

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIELE DE BONIS PATEKOSKI PORTO
THALITA MALUCELLI DE MORAES KADLEC

**MAPEAMENTO DE ESTUDOS PROSPECTIVOS DE TECNOLOGIAS NA
REVOLUÇÃO 4.0: UM OLHAR PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

GABRIELE DE BONIS PATEKOSKI PORTO
THALITA MALUCELLI DE MORAES KADLEC

**MAPEAMENTO DE ESTUDOS PROSPECTIVOS DE TECNOLOGIAS NA
REVOLUÇÃO 4.0: UM OLHAR PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sede Ecoville, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto

CURITIBA
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

MAPEAMENTO DE ESTUDOS PROSPECTIVOS DE TECNOLOGIAS NA REVOLUÇÃO 4.0: UM OLHAR PARA A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Por

**GABRIELE DE BONIS PATEKOSKI PORTO
THALITA MALUCELLI DE MORAES KADLEC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no primeiro semestre de 2018, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Alfredo Iarozinski Neto, Dr.
UTFPR

Prof. Adauto José Miranda de Lima, Dr.
UTFPR

Prof. Carlos Alberto da Costa, MSc.
UTFPR

RESUMO

KADLEC, Thalita Malucelli De Moraes; PORTO, Gabriele De Bonis Patekoski. **Mapeamento de Estudos Prospectivos de Tecnologias na Revolução 4.0: Um olhar para a Indústria da Construção Civil**. 2018. 68 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O mundo está vivendo um aquecimento tecnológico caracterizado pelo início da Quarta Revolução Industrial. Neste contexto, observa-se que a Indústria da Construção Civil está tendo uma entrada lenta nessa nova era digital, porém muito significativa. Grandes mudanças vêm ocorrendo e é extremamente relevante levantar um panorama sobre essas novas tecnologias de forma a manter os profissionais da área atualizados e despertar o interesse na adoção e desenvolvimento dessas inovações tecnológicas. Sendo assim, esse trabalho se propõe a fazer um estudo sobre o estado da arte das tecnologias da Construção Civil e apresentar uma série de tecnologias disruptivas, ou seja, tecnologias que estão mudando o *status quo* de diversos processos, que estão sendo desenvolvidas e utilizadas no setor. Para isso, utilizou-se uma metodologia de pesquisa, extração, processamento e análise de dados bibliográficos de diversos artigos publicados, dando ênfase às pesquisas nas áreas da robótica e automação. Os artigos foram encontrados no *Scopus* - um *website* que funciona como um banco de dados bibliográfico. Através dos resultados dessa pesquisa, gerou-se uma rede bibliométrica capaz de apontar os termos mais relevantes desses estudos, direcionando as tecnologias a serem selecionadas e apresentadas nesse trabalho. Dentre essas tecnologias, se destacaram as que dizem respeito à fabricação automatizada (produção de peças pré-fabricadas, impressão 3D); aos equipamentos construtivos (maquinários robóticos); às etapas de projeto e planejamento de obras (*softwares* de modelagem BIM); e à incorporação de tecnologias na prevenção de acidentes e segurança do trabalhador. Por fim, concluiu-se que a construção civil já está se beneficiando muito dessa nova era tecnológica, com grande potencial para continuar crescendo e tendo seus diversos processos melhorados, automatizados e geridos sob o contexto da Revolução 4.0.

Palavras-chave: Indústria da Construção Civil. Tecnologias. Quarta Revolução Industrial. Automação. Robótica.

ABSTRACT

KADLEC, Thalita Malucelli De Moraes; PORTO, Gabriele De Bonis Patekoski. **Mapping Prospective Technology Studies on Revolution 4.0: Insights on the Construction Industry**. 2018. 68 pages. Term paper. Graduates in Civil Engineering, Federal University of Technology – Paraná. Curitiba, 2018.

The world is experiencing an increase in new technologies characterized by the start of a Fourth Industrial Revolution. In this context, it's noted that the Construction Industry is having a slow entry in this new digital era, still relevant nevertheless. Significant changes are taking place and it is extremely pertinent to contextualize them under this scope, offering a way for construction professionals to become updated and interested in the adoption and development of these new technologies. Therefore, this paper proposes a study on the state-of-the-art of construction technologies and presents a series of disruptive innovations, or innovations that are changing the current processes, being developed and applied in this industry. To accomplish this, a methodology of research, extraction, processing and analysis of bibliographical data from many different published articles and papers was carried out, highlighting the researches dedicated to robotics and automation on the construction industry. These papers were found using Scopus, a bibliographical database website. Through the results found, a bibliometric network was created, which was then used to define the most relevant terms from these studies, appointing the technologies to be selected and presented on this paper. Amongst these, the highpoints were technologies related to automated fabrication (production of prefabricated components, 3D printing); to construction equipment (robotic machinery); to the project and planning steps (modelling software such as BIM); and to the adoption of new technologies in the accident prevention and worker's safety area. At last, it has been concluded that the construction industry is already benefiting from a series of new technologies and has a huge potential to continue growing and having its several processes improved, automated and managed under the context of a Fourth Industrial Revolution.

Keywords: Construction Industry. Technologies. Fourth Industrial Revolution. Automation. Robotics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da Pesquisa Distribuídos por Tipo de Documento.....	30
Tabela 2: Resultados da Pesquisa Distribuídos por País (20 principais).	30
Tabela 3: Principais Termos por ocorrência e relevância.....	36
Tabela 4: Principais Termos por Categoria: Fabricação Automatizada.....	38
Tabela 5: Principais Termos por Categoria: Equipamentos Construtivos.	38
Tabela 6: Principais Termos por Categoria: Projetos e Modelagens.....	39
Tabela 7: Principais Termos por Categoria: Segurança do Trabalho.....	39
Tabela 8: Principais Termos por Categoria: Todas.	40

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Civilização Suméria. Fonte: História Básica (2013).	14
Figura 2: Pirâmides de Gizé. Fonte: Ricardo Liberato/CC BY-SA 2.0.....	14
Figura 3: Partenon. Foto: Pudi Studio/ Shutterstock.com.....	15
Figura 4: Muralha da China. Fonte: Brasil Escola.	15
Figura 5: Pirâmide de Teotihuacan. Fonte: Ricardo David Sánchez.	16
Figura 6: Roma Antiga. Fonte: Internet.	16
Figura 7: Ponte de Coalbrookdale. Fonte: Site Structurae.	18
Figura 8: Rede Bibliográfica sobre Robótica e Automação na Engenharia Civil. Fonte: As Autoras.....	33
Figura 9: Rede Bibliométrica com ênfase na Automação. Fonte: As Autoras.	34
Figura 10: Rede Bibliométrica com ênfase na Robótica. Fonte: As Autoras.	35
Figura 11: Rede Bibliométrica com ênfase na Robótica. Fonte: As Autoras.	40
Figura 12: Impressão 3D - Contorno de Concreto. Fonte: 3dprinting.com.	43
Figura 13: Impressão 3D – Peças do castelo. Fonte: totalkustom.com.....	44
Figura 14: Impressão 3D – Castelo finalizado. Fonte: totalkustom.com.....	44
Figura 15: Impressão 3D – Detalhe da impressora. Fonte: totalkustom.com.	45
Figura 16: Impressão 3D – Projeção de Contour Crafting sendo utilizada no espaço.	46
Figura 17: Drone na Construção Civil. Fonte: Buildin.....	48
Figura 18: Projeto Osyris. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).	49
Figura 19: Robô " <i>Mighty Hand</i> " da Kajima. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).	50
Figura 20: Robô " <i>SurfRobo</i> " da Takenaka. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).	50
Figura 21: Funções do BIM na Construção Civil. Fonte: DorteK.....	52
Figura 22: Modelagem por Revit. Fonte: Internet.	52
Figura 23: Gráfico de Gantt. Fonte: PMI.	53
Figura 24: Software Naviswork. Fonte: cadbim3d.com.	54
Figura 25: Operadores utilizando o capacete. Fonte: Daqri.	59
Figura 26: Visão do operador com o capacete: Detalhes construtivos. Fonte: Daqri.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Níveis de Automação Para Tomada de Decisões e Seleção de Ações ...	26
Quadro 2: Detalhamento dos Parâmetros de Pesquisa Realizada no <i>Scopus</i>	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Benefícios BIM Longa Duração.	56
Gráfico 2: Benefícios BIM Curta Duração.	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVO GERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3. JUSTIFICATIVA	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA ENGENHARIA/CONSTRUÇÃO CIVIL.....	13
2.2. ESTADO DA ARTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	18
2.3. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	20
2.4. ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO	22
2.5. APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
2.6. REDES BIBLIOMÉTRICAS	28
3. METODOLOGIA	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1. FABRICAÇÃO AUTOMATIZADA.....	41
4.2. EQUIPAMENTOS CONSTRUTIVOS.....	46
4.3. PROJETOS E MODELAGENS	50
4.5.1. Modelagem do Projeto pela Ferramenta Revit.....	52
4.5.2. Planejamento	53
4.5.3. Orçamento	54
4.5.4. Vantagens e desvantagens do projeto BIM em relação ao convencional	54
4.4. SEGURANÇA DO TRABALHO.....	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

Desde a sua origem, a Construção Civil vem sendo um dos meios mais marcantes através do qual a civilização humana expressa sua cultura. Das grandes pirâmides do Egito, passando pelas ruínas das cidadelas de pedra do Machu Picchu e das construções góticas da Europa, até as modernas estruturas que rasgam o céu em alturas de mais de 600 metros nos Emirados Árabes e na China, é possível perceber a variedade massiva de aplicações de diferentes tecnologias no setor.

Neste contexto, vale resgatar o significado da palavra tecnologia: de origem grega, é composta por “*techne*”, que significa arte, habilidade; e “*logos*”, ou palavras, conjunto de saberes (LIDDELL; SCOTT, 1980). Ou seja: tecnologias são coleções de técnicas, habilidades, saberes e métodos que são utilizados no desenvolvimento da humanidade. Não seria diferente na indústria da construção civil que inclusive, está sendo uma área extremamente promissora em oportunidades de crescimentos tecnológicos. No entanto, por ser bastante tradicionalista e muitas vezes resistente à abordagem e aplicação de novas tecnologias, ainda vem encontrando algumas barreiras na adoção e difusão de inovações (TOLEDO; ABREU; JUNGLES, 2000).

Quando se fala sobre a Indústria da Construção Civil, fala-se sobre um dos setores mais importantes para uma economia, pois o crescimento desse setor está diretamente relacionado ao desenvolvimento e capacidade de produção de um país (VIEIRA; KAUFFMANN, 2014). Desde o início da industrialização, avanços tecnológicos têm resultado em mudanças de paradigma que hoje são chamadas de "Revoluções Industriais", como os avanços no campo da mecanização - ou a chamada Primeira Revolução Industrial; avanços no uso intensivo da energia elétrica - ou a chamada Segunda Revolução Industrial; e também nos avanços da adoção em larga escala da digitalização - a chamada Terceira Revolução Industrial. Com base nesse avanço da digitalização, combinado à tecnologia da internet e demais tecnologias orientadas ao futuro, como os chamados "objetos inteligentes" (máquinas e produtos), observa-se uma nova mudança de modelo na Indústria. Através dessas expectativas do futuro, foi estabelecido o termo Indústria 4.0, ou a Quarta Revolução Industrial (LASI et al., 2014). No entanto, a Indústria 4.0, com suas tendências para a digitalização e a automação, mesmo apresentando um potencial de ganho de produtividade e qualidade, ainda não obteve muita atenção na indústria da construção civil - e isso é fundamentado pelo fato de que as implicações a longo prazo de um

ambiente de manufatura em crescente digitalização e automação ainda são desconhecidas (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

A partir deste panorama, é coerente identificar os setores dentro da construção civil que podem se beneficiar desse aquecimento tecnológico que vem sendo fomentado pela Quarta Revolução Industrial; e destacar quais tecnologias estão sendo pesquisadas e desenvolvidas nesses setores. Desta forma, esse trabalho se propõe a desenvolver uma metodologia capaz de agregar essas oportunidades de inovações da construção civil, através do processamento e análise de estudos prospectivos de tecnologias na área, sendo imprescindível identificar as tecnologias que estão quebrando essas barreiras e alavancando o desenvolvimento da indústria da construção civil no mundo. Essa metodologia será desenvolvida utilizando os princípios da bibliometria, uma ferramenta estatística básica para a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

1.1. OBJETIVO GERAL

Levando em consideração o panorama descrito acima, o objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia de bibliometria para identificar, através do mapeamento de redes bibliométricas, as tecnologias prospectivas que estão sendo estudadas e pesquisadas na indústria da construção civil, dentro do cenário de um aquecimento tecnológico fomentado pela quarta revolução industrial.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De forma a atingir o objetivo principal deste trabalho, os objetivos específicos definem-se por:

- Elaborar uma revisão bibliográfica de contexto, termos e conceitos essenciais para o melhor aproveitamento do trabalho;
- Desenvolver a metodologia a ser aplicada para atingir os resultados buscados através da bibliometria;
- Aplicar essa metodologia para a área da construção civil;

- Expor e discutir os resultados apresentando a rede bibliométrica criada e identificando as tecnologias que estão sendo mais pesquisadas/estudadas nas áreas encontradas;
- E por fim, concluir sobre a relevância da evolução tecnológica na construção civil e servir como um referencial para os profissionais da área que desejam se atualizar no assunto.

1.3. JUSTIFICATIVA

Olhar para o futuro é tão fundamental quanto para o passado quando se deseja traçar estratégias de crescimento e desenvolvimento de uma sociedade.

Levando em conta que esse trabalho se propõe a gerar um referencial de inovações sendo desenvolvidas na indústria da construção civil, descrevendo novas oportunidades e tecnologias promissoras na área, fica evidente a relevância e a necessidade de desenvolver esta pesquisa, que poderá servir como base em diversas tomadas de decisões estratégicas no investimento do futuro, além de servir como exemplo de como aplicar uma metodologia de bibliometria ao desejar traçar um estudo prospectivo em uma determinada área científica. A indústria da construção civil tem muito espaço e potencial para melhorias, pois há muito a se ganhar com um aumento de produtividade, qualidade e rendimento nas empreitadas e existe nos estudos tecnológicos uma enorme oportunidade de colocar em prática essas melhorias, trazendo benefícios para todos os envolvidos; seja ao consumidor final, que encontrará obras de maior qualidade, entregues com maior rapidez e menor custo; e aos produtores, desenvolvedores, construtoras, fornecedores, entre outros, que ao adotarem o uso dessas tecnologias em seus negócios estarão se beneficiando de processos mais seguros, confiáveis, eficientes e lucrativos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De forma a viabilizar o melhor aproveitamento desse trabalho, é essencial que se faça entender o contexto e alguns conceitos fundamentais sobre os temas aqui trabalhados. Sendo assim, essa revisão bibliográfica tem como objetivo servir de base para sustentar o trabalho desenvolvido. Contudo, pretende-se apresentar e definir os conceitos estudados e aplicados, contextualizando o desenvolvimento do trabalho. Essa revisão bibliográfica cobrirá os seguintes temas e conceitos que serão relevantes para essa pesquisa: Evolução Tecnológica na Engenharia/Construção Civil; Estado da Arte da Construção Civi; Quarta Revolução Industrial ou Revolução 4.0; Robótica e Automação e Redes Bibliométricas.

