foi calculado sua média e estabelecendo o Nível de aplicação de TS na ICC brasileiro.

$$NA_{TS,ICC} = \frac{860,07}{162} = 5,28$$

O valor da pontuação do Nível de aplicação de TS na ICC brasileira foi de 5,28, esse valor se enquadra no Nível de aplicação de TS como Baixo que varia de 3,1 a 6,0 pontos.

4.2.6 Avaliação do Nível de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira

Assim como na TS, foram calculadas de acordo com as pontuações por aplicações estabelecidos da pesquisa bibliométrica, foram calculados os valores das empresas ($NA_{TI4.0,1}$ a $NA_{TI4.0,162}$) e classificadas de acordo com seu nível (Tabela 36).

Tabela 36: Nível de aplicação de TI4.0 das empresas da ICC

Quantidade de empresas	(%)	Valor de $NA_{TI4.0}$	Nível de aplicação de TI4.0
106	65	0 a 4,8	Baixíssimo
47	29	4,9 a 9,6	Baixo
8	5	9,7 a 14,4	Médio
1	1	14,5 a 19,2	Alto
0	0	Mais de 19,3	Altíssimo

A pesquisa mostra que 94% das empresas participantes estão entre os níveis baixíssimo (65%) e baixo (29%), nível médio (5%) e apenas 1% das empresas brasileiras possuem o nível alto.

A pontuação média por área de atuação das empresas pesquisadas, em relação as TI4.0, apresenta a mesma discrepância como nas TS, a Tabela 37 mostra a pontuação médias.

Tabela 37: Nível a aplicações das TI4.0 por área de atuação

Área de atuação	Quantidade de empresas (QE)	Pontuação (P)	Pontuação média $\left(\frac{P}{QE}\right)$	Nível de aplicação de TI4.0
Construtora	88	321,67	3,66	Baixíssimo
Projetos e Consultorias	57	228,59	4,01	Baixíssimo
Gerenciadora	9	34,86	3,87	Baixíssimo
Incorporadora	8	42,17	5,27	Baixo

Incorporação (Incorporadoras) é a área de atuação que obteve a maior pontuação, classificada com nível baixo de aplicações de tecnologias da Indústria 4.0. Assim como nas TS, há uma grande discrepância de número de empresas participantes, desta forma, não podemos afirmar que as incorporadoras possuem maior nível tecnologicamente em relação as TI4.0 que as outras áreas. Também, sugere-se uma pesquisa com levantamento homogêneo, com quantidades iguais de empresas e com objetivo de determinar se há alguma área com maior nível tecnológico.

A pontuação de todas as empresas somadas, foi de 630,64, sendo que se todas as empresas utilizassem todas as tecnologias e suas aplicações o valor mínimo seria de 3.888. O aproveitamento de pontuação foi de 16,22%. Assim, foi calculado sua média e estabelecendo o Nível de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileira.

$$NA_{TI4.0,ICC} = \frac{630,64}{162} = 3,87$$

O valor da pontuação do Nível de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na ICC brasileiro foi de 3,87, esse valor enquadra Nível de aplicação das TI4.0 como Baixíssimo que varia de 0 a 4,8 pontos.

De acordo com Gong e Wang (2022) a implementação de inovações tem sido reconhecida como a chave para as indústrias modernas. No entanto, a indústria da construção é criticada por ser pobre em desempenho de inovação em comparação com outros setores da indústria. Demirkesen e Tezel, (2021) indicam haver sinais de resistência à mudança no setor e que desafios como os benefícios e custo de implementação implicam diretamente na decisão de se implementar ou não as TI4.0 na ICC.

Em relação aos resultados obtidos em campo, eles corroboram com o trabalho de alguns autores, que indicam o baixo nível tecnológicos da ICC (MELLADO; LOU, 2020; KLARIN, 2019; OPOKU *et al.*, 2021). Entretanto, não é possível afirmar que o setor brasileiro está no mesmo nível dos setores dos países desenvolvidos, ou até mesmo, no mesmo nível de alguns países em desenvolvimento. Essa pesquisa mostrou o baixo nível tecnológico da ICC brasileira e de acordo com Miyasaka, Fabrício e Paoletti (2019) a ICC brasileira ainda está em processo de adaptação e que as empresas trabalham de forma individualizada na questão de inovações tecnológicas. Segundo os autores o setor está longe de ser autônomo, utilizando objetos e máquinas robóticas em suas fabricações e que é preciso buscar novas forma de gerenciamento para melhor aproveitar os benefícios das tecnologias.

Enquanto, Souza e Santos (2020), diz que a ICC brasileira ainda se encontra no nível moderno, em transição para a industrialização. Porém, problemas como a baixa qualificação da mão de obra e ineficiência de gestão implicam diretamente na modernização do setor. Barbosa (2017), aborda alguns problemas estruturais do setor que precisa de mudanças para o avanço tecnológico do setor, sendo os principais: redução da informalidade da força de trabalho, reformas tributárias, trabalhistas e previdenciárias, investimentos governamentais (para o aumento e melhoria da educação profissional), incentivo a elevação do nível das pequenas e médias empresas do setor, parcerias entre empresas e instituições de ensino, inserção de instrumento e indicadores de gestão, incentivos fiscais para as empresas investirem em gestão, monitoramento contínuo de indicadores de melhoria do setor e Indicadores de inserção e inovação.

5 CONCLUSÕES

O objetivo geral do presente trabalho foi atendido, visto que era avaliar o nível de aplicações de dois grupos tecnológicos, constituídos pelas: tecnologias sustentáveis e as tecnologias da Indústria 4.0, com base na indústria da construção civil brasileira (ICC).

Os resultados da pesquisa bibliométrica apresentaram as principais tecnologias e suas aplicações segundo o estado-da-arte, por meio de artigos publicados nas principais bases de dados, onde se concentra os periódicos mais relevantes de acordo com o Qualis/CAPES. Seus resultados mostraram que tecnologias para aplicações focadas em melhorias na produtividade (manufatura aditiva e robótica), gestão (*Internet* da Coisa e RFID) e planejamento (simulação computacional e realidade aumentada), foram apontadas como as áreas mais problemáticas do setor, sendo de grande importância para a melhoria da eficiência do setor. Adicionalmente, as pesquisas às bases de dados mostraram a preocupação com a eficiência energética como a aplicação tecnológica mais relevante, tanto para as Tecnologias Sustentáveis, quanto para as Tecnologias da Indústria 4.0, mostrando como os autores estão preocupados com as questões relacionadas ao impacto ao meio ambiente gerados pelas matrizes energéticas dos países, pois, conforme o *International Energy Agency* (IEA, 2021), 63,1% da geração de energia elétrica no mundo foram baseadas em combustíveis fósseis como gás natural, carvão, óleo e gás natural.

Em relação aos resultados da pesquisa survey, a Indústria da Construção Civil (ICC) brasileira segue o padrão mundial. A grande parte das empresas brasileiras pesquisadas está nos menores níveis tecnológicos. Em relação às tecnologias sustentáveis, 60% das empresas estão nos níveis mais baixos e apenas 9% no maior nível. O cenário piora em relação às tecnologias da Indústria 4.0, sendo que 94% das empresas estão nos menores níveis, e apenas uma empresa alcançou os níveis alto e nenhuma o nível altíssimo.

Nas aplicações das TS o melhor resultado foi em relação aos resíduos, única aplicação das TS que obteve valor positivo em relação à utilização entre as empresas brasileiras. Tecnologias para controle e gerenciamento de emissões de CO₂, foram as menos aplicadas, bem como as de menor número de publicações na literatura.

Outro achado foi que as empresas da ICC brasileiras de diferentes situações econômicas estão no mesmo patamar tecnológico, ou seja, não foram identificadas diferenças significativas em utilização de tecnologias da Indústria 4.0 e das tecnologias sustentáveis entre os grupos de empresas pesquisadas com maior ou menor faturamento bruto anual.

O setor está passando por um período de quebra de paradigmas em relação à utilização de novas tecnologias. Historicamente, o setor sempre foi visto como de baixa adoção de tecnologias e utilização de métodos artesanais em toda sua cadeia produtiva. Entretanto, o meio

acadêmico está se esforçando para a modernização do setor, reflexo desse movimento é a alta significativa em relação às publicações de artigos científicos, sendo que boa parte desses artigos são questões teóricas aplicadas em campo. Esta pesquisa focou em tecnologias aplicadas em campo, com objetivos de resolver ou amenizar os principais problemas do setor, seja ele no âmbito de produção, geotecnia, estruturas, segurança do trabalho, recursos hídricos, energias renováveis, emissões de CO₂ e Eficiência Energética (EE).

