



**Adoção de tecnologias digitais na metodologia
Waterfall para gerenciamento de projetos**

Michele Cabral da Silva Câmara

Projeto de Final de Curso

Orientadora

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Junho de 2021

Adoção de tecnologias digitais na metodologia *Waterfall* para gerenciamento de projetos

Michele Cabral da Silva Câmara

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Júlia Pancini de Oliveira, M.Sc.

Thiago Rodrigo Teruaki Oshiro, B.Sc.

Orientado por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Junho de 2021

CÂMARA, Michele Cabral da Silva.

Adoção de tecnologias digitais no gerenciamento de projetos baseados na metodologia Waterfall. / Michele Cabral da Silva Câmara. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

x, 84 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadora: Flávia Chaves Alves.

1. Tecnologias Digitais. 2. Gerenciamento de Projetos *Waterfall* 3. Indústria. 4.0 4. Monografia.

(Graduação – UFRJ/EQ). 5. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Dedicatória

Dedico o presente trabalho aos meus pais, Rosemere Cabral e Francisco Washington, que deram tudo de si para que eu pudesse ser a primeira de minha família a ingressar em uma universidade pública. São meu exemplo e inspiração para sempre voar voos mais altos.

Citação

“Life is not easy for any of us. But what of that? We must have perseverance and above all confidence in ourselves. We must believe that we are gifted for something and that this thing must be attained.”

- Marie Curie

AGRADECIMENTOS

Principalmente neste momento, durante a Pandemia da COVID-19, agradeço a Deus, por ter me concedido saúde, esperança e fé ao longo desses anos de faculdade. Meus sentimentos aos que perderam familiares por causa dessa tragédia por que o mundo passa.

Agradeço também à minha mãe, Rosemere Cabral, que é um exemplo de mulher, que confiou e apoiou todas as minhas escolhas. Sou grata também ao meu pai, Francisco Washington, por me inspirar com suas vivências e por me incentivar a ser engenheira.

Agradeço ao meu irmão, Matheus Câmara, por me consolar quando questionava sobre a minha escolha, ao receber alguma nota baixa.

Obrigada, vó Maria do Carmo, por todas as orações, por sonhar comigo e ficar feliz com cada pequena conquista que eu compartilhava.

Sou grata ao meu companheiro de quase 9 anos, que acredita no meu potencial e que embarca em todos os meus sonhos. Obrigada Hud pelo carinho, paciência e incentivo.

Agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro e à Escola de Química, por me formar como aluna e profissional. Agradeço a todos os meus professores da UFRJ, que despenderam recursos para me tornar uma profissional de Engenharia Química mais preparada e confiante para o mercado.

Em especial, gostaria de agradecer à Professora Flávia Alves, responsável pela orientação deste trabalho. Obrigada, professora, por continuar confiando e por disponibilizar seu tempo e apoio. Obrigada por cada contribuição na elaboração, correção e sugestão. Isso não seria possível sem a sua ajuda.

Sou muito grata a cada organização da qual fiz parte na UFRJ: Fluxo Consultoria, EQ Hands-On e LiDA. Foi muito especial cada momento vivido e experiência compartilhada.

Expresso a minha profunda gratidão à Braskem e à Raízen, por proporcionar experiências profissionais únicas. Sou grata a cada pequeno aprendizado, não poderia ter sido melhor.

Por fim, agradeço também a todos aqueles que participaram da minha trajetória. Aos meus amigos, que me ajudaram imensamente no decorrer deste curso e que tornaram essa jornada muito mais prazerosa. Aos meus demais familiares, por todas as palavras de encorajamento.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS BASEADOS NA METODOLOGIA WATERFALL

Michele Cabral da Silva Câmara

Junho, 2021

Orientadora: Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

O mundo está vivenciando diversas mudanças de paradigmas, a Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de inovações tecnológicas, impactando não só as formas de produção, mas o modo como as pessoas se relacionam com o mundo. Caracterizando-se pela convergência de uma série de tecnologias habilitadoras que podem ser introduzidas em todo o ciclo de vida de um projeto baseado na metodologia *Waterfall*. Essas potenciais tecnologias digitais tem como principais ferramentas o *Big Data*, Computação em Nuvem, Internet das coisas, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Robótica. Dessarte, a pesquisa foi caracterizada como exploratória, com delineamento bibliográfico por meio de análise documental das literaturas e posterior análise dos artigos acadêmicos no software VOSviewer. O presente estudo apresenta panorama das principais empresas de consultoria estratégica e o *Project Management Institute*, com o intuito de avaliar o grau de adoção desses adventos na aplicação no desenvolvimento de soluções e otimização de resultados na metodologia *Waterfall*. Neste sentido, foi abordado sobre a dicotomia *Waterfall* x *Agile*, a avaliação da adoção dessas tecnologias nas fases do ciclo de vida do projeto e a contextualização da abordagem vivenciada no meio empresarial com a indicação de novas tendências. A partir desse estudo, observou-se que essa abordagem é a mais explorada atualmente por empresas de Arquitetura, Engenharia e Construção, ou seja, projetos com maior risco de execução. Consequentemente, pode-se concluir que essas novas tecnologias geram novas aberturas para o gerenciamento de projetos tradicionais, com a adoção da transformação digital.

ÍNDICE

I.	Introdução	1
II.	Revisão de Literatura	6
II.1	Panorama global da Indústria 4.0	6
II.2	Novas tecnologias da Indústria da 4.0	7
II.2.1	Armazenamento em Nuvem	9
II.2.2	<i>Big Data e Analytics</i>	12
II.2.3	Inteligência Artificial e Robôs autônomos	14
II.2.4	Internet das Coisas	16
II.2.5	Manufatura Aditiva	17
II.2.6	Realidade Aumentada	18
II.2.7	Simulação	19
II.3	Gerenciamento de Projetos	20
II.3.1	Definições gerais e panorama histórico do Gerenciamento de Projetos	20
II.3.2	Metodologia de Gerenciamento <i>Waterfall</i>	23
III.	Metodologia do trabalho	27
IV.	Discussão dos resultados - Iniciativas da Indústria 4.0 com aplicabilidade no gerenciamento <i>Waterfall</i>	31
IV.1	Análise Bibliométrica - Web of Science e <i>VOSviewer</i>	31
IV.2	Tecnologias habilitadoras	39
IV.2.1	Dicotomia <i>Waterfall</i> x <i>Agile</i>	43
IV.2.2	Análise das tecnologias em cada ciclo de vida do projeto	47
IV.2.3	Perspectiva dos adventos - Visão acadêmica x Corporativa	48

V. Conclusão	68
Referências Bibliográficas	71

ÍNDICE DE GRAVURAS

Figura 1: Novos pilares da Indústria 4.0	8
Figura 2: Exemplo das fases do ciclo de vida do projeto (PMLC)	23
Figura 3: Fases gerais de um projeto	25
Figura 4: 10 áreas de conhecimento do PMBOK®	26
Figura 5: Fluxograma de metodologia - Pesquisa <i>Web of Science</i>	27
Figura 6: “ <i>The Big 3</i> ”	28
Figura 7: Fluxograma de metodologia - Pesquisa PMI e <i>The Big 3</i>	29
Figura 8: Gráfico de Barras - 133 Documentos - Anos de publicação	33
Figura 9: Mapa de árvore - 133 Documentos - Áreas de Pesquisa	34
Figura 10: Mapa visual de palavras chaves - 133 documentos	35
Figura 11: Mapa visual de palavras chaves - 133 documentos - restrição de recorrência 2	36
Figura 12: Mapa visual de palavras chaves - 133 documentos - restrição de recorrência 5	36
Figura 13: Mapa visual de palavras chaves - 38 documentos	37
Figura 14: Mapa visual de palavras chaves - 38 documentos - restrição de recorrência 2	38
Figura 15: Mapa visual de palavras chaves - 38 documentos - restrição de recorrência 5	38
Figura 16: Mapa de calor - 38 documentos - principais referências	39
Figura 17: Sequência de etapas - <i>Waterfall</i> x Ágil	45
Figura 18: Diferenças planejamento e escopo - <i>Waterfall</i> x Ágil	46
Figura 19: <i>Clusters</i> da Indústria 4.0 no ciclo de vida dos projetos.	47
Figura 20: Trajetória futura da demanda por IA - Análise por empresas	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados obtidos - Palavras-chave: “ <i>Industry 4.0</i> ” e “ <i>Project Management</i> ” - <i>Web of Science</i>	28
Tabela 2: Tabela de Dados - 133 Documentos - Categorias	32
Tabela 3: 38 principais referências	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4RI	<i>The Fourth Industrial Revolution</i>
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AR	<i>Augmented Reality</i>
BCG	<i>Boston Consulting Group</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BOK	<i>Body of Knowledge</i>
C&M	Construção e Montagem
CAD	Computer Aided Desing
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CC	<i>Cloud Computing</i>
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
CSP	<i>Cloud Service Providers</i>
DMLS	Laser de Metal Direto Sinterização
ERP	Planejamento de Recursos Corporativos
F&A	Fusões e Aquisições
FDM	Modelagem por Deposição Fundida
GP	Gerenciamento de Projetos
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
I4.0	4ª Revolução Industrial
IA	Inteligência Artificial
IoT	<i>Internet of Things</i>
LMD	Deposição de Metais a Laser
M&A	<i>Mergers and Acquisitions</i>
MES	Sistema de Execução de Fabricação
MGI	McKinsey Global Institute
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OPEX	<i>Operational expenditure</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PNL	Processamento de Linguagem Natural
PwC	Pricewaterhouse Coopers
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VOUCA	<i>Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity</i>

I. Introdução

Segundo o Guia PMBOK¹ (2017, p. 4), “Projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”, podendo ser formado por processos associados a nove áreas de conhecimento que o gerente de projetos deve dominar para, em conjunto com aspectos comportamentais (liderança, comunicação interpessoal, gestão de conflitos, etc.), atender às metas do projeto. Os grupos de processos são: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento, ao passo que as áreas de conhecimento são: gestão da integração, gestão do escopo, gestão do tempo, gestão dos recursos humanos, gestão de custos, gestão das aquisições, gestão da qualidade, gestão do risco, gestão da comunicação.

Corroborando com o assunto, a norma ISO 10006 (2000, p. 2) (Diretrizes para qualidade de Gerenciamento de Projetos) define: “Projeto como um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas para início e término, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos.”

Por definição, o gerenciamento de projetos é a aplicação de um conjunto de técnicas e ferramentas para coordenar atividades com o objetivo de atingir as expectativas dos *stakeholders*. Nesse sentido é possível verificar que os projetos ocorrem em praticamente todas as organizações variando em termos de finalidade, complexidade e volume de recursos empregados, a fim de gerar produtos ou serviços para clientes internos e externos.

Há diversos modelos de gerenciamento, dentre os quais o mais tradicional e conhecido é o modelo *Waterfall* (em português denominado em cascata), que pode ser definido como uma sequência de estágios, em que a saída de cada etapa se torna a entrada para a próxima (BALAJI, 2012). A abordagem *Waterfall* ganhou destaque na década de 1970 nas indústrias aeroespacial e de manufatura, dotadas de larga estrutura. Nessas indústrias, mudanças ao longo do desenvolvimento do projeto são proibitivamente caras (Mahadevan et al.,2015). E, de acordo com o *Project Management Institute* (PMI, 2017), as metodologias tradicionais, como a *Waterfall*, são uma aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para entender seus requisitos.

¹ Em meados do século XX, os gerentes de projeto começaram a buscar o reconhecimento do gerenciamento de projetos como profissão. Um aspecto desse trabalho envolveu obter um acordo sobre o conjunto de conhecimentos (BOK, sigla em inglês de *body of knowledge*) em gerenciamento de projetos. Este conjunto de conhecimentos acabou ficando conhecido como Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMBOK®). Os gerentes de projeto perceberam que nenhum livro sozinho poderia conter o PMBOK inteiro. Portanto, o PMI desenvolveu e publicou um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®).

Os projetos são considerados em todos os níveis de organização e podem (i) envolver uma ou muitas unidades de negócios, (ii) uma ou 100 pessoas, (iii) ter duração de algumas semanas a muitos anos, (iv) ser mais simples ou altamente complexos e, por fim, (v) ser implementados em um local ou em vários locais em vários países (SINGH et al., 2014).

Nessa direção, a gestão de projetos pode ser definida como um conjunto de métodos, técnicas, procedimentos, regras, modelos e melhores práticas a utilizar num projeto. É comumente baseada numa abordagem específica, que define um conjunto de princípios e diretrizes que esclarecem a forma como um projeto é gerido. (ŠPUNDAK, 2014). Os modelos clássicos são caracterizados por uma abordagem padronizada, sequencial e de divisão de trabalho com planejamento detalhado. Pelo alinhamento com padrões bem estabelecidos, uma alta probabilidade de sucesso do projeto e um alto nível de eficiência podem ser alcançados. (SCHOLZ et al., 2013).

Em muitas indústrias, volatilidade, incerteza e complexidade nos negócios estão rondando os mercados e mudando a natureza da concorrência. Empresas que possam avaliar e responder a essa pressão para as mudanças mais rapidamente do que os rivais serão melhores em capturar as oportunidades e mitigar os riscos negativos. (DOHENY et al., 2012). Empregando um acrônimo para volatilidade, incerteza, complexidade, especialistas e líderes afirmaram que o mundo atualmente se vive em um ambiente “VUCA²”. (Bennett et al., 2014). Nesse cenário dinâmico, as empresas necessitam manter a competitividade, por meio do uso dos seus ativos, da forma mais otimizada e lucrativa possível.

A aceleração desse cenário de mudanças é potencializada pelas transformações iniciadas pela 4ª Revolução Industrial. Nesse contexto, o mundo alcançou um patamar irreversível na dimensão do “Mundo 4.0” das tecnologias digitais: Segundo a PwC (2020), em um artigo denominado “Mundo 2030”, pode-se esperar por uma maior necessidade de ambientes conectados e a hiperconectados, sendo esse o novo padrão, com máquinas tomando inúmeras decisões instantâneas, processando dados gerados por sensores baseados em computação quântica, *machine learning* e inteligência artificial. Ou seja, há um potencial agregador da Indústria 4.0 na forma como habitualmente as empresas gerenciam os mais diversos projetos.

Contextualizando a expressão Indústria 4.0, segundo Chung & Kim (2016), sabe-se que ela foi introduzida em 2011, pelo Instituto *Fraunhofer-Gesellschaft* e pelo Governo

² É o acrônimo dos seguintes termos em inglês: *volatility* (volatilidade), *uncertainty* (incerteza), *complexity* (complexidade) e *ambiguity* (ambiguidade). Esses quatro conceitos são usados para descrever o mundo em que se vive atualmente, repleto de mudanças rápidas e com diversas facetas.

Federal Alemão como uma designação coletiva que define o conjunto de tecnologias para fluxo de informações, automação e manufatura. A Alemanha é considerada o país precursor da Indústria 4.0 e possui uma série de instituições e centros de pesquisa, que trabalham de forma integrada para juntos promovê-la no país (MACDOUGALL, 2014 apud, SILVA, 2018). Desde então, esse tema tem sido um assunto de destaque dentro das mais diversas empresas e organizações, já que sua aplicabilidade é de grande importância para proporcionar uma melhor posição no mercado global.

Segundo Baweja et al. (2016), a 4ª Revolução Industrial já está ocorrendo e se caracteriza, como suas predecessoras, por evoluções em automação e conectividade. Segundo esses autores, a automação extrema é um produto do papel crescente da robótica e da inteligência artificial nas empresas, no governo e na vida pessoal. Paralelamente, a conectividade extrema retira barreiras espaço-temporais e proporciona uma comunicação intensa e veloz entre humanos e máquinas. Os países e as empresas que adotarem as tecnologias e anteciparem os desafios, lidando com eles de forma estratégica, são mais propensos a prosperar (BALLER et al., 2016). Na Alemanha, em particular, o foco está em integrar informação, comunicação e tecnologias de manufatura em fábricas inteligentes e auto-organizáveis. Nos Estados Unidos e também na China, por outro lado, a Indústria 4.0 está fortemente associada a produtos inteligentes, plataformas da Internet e os novos modelos industriais neles baseados (KAGERMANN et al., 2016).

De acordo com Brettel et al. (2014), atualmente os processos produtivos se preparam para essa nova fase, viabilizada pela utilização da internet para realizar a comunicação entre pessoas e também entre máquinas, por meio de amplas redes de comunicação. A consolidação de ferramentas de tecnologia da informação promoveu o início dessas mudanças, por meio de modelos que integram o virtual com o físico, utilização de computação em nuvem, Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), evoluções dos sensores entre outras ferramentas (SCHWAB, 2016).

Assim como a diversidade dos conceitos de Indústria 4.0, os benefícios de sua aplicação também podem ser variados. A integração de objetos físicos, interações humanas, máquinas inteligentes, processos e linhas de produção resultam no desenvolvimento de uma nova cadeia de valor, inteligente, conectada e ágil (SCHUMACHER et al., 2016). Para atender à crescente demanda global, é necessário melhorar a produtividade dos recursos. No entanto, os avanços tecnológicos significam que as empresas têm oportunidade não apenas

para enfrentar esse desafio, mas também para desencadear a próxima revolução industrial (HECK et al, 2014).

Considerando-se todos esses aspectos, é inegável que exista uma quantidade imensa de oportunidades associadas a essa evolução digital do mundo. Essa nova fase será impulsionada por um conjunto de tecnologias disruptivas como robótica, inteligência artificial, realidade aumentada, Big Data (análise de volumes massivos de dados), impressão 3D, biologia sintética e a chamada internet das coisas, em que cada vez mais dispositivos equipamentos e objetos serão conectados uns aos outros por meio da internet. A 4RI (sigla em inglês para *The Fourth Industrial Revolution*) não se define por cada uma dessas tecnologias isoladamente, mas pela convergência e sinergia entre as quais possuem forças para sintonizar-se com o futuro (SCHWAB, 2016).

Nesse sentido, há atualmente uma tendência em avaliar agilidade e adaptabilidade de outras novas metodologias de gerenciamento de projetos. No entanto, por essa tendência, pouco é abordado sobre como metodologias “não ágeis” podem ser otimizadas com novas tecnologias. Por isso, faz-se necessário discutir de que forma as novas tecnologias da transformação digital vêm sendo aplicadas no gerenciamento de projetos pela metodologia *Waterfall*. Desse modo, quais seriam os impactos, funções, aplicações e desafios na adoção das tecnologias digitais da indústria 4.0 neste escopo?

Para responder à pergunta da pesquisa e entender melhor a aplicabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 na abordagem de gerenciamento de projetos com metodologia *Waterfall*, é necessária uma revisão mais detalhada da literatura. Assim, esse estudo basear-se-á na análise bibliográfica de documentos acadêmicos e de publicações de empresas relacionadas ao gerenciamento de projetos (GP) e tendências da indústria 4.0.

Neste estudo, não serão abordadas as iniciativas relacionadas à tecnologia da informação, nanotecnologia e biotecnologia, visto que essas áreas não se baseiam no desenvolvimento dos seus projetos por meio da metodologia em cascata, atualmente. Este trabalho de pesquisa envolve a análise das práticas (ferramentas e técnicas) de gestão de projetos *Waterfall* que possam ser empregadas no contexto de potencial aplicação de ferramentas da nova Revolução Industrial.

Efetuada esse preâmbulo, a presente dissertação tem como objetivos:

- Análise da gestão de projetos por meio da Metodologia *Waterfall* ou Cascata;

- Identificação de ferramentas, metodologias e aplicações das tecnologias digitais da Indústria 4.0;
- Identificação de tendências e aplicações com potencial de otimização dos resultados de gerenciamento de projetos com esses novos adventos do mundo 4.0.

Este estudo está estruturado em 4 capítulos, além desta introdução. O segundo capítulo aborda a revisão da literatura sobre Indústria 4.0 e gerenciamento de projetos do tipo *Waterfall*, seguido da metodologia. O quarto capítulo, por sua vez, baseia-se na análise da adoção dessas tecnologias da 4ª revolução industrial e sua potencial transformação na forma tradicional de gerenciar um projeto. O último capítulo apresenta as conclusões e limitações do trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros.

II. Revisão de Literatura

Neste capítulo, serão discutidas algumas das principais iniciativas relacionadas às novas tecnologias digitais. Ao longo do texto, faz-se necessária uma revisão sobre o panorama global dessas novas tecnologias habilitadoras, que, para fins didáticos, serão contextualizadas uma a uma, individualmente. Ademais, serão discutidas também algumas definições gerais e específicas, sobre a literatura de gerenciamento e projetos, vislumbrando o panorama para a metodologia cascata.

II.1. Panorama global da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é, às vezes, referida como a 4ª Revolução Industrial e é uma visão de fábricas inteligentes construídas com sistemas cibernéticos. Essa revolução busca o desenvolvimento de sistemas de fabricação impulsionados por sistemas inteligentes que têm propriedades autônomas, por exemplo, auto-configuração, auto-monitoramento e autorrecuperação. A Indústria 4.0 poderá permitir alcançar níveis sem precedentes de eficiência operacional e crescimento acelerado da produtividade. Novas configurações de manufatura avançada e processos industriais girando em torno da colaboração máquina-humana e a realização de produtos simbióticos poderão surgir. (THAMES et al, 2016).

Kagermann et al (2016) afirmam que existem diferenças em termos de como são avaliadas as oportunidades associadas à Indústria 4.0. Na Alemanha, em particular, o foco é integrar tecnologias de informação, comunicação e fabricação em fábricas inteligentes e auto-organizantes. Nos EUA e cada vez mais também na China, por outro lado, a Indústria 4.0 está fortemente associada a produtos inteligentes, plataformas de Internet e novos modelos de negócios.

Drath e Horch (2014) afirmam que muitas empresas, organizações e universidades buscam trabalhar em aspectos distintos da Indústria 4.0. Segundo os autores, alguns requisitos são esperados para a implementação dessas tecnologias e a forma como ocorre o direcionamento para a implementação, no geral, baseia-se na garantia dos seguintes pontos:

- Proteção do investimento: o passo-a-passo para a introdução da Indústria 4.0 em empresas existentes deve ser viável;

- Estabilidade: o funcionamento da Indústria 4.0 em empresas não deve ser comprometido, seja por perturbações ou por um colapso;
- Privacidade de dados: a empresa necessita saber como proteger dados e serviços relacionados à produção;
- Segurança cibernética: o acesso não autorizado a sistemas de produção deve ser combatido, com o intuito de prevenir danos econômicos.