2.1. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA ENGENHARIA/CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo CREA-PE (2017), o conceito de engenharia existe desde a antiguidade, a partir do momento em que o ser humano desenvolveu invenções como a polia, a alavanca e a roda. Mais tarde, o projeto de estruturas civis – como pontes e edifícios – amadureceu o termo “engenharia civil”.

A Era Antiga é marcada por Construções datadas de mais de cinco mil anos atrás. Os registros destas construções foram se perdendo no tempo, no entanto, ainda há diversos edifícios e obras remanescentes que atestam o desenvolvimento da engenharia civil ao longo destes milênios. As principais evidências são das seguintes civilizações milenares:

- Mesopotâmia, ilustrada na Figura 1 abaixo, onde os sumérios que habitavam a região construíram muros e templos e criaram canais para irrigação. Ainda na mesma região surgiu a pavimentação, feita com pedras achatadas colocadas nos trajetos mais movimentados das cidades.

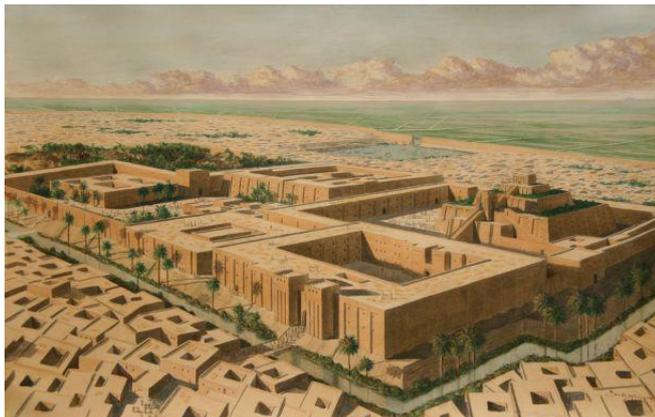


Figura 1: Civilização Suméria. Fonte: História Básica (2013).

- Antigo Egito, representado na Figura 2 a seguir, na qual estão as Pirâmides de Gizé, erguidas há mais de quatro mil anos, e a cidade de Alexandria (durante a era de Alexandre, o Grande).



Figura 2: Pirâmides de Gizé. Fonte: Ricardo Liberato/CC BY-SA 2.0.

- Grécia Antiga, conforme mostra a Figura 3 abaixo, onde houve pela primeira vez um paralelo entre a engenharia e a ciência pura, quando Arquimedes criou um sistema capaz de transportar água para diferentes elevações.



Figura 3: Partenon. Foto: Pudi Studio/ Shutterstock.com.

- China, na qual teve um desenvolvimento independente da engenharia civil ocidental. Os chineses utilizavam-se de fundações de pedra, casas de tijolos e telhados de argila. Destaca-se, ainda o surgimento de pontes suspensas antes feitas com fibras de bambu e posteriormente com correntes de ferro. Sua edificação mais importante e ainda remanescente é a Muralha da China, ilustrada na Figura 4 abaixo, que se estende por milhares de quilômetros.

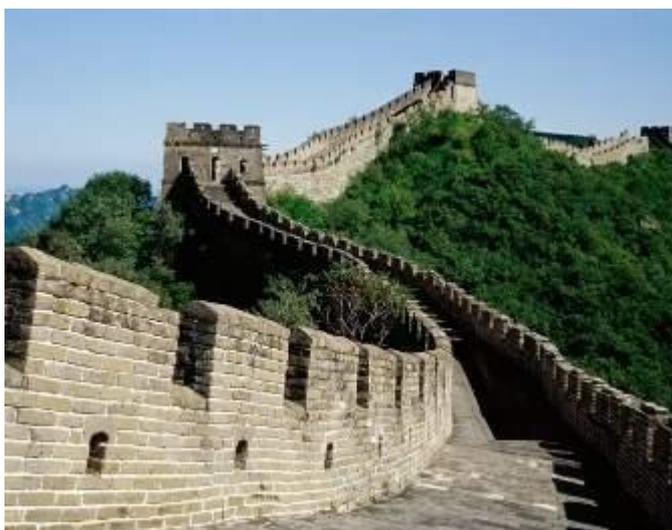


Figura 4: Muralha da China. Fonte: Brasil Escola.

- América: como por exemplo a civilização Maia onde se destaca a cidade de Teotihuacan, vista na Figura 5 a seguir e os Incas, na Cordilheira dos

Andes, criaram elementos de infraestrutura como pontes, estradas e complexos urbanos, centralizados na então capital, Cusco.



Figura 5: Pirâmide de Teotihuacan. Fonte: Ricardo David Sánchez.

A arte de construir, de maneira organizada, surgiu pela primeira vez na Europa Ocidental durante o Império Romano onde houve o surgimento de novas técnicas construtivas, principalmente pela grande oferta de matérias-primas e trabalho escravo. A engenharia romana era voltada especialmente para bens públicos, como aquedutos, portos, mercados, pontes, barragens e estradas. Os romanos também foram os primeiros a utilizar concreto em suas obras, quando descobriu-se que uma mistura formada principalmente por cinzas vulcânicas solidificava-se e dava origem a um material tão duro quanto as rochas.

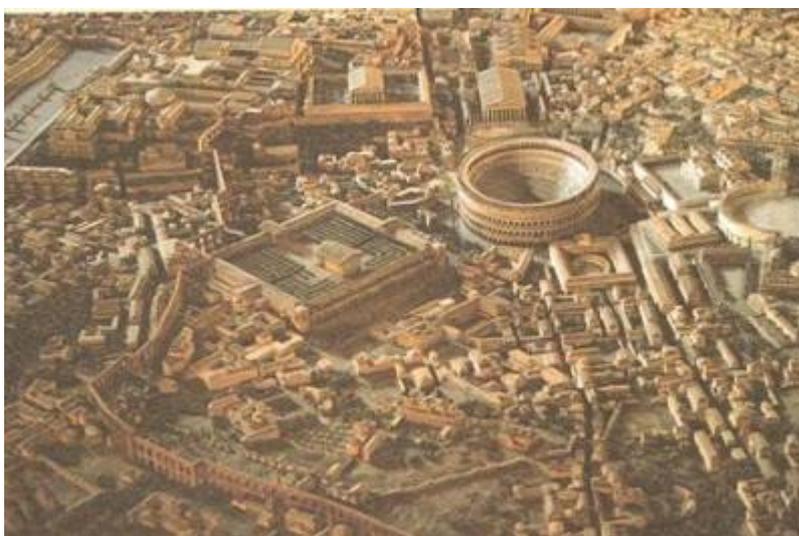


Figura 6: Roma Antiga. Fonte: Internet.

CAMPOS (2002), explica que, na Idade Média, as construções de mais destaque eram os castelos e templos religiosos. Os projetos eram realizados ao mesmo tempo em que a obra acontecia, de acordo com as suas necessidades e os responsáveis por todas as etapas da construção eram os “mestres construtores”, que definiam todos os aspectos do projeto e dirigiam o processo construtivo, garantindo, deste modo, o respeito por regras e procedimentos da construção.

No período da Renascença, diferentemente do período anterior, onde os projetos eram criados por artesãos, foi que o profissional da engenharia começou a ganhar importância e reconhecimento.

Atrelado ao surgimento da impressão de livros, passaram então a surgir os primeiros manuais com técnicas de projeto e construção.

Posteriormente, com a Revolução Industrial, o crescimento industrial e, conseqüentemente, o aumento da população urbana foram os fatores estimulantes do desenvolvimento da Construção civil. Estradas e abertura de canais devido às necessidades das indústrias, multiplicou e transformou a atividade da Construção. Foi aí então, que surgiram na Europa as primeiras empresas imobiliárias e também o aparecimento do empreiteiro de obras como figura central da Construção de rodovias e ferrovias (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA DO BRASIL).

A Revolução Industrial trouxe consigo novas técnicas e materiais pertinentes à engenharia. A Ponte de Ferro, no Reino Unido, foi a primeira ponte de arco construída somente com ferro fundido e também a construção da primeira ferrovia. A utilização do ferro como elemento estrutural causou grandes mudanças, especialmente por conta de sua resistência, capacidade de pré-fabricação e facilidade de montagem. Os engenheiros civis, a partir de então, puderam inovar no formato dos prédios, além de agilizar sua construção.

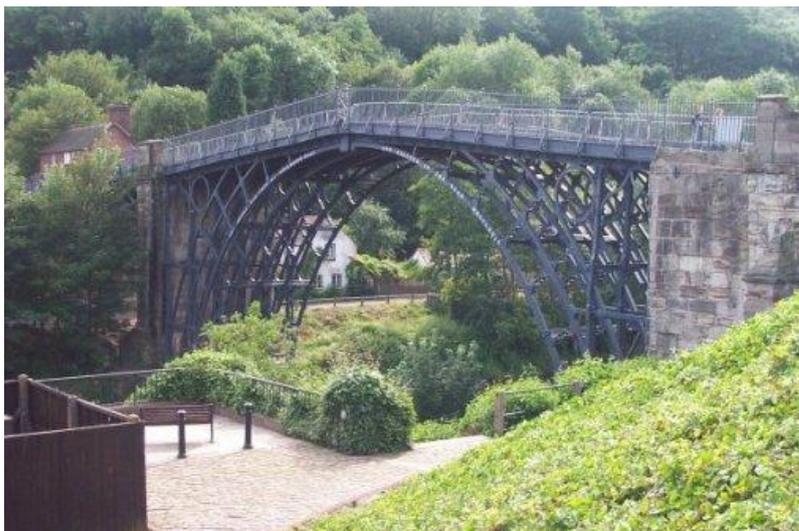


Figura 7: Ponte de Coalbrookdale. Fonte: Site Structurae.

A demanda de profissionais especializados fez com que logo surgissem centros de ensino voltados para a engenharia, sendo que o primeiro deles foi a *École Polytechnique* em Paris, criada no ano de 1794. Várias décadas depois, Academias surgiram pela Europa e pelos Estados Unidos, onde, em 1835, formaram-se os primeiros engenheiros civis pela Instituto Politécnico Rensselaer.

2.2. ESTADO DA ARTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Mesmo sendo uma das indústrias mais antigas da civilização e a que representa algumas das maiores parcelas dos setores econômicos mundiais, a indústria da construção tem sido uma das mais lentas na adoção de novas tecnologias (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).

A construção civil é uma arte milenar que ao longo da história da humanidade demarcou importantes momentos do desenvolvimento de diversas civilizações. Ela passou a existir a partir do momento em que a humanidade foi deixando de ser nômade e passou a residir em locais fixos, juntamente com o crescimento da agricultura, culminando na necessidade de desenvolvimento de diversas infraestruturas nesses assentamentos iniciais.

Alguns conceitos da construção civil já eram de certa forma regulamentados desde 1750 A.C., no conhecido Código de Hammurabi, um dos conjuntos de leis mais antigos da humanidade, que determinava, entre outras coisas, que um construtor deve

ser remunerado pelo seu trabalho; assim como deve ser punido se sua construção desabar e prejudicar outros (KING, 1996 apud AKTAN; ELLINGWOOD; KEHOE, 2007).

Mesmo sendo uma prática muito antiga, o nível tecnológico da indústria da construção costumava ser bastante alto quando comparado aos períodos históricos em que ocorriam. As civilizações antigas construíram estruturas de extrema qualidade e durabilidade, como as pirâmides, acrópolis, aquedutos, catedrais, entre outras, através de processos e elementos que eram bastante inovadores para a época em que ocorriam (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008). No entanto, muito tempo se passou e pouca coisa mudou na indústria da construção. A maior parte dos processos construtivos que estão sendo executados hoje em dia ainda são extremamente manuais, artesanais e antigos. Por exemplo, o processo de verticalização de edifícios pouco mudou nos últimos oitocentos anos. Os sistemas antigos de polia foram substituídos por guias e guindastes, porém estes continuam funcionando com base nos mesmos princípios de controle manual, operadores humanos, resposta visual, grandes erros de posicionamento, entre outros (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).

Uma das maiores dificuldades na união da construção civil com a robótica e a automação surge da natureza dos processos de construção, que, no geral, são bastante desestruturados. Trabalhar na construção civil envolve a manipulação de objetos pesados e de grandes dimensões; elementos de grandes tolerâncias; um nível baixo de padronização; um nível médio de industrialização e pré-fabricação; além do envolvimento de vários outros participantes como arquitetos, construtores, fornecedores, designers, produtores e demais prestadores de serviços que orbitam a construção civil. Também envolve trabalhar em ambientes externos, expostos a intempéries que mudam constantemente, sob efeito de sol, chuva, neve, ventos, poeiras, mudanças de temperatura, entre outros. De fato, desenvolver robôs e maquinários complexos sob tais condições se torna um desafio. (HAAS et al., 1995).

Além disso, muitos profissionais e líderes da área temem expandir a indústria da construção civil para outras áreas, pois acreditam que o retorno é modesto demais, fazendo com que empresas sejam relutantes em explorar tecnologias adicionais de melhoria da produtividade, especialmente aquelas que requerem investimentos substanciais. Outras empresas simplesmente não estão familiarizadas com ferramentas e soluções em áreas além da colaboração digital (BLANCO et al., 2017).

Assim sendo, grandes esforços precisam ser feitos para garantir que a construção civil experimente um aumento significativo da automação de seus processos através de um maior envolvimento de novas tecnologias na área – e é fundamental que isso ocorra de forma a garantir que a construção civil volte a acompanhar o desenvolvimento da humanidade e não mais o contrário.