Destacaram-se as publicações das inovações tecnológicas da Indústria 4.0 como: manufatura aditiva, Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e simulação computacional e robótica que foram as mais relevantes nessa pesquisa; outros destaques foram as aplicações tecnológicas para Eficiência Energética (EE), classificada em 8º das 13 tecnologias da Indústria 4.0, também foi a segunda aplicação mais relevante entre as tecnologias sustentáveis.

Com os dados coletados e analisados, pode-se concluir que o nível da aplicação de tecnologias sustentáveis das empresas atuantes na ICC brasileira pode ser classificado como: Baixo e o nível da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 das empresas atuantes na ICC brasileira como: Baixíssimo. Entretanto, o aspecto positivo desse cenário é o vasto campo para desenvolvimento e implementação dessas tecnologias.

O setor é um dos mais importantes para a economia brasileira e para a geração de empregos, contudo apesar dessa deficiência, o setor é um dos mais bem estruturados no Brasil. Para a modernização do setor é de importância a união do público privado, com as empresas investindo em implementação e o poder público gerando mais incentivos e programas de modernização do setor.

Este estudo contribui para a teoria e a prática na área de engenharia de produção, e na gestão da tecnologia e inovação, visto que avalia a relevância das tecnologias das principais tecnologias da Indústria 4.0 e das sustentáveis, de acordo com o estado-da-arte, assim como suas aplicações em diversas áreas problemáticas da ICC, avaliando, por meio das principais empresas, quais das tecnologias mais relevantes são utilizadas. Os resultados indicam a fragilidade já conhecida do setor em relação à utilização de tecnologias, entretanto, de forma mais criteriosa, buscou-se o apontar as tecnologias mais atuais, inovadoras e relevantes no estado-da-arte, com objetivo de levantar quais dessas tecnologias são aplicadas na ICC brasileira. Dessa forma, podem ser utilizadas como diretrizes para a modernização e investimento tecnológico do setor.

Como limitações, tem-se o estudo embasado em pesquisa apenas com empresas da construção civil localizadas nos principais municípios do Brasil. Ressalta-se a reduzida colaboração das empresas participantes, sendo inviável a elaboração desse trabalho se fosse

restrito a participação apenas de questionários respondidos pelas empresas (nenhuma resposta foi recebida às solicitações para esta pesquisa). Mesmo os questionários direcionados aos profissionais que trabalham nas empresas selecionadas, obtiveram baixíssima adesão, mas resultou no número necessário para a elaboração desse trabalho.

Para estudos futuros, sugere-se a elaboração de uma plataforma *on-line* com extensões para aplicativos, com acesso livre para todas as empresas. Sua função seria de promoção e compartilhamento de informações sobre inovações tecnológicas focadas no setor. Além de estabelecer grupos tecnológicos, suas aplicações e a área de aplicação, para que as empresas atuantes da ICC brasileira tenham um parâmetro atualizado em relação às inovações tecnológicas do setor. Importante, que essa ferramenta fosse preenchida massivamente com os dados dessas empresas, ou seja, que as empresas declarassem quais das tecnologias e aplicações elas utilizam, assim, além de promover o compartilhamento de conhecimento, seria um banco de dados para levantamentos iguais a essa pesquisa, em tempo real e com altíssima confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABDELMEGID, M.; GONZÁLEZ, V.; POSHDAR, M.; O'SULLIVAN, M.; WALKER, C.; YING, F. **Barriers to adopting simulation modelling in construction industry**. *Automation in Construction*, v. 111, 2020.
- ADNAN, E.; SALAM, E.; SHERIF, M. **Drivers affecting household residents' water and related energy consumption in residential buildings**. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, v.35, n. 2,2017.
- AGHIMIEN, D.; AIGBAVBOA, C.; OKE, A. **Critical success factors for digital partnering of construction organisations – a Delphi study**. *Construction and Architectural Management*, v. 27, n, p. 3171-3188, 2020.
- AGHIMIEN, D.; AIGBAVBOA, C.; MENO, T.; IKUABE, M. **Unravelling the risks of construction digitalization in developing countries**. *Construction Innovation*, v. 21, n. 3, p. 456-475, 2021.
- AHMAD, M.; MOURSHED, M.; MUNDOW, D.; SISINNI, M.; REZGUI, Y. **Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research**. *Energy and Buildings*, v. 120, p. 85-102, 2016.
- AHMAD, M.W.; MOURSHED, MUNDOW, D.; SISINNI, M.; REZGUI, Y. **Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research**. *Energy and Buildings*, v. 120, p. 85-102, 2016.
- AHN, S. J.; HAN, S. U.; AL-HUSSEIN, M. **2D Drawing Visualization Framework for Applying Projection-Based Augmented Reality in a Panelized Construction Manufacturing Facility: Proof of Concept**. In: *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 5, 2019.
- AHUETT-GARZA, H.; KURFESS, T. **A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing**. *Manufacturing Letters*, v. 15, Part B, p. 60-63, 2018.
- AKATA, A.; NJOMO, D.; AGRAWAL, B. **Assessment of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) for sustainable energy performance in tropical regions of Cameroon**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 80, p. 1138-1152, 2017.
- AKIN, S.; ERGUN, O.; SURER, E; GURSEL, I. **An immersive performative architectural design tool with daylighting simulations: a building information modeling-based approach**. *Construction and Architectural Management*, v. 28, n. 4, pp. 1319-1344, 2021.
- AKINADE, O.; OYEDELE, L.; AJAYI, S.; BILAL, M.; ALAKA, H.; OWOLABI, H.; ARAWOMO, O. **Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment**. *Journal of Cleaner Production*, v. 180, p. 375-385, 2018.
- ALALOUL, W.S.; LIEW, M.S.; ZAWAWI, N. A.; KENNEDY, I. B. **Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders**, *Ain Shams Engineering Journal*, v. 11, p. 225-230, 2020.

AL-ANI, I. A. **Urbanização e controle de sedimentos por meio de sistema inteligente.** *Jornal Internacional de Energia e Meio Ambiente*, v. 9, 2018.

ALAWNEH, R.; GHAZALI, F.; ALI, H.; SADULLAH, A. F. **A Novel framework for integrating United Nations Sustainable Development Goals into sustainable non-residential building assessment and management in Jordan.** *Sustainable Cities and Society*, v. 49, 2019.

ALBERTSEN, L.; WIEDMANN, K.P.; SCHMIDT, **The Impact of Innovation-related Perception on Consumer Acceptance of Food Innovations - Development of an Integrated Framework of the Consumer Acceptance Process.** *Food Quality and Preference*, 2020.

AL-QUTAIFI, S.; NAZARI, A.; BAGHERI, A. **Mechanical properties of layered geopolymer structures applicable in concrete 3D-printing.** *Construction and Building Materials*, v. 176, p. 690-699, 2018.

ALRASHED, F.; ASIF, M. **An Exploratory of Residents' Views Towards Applying Renewable Energy Systems in Saudi Dwellings.** *Energy Procedia*, v. 75, p. 1341-1347, 2015.

ALSHAREF, A.; BANERJEE, S.; UDDIN, S. M., ALBERT, A.; JASELSKIS, E. **Early Impacts of the COVID-19 Pandemic on the United States Construction Industry.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, n. 18, v. 4, 2021.

AMMAD, S.; ALALOUL, W.; SAAD, S.; QURESHI, A. **Personal Protective Equipment (PPE) usage in Construction Projects: A Systematic Review and Smart PLS Approach.** *Ain Shams Engineering Journal*, v. 12, p. 3495-3507, 2021.

ANGRILL, S.; SEGURA-CASTILLO, L.; PETIT-BOIX, A.; RIERADEVALL, J.; DURANY, X.; & JOSA, A. **Environmental performance of rainwater harvesting strategies in Mediterranean buildings.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, 2017.

ARAÚJO, C. **Bibliometria: Evolução histórica e questões atuais.** *Em Questão*. n.12. p. 11-32, 2006.

ARGHANDEH, R.; VON MEIER, A.; MEHRMANESH, L.; MILI, L. **On the definition of cyber-physical resilience in power systems.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 1060-1069, 2016.

ARONE, M.; CUNHA, I. **Avaliação tecnológica como competência do enfermeiro: reflexões e pressupostos no cenário da ciência e tecnologia.** *Revista Brasileira de Enfermagem [online]*, v. 59, n. 4, p. 569-572, 2006.