Do ponto de vista técnico abordado em Oesterreich, (2016), a Indústria 4.0 pode ser avaliada como uma otimização do meio digital e do ambiente de fabricação e automação. Consequentemente, esse planejamento de processos produtivos gera produtos mais adequados e com maior resposta à volatilidade de mudanças geradas nos negócios.

Guszcza e Maddirala (2016) afirmam que o fluxo contínuo de dados, o armazenamento em nuvem, a internet das coisas, computação em nuvem e avanços em técnicas de aprendizado de máquina estão dando origem a um renascimento em inteligência artificial, que provavelmente irá remodelar a relação das pessoas com computadores. A Indústria 4.0 é baseada em computação móvel, computação em nuvem e *Big Data*. A importância da computação em nuvem e da computação móvel para a Indústria 4.0 está na prestação de serviços, que podem ser acessados globalmente via Internet. Os serviços podem ser facilmente integrados e utilizados. (ROBLEK et al., 2016).

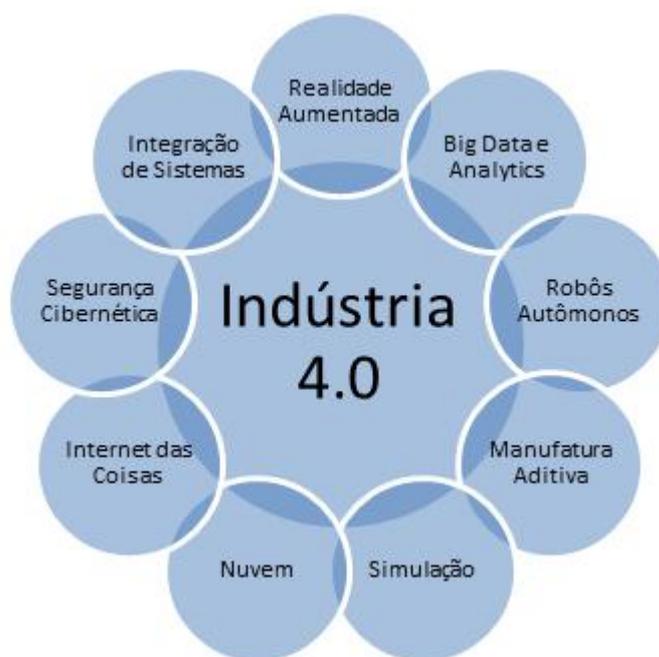
II.2 Novas tecnologias da Indústria da 4.0

A Indústria 4.0 está focada na otimização, em termos de eficiência, segurança, produtividade das operações e na busca por investimentos lucrativos. São várias as tecnologias e tendências facilitadoras disponíveis. De acordo com a pesquisa da PWC Brasil Ltda. (2021), 69% dos CEOs das mais distintas empresas estão preocupados com as mudanças tecnológicas e sua velocidade de propagação, como também estão na busca por acompanhar essas mudanças. No entanto, a mesma pesquisa reporta que apenas 20% disseram ter feito progresso significativo para entender mais sobre tecnologia e suas implicações potenciais para os negócios de suas empresas.

A figura 1 indica uma adaptação própria do texto de RÜBMANN et al., (2015), onde são discutidos alguns dos principais pilares da 4RI. Essas tecnologias são apresentadas como as principais tendências até o momento, do ponto de vista do autor, porém é válido

contextualizar que a revisão bibliográfica abordada no presente capítulo abordará somente aquelas que apresentam relação com os resultados obtidos.

Figura 1: Nove pilares da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de RÜßMANN et al., 2015.

Após uma década de produtividade estagnada, espera-se que a 4ª Revolução Industrial crie até US \$3,7 trilhões em valor até 2025 (MCKINSEY & COMPANY, 2018). Líderes de diversos setores estão interessados em entender a Indústria 4.0 e suas implicações para transformar as organizações, aumentando o fluxo de informações, criando novos *insights* e revolucionando modelos de negócios. Embora essas empresas tenham colocado sua marca na implementação da Indústria 4.0, a maioria delas experimenta incerteza ao determinar como proceder e desbloquear o valor mensurável dos negócios. (INFOSYS, 2019).

A Indústria 4.0 ainda está evoluindo e talvez não haja resultados explícitos nos próximos anos, contudo as empresas que estão adotando as tecnologias percebem o potencial da Indústria 4.0 e também estão trabalhando para melhorar sua força de trabalho atual para assumir novas responsabilidades de trabalho possibilitadas pela Internet 4.0 e recrutar novos funcionários com as habilidades necessárias (FORBES, 2018).

Retornos positivos e novas oportunidades de crescimento estão sendo apresentados. No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda permanece lenta em indústrias e regiões. As empresas industriais começaram a lançar novas soluções tecnológicas e a maioria das empresas está lutando para fazer uma transição bem-sucedida de pilotos para a implantação em grande escala. Os principais motivos são a dificuldade de alinhar a organização em torno do valor potencial e retorno sobre investimento, a incerteza do valor digital para seu desempenho (especialmente no curto prazo), o custo de recursos necessários para implementar novas soluções e os investimentos necessários para aumentá-los (MCKINSEY & COMPANY, 2018).

Nos primórdios dessa nova fase, as empresas adotavam frequentemente uma abordagem não estruturada das ferramentas digitais. Identificavam tecnologias promissoras e faziam experimentos com elas em todas as partes de suas operações. Mesmo quando os resultados dessas experiências eram positivos, como costumava acontecer, as organizações tinham dificuldade para reproduzir suas novas abordagens e expandi-las. Muitas empresas se viam presas no “purgatório dos projetos-piloto”, com bastante potencial tecnológico, mas sem impacto real (DUCRO et al, 2019).

II.2.1. Computação em Nuvem

Segundo Zeng et al. (2009), o armazenamento em nuvem é composto por milhares de dispositivos de armazenamento agrupados por rede, sistemas de arquivos distribuídos e outros utensílios para fornecer serviço de armazenamento em nuvem para os usuários. O *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2011) corrobora essa definição, colocando que a computação em nuvem é um modelo para permitir acesso à rede, de forma onipresente, conveniente e sob demanda, por um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços), de forma que, podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços.

Por meio de conectividade, automação e troca rápida de informações, uma nova dimensão de flexibilidade pode ser alcançada e novas abordagens para planejamento e controle de sistemas de produção podem ser projetadas. A manufatura baseada em nuvem pode contribuir significativamente para a realização das vantagens da Indústria 4.0 (THAMES et al, 2016). É importante alavancar a flexibilidade e recursos adicionais oferecidos pela

computação em nuvem, mas adaptar prognósticos e algoritmos para implementar eficientemente tecnologias atuais de gerenciamento de dados requer mais pesquisa e desenvolvimento (Lee et al., 2014).

Cloud Computing (CC), termo em inglês para Computação em Nuvem, tem sido uma grande tendência tecnológica nos últimos anos, chamando a atenção de profissionais de TI e pesquisadores. Embora muitas publicações se concentrem nos aspectos técnicos do CC, o foco nos aspectos organizacionais é cada vez mais frequente, dado o interesse das organizações em adotar essa tecnologia. A literatura inclui trabalhos sobre o processo e o ciclo de vida que permitem a criação de um ambiente favorável nas organizações para implementar soluções de CC (BRANCO JR et al., 2017).

As empresas já estão usando software baseado em nuvem para alguns aplicativos corporativos e de análise, mas com a Indústria 4.0, mais empresas relacionadas à produção exigirão maior compartilhamento de dados locais. Ao mesmo tempo, o desempenho das tecnologias em nuvem melhora, alcançando tempos de reação de apenas alguns milissegundos. Como resultado, os dados e funcionalidades da máquina serão cada vez mais implantados na nuvem, permitindo mais serviços baseados em dados para sistemas de produção. Mesmo sistemas que monitoram e controlam processos podem se tornar baseados em nuvem (RÜßMANN et al., 2015).

Cloud Computing (CC) é uma tecnologia alternativa para empresas que pretendem investir em recursos de terceirização de TI. Nesse ponto, O'Donovan et al (2019) descrevem como os sistemas com análise em nuvem, como é o caso de sistemas ciberfísicos industriais emergentes, podem garantir a capacidade de desempenho de execução em tempo real, por meio da demonstração de desempenho e características de confiabilidade:

- Inteligência descentralizada: sistemas emergentes para a Indústria 4.0 devem apoiar a tomada de decisão descentralizada, que requer inteligência (por exemplo, modelos de aprendizado de máquina) para ser incorporada e acessível em toda a fábrica e cadeia de suprimentos. Isso difere das arquiteturas de nuvem tradicionais, em que a inteligência é persistida e executada a partir de um local central, com os resultados retransmitidos para os componentes distribuídos necessários. A abordagem de computação de nuvem facilita a inteligência descentralizada, persistindo e executando cópias de sombras de

modelos de aprendizagem de máquinas em nós de computação/neblina, que podem estar localizados próximos às operações de fábrica relevantes;

- Desempenho quase em tempo real: é esperado que os sistemas ciberfísicos industriais emergentes estendam e informem as redes de automação existentes, o que exige arquiteturas ciberfísicas que possam lidar com o cenário de engenharia dependente do tempo. Esses cenários dependentes do tempo podem ser mais desafiadores de abordar usando arquiteturas de computação em nuvem, dado que a execução do modelo pode depender da disponibilidade e do desempenho da conectividade externa (por exemplo, banda larga). No entanto, a abordagem de computação de nuvem reduz significativamente as dependências de conectividade externa;
- Privacidade de dados industriais: espera-se que os sistemas emergentes para a Indústria 4.0 forneçam níveis adequados de privacidade de dados industriais, o que tem sido tradicionalmente realizado usando governança rígida e políticas de *firewall*³ em automação industrial e redes de controle. A arquitetura de computação de névoa oferece uma abordagem alternativa que requer apenas que dados industriais em tempo real sejam transmitidos para o nó de computação / névoa local e, assim, mitiga a necessidade de transmitir dados industriais em tempo real fora das redes de controle e automação da fábrica;
- Abertura e interoperabilidade: sistemas emergentes para a Indústria 4.0 devem empregar padrões abertos, com a intenção de promover a interoperabilidade do sistema, orientação para serviços e inteligência reutilizável. Isso contrasta com os sistemas e tecnologia de informação industrial tradicional, que são comumente baseados em tecnologias comerciais e proprietárias. A abordagem de computação de névoa abraça padrões abertos (por exemplo, *HTTP*⁴) para garantir que os modelos possam ser executados por sistemas e processos de terceiros usando chamadas de serviço da *web*, enquanto os resultados (por exemplo, falha detectada) podem ser propagados para outros serviços.

³ Um *firewall* é um dispositivo de segurança da rede que monitora o tráfego de rede de entrada e saída e decide permitir ou bloquear tráfegos específicos de acordo com um conjunto definido de regras de segurança.

⁴ HTTP é uma sigla de *HyperText Transfer Protocol*. É um protocolo baseado em texto sem conexão. Significa que o acesso de sites envia solicitações a servidores que as exibem na forma do seu site em formato de texto, imagens, e outros tipos de mídia.

Por fim, é válido comentar também sobre o rápido desenvolvimento das plataformas em nuvem, dos ambientes operacionais e de *hardware* dos centros de dados baseados na internet, nos últimos cinco anos. Durante esse período, grandes provedores de tecnologia contribuíram com sua capacidade de processamento computacional e de armazenagem de dados. Tais funcionalidades foram auxiliadas por parcerias técnicas estratégicas entre provedores de serviços especializados, que aumentam ainda mais o valor da computação em nuvem. Por exemplo, um provedor de infraestrutura em nuvem pode estabelecer uma parceria com um fornecedor de soluções analíticas. Nessa linha, avanços como computação móvel de borda (que reduz a congestão da rede e melhora o desempenho dos aplicativos) podem tornar as soluções de IoT mais fáceis de serem implementadas e utilizadas (DAHLQVIST et al. 2019).

II.2.2 Big Data e Analytics

Embora os humanos tenham coletado dados desde o início da história registrada, a taxa de aquisição de dados aumentou nos últimos anos, com projeções de constante crescimento. Por isso, o gerenciamento e distribuição de dados em *Big Data* é fundamental para alcançar máquinas autoconscientes e autoconstruídas (Lee et al., 2014).

No ambiente de negócios competitivo de hoje, as empresas enfrentam desafios para lidar com grandes quantidades de dados, de forma a tomar decisões para melhorar a produtividade. Muitos sistemas de fabricação não estão prontos para gerenciar *Big Data* devido à falta de ferramentas analíticas inteligentes (Lee et al., 2014). Para uma empresa, esses dados são muito importantes, pois fornecem informações preciosas, quando usados e analisados, permitindo adaptabilidade e flexibilidade nos níveis mais elevados da empresa. A análise de dados é uma chave essencial para a manufatura digital, atuando como um habilitador de tecnologias (D. Mourtzis et al., 2016).

O termo *Big Data* refere-se a uma grande quantidade de dados, rápidos ou complexos, difíceis ou impossíveis de processar usando métodos tradicionais. O ato de acessar e armazenar grandes quantidades de informações para análises já existe há muito tempo. Mas o conceito de *big data* ganhou força no início dos anos 2000, quando o analista do setor de estratégia de dados, Doug Laney articulou a base para a definição sobre *Big Data* como os três V's (SAS INSTITUTE, 2015):

- Volume: organizações coletam dados de uma grande variedade de fontes, incluindo transações comerciais, redes sociais e informações de sensores ou dados transmitidos de máquina a máquina. Anteriormente, armazenar tamanha quantidade de informações era um grande problema, mas novas tecnologias têm possibilitado tal atividade;
- Velocidade: os dados fluem em uma velocidade sem precedentes e devem ser tratados em tempo hábil. *Tags* de *Radio-frequency identification* (RFID), sensores, celulares e contadores inteligentes estão impulsionando a necessidade de lidar com imensas quantidades de dados em tempo real;
- Variedade: os dados são gerados em todos os tipos de formatos - de dados estruturados, dados numéricos em bancos de dados tradicionais, até documentos de texto não estruturados, e-mails, vídeos, áudios, dados de cotações da bolsa e transações financeiras.

O *Statistical Analysis System* (SAS INSTITUTE, 2015), sistema desenvolvido pela Universidade Estadual da Carolina do Norte (EUA) e hoje aplicado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), ampliou essas definições do *Big Data*, considerando duas novas dimensões adicionais:

- Variabilidade: além da velocidade e variedade de dados cada vez maiores, os fluxos de dados podem ser altamente inconsistentes com picos periódicos. Diariamente, picos de dados sazonais ou picos gerados com base em eventos podem ser um desafio a gerenciar;
- Complexidade: os dados vêm de várias fontes, o que torna difícil estabelecer uma relação, corresponder, limpar e transformar dados entre diferentes sistemas. No entanto, para que os dados não saiam rapidamente de controle, é necessário correlacionar relações, hierarquias e identificar as ligações de dados.

De acordo com o *SAS Institute (2015)*, a importância do *Big Data* não gira em torno do volume de dados obtidos, mas de como eles são utilizados. Há a possibilidade de obter dados de quaisquer fontes e analisa-los para encontrar respostas que permitam:

- Reduções de custos;

- Reduções de tempo;
- Desenvolvimento de novos produtos e ofertas otimizadas;
- Tomadas de decisão inteligentes.

A análise de grandes volumes de dados passou a fazer parte das indústrias somente nos últimos anos e trouxe como resultados economia de recursos, ganhos de qualidade na produção e melhorias no funcionamento de equipamentos. No contexto da Indústria 4.0, a coleta e a análise de dados de vários equipamentos distintos passaram a fazer parte do processo de tomada de decisão em tempo real (RÜßMANN et al., 2015). Corroborando com essa perspectiva, Qi et al.,(2018) abordam que, para explorar os dados, é preciso que eles sejam submetidos a uma análise avançada. A utilização de *Cloud Computing* (CC), por meio de análises avançadas, métodos e ferramentas, permite que dados *offline* e em tempo real sejam analisados e extraídos, como, por exemplo, aprendizado de máquina, modelos de previsão, entre outros.

II.2.3. Inteligência Artificial e Robôs Autônomos

As instalações em transição para a manufatura inteligente podem encontrar diversos desafios comerciais e técnicos. Estes vão desde tecnologias em tempo real e infraestruturas necessárias para operações de automatização, até a aquisição de pessoal multidisciplinar para sistemas de engenharia da Indústria 4.0 (COALITION, 2011).

Diversas indústrias, há muito tempo, usam robôs para realizar inúmeras tarefas, porém os robôs estão evoluindo para atender novas demandas. A sua evolução está atribuída a maior autonomia, flexibilidade e cooperação. Eventualmente, eles vão interagir uns com os outros e trabalhar com segurança lado a lado com os humanos e aprender com eles. Esses robôs tendem a custar menos e ter uma gama maior de capacidades do que aqueles usados na fabricação atualmente. Por exemplo, Kuka, um fabricante europeu de equipamentos robóticos, oferece robôs autônomos que interagem uns com os outros. Esses robôs estão interligados para que possam trabalhar e ajustar automaticamente as suas ações para os *gaps* de linhas de produção (RÜßMANN et al., 2015).

Inteligência artificial não é mais considerada ficção científica, ou uma fonte de esforços em pesquisa e desenvolvimento com a chance de não obter os resultados esperados. Porém, há uma mudança de paradigma relacionado a esse desenvolvimento: uma evolução de

décadas da disciplina científica como inteligência artificial (e suas várias subdisciplinas), como uma crescente série de tecnologias cognitivas aplicadas, disponibilizadas mais amplamente em arquiteturas corporativas inovadoras (PEREIRA et al., 2015).

Na verdade, a corrida para investir em inteligência artificial foi descrita como "a mais recente corrida armamentista do Vale do Silício". Desde 2012, foram 100 fusões e aquisições no setor de tecnologia, envolvendo empresas de tecnologia cognitiva, produtos e serviços. E essa onda de atividades de M&A⁵ não é o único sinal do interesse da indústria. Muitas capacidades que estavam apenas emergindo há alguns anos agora são essencialmente maduras e estão sendo "democratizadas", como também mais prontamente disponíveis para diversos negócios. Como resultado, as empresas líderes no uso de tecnologias cognitivas podem melhorar seus produtos e serviços existentes, bem como abrir para novos mercados (PEREIRA et al., 2015).

Segundo Guszczka e Maddirala (2016), uma tendência é a crescente onipresença das tomadas de decisões baseadas em dados e aplicações de inteligência artificial. Ainda, de acordo com Pereira et al. (2015), empresas em qualquer indústria ou mercado irão explorar ainda mais o potencial das tecnologias cognitivas desenvolvidas a partir da robótica e inteligência artificial, sendo as suas atribuições as seguintes:

- Visão computacional: a capacidade dos computadores de identificar objetos, cenas e atividades em ambientes visuais não treinados;
- Aprendizado de máquina: a capacidade dos sistemas de computador de melhorar seu desempenho por exposição a dados sem a necessidade de seguir instruções explicitamente programadas;
- Processamento de linguagem natural (PNL): a capacidade dos computadores de trabalhar com texto da maneira que os humanos fazem, por exemplo, extrair significado do texto ou mesmo gerar texto legível, estilisticamente natural e gramaticalmente correto;
- Reconhecimento de fala: a capacidade de transcrever automaticamente e com precisão a fala humana;
- Otimização: a capacidade de automatizar decisões complexas e trade-offs sobre recursos limitados;

⁵ A sigla vem do inglês Mergers and Acquisitions, que, em português, significa Fusões e Aquisições (F&A).

- Planejamento e agendamento: a capacidade de elaborar automaticamente uma sequência de ações para cumprir metas e observar restrições;
- Sistemas baseados em regras: a capacidade de usar bancos de dados de conhecimento e regras para automatizar o processo de fazer inferências sobre informações;
- Robôs: o campo mais amplo da robótica também está adotando tecnologias cognitivas para criar robôs que possam trabalhar juntos, interagir, ajudar ou entreter as pessoas. Esses robôs podem realizar muitas tarefas diferentes em ambientes imprevisíveis, integrando tecnologias cognitivas, como visão computacional e planejamento automatizado com sensores minúsculos e de alto desempenho, atuadores e *hardwares*.

II.2.4. Internet das Coisas (IoT)

A expressão Internet das Coisas foi criada em 1999 e referia-se, inicialmente, ao uso de tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID) como indicadores únicos de “coisas” interoperáveis. (PISCHING, 2018). A internet das coisas é a chave para converter qualquer sistema em inteligente. Os sistemas operacionais recentes são usados para atender aos requisitos dos sistemas modernos. Existem muitas plataformas para a Internet das coisas que foram desenvolvidas. IoT (sigla em inglês) é resultante da convergência de sistemas industriais com computação avançada, sensores e sistemas de comunicação onipresentes. Os últimos desenvolvimentos do IoT permitem conectar e monitorar o desempenho dos ativos em tempo real, bem como integrar a produção e processos de consumo. (MCKINSEY & COMPANY, 2018).

A IoT é uma ideia abstrata que teve início quando houve a necessidade da integração da tecnologia de computação em diversos trabalhos cotidianos realizados em casa e no trabalho. Começou com a ideia de marcar e rastrear "coisas" com tecnologias de sensores de baixo custo, como dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID⁶). No entanto, o paradigma mudou à medida que o mercado começou a fornecer tecnologias de computação de baixo custo e de comunicação baseadas na internet, simultaneamente com a ascensão do onipresente smartphone. Essa combinação de computação de baixo custo e rede de banda larga generalizada permitiu que a IoT evoluísse. Agora, a IoT inclui todos os tipos de

⁶ RFID vem do termo em inglês *Radio Frequency Identification* que significa Identificação por Radiofrequência. Esta tecnologia funciona como um sistema de captura de dados realizado através de um sinal de radiofrequência.

dispositivos que vão desde eletrodomésticos, lâmpadas, sistemas de automação e relógios até carros e caminhões. Tecnicamente falando, a IoT é uma coleção de artefatos físicos que contêm sistemas embarcados elétricos, mecânicos, computacionais e de comunicação que permitem a comunicação baseada na internet e a troca de dados (THAMES et al, 2016).