Apesar da demora, nos últimos anos a Indústria da Construção Civil tem se tornado uma das áreas de estudo mais importantes na indústria da automação; de 2011 até o início de 2017, as empresas de tecnologia da construção obtiveram US\$ 10 bilhões em fundos de investimento (BLANCO et al., 2017), demonstrando o expressivo potencial de modernização desta indústria, com uma enorme tendência para usufruir da automação e se juntar às demais indústrias, tornando a construção civil, ou grande parte de seus processos, em processos produtivos automáticos, como já ocorre há muito tempo, por exemplo, na indústria automobilística.

2.3. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, ou ainda Revolução 4.0, a qual o mundo está vivendo hoje, se caracteriza pela introdução de evoluções tecnológicas no mercado, tais como a inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, armazenamento de energia e computação quântica. (SCHWAB, 2016).

Quando comparada às três Revoluções anteriores, destaca-se nos quesitos: velocidade, amplitude e profundidade e também na fusão de tecnologias e na interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. (SANSON, 2017)

Para YOUNUS (2017), espera-se que durante a atual Revolução, essas tecnologias existentes sejam totalmente incorporadas na sociedade e nos seres humanos, além de alterar fundamentalmente as funções da economia moderna. Com isso, sugere-se que os efeitos desta sejam muito mais impactantes do que as demais, tanto para o lado bom quanto para o lado ruim.

Segundo KAGERMANN et al. (2013), a Indústria 4.0 promete uma maior eficácia operacional, ganhos de produtividade, crescimento, e melhoria da competitividade, bem como o desenvolvimento de novos modelos de negócios,

serviços e produtos. Do mesmo modo, ela possibilita que as empresas integrem as necessidades dos clientes nos seus processos de desenvolvimento e de produção.

Assim como todos esses ganhos gerados por essa Revolução, existem também riscos e desafios a serem analisados. Quando se estuda sobre a inclusão da Indústria 4.0 em um plano de negócios, as maiores preocupações giram em torno das questões de segurança e proteção digital; da padronização das interfaces de comunicação; dos processos e da organização do trabalho; da disponibilidade de capacidade cognitiva e da inserção das PMEs (Pequenas e Médias Empresas) (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016). Tais inconvenientes ainda travam o desenvolvimento colaborativo entre os diferentes prestadores de serviços.

Quando se tratando da Revolução 4.0 na Construção Civil, vale ressaltar as ferramentas na área de planejamento. A integração e digitalização dos processos oferece benefícios significativos na redução de falhas, aumento de eficiência e produtividade.

Neste contexto, é importante citar o software BIM (*Building Information Model*), que significa “modelagem da informação na construção”.

UGULINO (2017) acredita que os mestres de obra serão futuramente e gradualmente substituídos por técnicos em edificações, os quais já estão sendo preparados em escolas técnicas para o domínio de conhecimentos como a tecnologia BIM. VASCONCELLOS (2017) acrescenta ainda que a construção civil deve se aproximar do modelo da indústria automobilística com a constante sistematização de seus processos.

Além disso, deve-se lembrar a importância da robótica e automação dos processos construtivos, como a produção automatizada fora do canteiro (*off-site*) – fabrica de pré-fabricados; construção automatizada no canteiro (*on-site*) e robôs especializados em atividades específicas (BOCK; LINNEN, 2012).

Para CORRÊA (2016) o BIM pode ser a porta de entrada para as tecnologias de automação e robótica na construção de edificações, permitindo assim também um maior controle das atividades finais, propriamente da produção de componentes e da construção e/ou montagem da edificação em si.

2.4. ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO

A robótica e a automação possuem uma parcela bastante considerável na definição da Revolução 4.0, visto que essas duas áreas vem ganhando força em diversos setores nestes últimos anos. A humanidade já traz de longa data alguns conceitos fundamentais para entender a robótica e automação dos dias atuais. É difícil dizer exatamente quando se deu início a tais ciências, mas sabe-se que existe uma fascinação coletiva e histórica pela robotização; desde a Grécia antiga já existiam referências às ideias de máquinas construídas ao semelhante do ser humano ou capazes de executar tarefas tradicionalmente feitas pela humanidade, como explicita o pensamento de Aristóteles (século IV A.C.) ao dizer que se os instrumentos pudessem realizar suas próprias tarefas, obedecendo ou antecipando o desejo de pessoas, os homens não iriam querer serventes ou escravos. Além disso, existem documentados alguns protótipos e descrições de máquinas robotizadas desde o século XIII, como o livro “*The Book of Ingenious Mechanical Devices*” ou “O Livro dos Aparelhos Mecânicos Engenhosos”, publicado em 1206, fruto dos trabalhos de Al-Jazari, inventor árabe que hoje é reconhecido na área como um dos pioneiros da robótica por desenvolver máquinas hidráulicas automatizadas, relógios complexos e outros aparelhos automatizados (NADARAJAN, 2005); e também desde o século XV, através dos registros engenhosos dos mais diversos tipos de maquinários de Leonardo da Vinci (MOON, 2007). No entanto, foi somente no século XX que a robotização começou a surgir nas indústrias. Em 1954 surgiu o primeiro braço robótico comercializável, digital e programável, chamado de *Unimate*, concebido por George Devol e desenvolvido e viabilizado ao mercado por Joseph Engelberger, este considerado o pai da robótica atual – e em 1961 os *Unimates* passaram a ser utilizados em escala industrial pela General Motors, executando a arriscada tarefa de movimentar lingotes metálicos recém-moldados através da fundição injetada, ou seja, em elevadas temperaturas (ISLAM; RAHMAN, 2013).

De 1960 em diante começaram a surgir outras variedades de braços robóticos industriais – e a partir de 1980 diversas indústrias já estavam demonstrando um maior interesse em investir com mais intensidade na robótica. Entre elas encontrava-se a construção civil, que estava dando início à automação de serviços de construção, execução, manutenção e inspeção de trabalhos. No entanto, devido à uma introdução

um pouco prematura da robótica no mercado, à falta de flexibilidade das tecnologias da época e de questionamentos que passaram a surgir, houve um esfriamento do mercado da robótica. Tornou-se prioritário que a produção de robôs passasse a ser mais flexibilizada e que essas tecnologias passassem a desenvolver capacidades de sentido e inteligência além de capacidades operacionais. Então, apesar do sucesso limitado da robótica e automação na construção civil dos anos 80, a motivação pela implementação dessas tecnologias no setor voltou a ganhar momento após 1990, como resposta a uma crescente necessidade de implementar tecnologias que pudessem trazer ganhos em produtividade e segurança para as empresas de construção. Dessa forma, diversas indústrias entraram em um cenário de crescimento exponencial no desenvolvimento da robótica e automação, entrando nos anos 2000 com cada vez mais força e chegando ao cenário atual, no ano de 2018, com as mais variadas opções de aplicações e tecnologias de ponta sendo usadas em grandes escalas, além das mais inovadoras possibilidades surgindo no horizonte a cada dia.

Os fatores chave que moldam o desenvolvimento e a implementação da robótica e automação na engenharia civil e os desafios associados giram em torno da maneira como a Indústria da Construção Civil é estruturada; do crescente sentimento de zelo pela saúde e segurança das partes envolvidas; do interesse em preservar o meio-ambiente; da busca pela mão de obra qualificada no setor; das condições físicas dos canteiros de obras; da natureza das atividades do setor; e por fim das próprias tecnologias que são desenvolvidas e disponibilizadas na indústria. (HAAS et al., 1995).

Conforme explicitado anteriormente, é difícil dizer quando surgiram os conceitos de robótica e automação e isso se dá pelo fato de que existem diversos posicionamentos divergentes e uma falta de consenso geral sobre o que é um robô. No entanto, é possível traçar a origem dos termos utilizados nos dias atuais. A robótica é derivada da palavra robô, que por sua vez teve origem nas línguas eslavas, onde o termo “robotá” significa trabalho pesado e monótono, ou ainda trabalho escravo (BIANCHI et al., 2002).

Em 1921, o dramaturgo tcheco Karel Čapek escreveu a peça R.U.R. – acrônimo para “*Rossum’s Universal Robots*”. Dessa forma, a palavra robot, ou robô, passou a se aproximar da conotação conhecida de hoje; na peça de Čapek os robôs trabalhadores serviam aos humanos executando diversas atividades laborais, isentos de sentimentos e intelectualidade, mas portadores de inteligência e força super-

humana, até o momento em que se revoltam contra seu mestre, o humano *Russum*, e acabam com a vida no planeta. (WALLÉN, 2008). É curioso notar que a peça, apesar de escrita em 1921, se passava nos anos 60, década em que a robótica teve sua entrada real na indústria – e que ela foi um dos motivos que robôs tiveram, por muito tempo, uma fama negativa, de algo perigoso, destrutivo, sem controle e capaz de extinguir a humanidade. O próprio Charlie Chaplin teve uma poderosa influência na disseminação dessa fama negativa com seu filme “Tempos Modernos”, de 1936, onde mostra os perigos e preocupações de um mundo totalmente automatizado.

Por outro lado, em 1942 o escritor russo de ficção científica Isaac Asimov visualizou um mundo diferente, onde robôs eram benevolentes e obedientes. Asimov cunhou então o termo robótica, que passou a ser conhecida como a ciência dedicada ao estudo dos robôs, ou a ciência que lida com o design, construção, operação e aplicação de robôs e dos sistemas computacionais responsáveis pelo controle, retorno sensorial e processamento de informação dessas máquinas. Em seus livros, Asimov inventou as leis fundamentais da robótica, finalmente classificando robôs como um produto industrial desenvolvido por engenheiros ou técnicos especializados. As leis, levadas em conta até nos dias atuais, definem que um robô não pode prejudicar ou machucar a humanidade ou, através da falta de ação, permitir que a humanidade se prejudique ou se machuque; um robô deve obedecer às ordens recebidas de humanos, exceto quando essas ordens conflitem com a primeira lei; e, por fim, um robô deve proteger sua própria existência, desde que não passe por cima das primeiras leis para tal feito (ASIMOV, 1950).

Mas, afinal, o que é um robô? Como foi comentado anteriormente, é difícil chegar a um consenso do que torna uma máquina um robô. Geralmente o senso comum aceita a seguinte definição: robôs são máquinas que possuem várias ou todas as características a seguir: aceitam programação eletrônica; processam dados ou percepções físicas eletronicamente; operam com certo grau de autonomia; são capazes de se mover sozinhos; são capazes de operar processos físicos; sentem e manipulam o ambiente ao seu redor; exibem um comportamento inteligente. Além disso, a literatura também traz algumas definições para complementar esses conceitos, como por exemplo a definição do *Robot Institute of America*, que define que um robô é um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou aparelhos especializados através de variados movimentos programados, para executar uma variedade de tarefas (SCIAVICCO;

SICILIANO, 1996). E ainda, na definição de robôs industriais, da *International Organization for Standardization* (ISO 8373:2012), definidos como máquinas controladas automaticamente, reprogramáveis, multifuncionais, manipulativas e com diversos graus de liberdade, podendo estar fixas em um local ou tendo capacidades de mobilidade.

Pode-se dizer, afinal, que a robótica passa a existir como uma solução eficiente, segura e inteligente para a necessidade de automação dos mais variados processos e tarefas. A automação em si pode ser definida como a execução, através de máquinas, de tarefas e funções antes executadas pela humanidade, ou tarefas e funções que a humanidade não deseja mais executar manualmente; ou ainda, tarefas que a humanidade não é capaz de executar manualmente com o grau de precisão e confiança necessários. Inclusive, até meio século atrás, automação era sinônimo de mecanização; ou o desenvolvimento de maquinários e outros aparelhos técnicos para substituir trabalho manual. Os próprios movimentos da industrialização conhecidos como Toyotismo e Fordismo foram fundamentais para a história da automação, por defenderem cientificamente os ideais de estruturar uma cadeia produtiva onde os processos de produção eram sub-divididos em partes pequenas, independentes e repetitivas (WALLÉN, 2008).

No entanto, numa definição mais atual, a automação é caracterizada pela substituição, parcial ou total, de funções previamente executadas por operadores humanos, de forma que a automação não é uma questão de tudo ou nada; mas sim da capacidade de substituir operações manuais através de uma vasta gama de níveis, desde os mais baixos, onde o trabalho manual ainda é o mais predominante, até os níveis mais elevados de automação total de sistemas produtivos (PARASURAMAN et al., 2000). O Quadro 1 abaixo propõe uma escala de 10 níveis de automação, onde as pontuações mais altas indicam uma elevada capacidade de autonomia de sistemas computacionais substituindo até mesmo tomadas de decisões humanas. Já no nível 2, por exemplo, o sistema oferece opções ao operador humano, mas depende da decisão a ser tomada pelo operador ao invés de tomar a decisão automaticamente. Já no nível 4, o sistema oferece uma decisão alternativa, mas ainda cabe ao operador humano a autoridade que o permite decidir entre acatar a sugestão do sistema ou fazer uma escolha diferente. No nível 6, o sistema também oferece opções, no entanto com um tempo limite, que se não for observado pelo operador humano, permitirá que o sistema faça sozinho a tomada de decisão.

Quadro 1: Níveis de Automação Para Tomada de Decisões e Seleção de Ações

NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÕES E SELEÇÃO DE AÇÕES	
ALTO	10. O computador decide tudo, age autonomamente, ignorando o operador humano 9. O computador decide se informa ou não o humano sobre a ação a ser tomada 8. Informa o humano somente se requisitado ou, 7. Executa automaticamente e então necessariamente informa o humano e 6. Permite ao humano um tempo restrito para vetar a ação antes da execução automatizada ou, 5. Executa a sugestão se o humano aprovar ou, 4. Sugere uma alternativa 3. Afunila as seleções para algumas poucas ou, 2. O computador oferece um pacote completo de alternativas de decisão/ação, ou
BAIXO	1. O computador não oferece nenhuma assistência: o operador humano deve tomar todas as decisões e ações.

Fonte: PARASURAMAN et al., 2000, tradução: Autoras.

2.5. APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Foi em meados de 1980 que surgiram os primeiros protótipos de robôs na construção civil (HAAS et al., 1995). Mesmo assim, o setor da construção vem tendo uma entrada muito lenta no mundo da robótica, que só começou a participar de forma significativa nos processos construtivos nos últimos anos. Os primeiros usos da robótica e automação nessa indústria foram destinados nas atividades de construção, manutenção e inspeção de processos construtivos (HAAS et al., 1995).