ARROTÉIA, A.; FREITAS, R.; MELHADO, S. **Barriers to BIM Adoption in Brazil.** *Frontiers in Built Environment*. v. 7, 2021.

ASTM International. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies: Designation F2792 - 12a.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

AURELIANO, F.S.; ARIELLEN A.F.; COSTA, I.F.; RODRIGUES, R.A. **Application of lean manufacturing in construction management**. *Procedia Manufacturing*, v. 38, p. 241-247, 2019.

BALALI, A.; HAKIMELAHI, A.; VALIPOUR, A. **Identification and prioritization of passive energy consumption optimization measures in the building industry: An Iranian case study**. *Journal of Building Engineering*, v. 30, 2020.

BANIASSADI, A.; HEUSINGER, J.; SAILOR, D. **Energy efficiency vs resiliency to extreme heat and power outages: The role of evolving building energy codes**. *Building and Environment*, v. 139, p. 86-94, 2018.

BANSAL, V.; PAL, M. **Extended GIS for construction engineering by adding direct sunlight visualizations on buildings**. *Construction Innovation*, v. 9 n. 4, p. 406-419, 2009.

BARBOSA, A. **Productivity & Innovation as a Support in Project Management: A Study Through Construction Industry in Brazil**, 2017.

BELINI, L.; TOMAZELLO, M. **Avaliação tecnológica de painéis MDF de madeira de eucalyptus grandis confeccionados em laboratório e em linha de produção industrial**. *Ciência Florestal* [online], v. 20, n. 3, p. 493-500, 2010.

BENACHIO, G. L.; FREITAS, M. C.; TAVARES, S. F. **Circular economy in the construction industry: A systematic literature review**. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, 2020.

BENACHIO, G.; FREITAS, M.; TAVARES, J. **Circular economy in the construction industry: A systematic literature review**. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, p. 2020.

BEUSCART, R.; WATBLED, L.; LOGIER, R. **Innovation et évaluation des technologies innovantes de la e-santé à Lille**. *ITBM-RBM*, v. 27, n. 4, p. 169-173, 2006.

CAMARGO, R.; CAMARGO, C. **Trigo: avaliação tecnológica de novas linhagens**. *Bragantia*, v. 46, n. 2, p. 169-181, 1987.

CASTORENA, D. G.; RIVERA, G. R.; GONZÁLEZ, A. V. **Technological foresight model for the identification of business opportunities (TEFMIBO)**. *Foresight*, v. 15, n. 6, 492-516, 2013.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção, **A Construção Civil pode dar um novo ânimo à economia**, 2018. Disponível em: <https://cbic.org.br/a-construcao-civil-pode-dar-um-novo-animo-a-economia-2/>. Acessado em: 18 abril 2020.

CBIC – Câmara Brasileira Da Indústria da Construção. **Construção Civil, em 2021, registrou o seu maior crescimento nos últimos 10 anos**, 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-civil-em-2021-registrou-o-seu-maior-crescimento-nos-ultimos-10-anos/>. Acessado em: 25 fevereiro 2022.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Economia nacional e construção civil: desempenho recente e perspectivas do Brasil, 2020**. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/02/ieda.pdf>. Acessado em: 24 fev. 2022.

CHANG, K.; DZENG, R.; WU, Y. **An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management**. Applied Sciences, V. 8, 2018.

CHEN, Y., LAI, Y., LIN, Y. **BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment**. Automation in Construction, v. 110, 2020.

CHEN, Y.; XU, J.; WANG, J.; LUND, P.; WANG, D. **Configuration optimization and selection of a photovoltaic-gas integrated energy system considering renewable energy penetration in power grid**. Energy Conversion and Management, v. 254, 2022.

CHEN, Y.; ZHU, D.; LI C. **Applications of the Delphi method in China**. Technological Forecasting and Social Change, v. 38, n. 3, p. 293-305, 1990.

CHENG, J.; MA, L. **A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning**, Waste Management. v. 33, p. 1539-1551, 2013.

CHENG, M.; LU, Y.; ZHU, H.; XIAO, J. **Measuring CO2 emissions performance of China's construction industry: A global Malmquist index analysis**. Environmental Impact Assessment Review, v. 92, 2022.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Sondagem Especial 66 - Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2016.

COATES, J. F. **Some methods and techniques for comprehensive impact assessment**. Technological Forecasting and Social Change, v. 6, p. 341-357, 1974.

CRISTINO, A.; FARIA NETO, F.; WURTZ, B. **Delinchant. Barriers to the adoption of energy-efficient technologies in the building sector: A survey of Brazil**. Energy and Buildings, v. 252, 2021.

CUNHA, S.; AGUIAR, J. **Phase change materials and energy efficiency of buildings: A review of knowledge**. Journal of Energy Storage, v. 27, 2020.

CUPERSCHMID, R.; FABRICIO, M.; GRACHET, M. **Development of an Augmented Reality environment for the assembly of precast wood-frame wall from the BIM model**. Ambiente Construído, v. 16, 2016

DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; FROSOLINI, M. **A Lean Approach for Real-Time Planning and Monitoring in Engineer-to-Order Construction Projects**. Buildings. v. 8, p. 38, 2018.

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

DARKO, A.; CHAN, A.; ADABRE, M.; EDWARDS, D.; HOSSEINI, M.; AMEYAW, E. **Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities**. Automation in Construction, v. 112, 2020.

DE LUCA, F.; SIMSON, R.; VOLL, H; KURNITSKI, J. **Daylighting and energy performance design for single floor commercial hall buildings**. Management of Environmental Quality, v. 29 n. 4, p. 722-739, 2018.

DE MAURO, A., GRECO, M. AND GRIMALDI, M. **A formal definition of Big Data based on its essential features**. Library Review, v. 65 n. 3, p. 122-135, 2016.

DELGADO, J.; OYEDELE, L.; AJAYI, A.; AKANBI, L.; AKINADE, O.; BILAL, M.; OWOLABI, H. **RobotiGCS and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption**. Journal of Building Engineering, v. 26, 2019.

DEMIRKESEN, S.; TEZEL, A. **Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies**. Construction and Architectural Management, 2021.

DILLMAN, D.A. **Mail and Telephone Survey: The Design Method**, John Wiley & Sons, New York, NY, 1978.

DING, Z.; LIU, R.; WANG, Y.; TAM, V.; MA, M. **An agent-based model approach for urban demolition waste quantification and a management framework for stakeholders**. Journal of Cleaner Production, v. 285, 2021.

DOMINGO, N.; BATTY, T. **Construction waste modelling for residential construction projects in New Zealand to enhance design outcomes**. Waste Management, v. 120, p. 484-493, 2021.

DRÄGER, P.; LETMATHE, P. **Value losses and environmental impacts in the construction industry – Tradeoffs or correlates?**. Journal of Cleaner Production, v. 336, 2022.

DU, H.; HUANG, P.; JONES, P. **Modular facade retrofit with renewable energy technologies: The definition and current status in Europe**. Energy and Buildings, v. 205, 2019.

DU, T.; SUN, Y. **Correlation of Building Heating and Air Qualities in Typical Cities of China**. Energy Procedia, v. 158, p. 6532-6537, 2019.

DUAN, H.; LI, F.; YAN, H. **Multi-Objective Optimal Design of Detention Tanks in the Urban Stormwater Drainage System: LID Implementation and Analysis**. Water Resources Management, 2016.

EFFICIENERGY. **O consumo de energia nas edificações brasileiras**, 2016. Disponível em: <http://efficiency.com.br/3750/>. Acessado em: 15 abril 2020.

ELSEVIER. **Automation in Construction**, 2022. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/automation-in-construction>. Acessado em: 06 maio 2022.

ENSHASSI, A.; ELZEBDEH, S.; MOHAMED, S. **Drivers affecting household residents' water and related energy consumption in residential buildings**. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2017.

EPI – Environmental Performance Index. **2020 EPI Results**, 2020 Disponível em: <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi>. Acessado em: 12 outubro 2020.

EUROSTAT. **Accidents at work statistics**, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

[explained/index.php?title=Accidents at work statistics#Analysis by activity](#)>. Acessado em: 26 fevereiro 2022.

FERNEA, R.; GAVREA, D.R.; MANEA, D.L.; MOLNAR; MUNTEANU, C.; TIUC, A.E. **The influence of the binder and volcanic rocks in natural-organic building materials**. Procedia Manufacturing, v. 22, p. 364-371, 2018.

FINKENZELLER K. **RFID Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. 3rd ed. Chichester: Wiley, p. 478, 2010.