As primeiras organizações a adotarem a tecnologia conseguiram ir além das fases piloto e ampliar a escala de soluções de IoT para incluir todos os seus negócios. A IoT já permitiu o surgimento de diversas aplicações marcantes em áreas tão distintas como Indústria 4.0, cidades inteligentes, residências automatizadas, automóveis conectados. Além disso, seus avanços significam que todos os setores afetados podem hoje acessar funcionalidades que não existiam há cinco anos. (DAHLQVIST et al. 2019). Pelo uso de IoT, as operações de negócios se tornam mais ágeis e integradas, além de se tornarem competitivas. Portanto, as capacidades de IoT das empresas seriam cruciais no futuro, principalmente se associada à agilidade operacional e tomada de decisão eficaz (Akhtar et al., 2017).

A tecnologia de sensores, inserida nos equipamentos de IoT, continuará a ter seu preço reduzido, se tornará mais avançada e estará disponível em maior escala. Tal disponibilidade e eficiência de custos, por sua vez, possibilitarão novas aplicações de sensores, incluindo detecção e monitoração em larga escala. Ao mesmo tempo, a capacidade de processamento computacional aumentou cerca de cem vezes nos últimos 15 anos (DAHLQVIST et al. 2019).

II.2.5. Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva, também denominada fabricação inteligente, aproveita tecnologias avançadas de informação e produção para alcançar processos de fabricação flexíveis, inteligentes e reconfiguráveis para abordar um mercado dinâmico e global. (SHEN, 1999).

Segundo Bromberger et al (2017), a manufatura aditiva apresenta o processo de desenvolver um produto camada por camada, em vez de usar moldagem tradicional ou métodos subtrativos. Tornou-se uma das aplicações de tecnologia mais revolucionárias na manufatura e muitas vezes referida como impressão 3D. As formas mais conhecidas de AM (sigla em inglês para *Additive Manufacturing*) hoje dependem do material:

- SLS (sinterização seletiva a laser);

- SLA (estereolitografia) e FDM (modelagem por deposição fundida) em plásticos;
- DMLS (laser de metal direto sinterização) e LMD (deposição de metais a laser) em metais.

Antes usada exclusivamente para prototipagem, a AM agora é cada vez mais empregada para peças de reposição, produção em pequenas séries e ferramentas. Para a fabricação com metais, a capacidade de usar materiais existentes, como aço, alumínio ou superligas, como o Inconel, facilitou significativamente o processo de adoção do AM.

As empresas começaram a adotar a fabricação aditiva, principalmente para protótipos e componentes individuais. Com o avanço da Indústria 4.0, a fabricação aditiva poderá ser amplamente utilizada para produzir pequenos lotes de produtos personalizados que oferecem vantagens de construção, como *designs* complexos e leves. Sistemas de fabricação aditiva descentralizados de alto desempenho reduzirão as distâncias de transporte e os estoques (RÜBMANN et al., 2015).

II.2.6. Realidade Aumentada

Esta tecnologia proporciona a interação homem-máquina, controle remoto em tarefas de manutenção e inspeção remota fornecidas virtualmente. Há diversas aplicabilidades, combinando gráficos e objetos físicos gerados por computador (Akhtar et al., 2017).

A realidade aumentada (AR, sigla para *Augmented Reality*) é a adição de informação ou recursos visuais para o mundo físico, por meio de uma imagem gráfica, sobreposição de áudio, com o intuito de melhorar a experiência do usuário em uma tarefa ou com um produto. É distinta da Realidade Virtual, cuja utilização baseia-se na recriação da realidade dentro de uma experiência confinada (PWC BRASIL LTDA 2016).

Sistemas baseados em AR suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um depósito e o envio de instruções de reparo em dispositivos móveis. Esses sistemas estão atualmente em estágio inicial, mas, no futuro, as empresas poderão fazer uso muito mais amplo da realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores informações em tempo real a fim de melhorar a tomada de decisões e procedimentos de trabalho. Por exemplo, os trabalhadores podem receber instruções de reparo sobre como substituir determinada parte, já que estão acompanhando o sistema real que precisa de reparos. Essas informações podem

ser exibidas diretamente no campo de visão dos trabalhadores usando dispositivos como óculos de realidade aumentada (RÜßMANN et al., 2015).

Outra aplicação é o treinamento virtual. A Siemens desenvolveu um módulo de treinamento de operador de planta virtual para seu *software* “Comos”, que usa um ambiente 3D realista baseado em dados com óculos de realidade aumentada para treinar o pessoal da fábrica para lidar com emergências. Nesse mundo virtual, os operadores podem aprender a interagir com as máquinas, clicando em uma representação cibernética. Eles também podem alterar parâmetros e recuperar dados operacionais e instruções de manutenção (RÜßMANN et al., 2015).

II.2.7. Simulação

A tecnologia está evoluindo em um ritmo acelerado e as empresas precisam se adaptar a essa evolução constante. Nos últimos anos, a aplicação industrial do paradigma e os princípios da Indústria 4.0 derivaram da introdução das tecnologias mais recentes para monitoramento, controlando e otimizando processos (FERNÁNDEZ-CARAMÉS et al., 2018).

Na fase de engenharia, simulações de produtos, materiais e processos já são usados, mas, no futuro, as simulações poderão ser usadas mais extensamente também nas operações da fábrica. Essas simulações irão alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos. Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da mudança física, assim reduzindo os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade (RÜßMANN et al., 2015).

As simulações poderão ser usadas mais amplamente também nas operações de plantas para aproveitar os dados, com a visualização em tempo real. Simulações 2D e 3D podem ser criadas para comissionamento virtual, com a simulação de tempos de ciclo, consumo de energia ou aspectos ergonômicos de uma instalação de produção. Usos de simulações de processos podem não apenas encurtar os tempos de inatividade e alterá-los, mas também reduzir as falhas de produção durante a fase de inicialização. A qualidade da tomada de decisão pode ser crucialmente rápida com esses otimizadores (VAIDYA et al., 2018).

Como uma ferramenta poderosa para analisar sistemas estocásticos complexos, a simulação por computador tem sido comumente usada em um amplo espectro de campos. Em

particular, a simulação tem desempenhado um papel significativo na avaliação do projeto e do desempenho operacional dos sistemas de manufatura. As aplicações bem-sucedidas da simulação em muitos problemas práticos do mundo real provaram sua eficácia na abordagem de vários problemas no setor de manufatura (NEGAHBAN et al., 2014).

II. 3 Gerenciamento de Projetos

II.3.1 Definições gerais e panorama histórico do Gerenciamento de Projetos

As pessoas têm conduzido projetos por milênios. As pirâmides, a Grande Muralha da China e os aquedutos romanos testemunham a sofisticação de alguns desses projetos. Em sua maioria, o método de realizá-los implicava mais arte do que ciência. Foi só nos últimos tempos que começaram a abordar sistematicamente o esforço de gestão de projetos e a derrubar as balanças em favor da ciência sobre a arte (FRAME, 1994).

Frederick Winslow Taylor (1856-1915), pioneiro na administração científica, foi responsável pela introdução da gestão científica, com a concepção de que todo trabalho pode ser analisado e aperfeiçoado a partir da sua divisão em pequenas partes para melhor avaliar o todo. Henry Laurence Gantt (1861-1919), pioneiro na introdução das práticas de gestão de projetos, por sua vez, foi responsável pelo estudo da ordem das operações do trabalho, resultando, assim, na representação sequencial de todas as tarefas com base numa escala temporal. Tal representação, conhecida como gráfico de Gantt, costuma estar presente nos *softwares* de gerenciamento de projetos (Gouveia, 2010). Ambos legaram enormes contribuições e foram precursores de ferramentas e técnicas.

Vargas (2018) indica, em seu livro, que o *Project Management Institute* (PMI), juntamente com a *Economist Intelligence Unit*, realizou uma pesquisa sobre o universo dos projetos e constatou que cerca de 15 trilhões de dólares foram empregados no ano de 2018 em projetos. Esse valor correspondia a 25% da economia mundial, que apresenta o valor de 85 trilhões de dólares. Baseando-se na mesma pesquisa, o autor afirma que a demanda tem a capacidade de gerar 15,7 milhões de empregos e funções relacionadas ao gerenciamento de projetos em sete indústrias (manufatura, serviços, finanças, petróleo e gás, tecnologia da informação, construção e utilidades).

No ano de 1969, foi fundado o *Project Management Institute* (PMI), uma das organizações de gestão de projetos mais influentes a nível mundial (Gouveia, 2010). O PMI define o Guia de Gerenciamento de Projetos (PMBOK) que descreve o conhecimento no âmbito da profissão de gerenciamento de projetos, que inclui práticas tradicionais comprovadas e amplamente aplicadas, bem como práticas inovadoras que estão surgindo na profissão (PMI, 2017). O processo de gerenciamento de projetos, assim como uma parcela significativa das atividades humanas, ocorre por meio de processos que se sobrepõem e interagem de diferentes maneiras e garantem o fluxo eficaz do projeto ao longo de sua existência, sendo formado por conjuntos de ações e atividades logicamente interrelacionadas (VALE et al., 2004).

A definição de gerenciamento de projetos sugere um contexto mais específico para definir o sucesso do projeto. Esses resultados do sucesso da gestão de projetos são muitos. Os mesmos incluem os indicadores ao orçamento dentro do *budget* inicial, de forma a executar o cronograma do projeto dentro do prazo, cumprindo padrões adequados de qualidade e as metas esperadas do projeto (MUNNS et al., 1996). Adicionando a isso, Brinkkemper (1996) define os métodos de gerenciamento de projetos como uma forma estruturada de gerenciar projetos compostos por regras e direções e baseia-se em uma maneira específica de pensar. Corroborando o assunto, de acordo com Kerzner (2003), o alcance da excelência em gerenciamento de projetos não é possível sem um processo repetitivo que possa ser utilizado em cada projeto.

As metodologias de gerenciamento de projetos são regularmente empregadas com o objetivo de aumentar a eficiência e a eficácia do projeto. Organizações do setor público e privado em todo o mundo investem recursos significativos em esforços, desde uma revisão e adaptação das práticas atuais até a adoção ou desenvolvimento de novas metodologias. (WELLS, 2012). De acordo com Cruz (2013), um projeto pode ter a duração de horas, semanas ou anos, além de não haver restrições para as pessoas envolvidas e recursos alocados. No mais, o autor prossegue afirmando que, para que isso seja possível o gerenciamento de projetos deve contemplar pelo menos:

- Identificação dos requisitos;
- Adaptação às diferentes expectativas das partes interessadas e às suas mudanças ao longo do ciclo de vida do projeto;
- Balanceamento adequado às restrições do projeto, que podem ser: Escopo;

- Qualidade;
- Cronograma;
- Orçamento;
- Recursos;
- Riscos.

As grandes organizações utilizam a gestão de projetos como o seu principal estilo de gestão, tornando-se, assim, cada vez mais uma disciplina central (VAN DER MERWE, 2002). A implementação de maneira adequada da gestão de projetos pode gerar grande valor para uma organização e a maturidade do gerenciamento de projetos também pode afetar o valor que uma organização pode alcançar com a utilização de boas práticas (SHI, 2011).

Segundo Van der Merwe (2002), projetos de desenvolvimento industrial, como plantas químicas, centrais elétricas, pontes, barragens e fábricas, na maioria dos casos, utilizam recursos humanos com uma equipe centralizada, trabalhando em tempo integral, e em um projeto de cada vez. A duração do projeto pode ser de anos e todos os custos do projeto são despesas de capital, sendo certo que, em um período a ser avaliado, o investimento deverá ter retornos, sejam esses tangíveis ou intangíveis para a empresa.

A maior parte do esforço de gestão é gasta na fase de planejamento devido a períodos de implementação muito curtos, e que mudanças nos planos originais resultam em resultados não esperados e alto risco de falha do projeto. Gerenciar pessoas é a atividade-chave à medida que as pessoas gerenciam as tarefas. O risco do projeto requer alinhamento com direção estratégica e as mudanças nas janelas de oportunidade continuam sendo uma ameaça constante em todo o projeto. O risco do produto é quantificado na fase de planejamento como parte do projeto e, caso ocorra durante a sua implementação, há a influência negativa sobre o tempo, o custo e a qualidade. (VAN DER MERWE, 2002).

Após a contextualização em um panorama geral do gerenciamento de projetos, com um primeiro direcionamento sobre escopo e os desafios da área, faz-se necessário dissertar sobre o gerenciamento de projetos *Waterfall*, delimitando-se suas características para aprofundar no estudo posteriormente.

II.3.2 Metodologia de Gerenciamento de Projetos *Waterfall*

Singh et al (2014) abordam, em seu trabalho, que a literatura da área de gerenciamento de projetos tem interpretações distintas sobre os diferentes modelos, metodologias e *frameworks* nos estudos, como também fornece abordagens sobre gestão de programas, portfólio e escritórios de gerenciamento de projetos, com a definição de sistemas de processos, procedimentos, ferramentas, técnicas e recursos empregados durante o ciclo de vida dos projetos com o objetivo de promover a eficácia e eficiência do gerenciamento, por meio da consecução das boas práticas.

A metodologia *Waterfall* é uma das formas mais tradicionais de gerenciamento de projetos. Esse método tem característica sequencial, ou seja, a próxima ação só é iniciada quando a fase anterior se encontra em sua completude. Não é permitido saltar etapas, voltar ou substituir atividades. Além disso, todos os requisitos são definidos no início do projeto e geralmente não sofrem alterações durante a execução. As fases, delimitadas no fluxograma a seguir (figura 2), são as mais comuns sob uma ótica tradicional, sejam essas: Iniciação, planejamento, execução e encerramento, tendo a sua composição modificada conforme especificações do projeto. Com a observação de que todo o monitoramento e controle é executado em todo o ciclo de vida.

Figura 2: Exemplo das fases do ciclo de vida do projeto (PMLC).



Fonte: Adaptado de Griffin et al., 2013.

O GP pode ser preditivo e/ou adaptativo. A abordagem preditiva, é designada por “*Waterfall*” e a abordagem adaptativa é referida como “Ágil”. Pode-se observar também que existem as seguintes denominações para ambas as formas de gerenciar projetos, a metodologia tradicional também é chamada de preditiva, cascata ou *Waterfall*, enquanto que a ágil pode ser denominada de interativa, incremental ou adaptativa (PMI, 2017).

Com a abordagem tradicional, fases distintas do ciclo de vida do projeto são facilmente reconhecíveis e, em uma primeira análise, pode-se assumir que sejam estáticas.

Todavia, os projetos são dinâmicos na natureza. As tarefas são completadas uma após a outra em uma sequência ordenada, exigindo que uma parte significativa do projeto seja planejada com antecedência. Por exemplo, em um projeto de construção, a equipe precisa determinar requisitos, projetar e planejar todo o edifício, e não apenas componentes incrementais, a fim de entender todo o escopo do esforço. A gestão tradicional de projetos pressupõe que os eventos que afetam o projeto são previsíveis e que ferramentas e atividades são bem compreendidas (SHAHU et al., 2013).

Metodologias tradicionais de projetos em cascata têm sido usadas há anos para implementar projetos de planejamento de recursos complexos e em grande escala (Fair, 2012). Contudo, a gestão ágil de projetos está ganhando uma atenção pública muito ampla recentemente e é considerada como "A" abordagem de gerenciamento de projetos para os projetos atuais, em comparação com o que é geralmente chamado de abordagem tradicional de gerenciamento de projetos. Todavia, a determinação de metodologia necessária é feita para adaptar às necessidades específicas da empresa que executa o projeto (ŠPUNDAK et al, 2011).

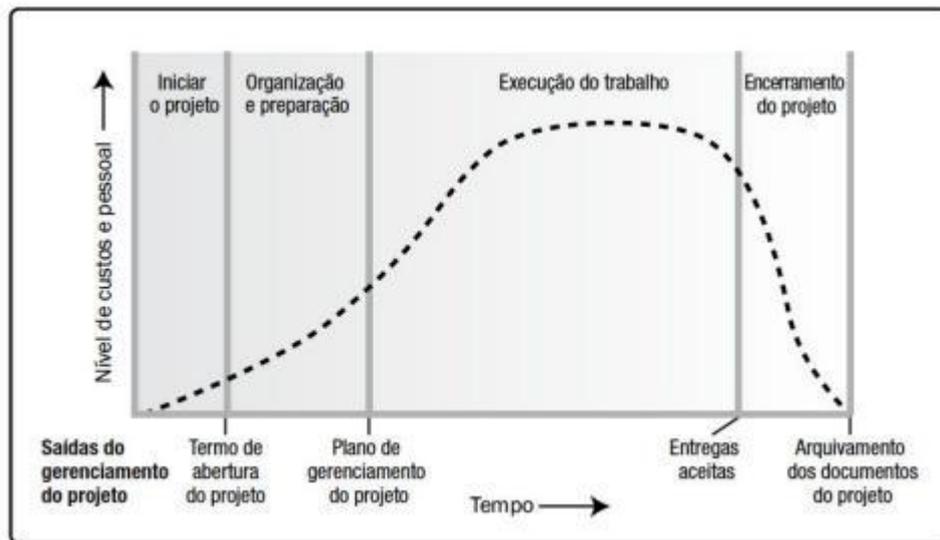
O PMBoK *guide* (2004) divide os processos aplicados ao gerenciamento de projetos em cinco grupos, sendo o monitoramento e controle presente em todas as fases:

- Iniciação: define e autoriza o projeto ou uma fase do projeto;
- Planejamento: define e refina os objetivos do projeto e planeja as ações necessárias para que o projeto atinja os objetivos e o escopo para o qual foi concebido;
- Execução: integra as pessoas e os recursos necessários para a execução do projeto;
- Encerramento: formaliza a aceitação do produto, serviço ou resultado e permite ao projeto ou fase do projeto um encerramento organizado;
- Monitoramento e Controle: mede e monitora o progresso do projeto, buscando identificar possíveis variações em relação ao planejamento, o que permite que ações corretivas sejam implementadas para que o projeto atinja seus objetivos.

Segundo o guia da PMBoK (2014), há uma estrutura genérica das fases do ciclo de vida, em que todos os projetos podem ser mapeados, como mostrado na Figura 3. Os projetos se iniciam com a mobilização de recursos, prosseguem com a execução das atividades e

alocação de recursos e finalizam com a desmobilização dos recursos, sendo estas as suas fases.

Figura 3 - Fases gerais de um projeto.



Fonte: PMI, 2004.

Segundo Fair (2012), existem algumas diferenças importantes entre um projeto em cascata tradicional e um projeto ágil, que incluem o seguinte:

- Planos de projeto detalhados e de longo prazo com cronograma único;
- Gerenciamento de projeto definitivo e rígido e funções de equipe;
- Mudanças nas entregas são desencorajadas e caras;
- Produto totalmente concluído entregue no final do cronograma;
- Abordagem baseada em contrato para escopo e requisitos;
- O cliente normalmente está envolvido apenas no início e no final de um projeto;
- Abordagem em fase linear cria dependências.

A abordagem pode ser aplicada a qualquer ambiente de projeto, mas nas situações em que os projetos envolvam volatilidade de requisitos e alto grau de incerteza de mudança, essa abordagem apresenta dificuldades em responder com rapidez, levando por vezes a conflitos na relação com o cliente e no cumprimento do prazo estabelecido (RIBEIRO et al., 2006).

Consequentemente, há a necessidade de maior integração entre as 10 áreas de conhecimento do PMBOK®, sendo essas abordadas na figura 4 a seguir:

Figura 4: 10 áreas de conhecimento do PMBOK®.



Fonte: Google Imagens, disponível em: <https://www.diegomacedo.com.br/tag/gerenciamento/>.

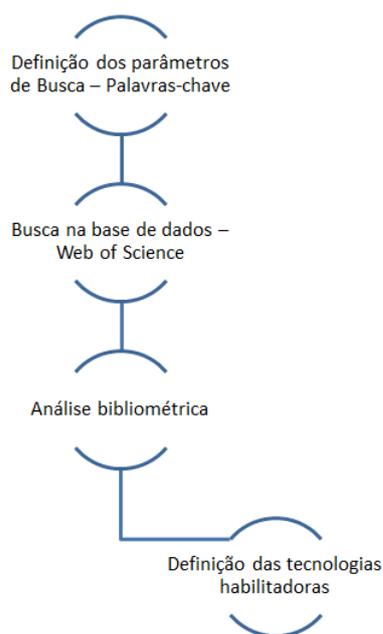
III. Metodologia de trabalho

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no presente trabalho. Para iniciar a análise, primeiro foi necessário definir as principais bases de pesquisa a serem utilizadas. Com o objetivo de explorar tanto a perspectiva dos documentos da academia quanto do mundo corporativo, optou-se por explorar duas frentes: Bases de artigos acadêmicos e documentos de empresas e instituições relacionadas com gerenciamento de projetos.

A pesquisa foi realizada entre os meses de março e junho de 2021 e os termos foram definidos em 3 (três) etapas: (i) a primeira pesquisa foi efetuada na já mencionada base *Web of Science*; (ii) a segunda, em revistas de consultoria de gerenciamento de projetos; e, por fim, (iii) a terceira, na página oficial do PMI.

Na pesquisa voltada ao ambiente acadêmico, o Portal de Periódicos CAPES foi acessado para determinar a base de dados na qual seriam coletados os materiais de interesse do estudo. Assim, a base de dados selecionada para investigação foi a *Web of Science* (base de dados internacional, multidisciplinar e com grande abrangência de áreas de pesquisa). A figura 5 representa o fluxograma da metodologia usada para elaboração deste estudo para a busca voltada ao meio acadêmico. Para o desenvolvimento deste estudo, optou-se por realizar análise bibliométrica a partir das seguintes etapas:

Figura 5: Fluxograma de metodologia - Pesquisa *Web of Science*



Fonte: Elaboração própria.