O aquecimento tecnológico em todo o mundo colocou a indústria de engenharia e construção à frente de uma nova era, onde *start-ups* de tecnologia estão criando novas aplicações e ferramentas que estão mudando a forma como as empresas projetam, planejam e executam projetos, fornecendo recursos avançados de *software*, hardware e capacidade de análise. Em virtude disso, estes empreendimentos inovadores estão eliminando muitos dos problemas que perseguiram o setor da Engenharia Civil há décadas, incluindo dificuldades em compilar e compartilhar informações do projeto. Tais melhorias não poderiam chegar em melhor momento, uma vez que os projetos de construção estão se tornando cada vez mais complexos

e caros, colocando os gerentes sob maior pressão para melhorar custos, cronogramas e eficiência (BLANCO et al., 2017).

Assim sendo, tem-se observado o desenvolvimento de tecnologias de automação e robotização em todas as fases de projetos (design, pré-construção, construção e operações e gerenciamento). Iniciando pela concepção inicial de um projeto, o projeto digital hoje em dia já pode contar com automação no controle e integração dos documentos, conforme o projeto avança da fase inicial de rascunhos até documentos de construção. Na fase de pré-construção, já existem tecnologias que automatizam com precisão a estimativa de custos; que oferecem gerenciamento da construção; que desenvolvem pesquisas de mercado inteligentes, coletando e analisando informações de outros projetos e desempenho de competidores; além da facilidade da criação de plataformas capazes de unificar as necessidades das partes interessadas para pré-qualificar, avaliar e selecionar parceiros.

Também existem diversas aplicações possíveis na fase da construção; tem-se visto tecnologias de modelagem 3D; automação de cronogramas; gerenciamento de materiais através da automação e robotização de estoques, almoxarifados e canteiros de obra, permitindo a identificação, acompanhamento e localização de materiais em tempo real; acompanhamento de produtividade em tempo real; gerenciamento de equipamentos; controle de qualidade, através da inspeção remota, como por exemplo no emprego de *drones* munidos de *softwares* capazes de analisar e identificar situações de risco, identificar etapas e determinar progressos da obra; no gerenciamento de contratos e documentos, atualizando e acompanhando as partes envolvidas; monitoramento de progresso e performance de atividades e etapas construtivas, criando *dashboards* automatizados a partir de dados coletados em campo também de forma automatizada; no acompanhamento da saúde e segurança dos trabalhadores, acompanhando e reportando incidentes em tempo real e alertando trabalhadores sobre procedimentos de segurança; e por fim nos processos construtivos em si, que podem ser executados por robôs, como por exemplo construções através de impressoras 3D robotizadas. Exemplos mais específicos de diversas dessas aplicações serão explicitados nas próximas etapas deste trabalho.

2.6. REDES BIBLIOMÉTRICAS

De acordo com BUFREM E PRATES (2005), o termo bibliometria vem de uma junção do grego *biblion*, que significa livro, com o latim *metricus* ou com o grego *metrikos*, que significam mensuração. A bibliometria é um campo de estudo da Ciência da Informação (ALVARADO, 1984). Segundo ARAÚJO E ALVARENGA (2011), que possui uma função significativa na construção e análise de uma produção acadêmica, visto que os resultados de uma rede bibliométrica incluem o grau de desenvolvimento de uma área do conhecimento de um campo científico ou de saber. Deste modo, pode-se entender que a bibliometria fornece informações sobre a estrutura do conhecimento publicada e divulgada nos diversos meios de comunicação (BUFREM; PRATES, 2005).

Para se produzir um estudo acadêmico, se faz necessário, para qualquer pesquisador, uma base de dados que contenha com bastante verdade e eficácia a informação desejada. Deste modo, a rede bibliométrica pode ser uma ferramenta essencial neste processo. (MUGNAINI, 2003).

Os autores ainda sugerem, que as técnicas bibliométricas são eficazes na identificação de tendências de pesquisa e o conseqüente crescimento do conhecimento em disciplinas distintas. Para eles, a bibliometria destaca as tendências de pesquisa e o crescimento do determinado conhecimento em estudo em diversas disciplinas, estimando a cobertura das revistas secundária, identificando os autores e usuários das diferentes áreas de interesse e os principais periódicos de cada disciplina; medindo a usabilidade dos serviços de disseminação seletiva da informação; conhecer o passado, o presente e as tendências de publicação; desenvolver modelos experimentais correlatos ou similares; formular políticas de aquisição baseadas na necessidade com provisão de limites orçamentários; adaptar uma política cuidadosa de armazenagem e descarte; criar sistemas efetivos de rede de trabalho multinível; regular a entrada de informação e comunicação; prever a produtividade de editores, autores individuais, organizações e países; projetar o processamento de linguagem automática para auto-indexação, auto-classificação e auto-resumo e desenhar normas de padronização.

3. METODOLOGIA

De forma a atingir os objetivos últimos desse trabalho, a metodologia aplicada envolveu realizar pesquisas usando palavras-chave relacionadas ao desenvolvimento tecnológico na Engenharia Civil, e conseqüentemente processar e mapear esses resultados para que então possam aqui ser discutidos e analisados.

O primeiro passo foi acessar e criar um cadastro no site *Scopus* <www.scopus.com.br>, que é considerado a maior base de dados de citações e resumos de literatura revisada por pares: revistas científicas, livros e conferências. O *Scopus* oferece ferramentas inteligentes para rastrear, analisar e visualizar a pesquisa, fornecendo uma visão abrangente da produção mundial de pesquisa nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades." (SCOPUS, 2018) Em seguida, foram feitas pesquisas com palavras-chave relacionadas a novas tecnologias na área da Indústria da Construção Civil, com ênfase nas áreas de robótica e automação, para encontrar estudos prospectivos, tendências e demais novidades que estão sendo desenvolvidas nessas áreas. Para garantir a atualidade dos resultados, foi aplicado o filtro de ano na pesquisa, para concentrar somente resultados de pesquisas para os anos de 2017, 2018 e 2019, garantindo resultados mais atuais e prospectivos, pois as mudanças tecnológicas estão ocorrendo com uma alta velocidade. Estudos anteriores a 2017, por exemplo, já podem estar desatualizados. Ao fazer essa pesquisa, utilizou-se os conectores "AND" e "OR" no mecanismo de busca do *Scopus*, onde termos conectados por "AND" trazem resultados de pesquisas que incluem ambos os termos, enquanto palavras conectadas por "OR" trazem resultados de pesquisas que incluam ou um ou o outro termo. Essa chave de busca, assim como os demais filtros usados estão detalhados no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2: Detalhamento dos Parâmetros de Pesquisa Realizada no Scopus.

Objetivo da Busca	Chave de Busca Aplicada no Scopus	Área de Publicação Selecionada no Scopus	Ano de Publicação
Encontrar pesquisas sendo feitas sobre novas tecnologias na Engenharia Civil na área da Robótica e Automação	"Construction OR Civil Engineering AND Automation OR Robotic OR Automated"	Engenharia	2017, 2018 e 2019

Fonte: As autoras.

Desta forma, foi possível reunir um volume significativo de estudos já sendo feitos nessas áreas. As pesquisas foram feitas em inglês, com o objetivo de encontrar resultados globais, possibilitando uma visão abrangente sobre tecnologias sendo pesquisadas no mundo todo. Ao todo, foram encontrados 1162 resultados. As distribuições desses resultados por tipo de documento e por país estão expostas nas Tabelas 1 e 2 abaixo:

Tabela 1: Resultados da Pesquisa Distribuídos por Tipo de Documento.

Tipo de Documento	Quantidade de Resultados
Artigos	552
Artigos de Conferências	510
Artigos na Imprensa	39
Revisões	24
Revisões de Conferência	18
Capítulo de Livro	13
Livro	3
Errata	2
Editorial	1
Total	1162

Fonte: As autoras.

Tabela 2: Resultados da Pesquisa Distribuídos por País (20 principais).

País (20 Principais)	Quantidade de Resultados
Estados Unidos	182
China	180
Rússia	98
Alemanha	91
Reino Unido	61
Coreia do Sul	56
Canadá	46
Polônia	39
Austrália	38
Itália	35
Taiwan	26
França	25
Hong Kong	23
Japão	23
Espanha	23
Brasil	19
Suíça	18
Finlândia	16
México	15
Singapura	15
Outros	133
Total	1162

Fonte: As autoras.

Em seguida, foi feito o *download* desses resultados em formato PDF, contendo a lista completa de todas as pesquisas encontradas com a busca, e também o *download* dos resultados em formato RIS - *Research Information Systems*, ou Sistemas de Informação de Pesquisas. Esse é um formato de arquivo utilizado para transferir e armazenar dados de citações bibliográficas.

O próximo passo foi fazer o *download* do *software* livre *VoS Viewer* - *software* disponibilizado pela Leiden University para criação de redes bibliográficas, possuindo funcionalidades de mineração de textos que permitem construir e visualizar a co-ocorrência de *networks* envolvendo termos extraídos dos resultados das pesquisas. O arquivo RIS extraído do *Scopus* foi então carregado no *VoS Viewer* para a criação da rede bibliométrica que identifica a recorrência dos termos mais presentes nas pesquisas encontradas. Para a criação dessa rede, foram selecionadas as seguintes configurações dentro do *software*:

- Criar Mapa Baseado em Dados Bibliográficos;
- Tipo de Análise: Co-Ocorrência (o relacionamento entre itens é determinado pelo número de documentos em que eles ocorrem juntos);
- Unidade de análise: Palavras-chave;
- Método de contagem: Contagem fracionada (o peso de cada ligação de co-autoria ou co-ocorrência é fracionado);
- Número mínimo de ocorrências de uma palavra-chave: 5.
 - Das 10242 palavras-chave detectadas através das seleções anteriores, essa configuração selecionou 468 termos que ocorreram no mínimo 5 vezes.
- Número de palavras-chave selecionadas: 468.
 - Para cada uma dessas 468 palavras-chave, calcula-se a força das ligações de co-ocorrência com outros termos.

Após a geração dessa rede bibliográfica, fez-se uma leitura dos termos em destaque, dentro dos quais se buscou, no arquivo PDF gerado no *Scopus* com todos os resultados da busca, e em demais fontes, as pesquisas por trás desses termos para serem revisadas neste trabalho.

Em resumo, a metodologia se deu essencialmente através da pesquisa, armazenamento, processamento e análise de dados bibliográficos, trazendo para este trabalho um detalhamento de tecnologias existentes e também de estudos prospectivos de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas ou concebidas na

área da Engenharia Civil. Através disso, serão apresentados os resultados encontrados e então analisados e discutidos.

Tabela 3: Principais Termos por ocorrência e relevância.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância
Robótica	274	272
Automação	262	252
Design arquitetônico	118	118
Indústria da Construção	103	102
Robôs	102	101
Construção	76	76
Equipamento de Construção	60	60
BIM	59	59
Fabricação	58	57
Gerenciamento de Projetos	50	50
Design de Máquinas	46	46
Design Estrutural	45	45
Prédios	41	41
Tomada de Decisão	40	40
Teoria da Informação	40	40
Concretos	40	40
BIM	39	39
Sistemas de Controle	39	39
Impressoras 3D	39	39
Projetos Construtivos	37	36
Gerenciamento da Informação	35	35
Controles	35	35
Otimização	35	35
Design Assistido por Computador	35	34
Programação de robôs	33	33
Processamento de Imagens	31	31
Controle de Processos	32	31
Excavação	31	31
Design	30	30
Maquinário	30	30
Custos	29	29
Canteiro de Obras	29	29
Controle da Qualidade	28	27
Construção Modular	27	27
Utilização de Energia	27	27
Eficiência Energética	27	26
Inteligência Artificial	26	26
Ciclo de Vida	26	26
BIM	26	26
Eficiência	25	25

Manipuladores	25	25
Cinemática	25	25
Veículos	25	24
Visão Computacional	24	24
Design e Construção	25	24
Processo Construtivo	23	23
Análise de Risco	23	23
Método dos Elementos Finitos	22	22
Prédios Inteligentes	22	22
Inspeção	22	22
Construção Automatizada	23	22
Veículos Aéreos Não Tripulados	22	22
Sistemas de Aprendizado	21	21
Equipamento	21	21
Planejamento de Movimentos	21	21
Prevenção de Acidentes	21	21
Design do Produto	21	21
Impressão	20	20
Redes de Transmissão Elétrica	21	20
Mapeamento	20	20
Excavadeiras	20	20
Classificação da Informação	20	20
Gráficos Computacionais 3D	19	19
Graus de Liberdade (mecânica)	19	19
Prédios de escritório	19	19
Agendamento	19	19
Simulação	19	18
Robôs Inteligentes	18	18
Realidade Virtual	18	18
Engenharia da Segurança	18	18

Fonte: As autoras.

A partir da leitura desses dados, observou-se que existem pesquisas e artigos científicos sendo desenvolvidos para a construção civil em diversas áreas. Para facilitar a estruturação desse trabalho, esses termos foram categorizados debaixo de 4 áreas principais, sendo elas: Fabricação Automatizada; Equipamentos Construtivos; Projetos e Modelagens; e Segurança do Trabalho.

As Tabelas 4, 5, 6 e 7 abaixo mostram os resultados já divididos entre as 4 categorias definidas, além da Tabela 8, com os termos restantes, sendo esses termos

que se encaixam em todas as categorias por serem mais gerais. As Tabelas mostram os termos em ordem decrescente por ocorrência e relevância para cada categoria.

Tabela 4: Principais Termos por Categoria: Fabricação Automatizada.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância	Categoria
Automação	262	252	Fabricação Automatizada
Fabricação	58	57	Fabricação Automatizada
Concretos	40	40	Fabricação Automatizada
Impressoras 3D	39	39	Fabricação Automatizada
Construção Modular	27	27	Fabricação Automatizada
Processo Construtivo	23	23	Fabricação Automatizada
Construção Automatizada	23	22	Fabricação Automatizada
Impressão	20	20	Fabricação Automatizada

Fonte: As autoras.

Tabela 5: Principais Termos por Categoria: Equipamentos Construtivos.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância	Categoria
Robótica	274	272	Equipamentos Construtivos
Robôs	102	101	Equipamentos Construtivos
Equipamento de Construção	60	60	Equipamentos Construtivos
Design de Máquinas	46	46	Equipamentos Construtivos
Programação de Robôs	33	33	Equipamentos Construtivos
Excavação	31	31	Equipamentos Construtivos
Maquinário	30	30	Equipamentos Construtivos
Canteiro de Obras	29	29	Equipamentos Construtivos
Veículos	25	24	Equipamentos Construtivos
Veículos Aéreos Não Tripulados	22	22	Equipamentos Construtivos
Equipamento	21	21	Equipamentos Construtivos
Planejamento de Movimentos	21	21	Equipamentos Construtivos
Redes de Transmissão Elétrica	21	20	Equipamentos Construtivos
Excavadeiras	20	20	Equipamentos Construtivos
Robôs Inteligentes	18	18	Equipamentos Construtivos

Fonte: As autoras.