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Construção Civil: Desafios 2020, 2020. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/construcao-civil/desafios.htm>>. Acessado em: 22 fevereiro 2022.

FLYNN, B. B.; SAKA KIBARA, S.; SCHROEDER, R. G.; BATES, K. A. AND FLYNN, E.J. **Empirical research methods in operations management**. Journal of Operations Management, v. 9, n. 2, p. 250-84, 1990.

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

FREEMAN C., **The greening of technology and models of innovation**, Technological forecasting and social change, v. 53, p. 1, 1996.

FU, Y.; KOK, R.A.; DANKBAAR, B.; LIGTHART, P.E.; RIEL, A.R. **Factors affecting sustainable process technology adoption: A systematic literature review**. Journal of Cleaner Production, v. 205, p. 226-251, 2018.

FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. **A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping**. Automation in Construction, v. 72, Part 1, p. 9-17, 2016.

GAO, J.; REN, H.; MA, X.; CAI, W; SHI, Q. **A total energy efficiency evaluation framework based on embodied energy for the construction industry and the spatio-temporal evolution analysis**. Construction and Architectural Management, v. 26 n. 8, p. 1652-1671, 2019.

GEHLOT, M.; SHRIVASTAVA, S. **Sustainable construction Practices: A perspective view of Indian construction industry professionals**. Materials Today: Proceedings, 2021.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; ZHANG, T.; NAISMITH, N.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; DOAN, D.; REHMAN, A.; NWADIGO, O.; TOOKEY, J. **ND BIM-integrated knowledge-based building management: Inspecting post-construction energy efficiency**. Automation in Construction, v. 97, p. 13-28, 2019.

GHISI, E; THIVES, L.; PAES, R. **Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil**. Water Science and Technology: Water Supply, v. 18, p. 1497–1504, 2018.

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

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, ed. Atlas, 2002.

GIOUTSOS, D.M.; BLOK K.; VELZEN, L.; MOORMAN, S. **Cost-optimal electricity systems with increasing renewable energy penetration for islands across the globe**. Applied Energy, v. 226, p. 437-449, 2018.

GOKULANATHAN, V.; ARUN, K.; PRIYADHARSHINI, P. **Fresh and hardened properties of five non-potable water mixed and cured concrete: A comprehensive review**. Construction and Building Materials, v. 309, 2021.

GOKULANATHAN, V.; KUMAR, A.; PERUMAL P. **Fresh and hardened properties of five non-potable water mixed and cured concrete: A comprehensive review**. Construction and Building Materials, v. 309, 2021.

GONG, Z.; WANG, N. **The driving process of technological innovation in construction: a firm-level CDM analysis**. Construction Innovation, v. 22 n. 2, p. 222-241, 2022.

GONZÁLEZ-VIDAL, A.; JIMÉNEZ, F.; GÓMEZ-SKARMETA, A. **A methodology for energy multivariate time series forecasting in smart buildings based on feature selection**. Energy and Buildings, v. 196, p. 71-82, 2019.

GUERRA, B.; SHAHI, S.; MOLLAEI, A.; SKAF, N.; WEBER, O.; LEITE, F.; HAAS, C. **Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities**. Journal of Cleaner Production, Volume 324, 2021.

HABIBNEZHAD, M.; PUCKETT, J.; JEBELLI, H.; KARJI, A.; FARDHOSSEINI, M.; ASADI, S. **Neurophysiological testing for assessing construction workers' task performance at virtual height**. Automation in Construction, v. 113, 2020.

HAENLEIN M, KAPLAN A. **A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence**. California Management Review, v. 61, n. 4, p. 5-14, 2019.

HALKOLA, J.L.; JUNNILA, S.; MAJAMAA, W.; KURONEN, M. **Urban redevelopment concept (URC) for existing neighbourSR Hoods**. Proceedings of the 17th Annual European Real Estate Society Conference, Milan, Italy, 2010.

HAMED, R.; ALI, G. **Extracting Occupants' Energy-Use Patterns from Wi-Fi Networks in Office Buildings**. Journal of Building Engineering. v. 26, 2019.

HAO, J.; HILLS, M.; HUANG, T. **A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong**. Construction Innovation, v. 7, n. 1, p. 7-21, 2007.

HARRELL, F.E. **Regression Modeling Strategies**. New York, NY: Springer, 2001.

HASANZADEH, S.; LA GARZA, J.; GELLER, S. **Latent Effect of Safety Interventions**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 146, 2020.

HE, C.; HUANG, G.; LIU, L.; XU, X.; LI, Y. **Evolution of virtual water metabolic network in developing regions: A case study of Guangdong province**. Ecological Indicators, v. 108, 2020.

HERAVI, G.; ABDOLVAND, M. **Assessment of Water Consumption during Production of Material and Construction Phases of Residential Building Projects**. Sustainable Cities and Society. v. 51, 2019.

HERVÁS-BLASCO, E.; NAVARRO-PERIS, E.; CORBERÁN, J. M. **Closing the residential energy loop: Grey-water heat recovery system for domestic hot water production based on heat pumps**. Energy and Buildings, v. 216, 2020.

HONG, J.; ZHONG, X.; GUO, S.; LIU, G.; SHEN, G.Q.; YU, T. **Water-energy nexus and its efficiency in China's construction industry: Evidence from province-level data**. Sustainable Cities and Society, v. 48, 2019.

HOSSAIN, F. **Sanitation and waste disposal systems**. Chapter 4, Editor(s): Md. Faruque Hossain, Sustainable Development for Mass Urbanization, p. 25-40, 2019.

HU, D.; MOHAMED, Y.; TAGHADDOS, H.; HERMANN, U. **A simulation-based method for effective workforce planning of industrial construction projects**. Construction Management and Economics, p. 1-20, 2017.

HUAN-FENG, D.; FEI, L.; HEXIANG, Y. **Multi-Objective Optimal Design of Detention Tanks in the Urban Stormwater Drainage System: LID Implementation and Analysis**. Water Resources Management. v. 30, 2016.

HURLIMANN, A.; WARREN-MYERS, G.; BROWNE, G. **Is the Australian construction industry prepared for climate change?**. Building and Environment, v. 153, p. 128-137, 2019.

HURLIMANN, A.C.; BROWNE, G.R.; MYERS, G.W.; FRANCIS, V. **Barriers to climate change adaptation in the Australian construction industry – Impetus for regulatory reform**. Building and Environment, v. 137, p. 235-245, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa anual da indústria da construção**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=publicacoes>>. Acessado em: 12 outubro 2020.

IDC – International Data Corporation. **Digital Transformation: The Future of Connected Construction**, 2020. Disponível em: http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf. Acessado em: 6 março 2022.

IEA – International Energy Agency, **Global status report 2017**, Global Alliance Building and Construction, 2017.

IEA – International Energy Agency, **Transition to Sustainable Buildings**. IEA, Paris, 2013.

IEA – International Energy Agency, Data and statistics, 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>>. Acessado em: 10 abril 2022.

- JEON, Y.; CHO, C.; SEO, J.; KWON, K.; PARK, H.; OH, S.; CHUNG, I. **IoT-based occupancy detection system in indoor residential environments**. *Building and Environment*, v. 132, p. 181-204, 2018.
- JIN, Y.; WANG, L.; XIONG, Y.; CAI, H.; LI, Y.; ZHANG, W. **Feasibility studies on net zero energy building for climate considering: A case of “All Green House” for Datong, Shanxi, China**. *Energy and Buildings*, v. 85, Pages 155-164, 2014.
- JING, X.; ZHANG, S.; ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, Y. **Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China**. *Resources. Conservation and Recycling*, v. 126, p. 74–85, 2017.
- JO, B.; LEE, Y.; KIM, J.; KIM, D.; CHOI, P. **Proximity Warning and Excavator Control System for Prevention of Collision Accidents**. *Sustainability*, v. 9, 2017.
- JOHN, M.V.; QUATTRONE, M.; ABRÃO, P.C.; CARDOSO, F.A. **Rethinking cement standards: Opportunities for a better future**. *Cement and Concrete Research*, v. 124, 2019.
- JOHN, S.; SARKAR, P.; DAVIS, R. **Energy-efficient long range wide area network for construction industry applications**. *Automation in Construction*, v. 136, 2022,
- JONES, M. V. **A technology assessment methodology: some basic propositions**, Washington, DC: Mitre Corporation, Washington Operations, v. 1, 1971.
- JOUNG, J.; KIM, K. **Monitoring emerging technologies for technology planning using technical keyword-based analysis from patent data**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 114, p. 281-292, 2016.
- KAGERMANN, H.; WOLFGANG, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech, 2013.
- KANYILMAZ, A.; DEMIR, A.; CHERICI, M.; BERTO, F.; GARDNER, L.; KANDUKURI, S.; KASSABIAN, P.; KINOSHITA, T.; LAURENTI, A.; PAOLETTI, I.; PLESSIS, A.; SEYED MOHAMMAD JAVAD RAZAVI. **Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector**. *Additive Manufacturing*, v. 50, 2022.
- KEITSCH, M.; GENG, Y.; DONG, H.; XUE, B.; FU, J. **An Overview of Chinese Green Building Standards**. *Sustainable Development*, 2012.
- KHAN, S.A., BOHNSACK, R. **Influencing the disruptive potential of sustainable technologies through value proposition design: The case of vehicle-to-grid technology**. *Journal of Cleaner Production*, v. 254, 2020.
- KIM, J.; BAUMAN, F.; RAFTERY, P.; ARENS, E.; ZHANG, G.; FIERRO, G.; ANDERSEN, M.; CULLER, D. **Occupant comfort and behavior: High-resolution data**