Para a primeira (i) etapa da análise, todas as pesquisas relacionadas ao âmbito científico foram organizadas em um banco de dados em Excel. A base de artigos utilizada foi a *Web of Science*, a pesquisa foi realizada com as palavras-chave por tópico: “*Industry 4.0*” e “*Project Management*” identificando um total de 317 (trezentos e dezessete) documentos, conforme indicado na tabela 1 seguinte:

Tabela 1: Dados obtidos - Palavras-chave: “*Industry 4.0*” e “*Project Management*” - *Web of Science*.

Palavras-chave	Palavras-chave 2	Período de Análise	Plataforma	Busca por	Total de documentos	Restrição	Documentos pós restrição
Industry 4.0	Project Management	Março e Junho de 2021	Web of Science	Tópico	317	Acesso aberto	133

Fonte: Elaboração própria

Sobre as condições de restrição do trabalho, há a necessidade de pontuar que, dentre os documentos pesquisados nas bases acadêmicas, pelo acesso liberado para a UFRJ, via sistema café, seguiram as restrições:

- Somente artigos em acesso aberto.

Tal dificuldade comprometeu a quantidade de dados disponíveis para análise, uma vez que, do total de bases avaliadas, reduziu-se a 133 (cento e trinta e três) artigos. Todavia, será realizada também uma análise do conteúdo de cada artigo, de forma a alinhar somente aqueles que o abstrato apresenta um direcional para o presente trabalho.

Ademais, para a (ii) segunda etapa foi estabelecido um critério de seleção das três maiores empresas de consultoria estratégica do mundo, nomeadas também como *The Big 3*, a fim de garantir que os resultados encontrados (Figura 6) destinem-se a obter as maiores tendências mundiais, sendo estas: *McKinsey*, *Boston Consulting Group (BCG)* e *Bain & Company*, cujos resultados e posições são os seguintes:

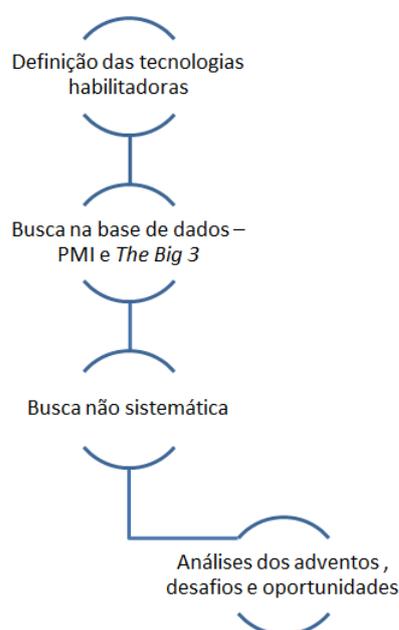
Figura 6: “*The Big 3*”.

Posição	Empresa	Receita Global	Número de Empregados
1	McKinsey	\$10,5 bilhão de dólares (2019)	30.000
2	Boston Consulting Group	\$8,6 bilhão de dólares (2020)	22.000
3	Bain & Company	\$4,5 bilhão de dólares (2019)	10.500

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez definido o grupo de empresas a serem analisadas, compilaram-se dados acerca das iniciativas lançadas e a sua potencial aplicação no gerenciamento de projetos em cascata. As fontes das informações coletadas incluíram relatórios anuais, *press releases*, artigos e relatórios. Em seguida, as iniciativas encontradas foram analisadas a fim de verificar similaridades e diferenças na adoção das tecnologias habilitadoras e na abordagem no contexto veiculado no trabalho, conforme indicado no fluxograma (figura 7) apresentado a seguir:

Figura 7: Fluxograma de metodologia - Pesquisa PMI e *The Big 3*.



Fonte: Elaboração própria.

Além disso, para a (iii) terceira etapa da análise consistiu em estudar de forma comparativa os resultados acadêmicos com documentos produzidos pelo PMI e pelas *The Big 3*. Finalizando o contexto de análise, para os resultados obtidos com o PMI e pelas *The Big 3*, pode-se indicar que a pesquisa seguirá uma diretriz não sistemática, pois não se configura como pesquisa empírica.

Uma vez definidas as bases a serem analisadas, as quais são apresentadas neste capítulo, foi realizada a compilação de dados acerca de pesquisas relacionadas e de novas iniciativas. Para isso, foram considerados os projetos ligados às tecnologias digitais da Indústria 4.0, discutidas no capítulo 4 deste trabalho.

Além disso, é importante pontuar que não foram considerados neste estudo os artigos relacionados ao desenvolvimento de projetos em TI, nanotecnologia e biotecnologia, visto que a sua aplicabilidade, no geral, é bem consolidada em ambas as metodologias: Ágil e *Waterfall*. Ademais, essa pesquisa busca apresentar uma avaliação de outros setores onde há até o momento grandes discussões sobre as vantagens e desvantagens da aplicação das formas de gerenciamento.

IV. Discussão dos resultados - Iniciativas da Indústria 4.0 com aplicabilidade no gerenciamento *Waterfall*

IV.1 Análise Bibliométrica - *Web of Science* e *VOSviewer*

Conforme mencionado anteriormente, neste capítulo são analisados os resultados da pesquisa. Em seguida, são analisadas as informações obtidas e faz-se uma comparação dos resultados encontrados com dados provenientes de publicações relevantes, a fim de discutir sobre o status dessas novas tendências.

Para a primeira etapa foram obtidos: 317 (trezentos e dezessete) documentos, com as palavras-chave: “*Industry 4.0*” e “*Project Management*”, que abordavam amplas questões sobre o gerenciamento de projetos e Indústria 4.0.

Para a análise dos resultados dessa pesquisa, voltada ao ambiente acadêmico, com as restrições indicadas na metodologia apresentou 133 artigos. Consequentemente, os resultados abordarão uma análise preliminar dessas tendências nas diversas categorias, anos de publicação, áreas de conhecimentos e palavras-chave. Dessa forma, há o seguinte resultado, simulado no site da *Web of Science* (tabela 2) para as categorias obtidas nessa análise e o grau de recorrência desses artigos:

Tabela 2: Tabela de Dados - 133 Documentos - Categorias.

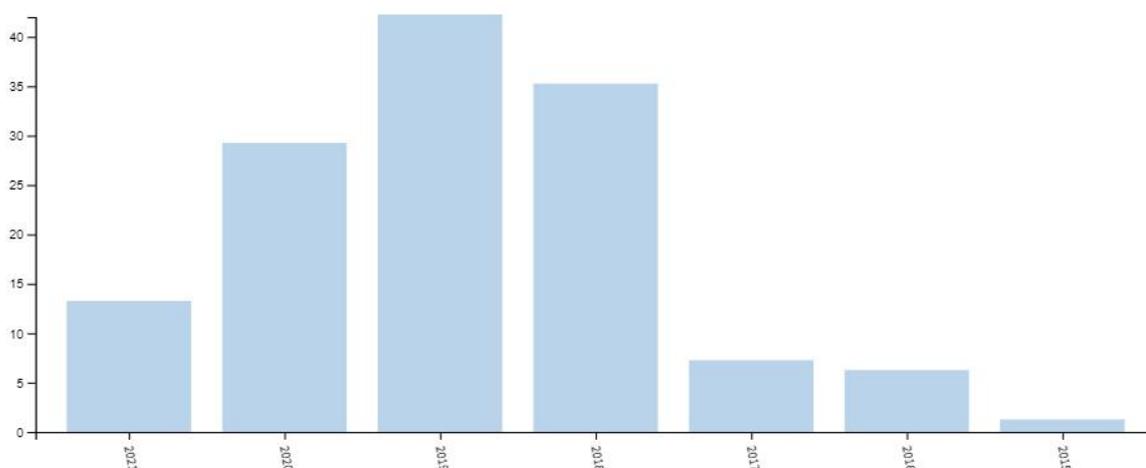
<i>Categorias do Web of Science</i>	Registros	%
COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS	27	20.301
MANAGEMENT	20	15.038
ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY	17	12.782
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE	16	12.030
ENGINEERING INDUSTRIAL	15	11.278
ENGINEERING MANUFACTURING	14	10.526
INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE	12	9.023
COMPUTER SCIENCE THEORY METHODS	11	8.271
MEDICAL INFORMATICS	11	8.271
MATERIALS SCIENCE MULTIDISCIPLINARY	10	7.519
ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC	9	6.767
AUTOMATION CONTROL SYSTEMS	8	6.015
ENGINEERING MECHANICAL	7	5.263
PHYSICS APPLIED	7	5.263
CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY	6	4.511
CHEMISTRY MULTIDISCIPLINARY	5	3.759
COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS	5	3.759
ENGINEERING CIVIL	5	3.759
ENVIRONMENTAL SCIENCES	5	3.759
GREEN SUSTAINABLE SCIENCE TECHNOLOGY	5	3.759
COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	4	3.008
ENGINEERING CHEMICAL	4	3.008
ENVIRONMENTAL STUDIES	4	3.008
ARCHITECTURE	3	2.256
ECONOMICS	3	2.256
MULTIDISCIPLINARY SCIENCES	3	2.256
SOCIAL SCIENCES INTERDISCIPLINARY	3	2.256
TELECOMMUNICATIONS	3	2.256
BUSINESS	2	1.504
CHEMISTRY ANALYTICAL	2	1.504
INSTRUMENTS INSTRUMENTATION	2	1.504
PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH	2	1.504
AGRICULTURE DAIRY ANIMAL SCIENCE	1	0.752
AREA STUDIES	1	0.752
BUSINESS FINANCE	1	0.752
CHEMISTRY PHYSICAL	1	0.752
CLINICAL NEUROLOGY	1	0.752
COMMUNICATION	1	0.752
ECOLOGY	1	0.752
EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH	1	0.752
EDUCATION SCIENTIFIC DISCIPLINES	1	0.752
ENERGY FUELS	1	0.752
ENGINEERING AEROSPACE	1	0.752
ENGINEERING ENVIRONMENTAL	1	0.752
EVOLUTIONARY BIOLOGY	1	0.752
FISHERIES	1	0.752
GEOGRAPHY	1	0.752
GEOGRAPHY PHYSICAL	1	0.752
HEALTH CARE SCIENCES SERVICES	1	0.752
LAW	1	0.752

Fonte: *Web of Science*.

A princípio, pode-se avaliar que essas publicações apresentam um potencial de impacto em diversas áreas de conhecimento. Contudo, é notório a maior proporção de artigos voltados à área de sistemas informativos da ciência da computação, engenharia e *business*, que representam um total de 64 artigos, ou seja, aproximadamente 48% das publicações.

Seguindo nessa linha de raciocínio, é importante analisar também a apresentação desses artigos ao longo dos anos. Esse resultado é apresentado no próximo gráfico (Figura 8):

Figura 8: Gráfico de Barras - 133 Documentos - Anos de publicação



Fonte: *Web of Science*

A busca por avaliar a tendência de artigos publicados para os próximos anos, pode-se indicar também que, considerando o cenário de 2018-2020, houve um crescimento muito significativo de artigos publicados. E o ano de 2021 já apresenta 13 artigos desenvolvidos, assim sendo quase metade dos artigos publicados no ano anterior. Logo, pode-se avaliar que a conexão entre os assuntos abordados, apresenta um cenário de maior tendência a ser avaliado no meio acadêmico.

A análise seguinte baseia-se em consolidar e verificar quais são as principais tendências nas áreas de pesquisa, ou seja, onde esse assunto é mais abordado para o desenvolvimento de novos trabalhos. Esse resultado é apresentado na figura 9 a seguir:

Figura 9: Mapa de árvore - 133 Documentos - Áreas de Pesquisa.

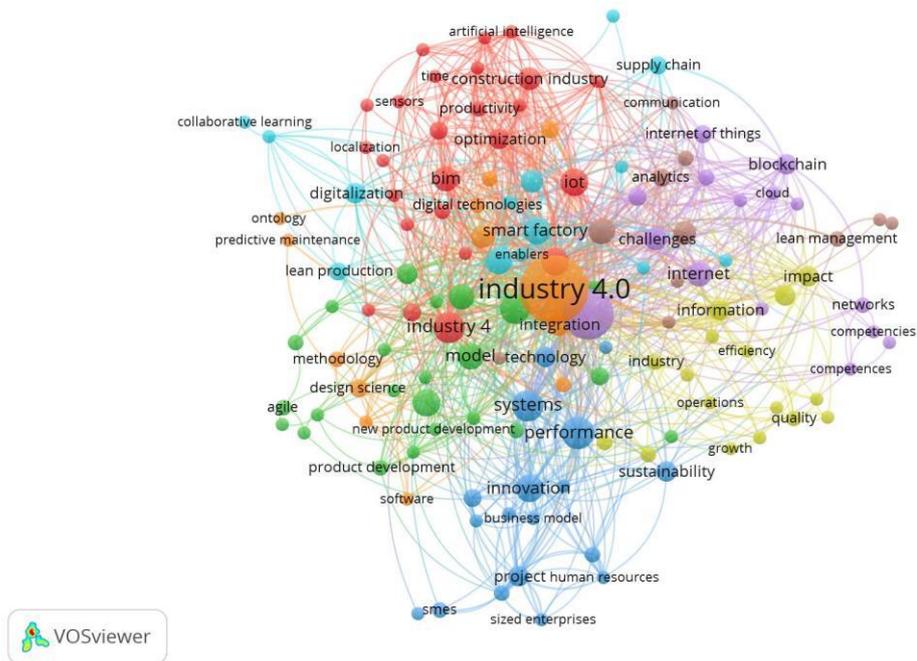


Fonte: *Web of Science*

Por fim, finalizando essa análise preliminar, há o indicativo de um mapa de área de pesquisa, cujo resultado mais abordado é a disciplina de engenharia, seguida da área de ciências da computação e seguida de economia de negócios. É válido abordar que um presente artigo pode enquadrar-se dentro de mais de uma categoria, porém só pode apresentar um assunto, ou seja, sendo coerente a quantidade de assuntos relacionados a engenharia.

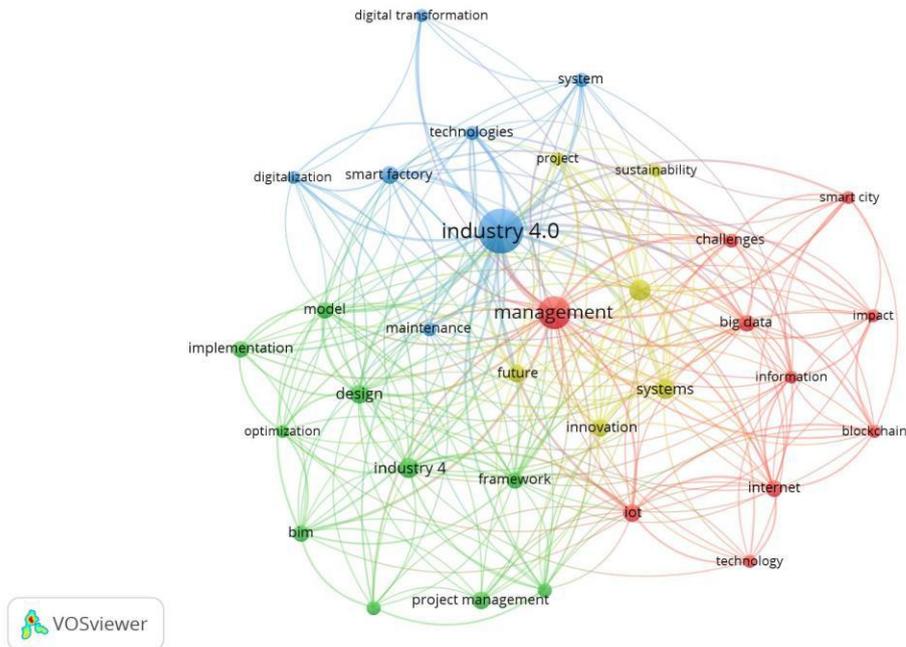
Com essa primeira base de resultados consolidados, desenvolveu-se a seguinte análise com as respectivas palavras-chave dos 133 (cento e trinta e três) textos. Segue o primeiro resultado de análise de coocorrência de palavras-chave:

Figura 11: Mapa visual de palavras chaves - 133 documentos - restrição de recorrência 2.



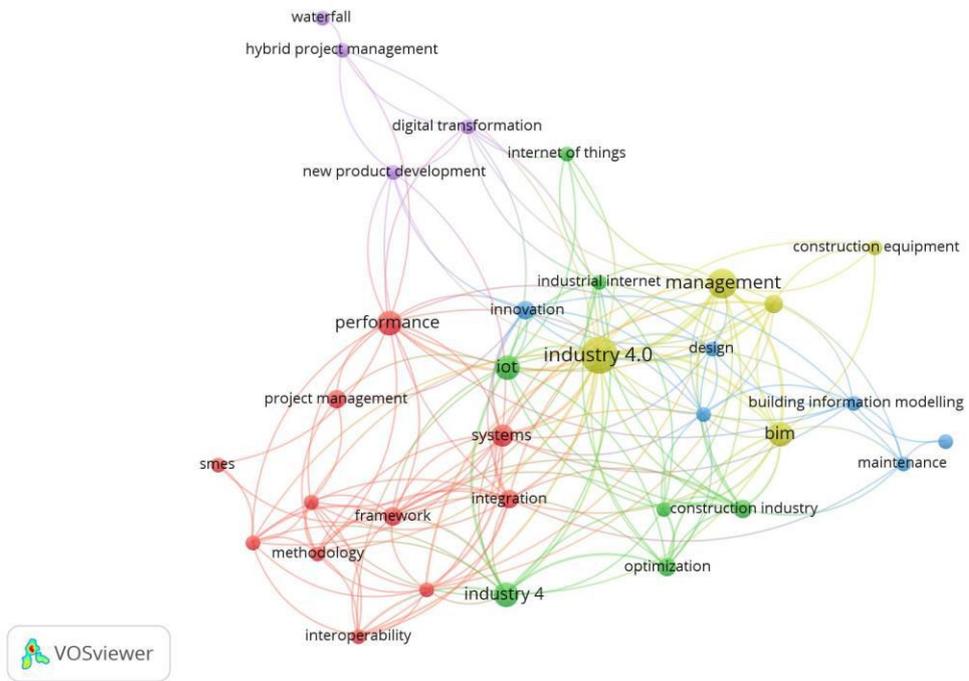
Fonte: Software *VOSviewer*.

Figura 12: Mapa visual de palavras chaves - 133 documentos - restrição de recorrência 5.



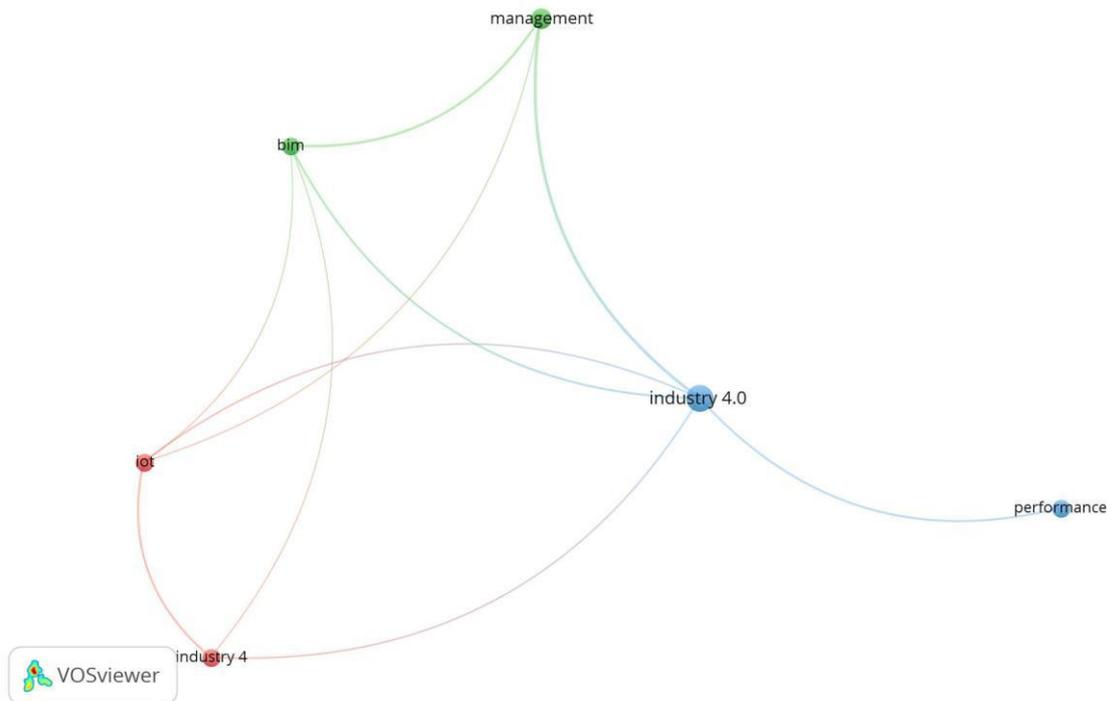
Fonte: Software *VOSviewer*.

Figura 14: Mapa visual de palavras chaves - 38 documentos - Restrição de recorrência 2.



Fonte: Software *VOSviewer*.