Tabela 6: Principais Termos por Categoria: Projetos e Modelagens.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância	Categoria
Design Arquitetônico	118	118	Projetos e Modelagens
Building Information Modeling BIM	59	59	Projetos e Modelagens
Gerenciamento de Projetos	50	50	Projetos e Modelagens
Design Estrutural	45	45	Projetos e Modelagens
Prédios	41	41	Projetos e Modelagens
BIM	39	39	Projetos e Modelagens
Sistemas de Controle	39	39	Projetos e Modelagens
Projetos Construtivos	37	36	Projetos e Modelagens
Gerenciamento da Informação	35	35	Projetos e Modelagens
Controles	35	35	Projetos e Modelagens
Design Assistido por Computador	35	34	Projetos e Modelagens
Controle de Processos	32	31	Projetos e Modelagens
Processamento de Imagens	31	31	Projetos e Modelagens
Design	30	30	Projetos e Modelagens
Utilização de Energia	27	27	Projetos e Modelagens
Eficiência Energética	27	26	Projetos e Modelagens
BIM	26	26	Projetos e Modelagens
Eficiência	25	25	Projetos e Modelagens
Manipuladores	25	25	Projetos e Modelagens
Design de Construção	25	24	Projetos e Modelagens
Visão Computacional	24	24	Projetos e Modelagens
Prédios Inteligentes	22	22	Projetos e Modelagens
Design do Produto	21	21	Projetos e Modelagens
Mapeamento	20	20	Projetos e Modelagens
Gráficos Computacionais 3D	19	19	Projetos e Modelagens
Prédios de Escritório	19	19	Projetos e Modelagens
Agendamento	19	19	Projetos e Modelagens
Simulação	19	18	Projetos e Modelagens
Realidade Virtual	18	18	Projetos e Modelagens

Fonte: As autoras.

Tabela 7: Principais Termos por Categoria: Segurança do Trabalho.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância	Categoria
Análise de Risco	23	23	Segurança do Trabalho
Inspeção	22	22	Segurança do Trabalho
Prevenção de Acidentes	21	21	Segurança do Trabalho
Engenharia de Segurança	18	18	Segurança do Trabalho

Fonte: As autoras.

Tabela 8: Principais Termos por Categoria: Todas.

Palavra-chave	Ocorrência	Relevância	Categoria
Indústria da Construção	103	102	Todas
Construção	76	76	Todas
Tomada de Decisão	40	40	Todas
Teoria da Informação	40	40	Todas
Otimização	35	35	Todas
Custos	29	29	Todas
Controle da Qualidade	28	27	Todas
Inteligência Artificial	26	26	Todas
Ciclo de Vida	26	26	Todas
Cinemática	25	25	Todas
Método dos Elementos Finitos	22	22	Todas
Sistemas de Aprendizado	21	21	Todas
Classificação da Informação	20	20	Todas
Graus de Liberdade (mecânica)	19	19	Todas

Fonte: As autoras.

Além das tabelas geradas acima, repetiu-se o passo a passo da metodologia para a geração da rede bibliométrica, dessa vez selecionando somente os 70 termos para serem incluídos na rede, que pode ser observada abaixo, na Figura 11.

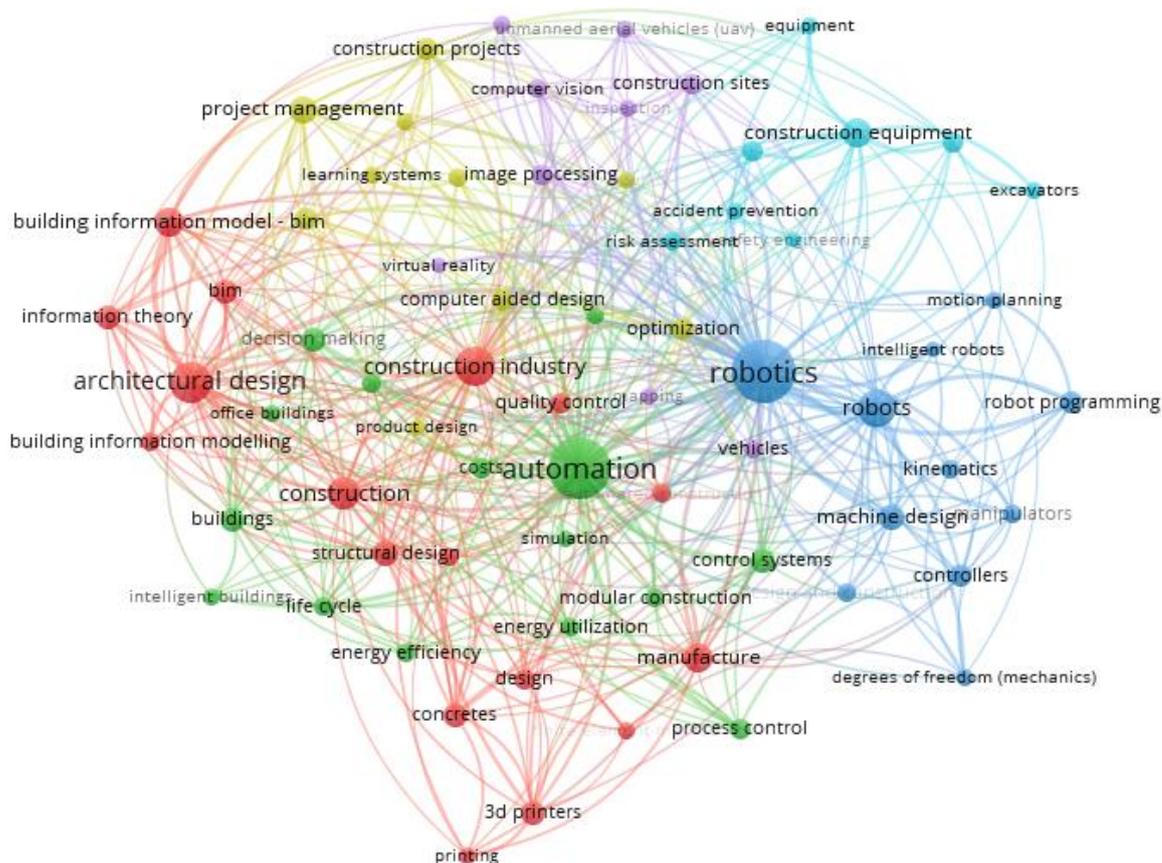


Figura 11: Rede Bibliométrica com ênfase na Robótica. Fonte: As Autoras.

Dessa forma, esse trabalho se compromete a apresentar nas próximas seções uma revisão das pesquisas relacionadas às tecnologias destacadas acima de acordo com os resultados obtidos através da rede bibliométrica refinada e das tabelas geradas. Os artigos encontrados serão a base dessa revisão, através da qual serão apresentadas as tecnologias com o intuito de conhecê-las e analisá-las de forma estabelecer um contato mais próximo com as mesmas.

4.1. FABRICAÇÃO AUTOMATIZADA

Na categoria sobre Fabricação Automatizada, observam-se alguns termos como Concretos, Impressoras 3D e Construção Modular. Esses termos se conectam entre si, pois observa-se uma tendência crescente na fabricação automatizada de peças pré-fabricadas ou de elementos construtivos em si.

A automatização na linha de fabricação dos pré-moldados é importante pois construções *in situ* geralmente demandam um alto grau de adaptabilidade, de forma a acomodar as condições adversas e irregulares de uma obra a céu aberto. Dessa forma, a pré-fabricação auxilia na produção e montagem parcial de peças em ambientes fechados, para então serem transportados até a obra – removendo uma grande parte da parcela de necessidade de adaptabilidade da obra. Isso permite que diversas tarefas construtivas sejam executadas por robôs sob condições controladas que eliminam os riscos de variabilidade. Esse método está se tornando cada vez mais comum no Japão, por exemplo. (LINNER; BOCK, 2012). Uma das maneiras de pré-fabricar peças construtivas em local controlado é através da impressão 3D. De acordo com WU et al. (2018) a impressão 3D aplicada à construção civil tem o poder de transformar essa indústria, trazendo o potencial de redução de custos e desperdícios; ganho de velocidade nas obras; aumento da qualidade final, da segurança, da eficiência e da sustentabilidade; além da diminuição da dependência de mão-de-obra. Os autores explicam que os três principais fatores influenciando essa tendência são os códigos e regulamentações de construção; o comprometimento do alto gerenciamento; e a confiança nos componentes impressos tridimensionalmente, indicando que os aspectos necessários para a adoção dessa tecnologia no campo da construção civil são compatíveis com os avanços tecnológicos sendo observados na área. Além disso, a prontidão tecnológica a qual o mundo está vivendo, assim como

o apoio organizacional e o desenvolvimento de políticas e regulamentações aplicáveis, providenciam a base necessária para a eficácia da inserção da impressão 3D no meio. Ainda de acordo com os autores, essa tecnologia está continuamente revolucionando os métodos de manufatura e produção através da fusão da digitalização com objetos físicos. A impressão 3D está mudando a maneira como objetos são feitos, ampliando os horizontes sobre o que pode ser criado e através de quais materiais podem ser usados.

Assim sendo, fica evidente a grande oportunidade que está surgindo nesse ramo de impressão 3D para a construção civil. As aplicações são muitas: desde impressões de peças e componentes utilizando, por exemplo, plástico como material-base, até impressões de estruturas utilizando aço e concreto. Uma das grandes vantagens da produção através da impressão 3D é a capacidade de construir formas complexas e únicas sem a necessidade de ferramentas ou moldes específicos, além de facilmente permitir a produção de formas padronizadas em repetição. Os estudos de KEATING et al. (2017), por exemplo, demonstram a aplicação da impressão 3D na construção de uma plataforma digital que consiste de braços robóticos hidráulicos e elétricos capazes de produzir sistemas estruturais diretamente a partir do canteiro de obras.

Wu et al. (2018) destacam os três processos mais proeminentes de impressão 3D para a construção civil: *Contour* de concreto; impressão em concreto; e as tecnologias *D-Shape*. A tecnologia de *Contour* ou contorno de concreto é baseada em um sistema de pórtico controlado por computadores, capaz de se movimentar sobre um trilho e permitindo a movimentação de um bico por onde é despejado o concreto, conforme mostra a Figura 12 a seguir. A impressão é feita seguindo contornos pré-definidos por camada, de acordo com os movimentos programados a partir do projeto 3D da estrutura.

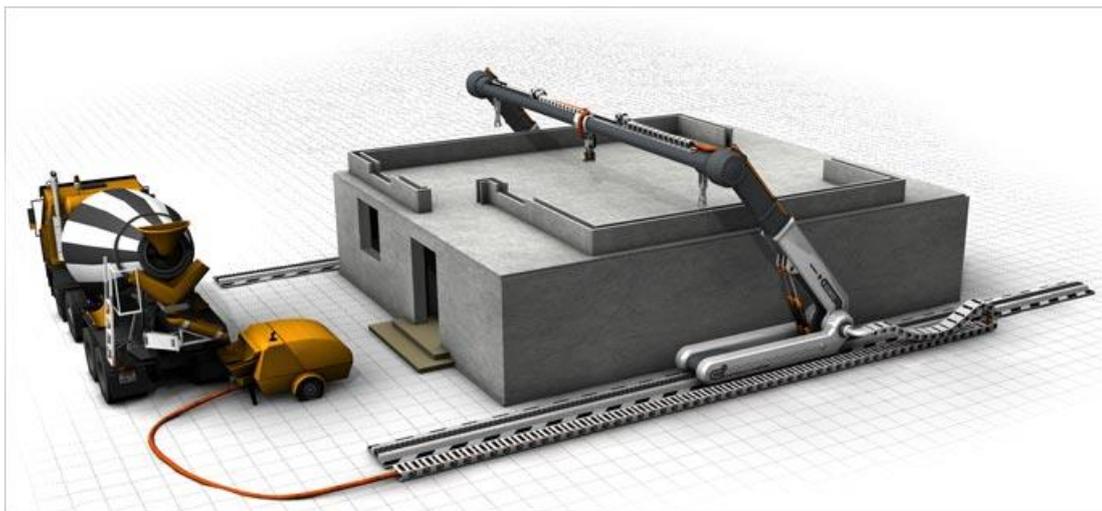


Figura 12: Impressão 3D - Contorno de Concreto. Fonte: 3dprinting.com.

A impressora refaz o caminho dos contornos múltiplas vezes, depositando o concreto em camadas, criando a estrutura desejada. Após depositar o concreto através do bico, o material é raspado nas laterais com a ajuda de pás que acompanham o bico, garantindo que a forma final esteja alinhada.

Já a tecnologia de impressão em concreto é muito similar à de contorno, com a diferença de que envolve uma estrutura menor para a impressão, sem o auxílio das pás e podendo ser manuseado por braços robóticos ou um pórtico com movimento tridimensional, tornando-se uma tecnologia mais apta para ser utilizada dentro de ambientes fechados para a criação dos componentes que serão então transportados até a obra, de forma similar aos processos de peças pré-moldadas. Alguns exemplos podem ser observados nas Figuras 13, 14 e 15 abaixo, que mostram um pequeno castelo que foi construído inteiramente a partir da impressão em concreto, primeiramente tendo suas peças e componentes impressos separadamente e depois montados formando a estrutura final.



Figura 13: Impressão 3D – Peças do castelo. Fonte: totalkustom.com.



Figura 14: Impressão 3D – Castelo finalizado. Fonte: totalkustom.com.



Figura 15: Impressão 3D – Detalhe da impressora. Fonte: totalkustom.com.

Por fim, a tecnologia *D-Shape* trata-se de uma máquina modular que pode ser fabricada em diversos tamanhos para se adaptar às necessidades, podendo conter até 1000 bicos de injeção (D-SHAPE, 2018). A tecnologia utiliza-se de um granulado orgânico na forma de areia natural ou rochas trituradas. As camadas desse granulado são prensadas juntas no formato determinado digitalmente através de uma tinta de ligação inorgânica administrada a partir da impressora. (WU et al., 2018) A tecnologia *D-Shape* é tão promissora que existem até estudos sobre a sua utilização na construção de moradias na lua, utilizando solo lunar como material. De acordo com Cesaretti et al., 2014, o fato dessa tecnologia utilizar processos de aglomeração de matéria inerte, como areia, a torna de grande interesse para os campos de exploração espacial, permitindo a extração *in-situ* de recursos para a construção de estruturas em ambientes espaciais difíceis. Isso permitirá, por exemplo, que missões espaciais apenas levem o maquinário necessário para então extraírem matéria prima diretamente da lua. Este solo será então utilizado na composição do material a ser aplicado na impressão 3D das estruturas habitáveis na superfície (CESARETTI et al., 2014), como mostra a figura 16 a seguir.