from a 6-month field study of personal comfort systems with 37 real office workers. Building and Environment, v. 148, p. 348-360, 2019.

KISHNA, M.; NIESTEN, E.; NEGRO, S.; HEKKERT, M.P. **The role of alliances in creating legitimacy of sustainable technologies: A study on the field of bio-plastiGCS.** Journal of Cleaner Production, v. 155 Parte 2, p. 7-16, 2017.

KLARIN, A. **Mapping product and service innovation: A bibliometric analysis and a typology.** Technological Forecasting and Social Change, v. 149, 2019.

KO, C.; LI, S. **Lean concurrent submittal review systems.** KSCE Journal of Civil Engineering, v. 19, n. 3, p.478-484, 2015.

KONDRATIEFF, N. **The long wave in economic life,** Review of Economic Statistics, v. 17, p. 105-115, 1925.

KRISHNA, V.; KUBITZA, C.; PASCUAL, U.; QAIM, M. **Land markets, Property rights and Deforestation: Insights from Indonesia,** World Development, v. 99, p. 335-349, 2017.

KRISHNARAJ, L.; KUMAR, V.; MURUGESAN, B.; KUMAR, N.; THANGAVEL, S. **Futuristic evaluation of building energy simulation model with comparison of conventional villas.** International Journal of Construction Management, p. 1-10, 2019.

KUBBA, S. **Handbook of Green Building Design and Construction.** ed. 2, Butterworth-Heinemann, 2017.

KUMAR, B.; CHENG, J.; MCGIBBNEY, L. **Cloud computing and its Implications for Construction IT.** 13th International Conference on Computing and Building Engineering and 17th International European Group Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Nottingham, UK, p. 315-320, 2010.

KUMAR, R. **Research methodology - a step-by-step guide for beginners.** 3.ed. London: Sage, 2011.

KURACHI, S.; COSTA, J.; BERNARDI, J.; COELHO J.; SILVEIRA, G. **Avaliação tecnológica de sementeiras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes,** Bragantia [online], v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

KURKI, S.; WILENIUS, M. **Surfing the Sixth Wave. Exploring the next 40 years of global change – Exploring the next 40 years of global change.** Finland futures Research center, 2010,

LACHMAYER, L.; EKANAYAKA, V.; HÜRKAMP, A.; RAATZ, A. **Approach to an optimized printing path for additive manufacturing in construction utilizing FEM modeling.** Procedia CIRP, v. 104, Pages 600-605, 2021.

LEE, M.; HONG, T.; KOO, C.; KIM, C. **A break-even analysis and impact analysis of residential solar photovoltaic systems considering state solar incentives.** Technological and Economic Development of Economy. v. 24, p. 1-25, 2017.

LI, B.; HAN, S.; WANG, Y.; LI, J.; WANG, Y. **Feasibility assessment of the carbon emissions peak in China's construction industry: Factor decomposition and peak forecast.** *Science of The Total Environment*, v. 706, 2020.

LI, H.; CHAN, N.; SKITMORE, M. **The use of virtual prototyping to rehearse the sequence of construction work involving mobile cranes.** *Construction Innovation*, v. 12, 2012.

LI, J.; GREENWOOD, D.; KASSEM, M. **Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases,** *Automation in Construction*, v. 102, p. 288-307, 2019.

LI, Q.; SHU, Z.; CHEN, F. **Performance assessment of tall building-integrated wind turbines for power generation.** *Applied Energy*, v. 165, p. 777-788, 2016.

LIN, J.; ZHU, R.; LI, N.; GERBER, B. **Do people follow the crowd in building emergency evacuation? A cross-cultural immersive virtual reality-based study.** *Advanced Engineering Informatics*, v. 43, 2020.

LINDE, K.; WILLICH, S.N. **How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine.** *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 96, p. 17-22, 2003.

LIU, B.; WANG D.; XU, Y.; LIU, C.; LUTHER, M. **Vertical specialization measurement of energy embodied in international trade of the construction industry.** *Energy*, v. 165, p. 689-700, 2018.

LIU, B.; WANG, D.; XU, Y.; LIU, C.; LUTHER, M. **Vertical specialisation measurement of energy embodied in international trade of the construction industry.** *Energy*, v. 165, Part B, p. 689-700, 2018.

LIU, Y.; CHEN, H.; ZHANG, L.; FENG, Z. **Enhancing building energy efficiency using a random forest model: A hybrid prediction approach.** *Energy Reports*, v. 7, p. 5003-5012, 2021.

LOCKREY, S.; JOHNSON, K.B. **Designing pedagogy with emerging sustainable technologies.** *Journal of Cleaner Production*, v. 61, p. 70-79, 2013.

LUO, F.; LI, R.; M. CRABBE, J.; PU, R. **Economic development and construction safety research: A bibliometrics approach.** *Safety Science*, v. 145, 2022.

LYDON, G.P.; CARANOVIC, S.; HISCHIER, I.; SCHLUETER, A. **Coupled simulation of thermally active building systems to support a digital twin.** *Energy and Buildings*, v. 202, 2019.

MAGALHÃES, R.; MELLO, L.; BANDEIRA, R. **Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro,** Rio de Janeiro, n.1, p.44-55, 2018.

MANTHA, B.; SOTO, B.; KARRI, R. **Cyber security threat modeling in the AEC industry: An example for the commissioning of the built environment.** *Sustainable Cities and Society*, v. 66, 2021.

- MAQBOOL, R. **Efficiency and effectiveness of factors affecting renewable energy projects; an empirical perspective**. *Energy*, v. 158, p. 944-956, 2018.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7^a. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MARTINA, K.; YONG, G.; HUIJUAN, D.; XUE, BING, X.; JIA, F. **An Overview of Chinese Green Building Standards**. *Sustainable Development*, v. 20, n. 211-221, 2012.
- MARZOUK, M.; OTHMAN, A. **Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building information modeling**. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 1400-1410, 2017.
- MASIA, T.; KAJIMO-SHAKANTU, K; OPAWOLE, A. **A case study on the implementation of green building construction in Gauteng province, South Africa**. *Management of Environmental Quality*, v. 31 n. 3, p. 602-623, 2020.
- MASKURIY R.; SELAMAT A.; MARESOVA P.; KREJCARO.; DAVID, O.O. **Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective, Economies, MDPI**. *Open Access Journal*, v. 7, p. 1-14, 2019.
- MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O.; DAVID, O. **Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective**. *Economies*, n. 7, v. 14, 2019.
- MCCARTHY, N.; MARI, A. **12 países mais inovadores do mundo em 2019**, Forbes, 2020. Disponível em: <<https://forbes.com.br/listas/2019/07/12-paises-mais-inovadores-do-mundo-em-2019/>>. Acessado em: 17 Abril 2020.
- MELLADO, F.; LOU, E. **Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry**. *Sustainable Cities and Society*, v. 61, 2020,
- MENDES, M.; MELO, D. **Avaliação Tecnológica: Uma Proposta Metodológica**. *Revista de Administração Contemporânea* [online]. 2017, v. 21, n. 4, p. 569-584, 2017.
- MEREDITH, J.R. **Building operations management theory through case and field research**. *Journal of Operations Management*, v. 16, n. 4, p. 441-54, 1998.
- MIRANDA, R.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. **Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops**. *Renewable Energy*, v. 75, p. 694-713, 2015.
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Matriz Elétrica e Energética**, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>, Acessado em: 12 outubro 2020.
- MOGOS, M.F.; ELEFThERIADIS, R.J.; MYKLEBUST, O. **Enablers and inhibitors of Industry 4.0: results from a survey of industrial companies in Norway**. *Procedia CIRP*, v. 81, p. 624-629, 2019.
- MOHAMMAD, R. **Advanced visualization and simulation techniques for modern construction management**. *Indoor and Built Environment*, v. 23, 2013.