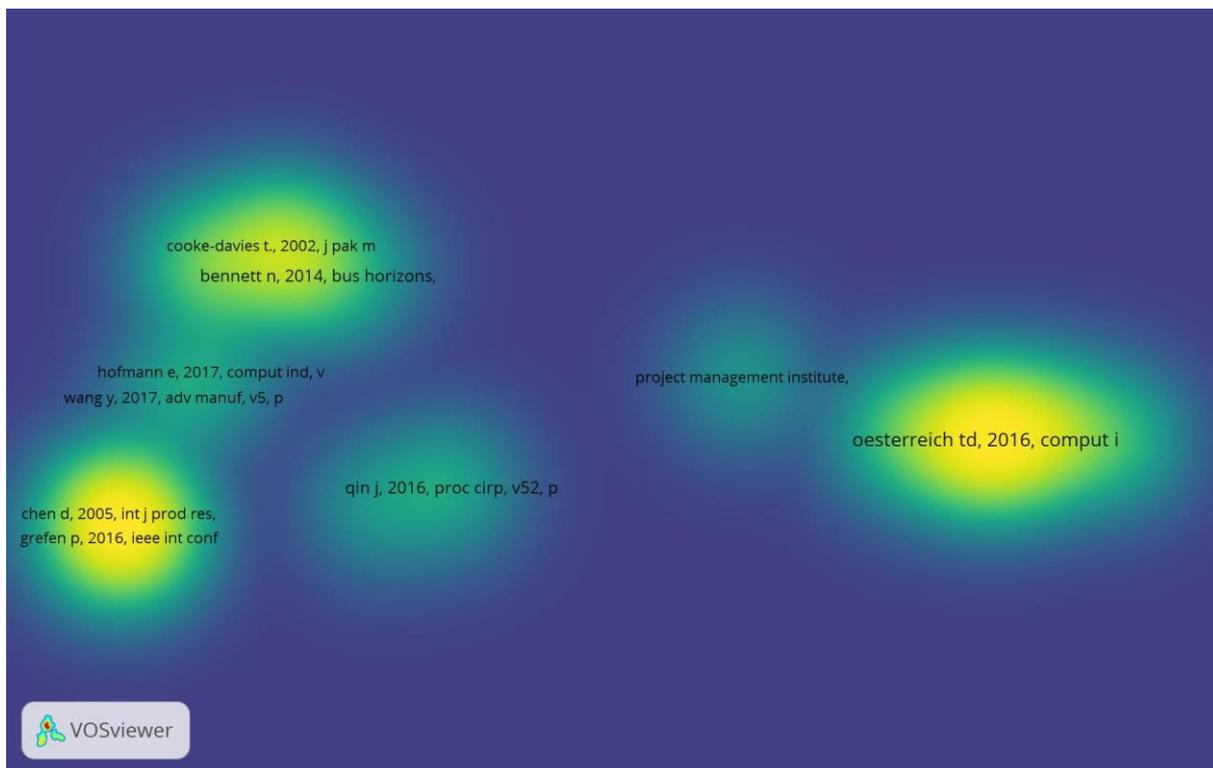
Figura 15: Mapa visual de palavras chaves - 38 documentos - restrição de recorrência 5.



Fonte: Software *VOSviewer*.

De forma a perpetuar essa análise, é válido também analisar quais as principais referências desses 38 (trinta e oito) artigos, por meio da seguinte imagem 16, que apresenta um mapa de calor, sobre o qual são apresentadas as principais fontes:

Figura 16: Mapa de calor - 38 documentos - principais referências.



Fonte: Software *VOSviewer*.

Com esse mapa de calor desenvolvido também na ferramenta *VOSviewer*, pode-se avaliar que existem 6 principais referências citadas nos 38 (trinta e oito) artigos determinados, sendo o PMI, uma das principais referências.

Ao longo do capítulo de resultados, as principais tecnologias analisadas são estudadas de acordo com as fases do gerenciamento de projetos, seguida de uma segunda avaliação sobre possíveis benefícios e aplicações potenciais dessas maiores tendências.

IV.2 Tecnologias habilitadoras

Uma vez definido o grupo de artigos a serem analisados, foi realizada a compilação de dados acerca das iniciativas abordadas. Para isso, foram considerados advenços e assuntos ligados às tecnologias digitais consideradas chave para a Indústria 4.0, discutidas no capítulo

II deste trabalho. Por isso, conforme abordado na última seção, por meio da análise dos 133 (cento e trinta e três) artigos, seguiu-se com a restrição até a obtenção dos 38 (trinta e oito) seguintes artigos (tabela 3):

Tabela 3: 38 principais referências.

Artigo	Iniciativas	Ano
<i>An introduction to the field of commercializing emerging materials manufacturing technologies in an IoT world</i>	Internet das Coisas Manufatura Aditiva Gerenciamento de Projetos	2018
<i>Transformation towards Sustainable Business Models in Production: A Case Study of a 3D Printer Manufacturer</i>	Manufatura Aditiva Modelo de negócios	2020
<i>BIM and Mechanical Engineering—A Cross-Disciplinary Analysis</i>	Building Information Modeling Arquitetura, Engenharia e Construção	2021
<i>Critical Success Factors of the Project Management in Relation to Industry 4.0 for Sustainability of Projects</i>	Gerenciamento de Projetos Sustentabilidade Recursos Humanos Indústria 4.0	2021
<i>Vive la révolution! But what about the people of Construction 4.0?</i>	Construção 4.0	2020
<i>A Fog Computing Based Cyber-Physical System for the Automation of Pipe-Related Tasks in the Industry 4.0 Shipyard</i>	Identificação por radiofrequência Indústria 4.0 Gestão da cadeia de abastecimento Internet das Coisas Nuvem	2018
<i>Automating construction manufacturing procedures using BIM Digital Objects (BDO): Case study of knowledge transfer partnership project in UK</i>	Building Information Modeling Cadeia de suprimentos da construção Internet das Coisas Indústria 4.0 Manufatura	2020
<i>Mirror-breaking strategies to enable digital manufacturing in Silicon Valley construction firms: a comparative case study</i>	Construção Manufatura habilitada digitalmente	2019
<i>Smart Hybrid Manufacturing Control Using Cloud Computing and the Internet-of-Things</i>	Manufatura inteligente Indústria 4.0 Robótica	2018
<i>Lean management in the context of construction supply chains</i>	Colaboração na cadeia de suprimentos de construção Building Information Modeling	Projeto 2019
<i>Technology 4.0 for buildings management: From building site to the</i>	Building Information Modeling Tecnologia 4.0	2019

<i>interactive building book</i>	Construção Internet das Coisas		
<i>The HORSE Project: The Application of Business Process Management for Flexibility in Smart Manufacturing</i>	Gestão de processos de negócios inteligente Indústria 4.0 Internet das coisas industrial	Fábrica	2020
<i>Pushing Digital Automation of Configure-to-Order Services in Small and Medium Enterprises of the Construction Equipment Industry: A Design Science Research Approach</i>	Indústria 4.0 Building Information Modeling Construção Digital Twin		2019
<i>Hybrides Projektmanagement</i>	Gerenciamento de Projetos Ágil Gerenciamento de Projetos Waterfall Gerenciamento de Projetos Híbrido		2021
<i>Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities</i>	Digital Twin Internet industrial Indústria 4.0 Internet das Coisas		2021
<i>Digital Twin for the Oil and Gas Industry: Overview, Research Trends, Opportunities, and Challenges</i>	Digitalização Digital Twin Indústria 4.0 Realidade Aumentada Internet industrial das Coisas Óleo e Gás		2020
<i>Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects</i>	Building Information Modeling Manufatura 3D Indústria		2020
<i>The contribution of IT-leveraging capability for collaborative product development with suppliers</i>	Cadeia de suprimentos Gerenciamento de Projetos		2020
<i>Integrating Building Information Modelling (BIM) and Sustainability to Greening Existing Building: Potentials in Malaysian Construction Industry</i>	Building Information Modeling Sustentabilidade		2020
<i>Construction 4.0: A survey of research trends</i>	Indústria de construção Indústria 4.0 Construção 4.0 Tecnologias digitais		2020
<i>Hybrid project management for sociotechnical digital transformation context</i>	Gerenciamento de Projetos Gerenciamento de Projetos Híbridos Transformação digital		2019

<i>Effectiveness of quality management during implementation of innovative projects as the basis of company's strategic development</i>	Projetos inovativos Desenvolvimento estratégico	2020
<i>Knowledge management framework for the collaborative innovation projects: A case of aviation industry in the UAE</i>	Gestão do conhecimento Projetos de inovação colaborativa	2017
<i>Advances in 3D Measurement Data Management for Industry 4.0</i>	3D Gerenciamento de dados de medição Cadeia de Processo	2017
<i>Barriers of value management implementation for building projects in Egyptian construction industry</i>	Projetos de construção Gestão de valor	2021
<i>Implementing enterprise resource planning erp system in a large construction company in ksa</i>	Gerenciamento de Projetos Planejamento de recursos empresariais	2019
<i>Utilization of software supporting project management in middle and large project-based organizations: an empirical study in Poland</i>	Gerenciamento de Projetos Tecnologia da Informação	2019
<i>The influence of project characteristics on project success factors. Insights from 21 real life project cases from Norway</i>	Fatores de sucesso do projeto Gerenciamento de Projetos	2019
<i>Implementation of project management and lean production practices in a SME Portuguese innovation company</i>	Gerenciamento de Projetos Gestão de processos de negócios	2018
<i>Project Management Practices for Collaborative University-Industry R&D: A Hybrid Approach</i>	Gerenciamento de Projetos Ágil Gerenciamento de Projetos Waterfall Gerenciamento de Projetos Híbrido	2018
<i>Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem</i>	Internet das Coisas Construção digital Inovação digital Transformação digital Indústria 4.0	2018
<i>Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective</i>	Indústria 4.0 Construção na Indústria Gerenciamento	2019

<i>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</i>	Indústria 4.0 Construção na Indústria	2016
<i>Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities</i>	Arquitetura, Engenharia e Construção Inteligência Artificial Machine Learning Automação Building Information Modeling	2020
<i>Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review</i>	Indústria 4.0 Construção Gestão da cadeia de abastecimento	2018

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, as iniciativas encontradas foram analisadas a fim de encontrar similaridades e diferenças na adoção das tecnologias habilitadoras e na abordagem das organizações envolvidas (consultorias e PMI) em relação a elas.

Não obstante, *a priori*, faz-se necessária a contextualização da dicotomia entre os modelos de gerenciamento de projetos, visto que há essa ponderação em alguns dos artigos envolvidos na análise do gerenciamento cascata.

IV.2.1 Dicotomia *Waterfall* x *Agile*

Segundo Lesczynski et al., (2014), há mitos e fatos sobre *Waterfall* e o *Agile*, principalmente na abordagem de que o *Waterfall* é ultrapassado. O mercado certamente exige abordagens de desenvolvimento mais rápidas e mais flexíveis. Todavia, nem toda organização está preparada para os processos empíricos que o *Agile* promove. O surgimento de abordagens “híbridas”, geralmente englobando requisitos interativos, design, desenvolvimento e ciclos de teste e aplicação de técnicas ágeis dentro de uma abordagem de gerenciamento de projeto preditiva tradicional tenta atender essa necessidade com resultados variáveis.

Archer et al (2013) aborda que os métodos puramente ágeis são adequados para certos tipos de projetos cujo escopo não é claro ou aqueles em que haja a possibilidade de passar por mudanças frequentes. Os projetos que tendem mais para o uso de *Agile* geralmente são:

- Aplicativos pequenos, muitas vezes com suporte departamental;

- *Greenfield*⁸;
- Foco no usuário ou cliente: aplicativos da web, portais, aplicativos com requisitos limitados de *back-end*;
- Ter uma baixa necessidade de alinhamento com os padrões da empresa;
- Integração limitada com aplicativos existentes/legados;
- Funções de *front office*, como *marketing* e vendas (vs. *middle* e/ou *back office*).

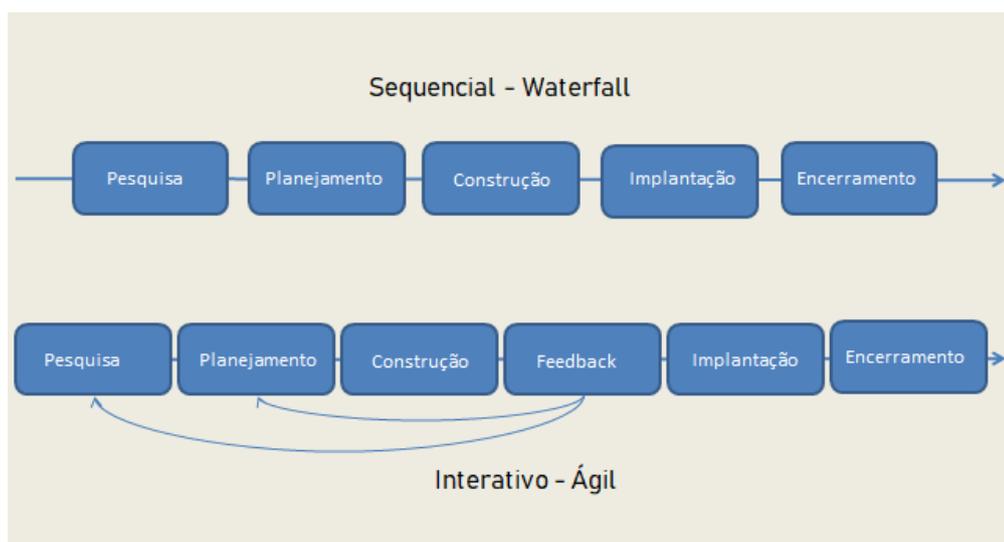
Ou seja, os projetos que fogem desse limite de bateria apresentam historicamente melhores resultados com o gerenciamento de projetos em cascata. Os projetos *Brownfields*, por exemplo (que, para uma indústria consolidada, serão provavelmente boa parte do escopo de projetos existentes), apresentam maior aceitação do uso tradicional.

Os projetos do ramo da construção, esses *Brownfields* ou *Greenfields*, historicamente encontram mais desafios que complicam todos os aspectos da integração. Essa indústria é moldada principalmente em processos sequenciais, o que complica a integração horizontal e vertical de redes com total transparência e integração. A integração ponta-a-ponta é complexa, uma vez que diversas organizações devem concordar sobre como suas diferentes tecnologias podem ser combinadas (SCHÖNBECK et al., 2020). Desta forma, pode-se voltar ao aspecto da aplicabilidade do melhor sequencial perante o ágil, ainda com todas as mudanças que essa indústria sofreu até o momento.

Para consolidar essa diferença entre os modelos, Flahiff (2011) apresenta um comparativo entre o método sequencial e o interativo, de forma a avaliar qual método é o mais aplicável a cada caso, ou seja, o impacto do escopo estar ou não determinado e o planejamento apresentar ou não flexibilidade.

⁸ Projeto *Greenfield*: Termo aplicado quando o projeto é realizado a partir do zero, em situações em que não se conta com instalações e facilidades pré-existentes que possam ser incorporadas ao produto do projeto. Geralmente refere-se a novos empreendimentos.

Figura 17: Sequência de etapas - *Waterfall* x Ágil



Fonte: Elaboração própria.

O mesmo apresenta também a definição de ambos modelos:

Sequencial: o modelo sequencial é a abordagem tradicional para entrega de projetos pequenos ou médios. O projeto é definido e com escopo definido e, em seguida, planejado em sua totalidade. Posteriormente, ele é criado, testado e implantado. Esse modelo funciona bem para projetos de pequeno ou médio porte, em que o trabalho pode ser efetivamente entregue de uma só vez ou os requisitos são bem conhecidos e não estão sujeitos a mudanças, como um requisito regulatório do governo ou do setor.

Agile: há a possibilidade de adicionar ou remover escopo no início de cada iteração. Em projetos ágeis, o feedback é buscado para garantir a ordem de entrega dos recursos, de forma que entregável apresente o valor e de forma que o cliente receba o maior benefício. Além disso, todas as novas ideias que o proprietário do produto ou cliente tiver podem ser adicionadas ao *backlog*. O *Agile* é mais adequado para projetos cujo problema é complexo e pode nem mesmo ser totalmente compreendido. No início do processo, nesses casos, as soluções são ainda menos compreendidas e, portanto, é necessário um processo muito ágil.

Consequentemente, as visões de Archer e Flahiff vão ao encontro da necessidade de avaliar como esses projetos fora do “ideal” para execução em modo ágil (como abordado na imagem a seguir, cujo escopo e planejamento não são determinados nessas fases iniciais e há o risco de modificações ao longo do projeto) geram uma equação ótima para a sua execução com a utilização dessas novas tecnologias habilitadoras. Ou seja, projetos que tenham menor possibilidade de serem executados com alto risco de mudanças de escopo, prazo e custo.

Figura 18: Diferenças planejamento e escopo - *Waterfall* x Ágil



Fonte: Elaboração própria.

No estudo de caso, abordado no artigo de Fernandes et al. (2018), a abordagem em cascata e a ágil podem apresentar algumas práticas em comum, porém estudo de caso abordado consolida que abordagem ágil seria melhor implementada quando o problema de pesquisa é bem compreendido.

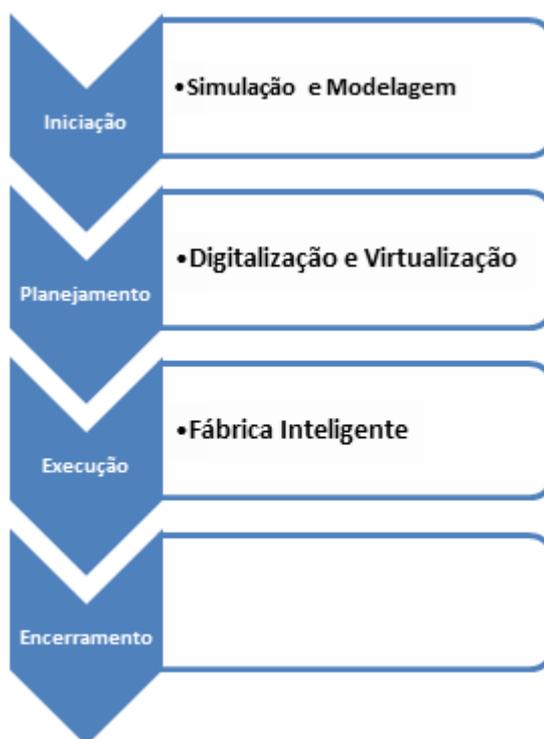
O artigo da McKinsey, dos autores Boehm et al., (2021), apresentam sobre os riscos comuns à maioria dos projetos, entre eles os que envolvem estouro de prazo e/ou orçamento, empregados, TI, questões regulatórias e compliance. Porém, introduz sobre como as transformações digitais podem proporcionar novos riscos ao negócio, envolvendo dados e os riscos dos aplicativos de inteligência artificial. Iniciativas digitais e analíticas exigem que dados mais detalhados sejam coletados de uma gama maior de fontes. A movimentação de dados cria riscos inerentes à disponibilidade, localização, acesso e privacidade desses dados. Entre as fontes de riscos para a resiliência operacional, estão os novos serviços de TI e a migração para a nuvem.

Maskuriy et al., (2019) contextualizam também sobre os riscos relacionados à adaptabilidade do perfil gerencial, com a abordagem voltada para as habilidades de treinamento da força de trabalho, o envelhecimento da sociedade, a eficiência dos recursos, a produção limpa e a customização em massa e deve aumentar a variabilidade do produto, encurtar os ciclos de vida e lidar com a dinâmica cadeia de valor, mercados voláteis e pressões de redução de custos.

IV.2.2 Análise das tecnologias em cada ciclo de vida do projeto

Após a delimitação das fases de gerenciamento no capítulo II, seguido de um panorama comparativo sobre ambas as metodologias, o estudo irá analisar o potencial aplicação dos adventos em cada dos ciclos de gerenciamento de um projeto padrão, ou seja, de acordo com os autores Oesterreich et al., (2016), apresentando-se a seguinte divisão para cada fase do projeto:

Figura 19: *Clusters* da Indústria 4.0 no ciclo de vida dos projetos.



Fonte: Adaptado de OESTERREICH et al., 2015.

Os autores, Oesterreich et al., (2016) e Dallasega et al, (2018), apresentam uma revisão e divisão por cluster das fases, de forma que há a análise das publicações científicas e práticas identificadas para fornecer o estado da arte das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0. A partir desta figura, pode-se observar que a base de dados para a investigação em andamento compreende um amplo conjunto de tecnologias. Portanto, agrupamos as publicações científicas e práticas em 3 principais clusters. Essa divisão será abordada na próxima seção.

Porém, vale a pena mencionar que existem sobreposições entre os *clusters* definidos, como várias tecnologias relevantes podem ser atribuídos a mais de um *cluster*. Como

também, no presente estudo não serão avaliados todos esses adventos, somente aqueles mais indicados nos 24 artigos apresentados no capítulo IV.2.

IV.2.3 Perspectiva dos adventos - Desafios e oportunidades - Visão acadêmica x Empresarial

A última etapa da análise consistiu em confrontar os resultados encontrados com relatórios voltados para a Indústria 4.0, elaborados por empresas de consultoria renomadas (*Bain & Co, BCG e McKinsey*) a fim de corroborar a análise realizada na seção anterior, ou seja, qual a aplicabilidade dentro do ciclo de gerenciamento.

Por isso, a análise seguinte, feita com base nos textos obtidos na *Web of Science*, como também os textos obtidos com essas organizações citadas no parágrafo anterior, é um estudo direcionado e não busca limitar o potencial de cada advento. Ao longo do texto, também é possível visualizar que cada iniciativa pode ser aplicada em mais de uma das fases, já que os benefícios obtidos são os mais diversos.

- **Simulação e Modelagem**

Esse *cluster* lida com simulação e modelagem, outra parte central da Indústria 4.0. Como os projetos de construção são únicos e empreendimentos altamente complexos que são influenciados por fatores como clima, desempenho do trabalhador e flutuações de abastecimento, a simulação pode ser aplicada para melhorar o projeto. Portanto, a maioria dos artigos de pesquisa do *cluster* oferece uma ampla gama de ferramentas de simulação, modelos de simulação ou estruturas para planejamento de projetos, planejamento de recursos ou gerenciamento de projetos em geral (WOODHEAD, et al, 2018).

- **Inteligência Artificial**

Os executivos que buscam minimizar os *gaps* de conhecimento sobre a IA devem buscar otimizar as informações sobre essa área. Ou seja, há a necessidade de avaliar o potencial de inovação gerado pela IA e gerar respostas para o negócio, de modo a alavancar receitas e demais formas de alcançar benefícios (CHUI et al, 2018). Segundo esse mesmo

artigo, há a indicação de uma pesquisa da *McKinsey*, sobre a adoção e o uso de IA, indicando os líderes na adoção dessa tecnologia, por setor.

Figura 20: Trajetória futura da demanda por IA - Análise por empresas.