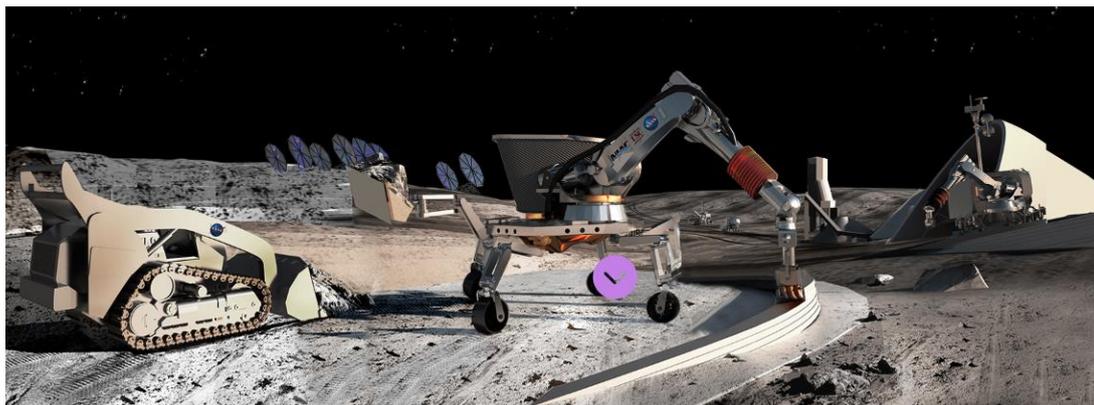


Figura 16: Impressão 3D – Projeção de Contour Crafting sendo utilizada no espaço.

Fonte: contourcrafting.com.

Essas soluções propostas acima ajudam a sustentar a ideia de que a impressão 3D na construção civil irá revolucionar o setor. Projeções indicam que obras feitas a partir de tecnologias de impressão 3D poderão custar até 5 vezes menos do que os métodos construtivos convencionais, além de eliminar os custos com desperdícios e permitir a construção de casas de 185m² em menos de 24 horas (CONTOUR CRAFTING CORPORATION, 2017).

Em conclusão, observa-se que as tecnologias necessárias para a impressão em 3D na construção civil já existem e também já estão sendo cada vez mais aprimoradas. É difícil estimar quando esses métodos ganharão força a ponto de substituir massivamente os processos tradicionais, mas fica nítido o potencial disso ocorrer num futuro próximo. A tendência é que cada vez mais essa opção seja considerada e viabilizada e indica uma área forte para o futuro da construção civil.

4.2. EQUIPAMENTOS CONSTRUTIVOS

Quando se trata de Equipamentos Construtivos nessa nova era da Indústria 4.0, as ferramentas que mais se destacam, conforme a pesquisa realizada, são os robôs, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) ou Drones e até mesmo maquinários diversos controlados remotamente. Em tecnologias novas, os japoneses detêm o primeiro lugar em pesquisas na área que, devido à falta de mão de obra no setor, foram obrigados a investir em tecnologias que substituíssem o ser humano nas obras, o que fez com que a sua indústria da construção atingisse níveis jamais vistos de produtividade e padronização dos serviços, principalmente pela aplicação de

sistemas de construção que envolvem em grande parte a indústria de produção, diminuindo significativamente a quantidade de tarefas realizadas no local da obra (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).

Destes novos equipamentos e materiais que estão ocupando espaço na Indústria da Construção Civil, os Drones são equipamentos que podem ser controlados até mesmo por *smatphones* e tornam o processo de Gerenciamento de obra mais objetivo e produtivo. (COUTINHO; FEITAL; COSTA, 2017), acreditam que pela facilidade em se locomover, tanto no sentido vertical, quanto no horizontal, alcançar boas alturas e recolher o maior número de imagens e vídeos possível, os Drones foram incorporados ao processo de Gerenciamento de Projetos da Construção Civil. Não só uma coleta de imagens, mas alguns destes veículos possuem Sistemas de Sensores de Bordo capazes de fazer uma coleta de dados especial que são utilizados como amostragem para a realização de ensaios não destrutivos.

Na metodologia de Ensaaios não Destrutivos, o Drone auxilia o profissional habilitado a gerar um relatório capaz de garantir a qualidade do Projeto. Sua maneira de obtenção de imagens poupa o profissional, seja de Engenharia ou Arquitetura, do risco físico que antes era submetido. Auxilia a Engenharia como um todo, seja em relatório, inspeção visual, auditoria ou perícias.

Além da parte de Gerenciamento, os Veículos Aéreos Não Tripulados, agilizam o processo de inspeção de segurança, pois possibilitam uma observação frequente e direta, principalmente em canteiros extensos, influenciando no tempo gasto para tais inspeções. A segurança do trabalho em obras está diretamente associada à logística do canteiro, no entanto, durante a etapa de planejamento se observa uma dificuldade de associar as atividades de logística com a segurança do trabalho, dessa forma, os requisitos de segurança são trabalhados independentemente da gestão da produção (SAURIN, 1997).



Figura 17: Drone na Construção Civil. Fonte: Buildin.

Na área de construção de estradas, vários estudos foram desenvolvidos nos últimos anos, focados principalmente no desenvolvimento da nova geração de pavimentadoras semi-autônomas e compactadores de asfalto. Os projetos da UE CIRC (PEYRET et al., 2003) e o último OSYRIS (www.osyris.org), conforme Figura 18, são baseados nos dados de GPS (*Global Positioning System*) e laser, possuem orientação semi-autônoma das máquinas e controle de qualidade das pavimentadoras. Além disso, os processos de rolo contam com controle de velocidade, temperatura, espessura da camada, distância percorrida, etc. A coordenação de várias máquinas para melhorar a produtividade é também o objetivo deste projeto (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).



Figura 18: Projeto Osyris. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).

Já no campo das Obras Residenciais, as etapas de acabamento interior num edifício, consomem muito tempo e exigem um alto grau de precisão. Deste modo, já existem vários manipuladores móveis capazes de executar uma variedade de operações, tais como estender, compactar e controlar a espessura do concreto do piso, pintura e pulverização de proteção contra incêndio de coluna de aço, montagem de paredes e tetos internos etc. Esses robôs, em sua maioria, são remotamente operados e executam apenas operações simples. Os maiores representantes de robôs desse tipo são os japoneses. Pode-se citar exemplos principais como: o robô "*Mighty Hand*" da Kajima (www.kajima.co.jp), que levanta elementos pesados na construção como paredes de concreto, entre outros (Figura 19) e o "*SurfRobo*" da Takenaka (www.takenaka.co.jp), que compacta automaticamente o piso de concreto usando dois conjuntos de flutuadores rotativos (Figura 20).



Figura 19: Robô "*Mighty Hand*" da Kajima. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).



Figura 20: Robô "*SurfRobo*" da Takenaka. Fonte: (BALAGUER; ABDERRAHIM, 2008).

4.3. PROJETOS E MODELAGENS

Quando se fala em Projetos e Modelagens na Construção Civil, cada vez mais se ouve sobre a plataforma BIM - *Building Information Modelling*, ou Modelagem de Informação da Construção. Por definição, o conceito BIM engloba tecnologias e processos que são comumente usados na produção, comunicação e análise dos modelos de construção (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Suchocki (2016) salienta que o BIM é um *software* que permite a realização de todas as fases do projeto, envolvendo inclusive, a criação de modelos 3D automatizados que facilitam no entendimento do projeto pelas partes interessadas, os chamados *stakeholders*, permitindo assim a melhora contínua do processo. Em decorrência disso, é criado um banco de dados que possibilita a visualização do projeto por inteiro e conseqüentemente, a melhoria dos processos a fim de agilizar a conclusão do empreendimento e facilitar a manutenção do espaço já construído. Segundo (LIU et al., 2015), um projeto habilitado para a plataforma BIM, fornece ao profissional responsável pela construção um planejamento até quanto ao uso dos materiais, facilitando no gerenciamento dos mesmos e minimizando o desperdício.

Desde que o BIM, juntamente com os seus conceitos começaram a integrar a indústria da construção civil nos últimos anos, ALMEIDA et al. (2013) enfatizam um crescimento notável da sua utilização em todo o ciclo de vida dos edifícios, começando pelo domínio da sua concepção pura, passando pela área do projeto de execução, pelo *marketing* e vendas e por fim, pelos planejadores da construção, o 4D, que também passaram a adaptar esta tecnologia.

O BIM se diferencia das demais ferramentas por ser capaz de aliar o modelo 3D digital de um edifício com informações 4D - planejamento, mais o 5D - estimativa e custos, e o 6D - manutenção dos produtos (MATTOS, 2014).

Segundo a Sienge Platform (Plataforma especialista em *softwares* de gestão e operação para empresas da construção civil), o *software Revit* é um dos mais procurados atualmente no mercado quando se tratando desta tecnologia. O Consultor e especialista Fernando Silva Ramos da *Softplan* - empresa de Desenvolvimento de *Softwares* de gestão indaga que o *Revit* é capaz de modelar todos os componentes do projeto, permitindo ainda a inclusão de dados relacionados a eles, numa parede de alvenaria, por exemplo, é possível especificar valores para camadas e espessuras, além dos materiais utilizados para sua construção. Além disso, o *software* também possibilita a importação de desenhos de outras ferramentas, como o CAD 3D.

A Figura 18 abaixo, apresenta as funções que a Plataforma BIM pode exercer em uma obra da Construção Civil.

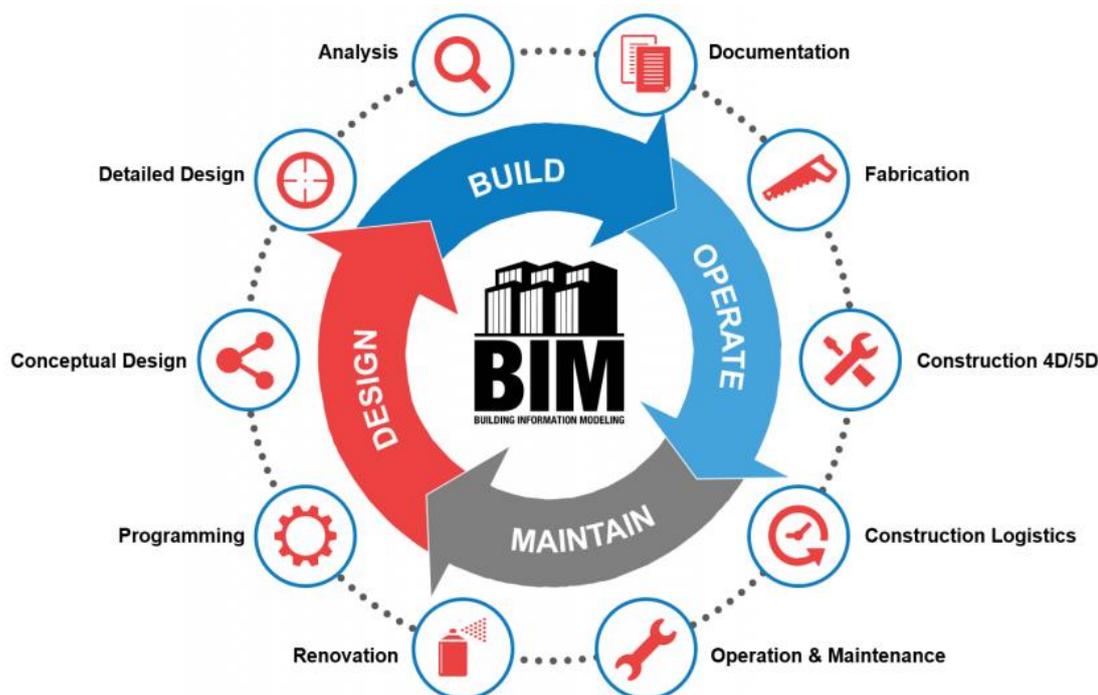


Figura 21: Funções do BIM na Construção Civil. Fonte: DorteK.

Para o uso da Tecnologia BIM é importante que se siga algumas etapas: são elas Modelagem, Planejamento e Orçamento.

4.5.1. Modelagem do Projeto pela Ferramenta Revit

Nessa etapa, são feitas simulações de todas as etapas da obra, tais como: piso, paredes, portas, janelas, cobertura, entre outros, para no final, a plataforma gerar uma vista 3D do projeto (BAIA, 2015), conforme a Figura 19 abaixo.

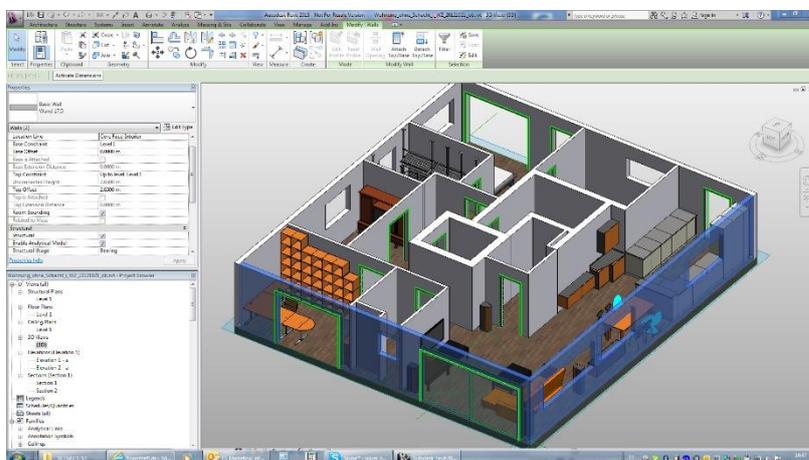


Figura 22: Modelagem por Revit. Fonte: Internet.