- MOHAMMADI, A.; TAVAKOLAN, M.; KHOSRAVI, Y. **Factors influencing safety performance on construction projects: A review**. Safety Science, v. 109, p. 382-397, 2018.
- MONDAL, M.; KAMP, L.; PACHOVA, N. **Drivers, barriers, and strategies for implementation of renewable energy technologies in rural areas in Bangladesh - an innovation system analysis**. Energy Policy, v. 38, n.8, p. 4626-4634, 2010.
- MORAES, K.; ZAVAREZE, E.; MIRANDA, M.; SALAS-MELLADO, M. **Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar**, Food Science and Technology [online], v. 30, p. 233-242, 2010.
- MOURA, J.; FILHO, E.; NETO, S.; CÂNDIDO, E. **Avaliação tecnológica dos sistemas de produção de leite bovino no Cariri da Paraíba**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 14, n. 1, p. 121-131, 2013.
- MUHAMMAD, B.; LUKUMON, O.; JUNAID, Q.; KAMRAN, M.; OLÚGBÉNGA. A.; SAHEED, A.; HAFIZ, A.; HAKEE, O. **Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data**. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Developmen, v. 6, p. 1-18, 2016.
- MUHURI, P.K.; SHUKLA, A.K.; ABRAHAM A. **Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 78, p. 218-235, 2019.
- MUSHTAHA, E; MORI, T.; MASAMICHI, E. **The Impact of Passive Design on Building Thermal Performance in Hot and Dry Climate**. Open House International, v. 37 n. 3, p. 81-91, 2012.
- NAKANO, D. **Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. In: (ORGANIZADOR), P. A. C. M. (Ed.). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, p. 65-74, 2012.
- NGUYEN, D.; CHOU, J.; TRAN, D. **Integrating a novel multiple-objective FBI with BIM to determine tradeoff among resources in project scheduling**. Knowledge-Based Systems, v. 235, 2022.
- NUNES, J.; LONGO, O.; ALCOFORADO, L.; PINTO, G. **The Civil Construction sector in Brazil and the current economic crisis**. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, 2020.
- O EMPREITEIRO, **Obras de engenharia do ano**. São Paulo: M3, n. 576, 2019.
- OGUNTONA, A.O.; OHIS AIGBAVBOA, C.O. **Biomimicry principles as evaluation criteria of sustainability in the construction industry**. Energy Procedia, v. 142, p. 2491-2497, 2017.
- OLIVEIRA, F.; MAUÉS, L. & ROSA, C.; SANTOS, D.; SEIXAS, R. **Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM**. Ambiente Construído, v. 20, p. 157-176, 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Nações Unida Brasil**, 2015. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>, Acessado em: 17 abril 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, **The 17 goals**, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acessado em: 13 agosto 2021.

OPOKU, D.; PERERA, S.; OSEI-KYEI, R.; RASHIDI, M. **Digital twin application in the construction industry: A literature review**. Journal of Building Engineering, v. 40, 2021.

ORESZCZYN, T.; LOWE, R. **Challenges for energy and buildings research: Objectives, methods and funding mechanisms**. Building Research and Information. Building Research and information. v. 38, p. 107-122, 2010.

O'SULLIVAN, J.; BRUEN, M.; PURCELL, P.; GEBRE, F. **Urban drainage in Ireland – embracing sustainable systems**. Water and Environment Journal, v. 26, 2012.

OSUNSANMI, T.; AIGBAVBOA, C.; AYODEJI O.; LIPHADZI, M. **Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects**. Built Environment Project and Asset Management, 2020.

OSUNSANMI, T.; AIGBAVBOA, C.; AYODEJI O.; LIPHADZI, M. **Construction 4.0: The Future of the Construction Industry in South Africa**. International Journal of Architectural, Civil and Construction Sciences, v. 11, 2018.

OSUNSANMI, T.O.; AIGBAVBOA, C.O.; OKE, A.; LIPHADZI, M. **Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects**. Built Environment Project and Asset Management, v. 10 N. 4, p. 547-565, 2020.

PANTOJA, N. S.; VIDAL, R.; PASTOR, M. C. **Aesthetic perception of photovoltaic integration within new proposals for ecological architecture**. Sustainable Cities and Society, v. 39, p. 203-214, 2018.

PAPACHRISTOS, G.; JAIN, N.; BURMAN, E.; ZIMMERMANN, N.; MUMOVIC, D.; DAVIES, M.; EDKINS, A. **Low carbon building performance in the construction industry: A multi-method approach of project management operations and building energy use applied in a UK public office building**. Energy and Buildings, v. 206, 2020.

PARAGON. **O que é simulação**, 2019. Disponível em: <<https://www.paragon.com.br/academico/o-que-e-simulacao/>>. Acessado em: 17 Abril 2020.

PASSARINI, K.; PEREIRA, M.; FARIAS, T.; CALARGE, F.; SANTANA, J. **Assessment of the viability and sustainability of an integrated waste management system for the city of Campinas (Brazil), by means of ecological cost accounting**. Journal of Cleaner Production, v. 65, 2014.

PEDRO, T.; BARBOSA, B. **Impactos do Novo Corona Vírus sobre o mercado da construção Civil**. Revista Eletrônica TECCEN, v. 14, p. 33-39, 2021.

PEREIRA, L.; DE AZEVEDO, B. **O Impacto da Pandemia na Construção Civil**. Boletim do Gerenciamento, n. 20, v. 20, p. 71-80, 2020.

PÉREZ R.; NAVAS, S.; MARTÍN, J.; HURTADO, M. **A methodology for the development of urban energy balances: Ten years of application to the city of Madrid.** *Cities*, v. 91, p. 126-136, 2019.

PÉREZ, L.; DIEZ, E.; USAMENTIAGA, R.; GARCÍA, D.F. **Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces.** *Computers in Industry*, v. 109, p. 114-120, 2019.

PESSOA, S.; GUIMARÃES, A.; L.CAS, S.; SIMÕES, N. **3D printing in the construction industry - A systematic review of the thermal performance in buildings.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 141, 2021.

PI – Portal da Indústria. **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**, 2016. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-66-industria-4-0/>>. Acessado em 29 de maio de 2021.

PINSKY, V.; KRUGLIANSKAS, I. **Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos.** *Estudos avançados*, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 107-126, 2017.

PNG, E.; SRINIVASAN, S.; BEKIROGLU, K.; CHAOYANG, J.; SU, R.; POOLLA, K. **An internet of things upgrades for smart and scalable heating, ventilation and air-conditioning control in commercial buildings.** *Applied Energy*, v. 239, p. 408-424, 2019.

PR NEWSWIRE, **Global Construction Outlook 2022**, 2018. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/global-construction-outlook-2022-300624581.html>>. Acessado em: 16 abril 2020.

PRITCHARD, J., **Statistical bibliography or bibliometriGCS?.** *J. Doc.* 25 n. 4, p. 348-349, 1969.

PURUSHOTTAM, D.; RAVINDRA, L. **A fuzzy rule-based system for an environmental acceptability of Sewage Treatment Plant.** *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017.

QS – QS Top Universities - **World University Rankings 2021**. Disponível em: <<https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2021>>. Acessado em: 18 de fevereiro 2022.

RAMOLA, S.; SRIVASTAVA, R.; VASUDEVAN, P. **Effect of biochar application in combination with domestic wastewater on biomass yield of bioenergy plantations.** *International Journal of Energy Sector Management*. v. 7, 2013.

RAO, A.; RADANOVIC, M.; LIU, Y.; HU, S.; FANG, Y.; KHOSHELHAM, K.; PALANISWAMI, M.; NGO, T. **Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications.** *Automation in Construction*, v. 136, 2022.

RAO, A.; RADANOVIC, M.; LIU, Y.; HU, S.; FANG, Y.; KHOSHELHAM, K.; PALANISWAMI, M.; NGO, T. **Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications.** *Automation in Construction*, v. 136, 2022.

RATTNER, H. **Avaliação de tecnologia: um instrumento auxiliar no processo decisório.** *Revista de Administração de Empresas*, v. 19, n. 4, p. 79-90, 1979.