Fonte: Análise *McKinsey Global Institute*

A IA está ganhando força como um caso de uso abrangente, ou seja, com aplicação em todo o ciclo de vida do projeto, desde a pré-construção até a C&M (sigla para Construção e Montagem), particularmente na captura da realidade, bem como para a comparação de condições de campo *in situ* com planos. Na verdade, aplicando a um projeto em andamento, os cronogramas podem ser otimizados para sequenciar tarefas e atingir os prazos finais, e as divergências dos projetos podem ser detectadas em tempo real e corrigidas usando uma variedade de cenários potenciais predeterminados. A curto prazo, a evolução pode ser modesta, já que os poucos gestores têm os processos, recursos e estratégias de dados existentes em vigor para alimentar os algoritmos necessários e implementar essa tecnologia de forma significativa. Porém, o impacto potencial é tão grande que esse grupo não pode mais postergar essa necessidade. Os métodos de IA são cada vez mais capazes de funcionar em todos os setores, gerando maior concorrência. E um pequeno conjunto de *startups* comporta os maiores grupos que já estão crescendo no mercado usando abordagens focadas em IA (BLANCO et al., 2018).

A IA atraiu muita atenção dentro de uma ampla gama de indústrias, incluindo Arquitetura, Engenharia e Construção (sigla AEC), e principalmente dos pesquisadores dessa área de pesquisa. Isso resultou em um aumento no número de trabalhos de pesquisa e publicações sobre a IA na indústria de AEC (DARKO, et al, 2020).

Quando as demais soluções habilitadas para IoT são desenvolvidas e ficam mais estruturadas, inovações como *Big Data* e inteligência artificial tendem a gerar maior integração entre esses sistemas. Novas habilidades surgem quando alguns empregos tradicionais se tornam digitais (o trabalho dos estimadores de custos poderia ser automatizado) e novos empregos (Ciência de Dados de Construção). Também devemos esperar novas tarefas como monitorar a condição dos sensores em um canteiro de obras e além, como uma instalação de serviço (WOODHEAD, et al, 2018).

Avaliando o contexto dentro das fases de gerenciar um projeto, a fase de manutenção apresenta grande potencial de aplicação na manutenção preditiva: o *machine learning* pode detectar anomalias. A sua capacidade de analisar quantidades muito grandes de dados de alta dimensão pode levar os atuais sistemas de manutenção preventiva a um novo patamar, com a introdução de dados diversos, como áudio e imagens, provenientes de outros sensores, os quais podem apresentar um baixo custo de manutenção e operação, como câmera e microfones. A capacidade da inteligência artificial de avaliar uma previsão de falhas permite que seja desenvolvida a manutenção preditiva local e que haja redução do tempo de manutenção e custos operacionais, melhorando ao mesmo tempo o rendimento de OPEX e CAPEX . Por exemplo: há a possibilidade de prolongar a vida de um avião de carga, ao combinar dados do modelo do avião, histórico de manutenção, dados de sensores de IoT, como detecção de anomalias nos dados de vibração de turbinas, e imagens e vídeo do estado da turbina (CHUI et al., 2018).

○ *Machine Learning*

O *Machine Learning* ou, traduzido para o português, “Aprendizado em Máquina” é baseado em algoritmos que podem aprender com os dados sem depender de programação baseada em regras. Consolidou-se como uma disciplina científica no final dos anos 1990, à medida que avanços constantes em *softwares* e *hardwares* mais baratos permitiram que os pesquisadores focassem em outros modelos computacionais que buscassem a solução de problemas por meio do aprendizado com os dados. Esse volume incontável e a complexidade do Big Data que o mundo agora está vivenciando desenvolveram esse potencial do aprendizado de máquina e consequentemente a necessidade dele (PYLE et al., 2015).

O termo “agente” é usado com mais destaque no *machine learning*, especificamente no aprendizado. Com base no comportamento e no raciocínio, um agente pode ser “reativo” e

“cognitivo/deliberativo”. Os agentes “reativos” reagem claramente a certas condições pré-determinadas da mesma forma que os reflexos e abastecem comportamentos predefinidos, sem manter qualquer estado interno. Enquanto "agentes cognitivos" têm a capacidade de inferir um significado por meio (WOODHEAD et al., 2018).

É importante perceber que, apesar de todos os seus algoritmos integrados de inteligência artificial e *machine learning*, o sucesso ou fracasso dos *softwares* depende mais dos *stakeholders* do projeto, desde os operadores que conduzem os processos até os engenheiros de processos que usam insights profundos para gerar melhorias, passando pelos gerentes que supervisionam o desempenho e pelos altos executivos (CHARALAMBOUS et al., 2019), sendo esse um grande desafio para os gerentes de projetos ao liderar suas equipes, de forma a melhor receber esses avanços e os aplicar ao dia-a-dia.

A manutenção preditiva avançada viabilizada pela profunda integração entre dados provenientes de sensores e técnicas de *machine learning* é um exemplo de um possível benefício mais em alta da 4ª Revolução Industrial. Com base nas observações da McKinsey sobre manutenção digital e confiabilidade em indústrias pesadas, há o potencial de as companhias aumentarem a disponibilidade de ativos de 5% a 15% e reduzirem os custos de manutenção de 18% a 25% (BRADBURY et al., 2018). Já os especialistas da Bain & Co, Lesmeister et al. (2020), dissertam quanto ao avanço da manutenção preditiva também no seu estudo sobre manufatura digital na indústria farmacêutica. É abordado também sobre sensores para identificar padrões de falha, cuja função determina quais e quando máquinas falham, com a previsão de problemas com antecedência, dando às equipes resposta anterior à necessidade de manutenção corretiva. Nesse contexto, otimizar a frequência de manutenção também reduz seu custo e futuras perdas de produção.

Os maiores desafios baseiam-se na mudança comportamental, de forma que essa será uma das principais funções da alta gerência e o seu papel transformador será influenciar os liderados a buscar o desenvolvimento profissional voltado a essa mudança. Os gerentes tradicionais, por exemplo, terão que se sentir confortáveis com as possíveis variações das respostas obtidas. Os gerentes mais voltados à operação, armados com percepções de computadores cada vez mais poderosos, devem aprender a tomar mais decisões por conta própria, com a alta gerência definindo a direção geral e focando apenas quando as exceções aparecem. A democratização do uso de análises fornecendo à linha de frente as habilidades necessárias e estabelecendo incentivos apropriados para encorajar o compartilhamento de dados exigirá um certo tempo de adaptação (PYLE et al, 2015). Esse panorama irá impactar o

perfil profissional solicitado no mercado para os próximos anos, em outras palavras, aqueles cuja adaptação seja lenta ou não se adaptem à nova realidade poderão ter problemas em manter ou encontrar empregos.

- ***Building Information Modeling***

Building Information Modeling (BIM, sigla em inglês), com suas origens no CAD⁹, evoluiu paralelamente à IoT. O BIM é essencialmente uma abordagem de *software* orientada a objetos para troca de dados por meio de bancos de dados. A indústria de manufatura tem um conceito similar ao BIM denominada de *Product Lifecycle Management* (PLM, sigla em inglês). A principal diferença entre BIM e PLM é a capacidade de “integrar” outros tipos de dados de "Sistemas de Registros", como dados de Planejamento de Recursos Corporativos e Sistema de Execução de Fabricação de todo o ciclo de vida. Essa diferença provavelmente decorre do fato de um fabricante específico possuir muito mais do ciclo de vida de ponta-a-ponta e seus dados do que qualquer ator em uma indústria de construção altamente fragmentada (WOODHEAD et al., 2018). Há também, ao mesmo tempo, o aumento dos procedimentos operacionais e a necessidade de otimizar o fluxo de manipulação de informações durante o ciclo de vida de um projeto (AL-SAEED et al., 2020).

Em uma entrevista publicada pela McKinsey sobre construção de novo ecossistema digital, Anne O’Riordan faz a seguinte colocação que pode contextualizar melhor sobre a ferramenta:

BIM está construindo modelagem de informações. É basicamente um processo de geração e gerenciamento de dados de construção durante o processo de *design* e construção. É uma nova maneira de usar a tecnologia para fazer modelagem 3D e gerenciamento de projetos, manter melhor controle sobre os controles do processo de construção e permitir a colaboração interdisciplinar com seus fornecedores. Ele aumenta as capacidades de gerenciamento de projetos, melhora o suporte à decisão e atrapalha a execução de um ambiente de projeto de construção, desde o *design* até a execução (ROTH et al., 2020).

Empresas podem obter uma redução em seus prazos por meio de conceitos como pré-fabricação no lugar da construção convencional em campo. O uso do BIM pode melhorar a qualidade da construção, permitindo a descoberta oportuna de problemas potenciais na fase executiva. Plataformas baseadas em nuvem e BIM podem melhorar de forma eficiente a

⁹ O CAD ou AutoCAD® é o software original para CAD 2D e 3D, foi planejado para o futuro auxiliando profissionais de design, arquitetura e engenharia.

colaboração entre empresas e ajudar a diminuir o tempo de entrega do projeto e manter os projetos dentro do orçamento (DALLASEGA et al., 2018).

Dallasega et al. (2018) avalia também que o BIM, nesse sentido, é visto como uma ferramenta com grande potencial para os *stakeholders* obterem a melhor tomada de decisão por meio da visualização do *status quo* dos fluxos de materiais para a fase de suprimentos, minimizando os custos logísticos, especialmente o custo de pedidos, armazéns e transporte. Outros estudos relacionados avaliam a rápida resposta também a possíveis decisões específicas em diversos contextos, como operação, processos de aquisição e construção e sistemas de controle para monitorar o progresso da construção. Logo, esse modelo de otimização, apesar de estar relacionado a fases iniciais do projeto, tem um impacto gigantesco ao longo do ciclo de vida do projeto.

A maioria dos engenheiros de projetos atualmente trabalha em BIM, porém há um gap ao buscar demais parceiros com experiência na área ou que estejam abertos a outras novas soluções como parte de um modelo de construção totalmente digital, dificultando perpetuar essa nova forma de trabalhar (HEIDEMANN et al, 2020).

Segundo os consultores da *McKinsey*, Heidemann et al., (2020), as ferramentas digitais do BIM para a fase de construção podem influenciar da seguinte maneira:

- Colaboração: uma torre de controle digital reúne representantes do proprietário, o contratante principal e os subcontratados para discutir planos e acompanhar o progresso em torno de uma fonte comum de verdade, com um cronograma mestre integrado;
- Rastreamento e previsão: usando drones, bem como *scanners* fixos e portáteis, as varreduras de site 3D frequentes vinculadas ao modelo BIM podem detectar automaticamente desvios, prever possíveis conflitos na capacidade de construção ou execução do pacote de trabalho e, por fim, alimentar os painéis de relatórios da torre de controle digital;
- Segurança do trabalhador e fluxos de trabalho de materiais: a tecnologia de segurança baseada em sensores promove um ambiente de trabalho mais seguro e focado no local, ajudando os trabalhadores a seguirem os protocolos de segurança mais de perto e a permanecerem cientes de seus arredores.

Um exemplo avaliado na pesquisa acadêmica apresentou um *case* abordado em um artigo de AL-SAEED et al., (2020) que informa sobre o caso do governo do Reino Unido, que por financiamento público de projetos, busca investir em BIM para solucionar problemas de desempenho de projeto de construção, que são comuns na área. Essa intervenção política permitiu que a equipe relacionada pudesse adotar cada vez mais ou exigir objetos digitais BIM federados. Assim, o estudo de caso atual apresentado neste *case* avalia qual o impacto dentro dos procedimentos de negócios na construção, como melhorar seu fluxo de trabalho e construção num perfil de empresas inovadoras, sendo esse um exemplo que mostra que o apoio da alta administração é fundamental para implementar qualquer mudança dentro da empresa.

- **Digitalização e Virtualização**

O *Cluster* apresenta artigos relacionados à digitalização e virtualização de tecnologias. Entre eles, o Cloud Computing é responsável pela prestação de serviços integrados com a oportunidade de ser acessado através da Internet, possibilitando a colaboração entre as empresas. Fornecer soluções como o BIM, para aplicativos de gerenciamento de projetos, soluções de folha de pagamento, Sistemas integrados de gestão empresarial ou plataformas de gerenciamento de documentos digitais para criar uma fonte consolidada de informações para a equipe do projeto (WOODHEAD, et al, 2018). Este cluster inclui estudos que abordam informações e problemas de rede de informação e aspectos de gestão, como logística e gerenciamento (DALLASEGA et al, 2018).

- **Computação em Nuvem**

A crise da COVID-19 acentuou a necessidade de rapidez e agilidade, tornando esses benefícios ainda mais importantes. Do ponto de vista da economia da infraestrutura, talvez a inovação mais atraente da nuvem seja a capacidade de adaptar o consumo da infraestrutura às necessidades da organização. Isso promete maior flexibilidade econômica, transformando despesas de capital subutilizadas em despesas operacionais alocadas de maneira ideal (BHATNAGAR et al., 2020).

Cloud Computing fornece acesso a recursos de computação e aplicativos por meio de uma rede de armazenamento “na nuvem”, como a própria tradução indica. Não há requisitos

de *hardware* ou *software* difíceis para dispositivos locais. Ter todas as informações e aplicativos em servidores remotos simplifica o uso de vários locais de ferramentas sofisticadas de modelagem e simulação, a troca de dados e arquivos entre escritórios de projeto e planejamento (MUNOZ-LA RIVERA et al., 2020). A computação em nuvem oferece serviços de computação sob demanda com alta confiabilidade, escalabilidade e disponibilidade em um ambiente distribuído. Graças a ela, basicamente se trata de um serviço (BRANCA et al, 2020).

A digitalização do setor de construção afeta diversos aspectos do ponto de vista do desempenho profissional. Há a facilidade no compartilhamento de informações e ajuda a desenvolver plataformas de colaboração e por meio desses sistemas “em nuvem”, permite o acesso remoto de todas informações, simplificando e acelerando todo o *design* e processos de execução (LAURINI et al., 2019). Em outros termos, os demais sistemas e aplicações podem ser combinados com o uso do *Cloud Computing* para obter melhores resultados.

Contudo, a segurança parece ser uma preocupação e uma motivação para a migração para a nuvem. Alguns executivos acreditam que os provedores de nuvem podem fazer um trabalho melhor protegendo seu ambiente de TI contra violações, *hacks* e privacidade geral de dados e falhas de segurança do que fariam por conta própria, executando *software* local (BRINDA, 2019).

Em alguns casos, os custos são a maior preocupação sobre o uso. Segundo Brinda (2019), quando as empresas fundamentalmente não se preparam para essa mudança, a migração de correspondência direta para a nuvem pública pode ser de 10% a 15% mais cara do que manter o trabalho em um ambiente local. Ou seja, a promessa da nuvem pode ser um investimento caro, principalmente quando não há nenhum desenvolvimento interno, e muitas empresas podem adiar a sua evolução para esse novo ambiente.

Contudo, de acordo com pesquisadores também da *Bain & Co*, Brinda et al. (2020), as operações de TI foram significativamente afetadas pela pandemia e apenas um terço está investindo maiores valores para o desenvolvimento de sua infraestrutura em nuvem. A maioria dos líderes empresariais ainda tende a reduzir os benefícios da nuvem para eficiências em torno do gerenciamento de infraestrutura. Os recursos, componentes e serviços que muitos provedores de serviços de nuvem (CSPs¹⁰) oferecem permitem, porém, que as empresas que gerenciam implementações inovem muito mais rapidamente e se desenvolvam mais rapidamente por meio de maneiras mais simples e rápidas de prototipar ou explorar novas

¹⁰ CSPs: sigla em inglês para *Cloud service providers*.

soluções. A execução de relatórios, que consumia muitos recursos, tende a ser muito mais rápida na nuvem.

Segundo entrevista de Wolf (2018), em um artigo sobre o ramo da construção e os seus benefícios da utilização da nuvem, há a necessidade de uma nuvem vertical para atender às necessidades do ecossistema existente. Enquanto a maioria das soluções de nuvem é para propósitos gerais, basicamente armazenagem de arquivos gerais, uma nuvem vertical é customizada para as necessidades específicas de um setor.

Uma nuvem vertical pode conter soluções de detecção de conflito (onde os elementos de *design* ocupam o mesmo espaço) até gerenciamento de modelos, colaboração, controle de quantidade (exatamente quais materiais e mão-de-obra são necessários), estimativa, programação, gerenciamento de *sites* e outros, permitindo, assim, que as empresas concentrem seus recursos menos no gerenciamento da infraestrutura de dados e mais no negócio principal de construção.

Essa necessidade está vinculada ao grande número de dados que crescem ano a ano no setor, logo as empresas precisam aderir a uma nuvem vertical. Há, por exemplo, uma parceria com a Microsoft para lançar a primeira nuvem dedicada para construção e imóveis. Não há dúvidas de que essas plataformas em nuvem auxiliarão na percepção dos acionistas e irão gerar modelos de negócios baseados em dados.

Todavia, analisando do ponto de vista puramente do gerenciamento de projetos, de forma geral, segundo McDonald (2011), na exibição do portfólio consolidado, por meio de um *Cloud PMO*, há a possibilidade de o projeto ser gerenciado de forma focal, com um plano de comunicação para lições aprendidas e consolidação de serviços. A economia de economias de escala provavelmente será perdida devido à minimização dos riscos de erro de comunicação entre os *stakeholders*.

○ **Big Data**

Segundo o relatório da Bain & Co (2017), as empresas usam *Big Data Analytics* para:

- Melhorar os processos internos, como gestão de risco, gestão de relacionamento com o cliente, logística da cadeia de suprimentos ou otimização de conteúdo da *Web*;
- Melhorar os produtos e serviços existentes;

- Desenvolver novas ofertas de produtos e serviços;
- Direcionar melhor suas ofertas para seus clientes;
- Transformar o modelo geral de negócios para capitalizar informações e feedback em tempo real.

Um ponto de partida importante a ser discutido é sobre a geração de valor associado à maior circulação de informações transparentes. Em segundo lugar, conforme as organizações criam e armazenam mais dados transacionais em formato digital, elas podem coletar informações de desempenho mais precisas e detalhadas sobre tudo, desde estoques de produtos a faltas por doença e, portanto, expor a variabilidade e aumentar o desempenho. Na verdade, algumas empresas líderes estão usando a capacidade de coletar e analisar *Big Data* para conduzir experimentos controlados para tomar melhores decisões de gerenciamento (CHUI et al., 2011)

Os recursos dessa ferramenta atuais podem ajudar as empresas a resolver problemas de otimização muito mais complicados do que no passado. Os líderes podem estudar mais variáveis e mais cenários do que nunca e podem integrar suas análises a muitos outros sistemas de negócios interconectados. As empresas que se utilizam de análises avançadas para simplificar resultados podem gerar economias que variam de 10 a 20 por cento dos custos de frete e armazenamento, além de grandes economias em estoques (BROCCA, 2015). Ou seja, gera-se um impacto permanente no seu *budget*¹¹ de suprimentos.

Uma outra avaliação dentro do ciclo de vida do projeto é apresentada em um estudo de caso de artigo de Branca et al, (2020) sobre produtos siderúrgicos e as soluções de *Big Data* para monitoramento e garantia da qualidade. O conceito baseia-se nos modos de processamento para obter informações significativas de diferentes tipos de dados e, para entendê-los em profundidade, obter *insights* e fazer descobertas para uma tomada de decisão precisa. Uma previsão precisa de defeitos de superfície em placas de aço pode ser baseada nos dados coletados *online* da linha de produção e é importante para ajustar o processo online, bem como para reduzir sua ocorrência. Isso na fase de execução do projeto de construção impacta diretamente na redução de riscos e minimização do uso menor de contingenciamento de custos (DEFOSSEZ et al., 2020).

Sobre os desafios relacionados à total implementação do *Big Data*, pode-se destacar o impacto na cadeia de suprimentos, por meio de dois grandes desafios. Primeiro, há uma falta

¹¹ *Budget*: palavra em inglês, que, traduzida para o português, significa “despesas”.

de recursos que tenham experiência sobre o assunto. Gerentes, mesmo aqueles com um alto grau de habilidade técnica em suprimento, têm pouca ou nenhuma experiência com as técnicas de análise de dados usadas por cientistas de dados. Consequentemente, não têm visão para ver o que pode ser possível com a análise de *Big Data*. Em segundo lugar e possivelmente com maior impacto é que a maioria das empresas carece de um processo estruturado para explorar, avaliar e capturar oportunidades de big data em suas cadeias de suprimentos. O mesmo autor aborda sobre outro impacto, esse agora na execução do projeto. Por exemplo, os dados sobre os parâmetros de fabricação, como as forças usadas nas operações de montagem ou diferenças dimensionais entre as peças, podem ser arquivados e analisados para dar suporte à análise da causa raiz dos defeitos, mesmo que ocorram anos depois (ALICKE et al., 2016).

- **Smart Factory**

Esse cluster compreende uma ampla gama de tecnologias e conceitos para automatizar o processo de construção e criar uma “Fábrica Inteligente” para o ambiente de construção. As tecnologias correspondentes deste cluster se encaixam no “End-to-fim da integração digital de engenharia”, que é descrita como uma das principais características da Indústria 4.0. Em geral, há algumas abordagens interessantes para criar uma “construção inteligente local” (OESTERREICH et al., 2015).

- **Manufatura Aditiva**

Additive Manufacturing, ou Manufatura Aditiva, tem o potencial de influenciar os fluxos de comércio futuros. A maioria dos especialistas acredita que a mesma não substituirá a produção em massa na próxima década; seu custo, velocidade e qualidade ainda apresentam limitações, porém, o processo está ganhando força na manufatura de protótipos. Em alguns casos, a manufatura aditiva poderia até mesmo estimular o comércio, ao possibilitar a customização (LUND et al., 2019).

A adoção do AM foi maior em setores onde seus custos de produção mais elevados são superados pelo valor adicional que o AM pode gerar: funcionalidade de produto aprimorada, maior eficiência de produção, maior personalização, menor tempo de colocação no mercado (ou seja, níveis de serviço aprimorados) e obsolescência reduzida,

particularmente em indústrias de ativos pesados. Negócios intensivos em engenharia, como aeroespacial, automotivo e médico, podem acelerar a prototipagem, permitindo que explorem recursos de design completamente novos ou criem produtos totalmente individualizados sem nenhum custo extra. Negócios de alto valor e baixo volume veem processos de fabricação mais rápidos e flexíveis, com menos peças envolvidas, menos desperdício de material, tempo de montagem reduzido para componentes complexos e até mesmo materiais com propriedades completamente novas criadas (BROMBERGER et al., 2017).