4.5.2. Planejamento

A partir das características definidas na seção anterior, de acordo com (BAIA, 2015) é elaborada uma EAP - Estrutura Analítica do Projeto - que identifica os produtos, serviços e resultados em um projeto. Por conta disso, é a principal ferramenta utilizada para descrever o escopo do projeto e facilitando o entendimento do mesmo. Essa etapa pode ser feita com auxílio de diversos *softwares*, tais como MS Project ou o Synchro. Será criado então um cronograma de atividades e com as informações, a criação do Gráfico de Gantt (Figura 13) - que consiste na visualização em diagrama, no posicionamento ótimo das diferentes atividades, considerando as durações e relações de precedência, bem como prazos de entrega e capacidade disponível. Além disso, é considerada a principal ferramenta para descrever o escopo do projeto e facilitar o entendimento do mesmo por parte da equipe de trabalho, pois de acordo com a Siense Platform (2016) é possível simular diversas formas de se executar a mesma etapa, permitindo que a construtora procure pela forma que mais oferece custo-benefício e otimize o tempo no cronograma.

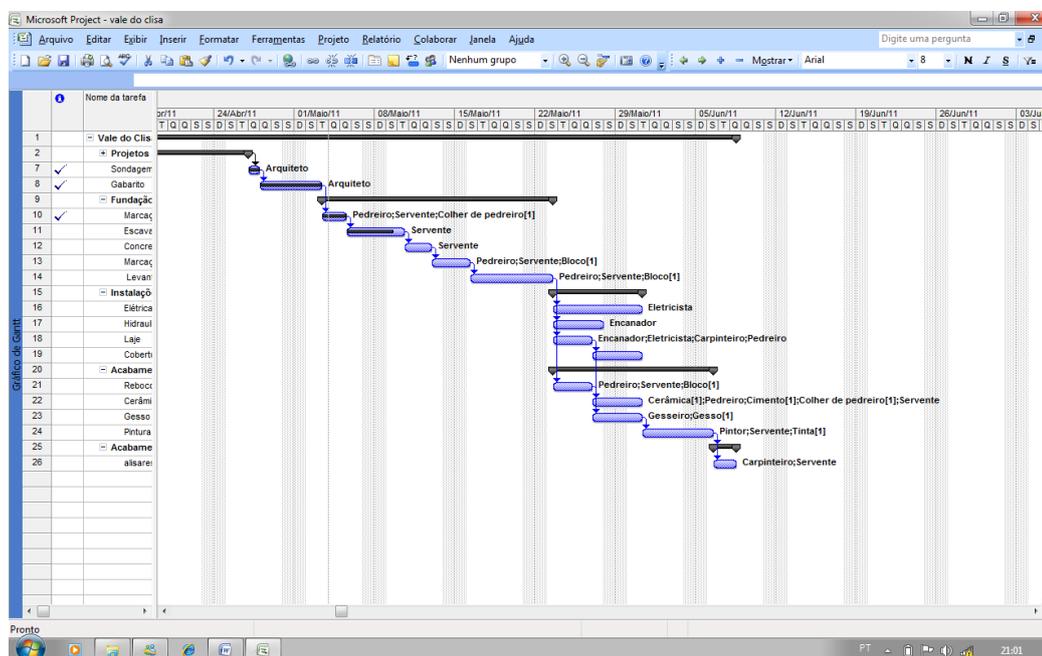


Figura 23: Gráfico de Gantt. Fonte: PMI.

4.5.3. Orçamento

A parte final de elaboração de um projeto BIM consiste na geração de um cronograma físico-financeiro. Isso é possível através de plataformas como o Navisworks® (Figura 21) e o Vico Software, que quando incorporados às informações da etapa anterior, proporcionam o levantamento de quantitativos para a geração de orçamentos o valor total de cada componente do modelo de forma prática. Essas ferramentas oferecem aproveitamento máximo das informações já registradas, sendo esse o principal objetivo do BIM.

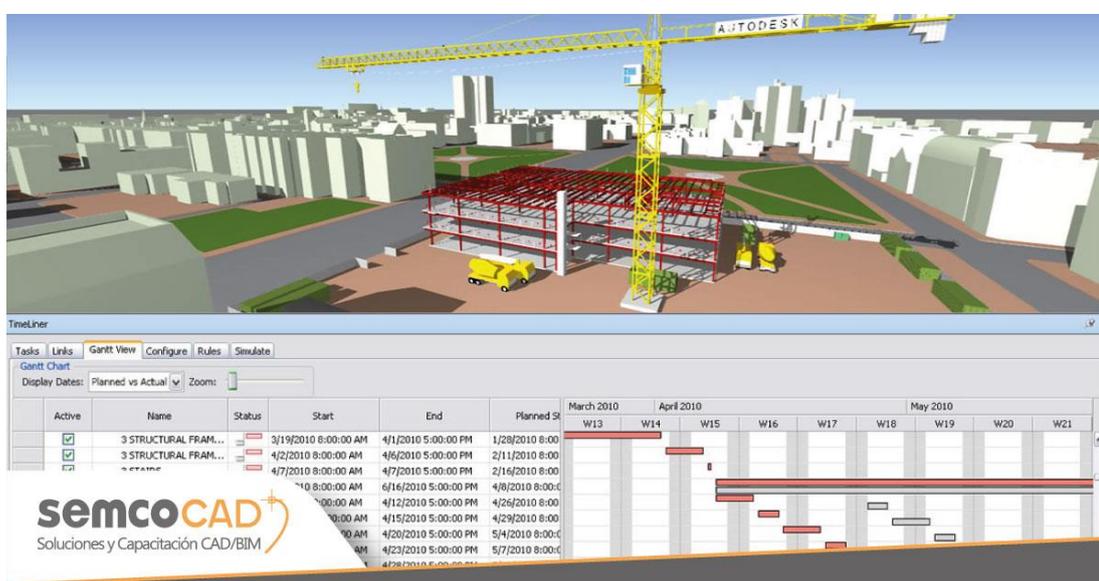


Figura 24: Software Naviswork. Fonte: cadbim3d.com.

Por fim, após realizadas todas essas etapas, parte-se para a execução do projeto, etapa essa que se utiliza do início ao fim todos os dados criados nas seções descritas anteriormente.

4.5.4. Vantagens e desvantagens do projeto BIM em relação ao convencional

Para CAPIOTTI (2015), a principal vantagem da metodologia BIM quando comparada às tradicionais é a automatização de todos os processos, que gera uma diminuição dos desperdícios e conseqüentemente uma queda nos custos e no tempo de execução do empreendimento. No entanto, conforme constata NATIVIDADE (2016), há uma necessidade de ajustar algumas quantidades de serviços na utilização

do BIM para composição de custos, pois a maneira como os levantamentos são previstos nestes *softwares* se diferem dos critérios de medição usualmente utilizados no mercado brasileiro, acarretando na mudança dos critérios de medição dos serviços e na forma de contratação dos mesmos.

CAPOTTI (2015) ainda acrescenta que o investimento necessário para a implantação da metodologia BIM é bastante elevado, o que gera uma desvantagem competitiva quando relacionada aos sistemas convencionais, além da escassez de estudos sobre essa plataforma existentes hoje no Brasil.

Segundo GILMORE (2012), alguns benefícios do BIM podem ser vistos já nos primeiros projetos de um usuário, tais como a redução de erros e omissões, o retrabalho e o tempo de ciclo de fluxos de trabalho. Todavia, outros exigem prazos mais longos para demonstrar as suas vantagens, como a redução de custos, cronograma e reclamações, ou manutenção de novos negócios e aumento de lucros. Esta pesquisa realizada em 2012 pela *SmartMarket Report* mostra níveis mais altos de importância para 10 dos 11 benefícios avaliados em comparação com os resultados de 2009. Curiosamente, os maiores aumentos percentuais ocorrem com benefícios que demoram mais para serem validados, refletindo o aumento do tempo que o BIM tem estado no mercado e a crescente maturidade dos usuários da plataforma na avaliação de seus benefícios. Os principais ganhos percentuais incluem:

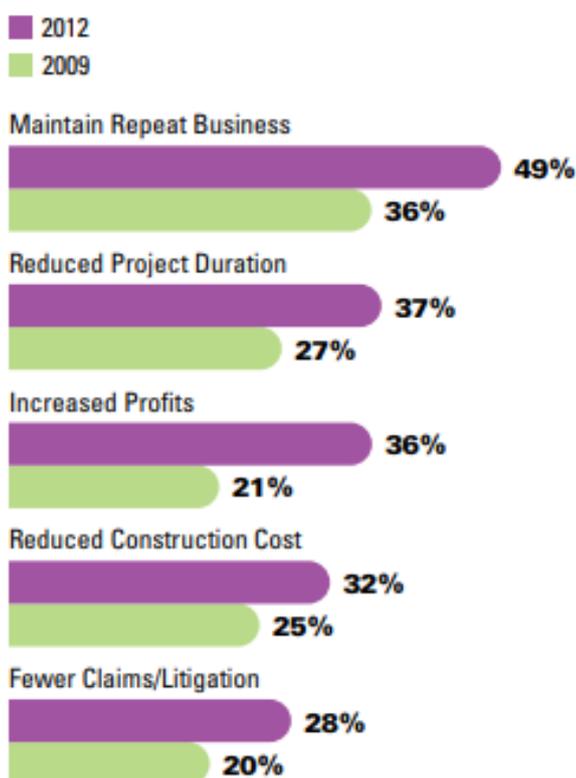
- Aumento dos lucros: esta classificação aumentou em 70% - de 21% e penúltima posição em 2009 para 36% em 2012. Isso poderia impulsionar o uso de BIM no futuro - à medida que os processos BIM se tornam mais padronizados e os custos iniciais de adoção e implementação são amortizados, as empresas que usam esse sistema, têm a capacidade de ver um impacto sustentado na lucratividade.
- Menos reclamações e litígios: embora ainda baixa no geral, esse benefício cresceu 40% em relação a 2009, passando de 20% em 2009 para 28% em 2012. Relativamente poucos projetos BIM chegaram à conclusão (quando aparecem os principais processos e litígios), portanto, as evidências ainda são escassas, no entanto, esse forte aumento percentual indica uma crença crescente de que quanto mais problemas forem evitados durante a construção e as reclamações diminuirão de maneira mensurável, isso será um benefício confiável.

- Reduzindo a duração total do projeto: essa métrica também requer um número substancial de projetos concluídos para ser validada, mas a tendência de maior importância continua - crescendo de 27% em 2009 para 37% em 2012 - a redução da duração do projeto se tornará um poderoso ingrediente de um cálculo de benefício BIM quantificável

Abaixo estão os gráficos que demonstram essas evoluções citadas acima, sendo o Gráfico 1 de Benefícios de Longa Duração e o Gráfico 2 de Benefícios de Curta duração.

Gráfico 1: Benefícios BIM Longa Duração.
Long-Term BIM Benefits (2009 and 2012)

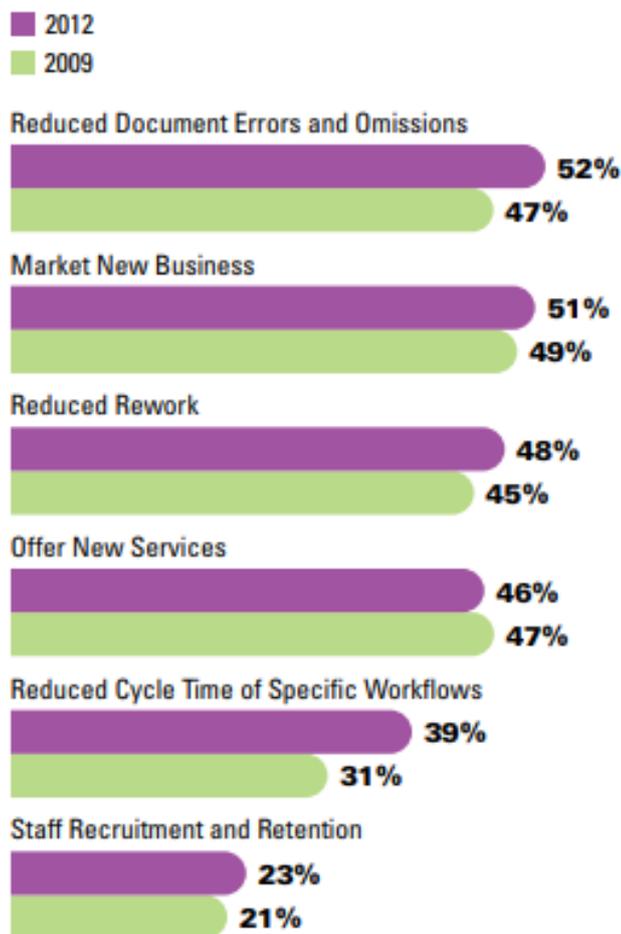
Source: McGraw-Hill Construction, 2012



Fonte: SmartMarket Report.

Gráfico 2: Benefícios BIM Curta Duração.
Short-Term BIM Benefits (2009 and 2012)

Source: McGraw-Hill Construction, 2012



Fonte: SmartMarket Report.

4.4. SEGURANÇA DO TRABALHO

Por fim, observou-se na rede bibliométrica alguns termos relacionados a novas tecnologias no campo da segurança do trabalho na construção civil. Sabe-se que “atualmente milhões de trabalhadores são afetados por acidentes de trabalho e doenças ocupacionais no mundo” (GUIMARÃES; REIS, 2017). Além disso, ainda de acordo com Guimarães e Reis, os ambientes de trabalho da construção civil são considerados um dos que mais expõe trabalhadores a riscos, por exemplo ao risco de queda, sendo esse uma das maiores causas de fatalidades nessa indústria (FANG et al., 2018). Ou seja, em média, a construção civil apresenta os maiores níveis de acidentes ocupacionais quando comparada a outras indústrias. Assim sendo,

percebe-se que a adoção de novas tecnologias para mitigar esses riscos é muito bem-vinda e deve ser amplamente adotada no futuro próximo, pois existem diversas soluções que podem ser incorporadas às obras, trazendo resultados positivos sob esse contexto.

Inicialmente é necessário reconhecer que algumas das tecnologias citadas anteriormente nesse estudo já trazem consigo diversas vantagens relacionadas à segurança do trabalhador na construção civil, reduzindo o risco e exposição dos trabalhadores envolvidos nos processos construtivos, por retirá-los de funções e situações arriscadas. Por exemplo, ao adotar tecnologias de impressão 3D e maquinários robóticos, remove-se os trabalhadores das funções manuais da construção no canteiro de obras, onde usualmente estariam expostos a diversos riscos. O mesmo se aplica para o uso de Drones na construção civil, pois retira-se os trabalhadores dos trabalhos em altura, por exemplo na necessidade de inspeções de ambientes de difícil acesso. Além disso, essas tecnologias passam a exigir menor uso de força física dos trabalhadores em troca de maior esforço mental, no desenvolvimento dos projetos tridimensionais e na operação e manipulação dos computadores e maquinários que passam a executar as tarefas.