REINDL, K.; PALM, J. **Installing PV: Barriers and enablers experienced by non-residential property owners**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 141, 2021.

REZAEI, M.; YOUSEFI, S.; HAYATI, J. **Root barriers management in development of renewable energy resources in Iran: An interpretative structural modeling approach**. *Energy Policy*, v. 129, p. 292-306, 2019.

RHODES, C. **Construction industry: Statistics and policy**. House of Commons Briefing, 2019.

RIA – Robot Institute of America. **Robot Terms and Definitions**, 2010. Disponível em: <<https://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm?productid=2953>>. Acessado em 18 março 2021.

RODRIGUES, L.; SILVA, J.; ANGÉLICA, R.; RABELO, A.; FAGURY, R.; NETO, E. **Avaliação tecnológica de cerâmicas tradicionais incorporadas com rejeito do minério de manganês**. *Cerâmica* [online]. 2014, v. 60, n. 356, p. 580-585, 2014.

ROQUE, J. **O Projeto: Avaliação de tecnologias para habitação de interesse social**. Editora CEF, 2008.

ROSTAMI, A.; SOMMERVILLE, J.; WONG, I.L.; LEE, C. **Risk management implementation in small and medium enterprises in the UK construction industry**. *Engineering, Construction and Architectural Management*. n. 1, v. 22, p. 91–107, 2015.

RUB, A.; IQBAL, A.; AMIN, S.; ABDELKADAR, G.; SALEM, N.; MANSOOR, S.; MIRZA, T.; SHEHAB, A. **Feasibility analysis of solar photovoltaic array cladding on commercial towers in Doha, Qatar – a case study**. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 29, p. 76-86, 2010.

RUSCHEL, R.; ANDRADE, M.; MORAIS, M. **O ensino de BIM no Brasil: Onde estamos?** *Ambiente Construído*. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, v. 13, n. 2, p. 151-165, 2013.

SACOMANO, J.B.; GONÇALVES, R.F.; BONILLA, S.H.; SILVA, M.T.; SÁTYRO, W.S. **Indústria 4.0: Conceito e fundamentos**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2018.

SAMEER, S.; TARIQ, J.; MOHAMMAD, A. **Developing a GIS-based water poverty and rainwater harvesting suitability maps for domestic use in the Dead Sea region (West Bank, Palestine)**. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. p. 1-19, 2018.

SANTIAGO, L.; MARTINELLI, L.; ELOI-SANTOS, D.; HORTAC, L. **A framework for assessing a portfolio of technologies for licensing out**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 99, p. 242-251, 2015.

SÁTYRO, W.; SACOMANO, J.; SILVA, M.; GONÇALVES, R.; CONTADOR, J.; VON CIEMINSKI, G. **Industry 4.0: Evolution of the Research at the APMS Conference**. p. 39-47, 2017.

SEKARAN, U. **Research Methods for Business**, John Wiley & Sons, New York, NY. Simon, H. (1980). *The behavioral and social sciences*, *Science*, v. 209, p. 72-8, 1992.

- SEPASGOZAAR, S.; SHIROWZHAN, S.; WANG, C. **A Scanner Technology Acceptance Model for Construction Projects**, *Procedia Engineering*, v. 180, p. 1237-1246, 2017.
- SERIK T.; RAJNISH C.; SARIM, A. **Renewable energy technologies and practices: Prospective for building integration in cold climates (Kazakhstan)**. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 7, 2015.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4a ed., Florianópolis: UFSC, 2005.
- SILVA, G.; DI SERIO, L. **The sixth wave of innovation: Are we ready? INMR**, *Innovation & Management Review*, v. 13, p. 113-128, 2016.
- SILVA, L. **Avaliação tecnológica e análise custo-efetividade em saúde: a incorporação de tecnologias e a produção de diretrizes clínicas para o SUS**. *Ciência & Saúde Coletiva* [online], v. 8, n. 2, p. 501-520, 2003.
- SILVA, L. **Avaliação tecnológica em saúde: questões metodológicas e operacionais**. *Cadernos de Saúde Pública* [online], v. 20, p. 199-207, 2004.
- SODRÉ, E. **12 países mais inovadores do mundo em 2019**, Folha de São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/tec/2019/01/conheca-os-paises-de-maior-destaque-na-area-tecnologica-em-2018.shtml>>, Acessado em: 17 abril 2020.
- SOUZA, M.; SANTOS, F. **Operational Skills and Industry 4.0: Systematic Literature Review**. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, v. 12, n. 2, 264-288, 2020.
- SOUZA, M.; VIEIRA, J. **Industry 4.0 challenges inside the Brazilian context**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, 2020.
- SSP – SINDUSCON-SP - **Construção prevê crescer 2% em 2022**. 2022. Disponível em: <<https://sindusconsp.com.br/construcao-preve-crescer-2-em-2022/>>. Acessado em: 20 fevereiro 2022.
- STILES, S.; GOLIGHTLY, D.; RYAN, B. **Impact of COVID-19 on health and safety in the construction sector**. *Human Factors and Ergonomic in Manufacturing*, v. 31, p. 425– 437, 2021.
- SUCCAR, B.; KASSEM, M. **Macro-BIM adoption: conceptual structures**. *Automaton in Construction*, v. 57, p. 64-79, 2015.
- TAN, M.; LI, X.; XIE, H.; LU, C. **Urban land expansion and arable land loss in China - a case study of Beijing–Tianjin–Hebei region**. *Land Use Policy*, v. 22, p. 187-196, 2005.
- TANG, S.; SHELDEN, D.; EASTMAN, C.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. **A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends**. *Automation in Construction*, v. 101, p. 127-139, 2019.
- TE – TRADING ECONOMICS, **GDP from Construction**, 2021. Disponível em: <<https://tradingeconomics.com>>. Acessado em: 29 fevereiro 2022.

TEICHOLZ, P. **Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies**, *EAC bytes*, v. 67, 2013.

TIDHAR, N.; LI, Y.; BADUGE, K.; MENDIS, P.; THILAKARATHNA, P.; CHANDRATHILAKA, E. **A SLACK APPROACH TO OPTIMISED MODULARISATION OF PREFABRICATED STRUCTURES USING A MULTI-VARIABLE MODULARISATION INDEX**. *Structures*, v. 33, p. 1235-1251, 2021.

TIGRE, P. B. **Gestão Da Inovação: A Economia da Tecnologia do Brasil**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. Unpublished memorandum in private circulation, 1953.

TURK, Z.; SOTO, B.; BHARADWAJ R.; MANTHA, K.; MACIEL, A.; GEORGESCU, A. **A systemic framework for addressing cybersecurity in construction**. *Automation in Construction*, v. 133, 2022.

TURNER & TOWNSED. **Global economic outlook**, 2019. Disponível em: <<https://www.turnerandtowsend.com/en/perspectives/international-construction-market-survey-2019/global-economic-outlook/>>, Acessado em: 15 Abril 2020.

TYRER, A. **Can the UK cyber-security industry lead the world?**, *Computer Fraud & Security*, v. 2015, p. 5-7, 2015.

VERMULM, R. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. [São Paulo]: IEDI, p. 30, 2018.

WANG, L.; SONG, X.; SONG, X. **Research on the measurement and spatial-temporal difference analysis of energy efficiency in China's construction industry based on a game cross-efficiency model**. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, 2021.

WANG, M.; FENG, C. **Exploring the driving forces of energy-related CO2 emissions in China's construction industry by utilizing production-theoretical decomposition analysis**. *Journal of Cleaner Production*, v. 202, p. 710-719, 2018.

WEF – World Economic Forum, **Shaping the future of construction - a breakthrough in mindset and technology**, World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2016. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf>. Acessado em: 10 fevereiro 2022.

WEI, H.; ZHENG, S.; ZHAO, L.; HUANG, R. **BIM-based method calculation of auxiliary materials required in housing construction**. *Automation in Construction*, v. 78, p. 62-82, 2017.

WEN, Q.; CHEN, Y.; HONG, J.; CHEN, Y.; NI, D.; SHEN, Q. **Spillover effect of technological innovation on CO2 emissions in China's construction industry**. *Building and Environment*, v. 171, 2020.

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

WU, Z.; WU, Z.; LI, H.; ZHANG, X.; JIANG, M. **Developing a strategic framework for adopting water-saving measures in construction projects.** *Environmental Geochemistry and Health*, v. 42, p. 955–968, 2020.

WU, W.; HARTLESS, J.; TESEI, A.; GUNJI, V.; AYER, S.; London, J. **Design Assessment in Virtual and Mixed Reality Environments: Comparison of Novices and Experts.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 145, 2019.