A manufatura aditiva está sendo adotada em muitas indústrias, principalmente de máquinas, produtos de consumo, veículos motorizados, dispositivos médicos e aeroespacial. A *General Electric* é uma das empresas que têm uma parte da produção de forma aditiva, com peças complexas para motores de aeronaves sendo produzidas em quantidades significativas em escala. É certo que a manufatura aditiva apresenta benefícios para algumas aplicações, mas as empresas devem entender, à priori, como essa tecnologia pode criar valor para seus negócios antes de investir (KÜPPER et al, 2017).

Segundo Bromberger et al., (2017), há uma série de desafios associados para uma adoção mais efetiva em qualquer negócio que aplique essa ferramenta:

- Falta de conhecimento em design;
- Custo de produção elevado;
- Escala de reprodução limitada;
- Segurança cibernética e proteção IP limitada.

Os processos automatizados melhoram a eficiência, reduzem as taxas de erro e aumentam a flexibilidade. A análise avançada pode melhorar significativamente o planejamento e a previsão. Por fim, podem aumentar a produtividade e a segurança dos funcionários. Apesar desses ganhos potenciais, os investimentos em Manufatura Digital, outra denominação para Manufatura Aditiva, costumam ser decepcionantes para as equipes de liderança, de forma que com nova tecnologia, sem a análise da estratégia pode ser um grande risco. Isso pode gerar uma abordagem que geralmente resulta em projetos-piloto difíceis de expandir e raramente bem-sucedidos. Uma segunda armadilha é gastar muito tempo desenvolvendo a estratégia perfeita e não responder rapidamente a um cenário de negócios em constante mudança, que é o caso em que as empresas convivem atualmente. Por fim, alguns

executivos concentram mais esforços na tecnologia do que no business case que dá suporte ao investimento (TERINO et al., 2019).

O mundo dos negócios tende a superestimar o impacto de curto prazo das tecnologias e subestimar significativamente o impacto de longo prazo. Compreensivelmente, a questão está sendo levantada por atores tradicionais, já que esses são os mais diretamente impactados com grandes mudanças estruturais. Com isso, alguns questionamentos ainda não foram respondidos. Por exemplo: como a maneira tradicional de atender aos mercados mudará e quais são as implicações para as configurações tradicionais de fábricas e cadeias de valor? (BROMBERGER et al., 2017).

As inovações relacionadas podem ocorrer principalmente nas fases inicial e final, projeto e engenharia, operações e manutenção, ao invés da fase de construção real. Porém, há um aumento de produtividade atrelado, graças à modelagem de informações de construção (BIM) e outras ferramentas de colaboração, sendo a execução modernizadas drasticamente por tecnologias de fabricação digital. Por exemplo: corte, fresamento e montagem automatizados de madeiras; uma cadeia de suprimentos digitalizada; pré-fabricação automatizada e a impressão 3D (LAUBIER et al., 2018). O mesmo autor também aborda sobre os principais benefícios:

- Liberdade de Design;
- Construção autônoma;
- Previsibilidade;
- Sustentabilidade.

- **Realidade Aumentada**

A adoção acelerada das soluções de ganhos rápidos que ajudam as empresas a responder e adaptar-se às novas normas e o apoio à colaboração remota. Orientações de trabalho digital, assistência a operadores usando realidade aumentada e casos de uso baseados em automação de modernização simples e de baixo custo também podem ser disseminados independentemente da infraestrutura em uso na empresa. De forma similar, o monitoramento automatizado de equipamentos e os sistemas de controle de processos podem reforçar a continuidade das operações, otimizando as equipes (AGRAWAL et al., 2020). Outro ponto abordado por Decaix et al., (2021) Esses sistemas também dão suporte à execução em campo

mediante dispositivos de realidade aumentada que orientam os funcionários na realização de suas tarefas, coletando dados detalhados sobre a condição dos ativos e aumentando a precisão e a velocidade do fechamento das ordens de serviço e do pagamento dos contratados.

Por exemplo, já estão surgindo ferramentas de realidade aumentada mais avançadas que permitirão aos trabalhadores colocar um tablet contra um equipamento e baixar um esquema de sua estrutura interna. Um tema comum da realidade aumentada é que essas ferramentas permitem aos funcionários a possibilidade de solicitar a ajuda remota de um especialista que esteja na sede e seja capaz de guiar o técnico que está na planta por meio de passos virtuais mostrados em uma tela com a visão da situação por meio de realidade aumentada. Isso resolve o problema com maior rapidez e agilidade, melhorando a experiência de empresas de diferentes setores, empresas de alta tecnologia a petróleo & gás e maquinário pesado, estão utilizando aplicativos de realidade aumentada para seus técnicos de campo. Em vez de esperar para realizar um diagnóstico tradicional, os técnicos utilizam os sensores embutidos no equipamento para entender o que está ocorrendo durante o trajeto para o local. A leitura dos sensores indica exatamente qual o problema, como consertá-lo e quais as peças e as ferramentas necessárias para fazer isso (BEJAMIN et al., 2019).

○ **Automação e Robótica**

Segundo McKinsey Global Institute (MGI) estima-se que mais de 20% da força de trabalho global em 2021 possa trabalhar a maior parte do tempo fora do escritório e com o mesmo nível de produtividade. Esse não é um cenário para todos os modelos de negócio, mas é uma grande, com grandes impactos. Essa possibilidade ocorre não somente pela crise da COVID-19, mas também porque avanços em automação e digitalização tornaram possível tal movimento (SNEADER et al., 2021).

Por meio de melhor conectividade, *advanced analytics*, fabricação aditiva e automação avançada, a logística também terá uma estratégia em direção ao futuro, pondo fim às estratégias tradicionais de armazenamento e gestão de estoque. Interfaces fáceis de usar já permitem instruir os trabalhadores com base na localização, orientando os processos de escolha. A robótica avançada poderá ter efeitos igualmente profundos sobre a produtividade humana (ALICKE et al., 2017).

As grandes empresas automatizaram pelo menos um processo de negócio em quatro funções em média. À medida que os programas de automação se expandem e se tornam mais

complexos, a existência de silos dentro da organização pode prejudicar o desempenho se as áreas de negócios não se coordenarem de perto umas com as outras. Os modelos operacionais das empresas de sucesso permitem que seus programas de automação gerenciem adequadamente a complexidade da implantação de tecnologias de automação, o que facilita o escalonamento desses programas (HERZBERG et al., 2020).

No lado da Robótica, a Indústria de C&M, está iniciando a sua adaptação das inovações de *hardware* que permitem o aumento de campo com exoesqueletos e inspeção de pátio habilitada por drones. Esses avanços são particularmente importantes devido à escassez de mão de obra em certas localidades remotas, como também a atividades com limite da produtividade física humana. Emparelhar humanos com robôs pode ajudar em tarefas que exigiam mais esforço de um trabalhador humano, como por exemplo: movimentação de objetos pesados e colocá-los em coordenadas exatas (BLANCO et al., 2018).

Na visão voltada para a manufatura industrial pesada, projetos digitais demandam novas habilidades com frequência, novos papéis. No geral, necessita-se de experiência com o assunto e conhecimento sobre os processos produtivos e o *core business* da empresa. Especialistas em tecnologia com experiência em áreas como desenvolvimento de software, atualmente são uma necessidade, com o conhecimento voltado para robótica e automação (KORBEL, et al., 2019).

Sobre a automação de processos e a automação física ou robótica gerando um conjunto complementar à mão de obra. em algumas circunstâncias, a automação industrial tornou-se uma forma atrativa de gerenciar a redução de funcionários e minimizar potenciais perdas do negócio devido a pedidos não atendidos. Os robôs conseguem entregar matérias-primas e produtos semiacabados a diferentes linhas de produção, resolvendo problemas de produção, associado com uma redução na força de trabalho e evitando contato próximo entre funcionários de produção e de manuseio de materiais (AGRAWAL et al., 2020)

Um exemplo já aplicado no mercado de Óleo e Gás, a perfuração remota ou semiautomática, reduzindo drasticamente o número de pessoas necessárias em uma plataforma em si. Um piso de plataforma automatizado significará a substituição de operações perigosas, como manuseio e montagem de tubos, que atualmente são realizadas manualmente e são a principal fonte de incidentes em plataformas de perfuração. Com o aumento da automação, uma plataforma offshore exigiria de dez a 15 funcionários em tempo integral, em comparação com aproximadamente 100 funcionários atualmente. A automação também reduziria o erro humano durante o levantamento do tubo de perfuração, na montagem da

coluna de perfuração e na movimentação de ferramentas no piso da plataforma, resultando em maior eficiência (GRIJPK et al., 2020).

- *Digital Twin*

Um componente-chave para melhorar a produtividade é a adoção mais ampla de ferramentas digitais. Mas os casos de uso digitais podem abordar diretamente os desafios mais comuns na construção, agora exacerbados pelo COVID-19. A menor presença no local e a restrição de pessoas amplificam a necessidade de colaboração ainda melhor, mais transparência e trabalho mais remoto. Os gêmeos digitais, tradução para *Digital Twin*, por exemplo, fornecem uma replicação virtual do site hospedado na nuvem e facilmente acessível de qualquer local. Os drones podem varrer o site e atualizar o progresso na realidade virtual quase em tempo real, criando transparência no desempenho e na qualidade. Com isso, os problemas são mapeados com uma certa antecipação, conhecidos por todos e podem ser resolvidos rapidamente. Essa lista de oportunidades está sendo construída aos poucos (MAHOMED et al., 2020).

Os ganhos de produtividade são impulsionados diretamente pela transparência e resolução proativa de problemas. O *Digital Twin* com soluções de captura de realidade permite que as partes interessadas minimizem o retrabalho no campo, permitindo uma visão dinâmica do projeto e comparação em tempo real do progresso para projetar plantas e a capacidade de adaptar essas plantas conforme o trabalho avança e inevitavelmente resulta em alterações.

Essa abordagem cria uma réplica digital exata da realidade física de um projeto, permitindo-nos avançar rapidamente na precisão dos dados e incorporar dados conforme construído em modelos 3D para atualizações de progresso automatizadas em tempo real. Permite que os usuários interajam virtualmente com modelos de “realidade mista” que combinam design 3D e configurações *as-built*. Os resultados obtidos permitem que a capacidade de reduzir os ciclos de tomada de decisão em um projeto, tenha um controle de uma base mensal para uma base diária, por meio da automação completa do cronograma do projeto e das atualizações de orçamento. (BRANCA et al, 2020)

Sobre ganhos em manutenção e operação, a execução do projeto, com um foco em manutenção preditiva e estratégica, permite que o equipamento possa ser monitorado com análises avançadas em tempo real. Além disso, sensores inteligentes que alimentam

diretamente em essa tecnologia podem fornecer percepções aprimoradas sobre as condições da planta, o gerenciamento de peças sobressalentes pode ser integrado com base nas ordens de serviço e condições do equipamento e os ciclos de interrupção podem ser planejados de acordo com as melhores práticas internacionais (JANIN et al., 2021). Um gêmeo digital pode ajudar a desenhar operações de um armazém ideal, criando a réplica digital de um armazém para entender os resultados disponíveis das diferentes tecnologias digitais (BEJAMIN et al., 2019). Os ganhos na vida útil do ativo são possíveis a partir de um planejamento integrado em todo o ciclo de vida útil do mesmo.

- **Internet das Coisas (IoT)**

O ecossistema tecnológico da Internet das Coisas avançou bastante nos últimos cinco anos e, ao mesmo tempo, cada nível apresenta oportunidades substanciais de crescimento de mercado. Plataformas de habilitação de equipamentos possuem uma vantagem especialmente estratégica, que é a de permitir o crescimento de IoT enquanto ela própria está em fase de crescimento. Segundo o mesmo autor, a tecnologia de sensores continuará a ter seu preço reduzido e estará disponível em maior escala. (DAHLQVIST et al., 2019).

Segundo Rigby 2017, as empresas usam a IoT para:

- Criar e obter dados sobre seus negócios e clientes;
- Monitorar o desempenho do equipamento para melhorar as decisões de gestão, manutenção e substituição
- Reduzir o desperdício e o custo de materiais;
- Melhorar a eficiência dos funcionários;
- Ampliar as ofertas de produtos e serviços (por exemplo, fabricantes de equipamentos adicionando serviços que avaliam quando uma máquina precisa de manutenção);
- Expandir relacionamentos com clientes;
- Estabelecer parcerias com indústrias adjacentes;
- Realizar análises perto da fonte de dados;
- Automatizar sistemas.

No mesmo contexto, a IoT apresenta um potencial ainda em desenvolvimento para o gerenciamento de projetos, de forma a otimizar todos os pontos abordados acima. Como no exemplo abordado no estudo de caso abordado por Laurini et al., (2019), o projeto apresenta o objetivo de explorar o uso da IoT, para comunicação de dados em canteiro de obras, a fim de acompanhar o andamento da obra gerenciamento de status e segurança no local e, subsequentemente, combinação com o modelo de gerenciamento de dados BIM, sendo possível digitalizar o físico o projeto.

- **Modularização / Pré-fabricação**

Partes da indústria estão se movendo em direção a um sistema semelhante ao da manufatura de produção em massa, com componentes pré-fabricados padronizados que são produzidos fora do local. O uso consistente dessas técnicas, em projetos em que há um estudo de viabilidade bem consolidado, apresenta o potencial de ganho de produtividade em cinco a dez vezes. Esse sistema pode incluir aplicações como processos de pré-fabricação totalmente automatizados que transformam um desenho 2D ou modelo 3D (BIM) em um componente de construção pré-fabricado, ou fabricação diretamente de um modelo 3D ou desenhos de fábrica (BLANCO et al., 2018).

Um exemplo prático sobre a oportunidade de padronizar e modularizar componentes gerando resultados de minimização de custo e prazo, é o caso abordado no artigo de Changali et al. (2015) sobre a *Reliance Industries* da Índia. Quando a empresa construiu uma segunda refinaria em Jamnagar, sendo uma réplica exata da primeira, somente com mudanças de tecnologias, gerou um impacto de seis meses do cronograma de engenharia. Há também a possibilidade de uma escala menor para as empresas de serviços públicos em projetos de novas subestações. Isso também melhora os custos do ciclo de vida, visto que demais peças sobressalentes podem ser usadas nos ativos. O uso deve ser avaliado em cada caso, normalmente é mais eficiente começar com o último *design* e ajustar, em vez de começar do zero.

A modularização tem diversos benefícios no planejamento e na execução. Como exige mais engenharia inicial, ele evita surpresas e retrabalho durante a construção. Ele permite a pré-fabricação de módulos em um ambiente externo controlado com produtividade de trabalho aprimorada. Além disso, vários módulos podem ser pré-fabricados em paralelo em diferentes oficinas, encurtando o cronograma geral. Além disso, a pré-fabricação fora do local

reduz o congestionamento da instalação, redução de risco de segurança (exemplo: uma indústria com riscos operacionais) e produtividade do local. A modularização também permite o pré-teste antes do envio, o que minimiza o retrabalho caro no local. Noventa por cento da economia de tempo vem da escolha de modularizar os principais componentes do projeto (GARG et al, 2020).

Uma mudança estratégica para os stakeholders de forma que seja possível atrasar o início da execução até que uma porcentagem muito maior de entregas de engenharia e aquisição esteja disponível. Para conseguir obter esse resultado, faz-se necessário aumentar a curva S da construção para que a construção comece mais tarde, mas ainda assim seja concluída ao mesmo tempo. Isso pode se traduzir em economia de custos indiretos. Proprietários que dominam essa abordagem podem codificar as mudanças de eficiência, melhorar a produtividade orçada e até mesmo acelerar projetos além do que era possível no passado (MAHOMED et al., 2020). E esses modelos modularizados e pré fabricados são modelos práticos, já que buscam o desenvolvimento *outside* de forma otimizar os entregáveis de engenharia e projeto.

○ *Radio Frequency Identification (RFID)*

Segundo Adhi et al., (2021). Definindo a tecnologia RFID, os ecossistemas e componentes RFID, envolve quatro elementos principais:

- As etiquetas RFID armazenam e transmitem informações codificadas sobre produtos individuais;
- O hardware do leitor (fixo ou móvel) envia e recebe sinais que permitem "ler" e interpretar os dados transmitidos de uma etiqueta, e o hardware da antena converte os sinais entre os leitores e as etiquetas, permitindo efetivamente ao leitor identificar a presença, ID e localização de uma etiqueta. Uma antena pode ser integrada a um leitor ou vários podem ser conectados para aumentar a cobertura.
- Software ou serviços de suporte codificam tags e processam dados RFID para uso final;
- Teste e certificação testam e certificam incrustações de etiquetas para uso no varejo e materiais para garantia do varejista e do fornecedor.

Um exemplo sobre a aplicabilidade ao realizar operações, manutenções e comissionamentos, gerando eficiência do processo são os dispositivos móveis que podem ajudar a padronizar as rodadas do operador e automatizar a documentação. Além disso, os tempos de inspeção podem ser reduzidos com essa identificação por radiofrequência, que pode enviar notificações push automatizadas sobre o desempenho do equipamento e histórico de reparos. Os processos também podem ser suportados por TI com monitoramento em tempo real de indicadores-chave de desempenho, bem como o rastreamento de medidas de melhoria e planejamento de turno de operador com suporte de TI (JANIN et al., 2021).

V. Conclusão

Desde o primeiro surgimento do tema “Indústria 4.0”, diversos setores têm sido afetados pela transformação digital que caracteriza o começo da Quarta Revolução Industrial. No decorrer deste trabalho, pode-se avaliar que o gerenciamento de projetos também faz parte desse movimento. A partir de tudo que foi discutido neste estudo, pode-se fazer uma análise da implementação dos adventos digitais para as empresas que executam projetos baseados na metodologia *Waterfall*.

Nesse contexto, o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção, esse um dos mais tradicionais e habituados ao gerenciamento de projetos *Waterfall*, apresenta-se como uma área em que há a necessidade mais presente para aplicar tais tecnologias e com isso, mudar a sua forma de atuação nos gaps do gerenciamento de projetos tradicional.

Para o fluxo de gerenciamento de projetos sequencial, as tecnologias que vêm se destacando pela sua grande influência na tomada de decisões são: Simulação e Modelagem; Digitalização e Virtualização; e Fábrica Inteligente. Como evidenciado neste estudo, essas tecnologias são desmembradas como os três principais *clusters*.

As tecnologias digitais podem trazer mais do que melhorias incrementais para o ciclo de vida do projeto, conforme visto no decorrer deste estudo. Há o potencial redução do cronograma de execução, mitigação de riscos de projeto, alterações de escopo e possibilitar um cenário mais competitivo do setor. Ou seja, otimizando cada fase do modelo tradicional de gerenciar projetos, cuja limitação baseia-se na possibilidade de modificar o escopo ao longo do projeto. Em todos os relatórios de empresas de consultoria analisados, prevê-se que as empresas, de forma geral, precisarão de uma rápida adaptação à essa volatilidade nos próximos anos para não perder competitividade.

Essa tendência foi inicialmente apresentada nas bases acadêmicas, de forma que a quantidade confirmada de artigos relacionados ao assunto é crescente ao longo dos anos. Como também, esse panorama foi corroborado pelos informativos apresentados pelo PMI e pelas *The Big 3*, sobre análises dessas maiores tendências de abordagem de tecnologias. Porém, nesses mesmos artigos empresariais, percebe-se que a maior parte das empresas está implementando tecnologias digitais que proporcionem o melhor retorno do investimento em vez de se posicionar como líder na transformação digital. A maioria dos setores tem preferência para investir em tecnologias digitais que favoreçam o curto prazo e apresentem retornos mais rápidos e palpáveis aos seus negócios.

Embora o nível atual de maturidade das tecnologias habilitadoras ainda seja questionável, quanto a sua real aplicabilidade de benefícios, o principal ponto de mudança estratégica é voltado a uma mudança de visão e cultura da empresa, quanto apresentar um pioneirismo para adoção interna desse movimento do mundo 4.0. Apesar desse movimento ainda ser incipiente no mercado global, há uma tendência de adoção crescente, principalmente quando há retorno comprovado. Outro ponto abordado é sobre como preparar as lideranças e os funcionários para conseguir absorver e se adaptar a esses novos modelos tecnológicos.

Atualmente, já existe uma competitividade considerável na parte de serviços digitais para os projetos de TI, nanotecnologia e biotecnologia. Porém, os ramos mais industriais estão iniciando esse processo de adoção de ferramentas complementares, de forma a não impactar em maiores riscos ao seu negócio. É notável o maior foco em melhorar cada uma das fases do gerenciamento, seja durante o início do projeto, durante planejamento até a finalização e atender às suas necessidades, sendo algo que deve continuar se fortalecendo nos próximos anos.

Ao longo da pesquisa, destacaram-se os usos das seguintes potenciais ferramentas: *Big Data e Analytics*, *Building Information Modeling*, Computação em nuvem, *Digital Twin*, Inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT), Manufatura aditiva, *Machine Learning*, Modularização, Pré-fabricação, *Radio Frequency Identification* (RFID) e Realidade Aumentada. Essas foram as principais iniciativas digitais indicadas tanto nos artigos acadêmicos, quanto por consultorias e pelo PMI. Já os sistemas ciberfísicos e a integração de sistemas foram os menos citados, sendo essa a causa de não abordar no presente estudo esses temas, visto a baixa quantidade de conteúdo encontrada. Ou seja, é possível que esses sistemas ainda tenham um maior nível de desenvolvimento para os próximos anos, porém, para essa análise não foi possível aprofundar esses dois tópicos.

É importante também avaliar para um cenário futuro sobre quais são as principais empresas que podem proporcionar parcerias com o desenvolvimento de serviços que proporcionem essa transformação local, visto que o *core business* de cada uma dessas empresas provavelmente não está diretamente ligado a esses adventos. É provável que o número de empresas que proporcionem essa parceria cresça ao longo dos próximos anos, dado a volatilidade e a necessidade de resolução desses problemas.

Neste trabalho, as empresas de consultoria estudadas estão dentre as maiores do mundo e as conclusões obtidas neste trabalho são uma análise não sistemática da literatura, ou seja, as informações utilizadas nesse estudo foram provenientes de dados secundários. Sendo

assim, é possível que empresas que executam projetos, sejam esses em diversas áreas e setores, estejam executando um plano de adoção aquém do que foi divulgado nas suas iniciativas relacionadas à Indústria 4.0.