Além disso, existem outras soluções sendo desenvolvidas especificamente com o objetivo de melhorar as estatísticas de segurança e saúde dos trabalhadores da área. Um exemplo é o desenvolvimento de uma visão computacional capaz de detectar trabalhadores em situações de risco, identificando se estão usando as EPIs adequadas às atividades sendo executadas e alertando os responsáveis no caso do mal-uso dos equipamentos. (FANG et al., 2018). Estão surgindo também as tecnologias vestíveis, ou seja, tecnologias que o usuário veste, como os capacetes inteligentes *Daqri Smart Helmet*, capazes de exibir no campo de visão do usuário projeções 3D com informações e detalhes da obra, baseado no projeto BIM desenvolvido (ver Figuras 22 e 23) ou o uso de *smart glasses* ou óculos inteligentes que permitem ao usuário acessar rapidamente no seu campo de visão manuais, instruções ou ainda suporte remoto enquanto ficam com as mãos livres para focar nas tarefas sendo desenvolvidas (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016), como as *HoloLens*, da *Microsoft*.



Figura 25: Operadores utilizando o capacete. Fonte: Daqri.



Figura 26: Visão do operador com o capacete: Detalhes construtivos. Fonte: Daqri.

Outros exemplos de tecnologias vestíveis são os sensores vestíveis. Trata-se de dispositivos que podem ser instalados nas roupas, capacetes e acessórios dos trabalhadores, e também em maquinários, para obter ganhos em segurança. Ou seja, os sensores são capazes de detectar e alertar sobre uma série de riscos e situações perigosas, como por exemplo relógios com sensores capazes de detectar a temperatura corporal do usuário, alertando para casos de temperaturas elevadas a fim de evitar a exaustão térmica, ou ainda sensores capazes de detectar níveis de substâncias tóxicas, como monóxido de carbono, alertando o usuário para concentrações perigosas (FORSYTH et al., 2012).

As aplicações são diversas e podem resultar em grandes ganhos tanto para a indústria, que pode reduzir custos habitualmente direcionados para remediação de

acidentes e indenizações de trabalhadores acidentados e observar aumentos de produtividade, qualidade e velocidade nas obras, quanto principalmente para os próprios trabalhadores, que passam a experienciar um ambiente de trabalho mais seguro, moderno e controlado. Afinal, a segurança do trabalho é um dos maiores pontos de deficiência na construção civil (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016) e a Indústria 4.0 promete avanços significativos nessa área.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Construção Civil vem sendo um dos meios mais marcantes através do qual a civilização humana expressa sua cultura. As pesquisas expostas nesse trabalho fomentam essa ideia, mostrando que, apesar de lenta, essa Indústria também está se adaptando ao novo momento de aquecimento tecnológico sendo experienciado ao redor do mundo e trazendo muitas novidades para a área. Pode-se dizer, ainda, que a Construção Civil configura um dos ramos de atividade de mais extrema importância para o desenvolvimento da humanidade, sendo sua adaptabilidade à novas tecnologias um item fundamental para o avanço socioeconômico de uma sociedade.

Com a realização deste estudo, fica evidente o cenário das mudanças que estão ocorrendo na Construção Civil e das novas tecnologias que estão surgindo de maneira cada vez mais rápida no setor. Dessa forma, estudos como esse se tornam essenciais para manter os profissionais da área atualizados acompanhando os desenvolvimentos dessa corrida tecnológica. Através deste, percebeu-se que algumas das áreas capazes de transformar a indústria da Construção Civil envolvem as tecnologias de impressão 3D e automação de processos e componentes construtivos; os novos equipamentos robóticos e automatizados usados na área; os poderosos softwares de modelagem, como vem sendo observado com o BIM; e também nas melhorias das estatísticas relacionadas à segurança do trabalhador. Conclui-se, então, que muito está mudando e muito ainda vai mudar na área da Construção Civil, e os profissionais deste setor, apesar de estarem assegurados de que suas posições em si não serão tão facilmente substituídas pela robótica e automação (FREY; OSBORNE, 2013), têm o dever de se manterem atualizados para garantir a continuidade desses avanços tecnológicos que estão trazendo grandes impactos para a humanidade.

Espera-se que este estudo impacte de maneira positiva a comunidade da construção civil, possibilitando uma visão ampla sobre as novas oportunidades que estão surgindo na área. Pretende-se ainda conscientizar os profissionais da área quanto à importância do conhecimento e aceitação de novas tecnologias, e chamar a atenção dos empresários e investidores desse mercado para as tendências que estão traçando o rumo do futuro da construção civil no mundo.

De maneira muito gratificante, este trabalho possibilitou às autoras aprimorarem seu conhecimento sobre a construção civil, suas origens, aplicações atuais e potenciais em termos de desenvolvimento tecnológico. Espera-se que o presente estudo seja de grande valor para o meio científico e acadêmico, servindo como uma relevante fonte de estudos e referência, uma vez que a participação das indústrias na Quarta Revolução Industrial tende a ser cada vez mais intensificada. Este trabalho serve ainda como base para futuras abordagens relacionadas à participação da Construção Civil nessa nova era digital, sendo sugerido como continuidade deste trabalho, levantamentos anuais quanto às novas tecnologias que certamente surgirão no setor.

REFERÊNCIAS

AKTAN, A. Emin; ELLINGWOOD, Bruce R.; KEHOE, Brian. **Performance-Based Engineering of Constructed Systems**. 2016. 13 f. School Of Civil And Environmental Engineering, Georgia Institute Of Technology, Atlanta, 2016.

ALVARADO, Ruben **A bibliometria no Brasil**. Ciência da Informação, Brasília, DF, v. 13, n. 2, p. 91-105, jul./dez. 1984.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2009, São Paulo. Anais... São Carlos, 2009.

ARAUJO, R. F.; ALVARENGA, L. **A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007**. Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 51-70, 2011.

ASIMOV, Isaac. I, Robot. **New York City: Doubleday, 1950**. (The Isaac Asimov Collection ed.).

BAIA, Denize Valéria Santos (2015). **Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E. DM - 019A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília-DF, 99 p.

BALAGUER, Carlos; ABDERRAHIM, Mohamed. **Robotics and Automation in Construction: Trends in Robotics and Automation in Construction**. [s. L.]: Intech, 2008. 23 p. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/robotics_and_automation_in_construction/trends_in_robotics_and_automation_in_construction>. Acesso em: 15 nov. 2017.

BIANCHI, Giovanni; GUINOT, Jean-claude; RZYMKOWSKI, Cezary (Ed.). **Theory and Practice of Robots and Manipulators**. New York: International Centre For Mechanical Sciences, 2012. 537 p. (CISM Courses and Lectures).

BLANCO, Jose Luis et al. **The new age of engineering and construction technology**. Mckinsey&Company, Capital Projects & Infrastructure, Filadélfia, jul. 2017. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-new-age-of-engineering-and-construction-technology>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

BRASÍLIA. Lucia Carvalho Pinto de Melo. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Org.). **Estudo Prospectivo Setorial: Construção Civil. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**, 2009. 64 p. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo prospectivo de Construção Civil.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo%20prospectivo%20de%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20Civil.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2017.

BUFREM, Leilah; PRATES, Yara. **O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação**. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ci/v34n2/28551>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

CAMPOS, Maria Helena Arranhado Carrasco. **A Construbilidade em Projectos de Edifícios para o Ensino Superior Público em Portugal**. 2002. 249 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DO MINHO, 2002. 1. Disponível em: <http://lftc.civil.uminho.pt/teses/tese_helena_campos.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2018.

CAPIOTTI, Laura Jaskulski. **Vantagem do uso da modelagem BIM 4D e 5D no planejamento e controle da produção aplicado ao setor de construção civil**. 2015. 75f. Monografia. (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

CESARETTI, Giovanni et al. **Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology**. Elsevier: [s.n.], 2013. 430-450 p. Disponível em:

<<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576513002889>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

CORRÊA, Fabiano. **Canteiros do Futuro**. 104. 2017. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/entrevista/entrevista-fabiano-correa-engenharia-de-construcao-civil-poliusp>>. Acesso em: 30 maio 2018.

DIA DA ENGENHARIA. 2017. Disponível em: <<http://www.creape.org.br/dia-da-engenharia/>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Industry 4.0**. União Europeia, 2016.

FANG, Qi et al. **Computer vision aided inspection on falling prevention measures for steeplejacks in an aerial environment**. Elsevier: [s.n.], 2018. 17 p. Disponível em: <<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517310804?via%3Dihub>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

FILHA, Dulce Corría Monteiro; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. [s. L.]: Bndes, [20--]. 59 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4522/1/BS_31_Perspectivas_e_desafios_para_inovar_na_construcao_civil_P.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

GILMORE, Dana. **The Business Value of Bim in North America: Multi-Year Trend Analysis and user Ratings (2007-2012)**. 2012. Disponível em: <<https://bimforum.org/wp-content/uploads/2012/12/MHC-Business-Value-of-BIM-in-North-America-2007-2012-SMR.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: Uma Ferramenta Estatística para a Gestão da Informação e do Conhecimento, em Sistemas de Informação, de Comunicação e de Avaliação Científica e Tecnológica**. [S.l.: s.n.],

2012. 18 p. Disponível em: <http://www.cinform-antiores.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

GUIMARÃES, Gustavo Martins; REIS, Mateus Barreto dos. **Segurança do Trabalho na Construção Civil: Dados Estatísticos de Acidentes de Trabalho e a Prática da Segurança do Trabalho nos Canteiros de Obras**. 2017. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)- Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/3822/TCC%20Oficial%20-%20Mateus%20%26%20Gustavo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

HAAS, Carl; SKIBNIEWSKI, Miroslaw; BUDNY, Eugeniusz. **Robotics in Civil Engineering**. 10. ed. Cambridge: Blackwell Publishers, 1995. 11 p.

ISLAM, M. S.; RAHMAN, M. A. **Design and Fabrication of Line Follower Robot**. 2. ed. Bangladesh: Rajshahi University Of Engineering And Technology, 2013. Disponível em: <<http://journals.abc.us.org/index.php/ajase/article/view/634/462>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.

LASI H; FETTKE P; KEMPER H-G; FELD T; HOFFMANN M, 2014. **Industrie 4.0**. WIRTSCHAFTSINFORMATIK. doi: 10.1007/s11576-014-0424-4

LIDDELL, Henry George; SCOTT, Robert (1980). **A Greek-English Lexicon** (Abridged Edition). United Kingdom: Oxford University Press. ISBN 0-19-910207-4.

LINNER, T.; BOCK, T. **Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry**. Construction Innovation, 12 (2), p. 156-178, 2012.

LIU et al., 2015. S. LIU, B. XIE, L. TIVENDAL, C. LIU. **The Driving Force of Government in Promoting BIM Implementation**. *Journal of Management and Sustainability*, 5 (4) (2015), pp. 157–164

MATTOS, A. D. **BIM 3D, 4D, 5D e 6D**. 2014. Blogs PINIweb. Disponível em: Acesso em: 13 jun. 2018.

MOON, Francis C. **The Machines of Leonardo Da Vinci and Franz Reuleaux: Kinematics of Machines from the Reinassance to the 20th Century**. New York: Cornell University, 2007. 417 p.

MUGNAINI, Rogério. **A bibliometria na exploração de bases de dados: a importância da Lingüística**. 2003, vol.15, n.1, pp.45-52. ISSN 0103-3786. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-37862003000100003>.

NADARAJAN, Gunalan. **Islamic Automation: A Reading of al-Jazari's The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices (1206)**. [s. L.]: Refresh! Presentations, 2005.

NATIVIDADE, Leonardo Richter da. **Comparativo de Custo de Obra: Método Convencional e BIM**. 2016. 81 p. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/148688/001002330.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. **Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**. Elsevier: [s.n.], 2016. 19 p. Disponível em: <<https://sci-hub.tw/https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3083320>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

PARASURAMAN, Raja; SHERIDAN, Thomas B.; WICKENS, Christopher D. **IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART A: SYSTEMS**

AND HUMANS: A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. 3. ed. Nasa Ames Research Center: Associate Editor R. Rada, 2000.

PEYRET, F.; JURASZ, J.; CARREL, A.; ZEKRI, E. & GORHAM, B. (2003). **The Computer Integrated Road Construction Project**, Journal of Automation in Construction, Vol. 9, No 5-6, pp. 447-462, ISSN 0926-5805

SANSON, César. **Quarta Revolução Industrial: Revolução 4.0.** [S.l.: s.n.], 2017. 55 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/RitaCasiraghiMoschen/a-quarta-revolucao-industrial-klaus-schwab>>. Acesso em: 13 jun. 2018

SANTOS, Altair. **Construção civil global adere à robótica.** 2014. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/construcao-civil-global-adere-a-robotica/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SAURIN, T.A. **Método para Diagnóstico e Diretrizes para Planejamento de Canteiros de Obra de Edificações.**1997. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, VI SINGEP., 2017, São Paulo. **Inovação na Gestão da Qualidade: Utilização de VANT em Inspeções em Projetos Civis...** [S.l.: s.n.], 2017. 2 p. Disponível em: <<https://singep.org.br/6singep/resultado/181.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

SUCHOCKI, Marek. **BIM para construção: A hora da verdade para a engenharia e construção.** White Paper Autodesk, São Paulo, abr. 2016.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial.** 1. ed. [S.l.]: Edipro, 2016. p. 1-215. v. 1.

TOLEDO, Raquel de; ABREU, Aline F. de; JUNGLES, Antonio E.. **A DIFUSÃO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 8 p. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_563.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2017.

UGULINO, Janilton Maciel. **A 4ª Revolução Industrial Transformando a Construção Civil**. 2017. Disponível em: <<https://engenheirocriativo.com.br/artigo/a-4-revolucao-industrial-transformando-a-construcao-civil>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

VIEIRA, Eduardo Eugenio Gouvêa; KAUFFMANN, Roberto. **Construção Civil: Desafios 2020**. [S.l.: s.n.], 2013. 75 p. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/cliente/Downloads/Construcao-Civil-versao-completa%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/cliente/Downloads/Construcao-Civil-versao-completa%20(1).pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2018.

WALLÉN, Joanna. **The history of the industrial robot**. Linköping: Linköpings Universitet, 2008. 17 p. Disponível em: <<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:316930/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J.; WANG, X. 2018. **Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry**. Architectural Science Review: pp. 1-10.

YOUNUS, U. M. **Fourth industrial revolution**. Dawn, Paquistão, 09 mai. 2017. News.