YANG, J.; ZOU, P. **Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy.** *International Journal of Construction Management*, v. 16, p. 39-53, 2016.

YILDIRIM, K.; LUTFI HIDAYETOGLU, M.; SEN, A. **Effects on sustainability of various skylight systems in buildings with an atrium.** *Smart and Sustainable Built Environment*, v. 1, n. 2, p. 139-152. 2012.

YOONUS, H.; AL-GHAMDI, S. **Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis.** *Science of The Total Environment*, v. 712, 2020.

YUAN, X.; ANUMBA, C.J.; PARFITT, M.K. **Cyber-physical systems for temporary structure monitoring.** *Automation in Construction*, v. 66, p. 1-14, 2020.

ZENG, R.; CHINI, A.; SRINIVASAN, R.; JIANG, P. **Energy efficiency of smart windows made of photonic crystal.** *International Journal of Construction Management*, p. 1-15, 2016.

ZEPPINI, P. **A discrete choice model of transitions to sustainable technologies.** *Journal of Economic Behavior & Organization*, v. 112, p. 187-203, 2015.

ZHANG, X. **Paradigm shift toward sustainable commercial project development in China.** *Habitat International*, v. 42, p. 186-192, 2014.

APÊNDICE

PROTOCOLO PARA ENVIO DOS QUESTIONÁRIO

Conforme descrito no item 3.3.1.4 (coleta em campo), o processo para envio e recebimento dos questionários foram executado primeiramente com contato para convite forma para a participação da pesquisa, em três etapas, 1) convite por e-mail diretamente as empresas, 2) contato via redes sociais da empresa (*Facebook, Twitter e Instagram*) e funcionários (*LinkedIn.*) e 3) ligação diretamente a empresa.

Para as empresas e funcionários que aceitam participar, foram enviados por *e-mail* um *link* para acesso aos questionários eletrônicos (*Google form*). As perguntas foram adaptadas para cada área de atuação das empresas, no exemplo, foram as perguntas para Construtora. Ressaltando que, a opção (Outros), dá a oportunidade de mencionar quantas aplicações ou tecnologias as empresas aplicam. No Quadro 13 seguem as perguntas do questionário:

Quadro 13: Perguntas do questionário

1	Nome:					
2	Nome da empresa					
3	Cargo					
4	Quantos anos de experiência no setor					
5	Curso de formação					
6	Área de atuação da empresa					
	Construtora		Projetista		Incorporadora	
7	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam <i>INTERNET DAS COISAS</i> em seus processos gerenciais?					
	Sim			Não		
8	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Gerenciamento de eficiência energética	Gerenciamento Operacional	Gerenciamento de Saúde e Segurança do Trabalho	Gerenciamento de Equipamentos e Maquinário	Gerenciamento de Recursos Hídricos	Outros
9	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam <i>RFID</i> em seus processos gerenciais?					
	Sim			Não		
10	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Gerenciamento Operacional	Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos	Gerenciamento de Segurança do Trabalho	Gerenciamento de Eficiência Energética	Integração entre Dispositivos	Outros

11	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam MANUFATURA ADITIVA em seus processos gerencias e construtivos?					
	Sim			Não		
12	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Fabricação de Estruturas em Concreto	Fabricação de Materiais Metálico	Fabricação ou Utilização de Aditivos ou Compósitos de Impressão	Fabricação ou Utilização de Materiais Impressos (cabos, tijolos, canos, tinta etc.)	Fabricação Aditiva com Robôs	Outros

13	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam SISTEMA INTEGRADO em seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
14	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Integração entre Software de Modelagem e de Geolocalização	Integração entre Dispositivos Inteligentes	Integração entre Sistemas de Segurança do Trabalho	Integração de Dispositivos de Gestão de Atividade em Obra	Integração de Sistemas para Auxílio de Tomada de Decisão	Outros

15	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
16	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Análise de Concreto	Análise de Estruturas	Gerenciamento de Eficiência Energética	Gerenciamento de Segurança do Trabalho	Análise de Materiais	Outros

17	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam COMPUTAÇÃO EM NUVEM para gerenciamento ou compartilhamento de informações?					
	Sim			Não		
18	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Armazenamento de Dados sobre Gerenciamento do Projeto	Armazenamento de Dados sobre Produtividade	Armazenamento de Dados sobre Qualidade	Armazenamento de Dado sobre Competitividade Empresarial	Plataforma para Gerenciamento de Manutenção	Outros

19	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
20	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Simulação em Produtividade de Mão-de-Obra	Simulação em Treinamento de Segurança do Trabalho	Simulação em Eficiência Energética	Simulação em Execução do Projeto	Simulação da Cadeia de Suprimentos	Outros

21	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam SISTEMAS CIBER-FÍSICOS em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
22	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Integração entre Dispositivos	Coordenação de Modelos Virtual e Físico	Gerenciamento dos Processos da Cadeia de Suprimentos	Gerenciamento de Eficiência Energética	Gestão da Instalações	Outros

23	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam REALIDADE VIRTUAL em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
24	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Ambiente para Treinamento em Segurança do Trabalho	Ambiente para Treinamento em Aperfeiçoamento Profissional	Ambiente para Encontros Colaborativos/Corporativos	Gerenciamento de Eficiência Energética	Simulação de Análise de Risco	Outros

25	A empresa utiliza sistema de CIBERSEGURANÇA?					
	Sim			Não		

26	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam BIG DATA em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
27	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Captação e Análise de Dados para Gerenciamento de Eficiência Energética	Captação e Análise de Dados sobre Segurança do Trabalho	Captação e Análise de Dados sobre Gestão de Resíduos Sólidos	Captação e Análise de Dados sobre Desempenho Produtivo	Captação e Análise de Dados sobre Atividades de Maquinário	Outros

28	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam REALIDADE AUMENTADA em algum dos seus processos de planejamento, gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
29	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Treinamento em Segurança do Trabalho	Guia de Montagem e Instalação	Ambiente de Interatividade	Gerenciamento de Eficiência Energética	Inspeção de Infraestrutura	Outros

30	A empresa e/ou suas subcontratadas utilizam ROBÓTICA em algum dos seus processos de gerenciamento e produção?					
	Sim			Não		
31	Para qual dessas finalidades a tecnologia é aplicada? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Robôs para Montagem de Pré-Fabricados	Robôs de Construção no Local	Robôs de Inspeção	Drone para Gerenciamento de obra	Robôs Operado a Distância	Outros

32	A empresa utiliza Tecnologias de monitoramento e simulação de Emissão de CO ₂ em suas obras?					
	Sim			Não		
33	Qual dessas tecnologias a empresa utiliza? (aponte uma ou mais alternativas)					
	RFID	Sensor de Monitoramento de Qualidade do Ar	Realidade Virtual	Simulação Computacional	Outros	

34	Nos últimos anos, a empresa vem implementando tecnologias para maior EFICIÊNCIA ENERGÉTICA em suas obras?					
	Sim			Não		
35	Qual dessas tecnologias a empresa implementou? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Projeto de Iluminação Natural Inteligente	Projeto de Sombreamento Inteligente	Materiais de Baixa Condutividade Térmica	Heat pump (Bomba de calor)	Sistema HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)	Outro

36	Nos últimos anos, a empresa implementou tecnologias para Geração de ENERGIA RENOVÁVEL em suas obras?					
	Sim			Não		
37	Qual dessas tecnologias a empresa implementou? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Sistema para Captação de Energia Solar/Fototérmica	Sistema para Captação de Energia Fotovoltaica	Fachada/Vidraças Fotovoltaica	Biodigestores (Integrados)	Turbina Eólica (Integrados)	Outros

38	Nos últimos anos, a empresa implementou tecnologias para Gestão de RECURSOS HÍDRICOS em suas obras?					
	Sim			Não		
39	Qual dessas tecnologias a empresa implementou? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Sistema de Captação de Água da Chuva	Central para Tratamento de Água e Esgoto	Simulação Computacional	Sistema Inteligente para irrigação de Jardins	Sistema para Tratamento de Águas Residuais	Outros

40	Nos últimos anos, a empresa implementou tecnologias para Gestão de Resíduos em suas obras? (materiais sustentáveis e softwares para gestão)					
	Sim			Não		
41	Qual dessas tecnologias a empresa utiliza? (aponte uma ou mais alternativas)					
	Building Information Modeling (BIM)	Big Data	Concreto Sustentável	Materiais de Resíduos Reciclados	RFID	Outros