Referências Bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10006. Gestão da qualidade - Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos, 2000.

ABOABDO, Shadi; ALDHOIENA, Abdulaziz; AL-AMRIB, Hashbol. Implementing enterprise resource planning ERP system in a large construction company in KSA. *Procedia Computer Science*, v. 164, p. 463-470, 2019.

ADANIČ, Luka; DE OLIVEIRA, Sara Guerra; TIBAUT, Andrej. BIM and Mechanical Engineering—A Cross-Disciplinary Analysis. *Sustainability*, v. 13, n. 8, p. 4108, 2021.

AGRAWAL, Mayank; ELOOT, Karel; MANCINI, Matteo; INTERATIVO, Alpesh Patel. Abrir Pop-Up. *Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19*. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19>. Acesso em: 20.5.2021.

ALAFFAD, Ali; MASROM, Md Asrul. Knowledge management framework for the collaborative innovation projects: A case of aviation industry in the UAE. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, v. 5, p. 76-80, 2017.

ALI SHAH, Shahban et al. Transformation towards Sustainable Business Models in Production: A Case Study of a 3D Printer Manufacturer. *Tehnički glasnik*, v. 14, n. 2, p. 224-231, 2020.

ALMEIDA, F. Challenges in Migration from Waterfall to Agile Environments. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2017, 5(3), 39 - 49.

ALICKE, Knut; GLATZEL, Christoph; HOBERG, Kai; KARLSSON, Per-Magnus. Big data and the supply chain: The big-supply-chain analytics landscape (Part 1). 2016. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/big-data-and-the-supply-chain-the-big-supply-chain-analytics-landscape-part-1>. Acesso em: 21.5.2021.

ALICKE, Knut; REXHAUSEN, Daniel; SEYFERT, Andreas. Supply Chain 4.0 in consumer goods. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods/pt-BR>. Acesso em: 24.5.2021.

AL-SAEED, Yahya; EDWARDS, David John; SCAYSBROOK, Stephen. Automating construction manufacturing procedures using BIM digital objects (BDOs). *Construction Innovation*, 2020.

AKHTAR, P. et al. The Internet of Things, dynamic data and information processing capabilities, and operational agility. *Technological Forecasting and Social Change*. [1] 2017.

ARCHER, S. & Kaufman, C. Accelerating outcomes with a hybrid approach within a waterfall environment. Paper presented at PMI® Global Congress 2013—North America, New Orleans, LA. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2013.

AYALA, Néstor Fabián et al. The contribution of IT-leveraging capability for collaborative product development with suppliers. *The Journal of Strategic Information Systems*, v. 29, n. 3, p. 101633, 2020.

A. DARKO, A.P. CHAN, M.A. ADABRE, D.J. EDWARDS, M.R. HOSSEINI, E.E. Ameyaw Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automat. Constr.*, 112 (2020), p. 103081.

BAIN & CO. Big Data Analytics. 2017. Disponível em: <https://www.bain.com/pt-br/insights/management-tools-big-data-analytics/>. Acesso em: 21.5.2021.

BAGHERI, Behrad et al. *Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment*. *IFAC-PapersOnLine*, v. 48, n. 3, p. 1622-1627, 2015.

BALAJI, S., MURUGAIYAN, M. Waterfall vs. V-Model vs. Agile: A comparative study on SDLC. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 2012, 2(1), 26–30.

BARBOSA, Adriane Monteiro Cavalieri; SAISSE, Manoel Carlos Pego. Hybrid project management for sociotechnical digital transformation context. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 2, p. 316-332, 2019.

BASANTA-VAL, Pablo, Marisol García-Valls, and Iria Estévez-Ayres. "Towards a cyber-physical architecture for industrial systems via real-time java technology." 2010 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology. IEEE, 2010.

BAWEJA B., DONOVAN P., HAEFELE M., SIDDIQI L., SMILES S., 2016 – Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution. *UBS White Paper for the World Economic Forum Annual Meeting*, 2016.

BENJAMIN, Guy; MAY, Brett; PREMA, Mitesh; RAGHUBANSHI, Vaibhaw. The coming evolution of field operations. 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-coming-evolution-of-field-operations>. Acesso em: 25.5.2021.

BENNETT, N., & LEMOINE, G. J. What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons*, 2014, 57(3), 311–317.

BLANCO, Jose Luis; MULLIN, Andrew; PANDYA, Kaustubh; PARSONS, Matthew; RIBEIRINHO, Maria João. Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem. 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/seizing-opportunity-in-todays-construction-technology-ecosystem>. Acesso em: 24.5.2021.

BOURGAULT, Mario; DANJOU, Christophe; PELLERIN, Robert. *Construction 4.0: A Survey of Research Trends*. 2020.

BRADBURY, Steve; CARPIZO, Brian; GENTZE, Matt; HORAH, Drew; THIBERT, Joel. Confiabilidade viabilizada digitalmente: além da manutenção preditiva. 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/digitally-enabled-reliability-beyond-predictive-maintenance/pt-br>. Acesso em: 23.5.2021.

BRANCA, Teresa Annunziata et al. The challenge of digitalization in the steel sector. *Metals*, v. 10, n. 2, p. 288, 2020.

BRANCO JR, Teófilo; DE SÁ-SOARES, Filipe; RIVERO, Alfonso Lopez. Key issues for the successful adoption of cloud computing. *Procedia Computer Science*, v. 121, p. 115-122, 2017.

BHATNAGAR, Abhi; FORREST, Will; KHAN, Naufal; INTERATIVO, Abdallah Salami Abrir Pop-Up. Unlocking value: Four lessons in cloud sourcing and consumption. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/unlocking-value-four-lessons-in-cloud-sourcing-and-consumption>. Acesso em: 23.5.2021.

BRETTEL, M. FRIEDERICHSEN, N. KELLER, M., & ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 2014, 8(1), 37-44.

BRINDA, Mark. Public vs. Private Cloud? The Market Says Hybrid. 2019. Disponível em: <https://www.bain.com/pt-br/insights/public-vs-private-cloud-the-market-says-hybrid/>. Acesso em: 23.5.2021.

BRINDA, Mark. Optimize, Don't 'Lift and Shift,' When Migrating to the Cloud. 2019. Disponível em: <https://www.bain.com/pt-br/insights/optimize-dont-lift-and-shift-when-migrating-to-the-cloud/>. Acesso em: 22.5.2021.

BRINDA, Mark; RADZEVYCH, Bill. The Pandemic Isn't Boosting Cloud Spending. 2020. Disponível em: <https://www.bain.com/pt-br/insights/topics/internet-of-things/>. Acesso em: 21.5.2021.

BRINKKEMPER, S. *Method engineering: engineering of information systems development methods and tools*. Information and Software Technology, 1996, 38(4), 275-280

BROMBERGER, Jörg; INTERATIVO, Richard Kelly Abrir Pop-Up. Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>. Acesso em: 27.5.2021.[2]

BOEHM, Jim; SMITH, Joy. Eliminação dos riscos das transformações digitais e analíticas. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/derisking-digital-and-analytics-transformations/pt-BR>. Acesso em: 20.5.2021.

CASTRO, Marco; PORTELA, Durval; MAIMONE, Hercules; CAJAZEIRA, Fabio. PwC Debate | Mundo 2030. 2020. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/temas-atuais/pwc-em-debate/pwc-debate-mundo-2030.html>. Acesso em: 10.2.2021.

CHANGALI, Sriram; MOHAMMAD, Azam; VAN NIEUWLAND, Mark. The construction productivity imperative. 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative>. Acesso em: 24.5.2021.

CHARALAMBOUS, Eleftherios; FELDMANN, Robert; RICHTER, Gérard; POPUP, Christoph Schmitz Open Interactive. Inteligência artificial na produção: uma revolução para os fabricantes com ativos pesados. 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/ai-in-production-a-game-changer-for-manufacturers-with-heavy-assets/pt-BR>. Acesso em: 20.5.2021.

CHUI, Michael; MANYIKA, James; MIREMADI, Mehdi. What AI can and can't do (yet) for your business. 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business->

functions/mckinsey-analytics/our-insights/what-ai-can-and-cant-do-yet-for-your-business/pt-BR#signin/download/%2F~%2Fmedia%2Fmckinsey%2Fbusiness%20functions%2Fmckinsey%20analytics%2Four%20insights%2Fwhat%20ai%20can%20and%20cant%20do%20yet%20for%20your%20business%2Fwhat-ai-can-and-cant-do-yet-for-your-business.pdf%3FshouldIndex%3Dfalse/1. Acesso em: 21.5.2021.

CHUI, Michael; MANYIKA, James; POPUP, Jacques Bughin Open Interactive. Big data's potential for businesses. 2011. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/mgi/overview/in-the-news/big-data-potential-for-businesses>. Acesso em: 25.3.2021.

CHUI, Michael; MANYIKA, James; MIREMADI, Mehdi; HENKE, Nicolaus; CHUNG, Rita; MALHOTRA, Sankalp. Notes from the AI frontier: Applications and value of deep learning: pieter nel. Pieter Nel. 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning>. Acesso em: 20.5.2021.

CRUZ, Fábio. Scrum e PMBOK unidos no Gerenciamento de Projetos. Brasport. 2013.

COALITION, *Smart Manufacturing Leadership. Implementing 21st century smart manufacturing*. In: Workshop summary report. 2011.

C. SALKIN, M. Oner, A. Ustundag and E. Cevikcan. A Conceptual Framework for Industry 4.0, In *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Springer Series in Advanced Manufacturing Springer, Cham, 2018, pp. 3-23.

DAHLQVIST, Fredrik; PATEL, Mark; RAJKO, Alexander; SHULMAN, Jonathan. *Growing opportunities in the Internet of Things*. McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/growing-opportunities-in-the-internet-of-things>. Acesso em 17.2.2021.

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

DARKO, Amos et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, v. 112, p. 103081, 2020.

DECAIX, Guillaume; GENTZEL, Matthew; LUSE, Andy; NEISE, Patrick; THIBERT, Joel. A smarter way to digitize maintenance and reliability. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/a-smarter-way-to-digitize-maintenance-and-reliability>. Acesso em: 24.5.2021.

DESPA, Mihai Liviu. Comparative study on software development methodologies. *Database Systems Journal*, Bucureste, 2014, v. 5, n. 3, p.37-56.

DEFOSSEZ, Katya; MCMILLAN, Mark; POPUP, Hrishika Vuppala Open Interactive. Managing large technology programs in the digital era. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/managing-large-technology-programs-in-the-digital-era>. Acesso em 23.5.2021.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE Industrial electronics magazine*, 2014, v. 8, n. 2, p. 56-58.

DONOVAN, P. O., et al. "Computers in Industry A comparison of fog and cloud computing cyber-physical interfaces for Industry 4.0 real-time embedded machine learning engineering applications." *Comput. Ind.* 110, 2019, pp. 12-35.

DOHENY, M., NAGALI, V., & WEIG, F. Agile operations for volatile times. McKinsey Company. 2012. Disponível em: http://www.mckinsey.com/insights/operations/agile_operations_for_volatile_times. Acesso em 10.1.2021.

DUCRO, Dennis; NOTERDAEME, Olivier; SLICZNA, Malgorzata; SOMERS, Ken; VAN NIEL, Joris. *Um guia para a jornada digital da indústria pesada*. McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/a-guidebook-for-heavy-industrys-digital-journey>. Acesso em: 17.2.2021.

D. MOURTZIS, E. VLACHOU, N. Milas, Industrial Big Data as a Result of IoTAdoption in Manufacturing, *Procedia CIRP* 55, 2016, pp. 290–295.

EMMER, Christian et al. Advances in 3D measurement data management for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 1335-1342, 2017.

ERASMUS, Jonro et al. Smart hybrid manufacturing control using cloud computing and the internet-of-things. *Machines*, v. 6, n. 4, p. 62, 2018.

ERASMUS, Jonro et al. The HORSE Project: The Application of Business Process Management for Flexibility in Smart Manufacturing. *Applied Sciences*, v. 10, n. 12, p. 4145, 2020.

FAIR, J. Agile versus Waterfall: approach is right for my ERP project? Paper presented at PMI® Global Congress 2012—EMEA, Marsailles, France. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2012.

FERNANDES, Gabriela et al. Project management practices for collaborative university-industry R&D: A hybrid approach. *Procedia computer science*, v. 138, p. 805-814, 2018.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. et al. A fog computing based cyber-physical system for the automation of pipe-related tasks in the Industry 4.0 shipyard. *Sensors*, 2018, v. 18, n. 6, p. 1961.

FRAME, J. D. *The New Project Management – Tools for an Age of Rapid Change, Corporate Reengineering, and Other Business Realities*. São Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1994.

FORBES. What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone. 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=5d8469829788>. Acesso em: 16.2.2021.

FLAHIFF, J. Integrating agile in a waterfall world. Paper presented at PMI® Global Congress 2011—EMEA, Dublin, Leinster, Ireland. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2011.

GŁODZIŃSKI, Eryk; SZYMBORSKI, Mateusz. Utilization of software supporting project management in middle and large project-based organizations: an empirical study in Poland. *Procedia Computer Science*, v. 164, p. 389-396, 2019.

GOUVEIA, L. B. A origem da Gestão de Projetos. 2010. Disponível em: <http://www.slideshare.net/guestb5a060/a-origem-da-gesto-de-projectos>. Acesso em 09.1.2021.

GRIFFIN, C. & ROLDAN, M. Swimming up the waterfall: agile processes in a waterfall world. Paper presented at PMI® Global Congress 2013 - North America, New Orleans, LA. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.

GUSZCZA J., MADDIRALA N. - Minds and Machines: The art of forecasting in the age of artificial intelligence – Deloitte Reviews, Complimentary article reprint, Issue 19 |2016

HALL, Daniel M.; WHYTE, Jennifer K.; LESSING, Jerker. Mirror-breaking strategies to enable digital manufacturing in Silicon Valley construction firms: a comparative case study. *Construction management and economics*, v. 38, n. 4, p. 322-339, 2020.

HAMMOND K., 2015 - Why artificial intelligence is succeeding: Then and now. *Computerworld*, September 14, 2015. Disponível em: <https://www.computerworld.com/article/2982482/why-artificial-intelligence-is-succeeding-then-and-now.html>. Acesso em 23.11.2020.

HECK, S., & Rogers, M. (2014). Are you ready for the resource revolution? *McKinsey Quarterly*, 2, 32-45.

HE, Z. et al. Research on Human-computer Interaction Technology of Wearable Devices Such as Augmented Reality Supporting Grid Work. *Procedia Computer Science*, 2017, 107, pp.170–175.

HEIDEMANN, Ailke; LACOPETA, Cinzia; OVERLACK, Sebastian; STRUBE, Gernot. Walking the talk: Best practices for digital construction. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/walking-the-talk-best-practices-for-digital-construction>. Acesso em 24.5.2021.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review. In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49., 2016, Estados Unidos. Proceedings. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2016. p. 3928–3937.

HERZBERG, Gary; PANIKKAR, Rohit; WHITEMAN, Rob; SAHU, Anand. The imperatives for automation success. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-imperatives-for-automation-success/pt-BR>. Acesso em: 24.5.2021.

HUSSEIN, Bassam. The influence of project characteristics on project success factors. Insights from 21 real life project cases from Norway. *Procedia Computer Science*, v. 164, p. 350-357, 2019.

ILYINA, Ekaterina N.; SANOVICH, Marina A. EFFECTIVENESS OF QUALITY MANAGEMENT DURING IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE PROJECTS AS THE BASIS OF COMPANY'S STRATEGIC DEVELOPMENT. *International Journal for Quality Research*, v. 15, n. 1, 2021.

INFOSYS. *Industry 4.0 as an evolution, not a revolution..* 2019. Disponível em: <https://www.infosys.com/iki/insights/industry-4-0-evolution.html>. Acesso em: 16.2.2020.

KAGERMANN H., ANDERL R., GAUSEMEIER J., SCHUH G., WAHLSTER W., 2016 – *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners* (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag 2016.

KHAJEH-HOSSEINI A, GREENWOOD D, SOMMERVILLE I., 2010 - Cloud migration: A case study of migrating an enterprise IT system to IaaS. In: Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Cloud Computing; 2010 Jul 5–10; Miami, FL, USA. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2010. p. 450–7

KHUSHBU GARG, Chandramani Goswami, R.S. Chhatrawat, Shyam Kumar Dhakar, Govind Kumar. Internet of things in manufacturing: A review. 2021.

KORBEL, Milan; SIM, Stuart; SOMERS, Ken; VAN NIEL, Joris. Enabling a digital and analytics transformation in heavy-industry manufacturing. 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/enabling-a-digital-and-analytics-transformation-in-heavy-industry-manufacturing>. Acesso em 23.5.2021.

LAUBIER, Romain de; WUNDER, Marius; WITTHÖFT, Sven; ROTHBALLER, Christoph. Will 3D Printing Remodel the Construction Industry. 2018. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-blications/2018/will-3d-printing-remodel-construction-industry>. Acesso em: 29.5.2021

LAURINI, Eleonora et al. TECHNOLOGY 4.0 FOR BUILDINGS MANAGEMENT: FROM BUILDING SITE TO THE INTERACTIVE BUILDING BOOK. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019.

LEE J., KAO H.A., YANG S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16 (2014), pp. 3-8

LESCZYNSKI, M., ARCHER, S., & BRENNECKE, G. Diving off the waterfall into agile. Paper presented at PMI® Global Congress 2014—North America, Phoenix, AZ. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2014.

LESMEISTER, Frank; GHOSH, Parijat. Digital Manufacturing Is (Finally) Coming to Pharma. 2020. Disponível em: <https://www.bain.com/pt-br/insights/digital-manufacturing-is-finally-coming-to-pharma/>. Acesso em: 22.5.2021.

LUND, Susan; MANYIKA, James; WOETZEL, Jonathan; BUGHIN, Jacques; KRISHNAN, Mekala; SEONG, Jeongmin; MUIR, Mac. Globalization in transition: The future of trade and value chains. 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/innovation-and-growth/globalization-in-transition-the-future-of-trade-and-value-chains>. Acesso em: 27.5.2021.[3]

MACDOUGALL, W. Industry 4.0: Smart manufacturing for the future. *Germany Trade & Invest*. 2014.

MACDONALD, K. T. Cloud first! Managing cloud computing challenges with a program management office. Paper presented at PMI® Global Congress 2011—North America, Dallas, TX. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2011.

MAHADEVAN, L., KETTINGER, W.J., AND MESERVY, T.O.: ‘Running on Hybrid: Control Changes when Introducing an Agile Methodology in a Traditional “Waterfall”

System Development Environment', Communications of the Association for Information Systems, 2015, 36, (1), pp. 5

MARQUART, Reiner; PIFCZYK, Alexander. Hybrides Projektmanagement. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, v. 114, n. 4, p. 178-180, 2019.

MASKURIY, Raihan et al. Industry 4.0 for the construction industry: review of management perspective. Economies, v. 7, n. 3, p. 68, 2019.

MASKURIY, Raihan et al. Industry 4.0 for the construction industry: review of management perspective. Economies, v. 7, n. 3, p. 68, 2019.

MELL P., GRANCE T., 2011 - The NIST definition of cloud computing. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

MENG, Xianhai. Lean management in the context of construction supply chains. International Journal of Production Research, v. 57, n. 11, p. 3784-3798, 2019.

MCKINSEY & COMPANY. The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production. World Economic Forum. Janeiro, 2018.

MCKINSEY & COMPANY. Notas sobre as fronteiras do conhecimento de inteligência artificial: aplicações e valor do *deep learning*. Discussion paper. Abril, 2018. Disponível em <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning/pt-BR>. Acesso em 31.5.2021.

MOHAMMED, K. N., & CHAMBRELIN, K. S. An analytical approach in usage of agile methodologies in construction industries—A case study. Materials Today: Proceedings. 2020.

MUNOZ-LA RIVERA, F. et al. Methodological-technological framework for Construction 4.0. Archives of Computational Methods in Engineering, v. 28, n. 2, p. 689-711, 2021.

MUNNS, A. K., & BJEIRMI, B. F. The role of project management in achieving project success. International Journal of Project Management, 14(2), 1996, 81–88.

M. MCCORMICK, "Waterfall and Agile Methodology", MPCs Inc (8/9/2012):1–8., 2012.

NEGAHBAN, ASHKAN AND JEFFREY S. SMITH. "Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis." Journal of Manufacturing Systems 33.2, 2014, pp. 241-261.

NGUYEN, Thu Anh; NGUYEN, Phong Thanh; DO, Sy Tien. Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects. *Advances in Civil Engineering*, v. 2020, 2020.

OTHMAN, Idris et al. Barriers of value management implementation for building projects in Egyptian construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 12, n. 1, p. 21-30, 2021.

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. *Computers in industry*, v. 83, p. 121-139, 2016.

PWC BRASIL LTDA (Brasil). As oito essenciais. 2019. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/estudos/preocupacoes-ceos/mais-temas/2021/reinventando-o-futuro/as-oito-essenciais.html>. Acesso em 18.5.2021.

PWC BRASIL LTDA (Brasil). PwC elege oito tecnologias que mais influenciarão empresas em todo o mundo até 2020. 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/noticias/oito-tecnologias-influenciarao-empresas-mundo-2020.html>. Acesso em: 26.5.2021.[4]

PEREIRA D., SCHATSKY D., SALLOMI P., DALTON R., 2015 - Cognitive technologies in the technology sector: From science fiction vision to real-world value, Deloitte Insights, DUP. 2015.

PISCHING, M. A. P. Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na Indústria 4.0. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2018.

PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guia PMBOK®: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos, Sexta Edição, Pennsylvania: PMI, 2017.

PYLE, Dorian; JOSE, Cristina San. An executive's guide to machine learning. 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/an-executives-guide-to-machine-learning#>. Acesso em: 20.5.2021.

P. FRANKOVÁ, M. DRAHOSOV, AND P. BALCO. Agile Project Management Approach and its Use in Big Data Management. In: *Procedia Computer Science* vol. 83 (2016). The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and

Technologies (ANT) / The 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT), pp. 576 –583.

QI, QINGLIN, AND FEI TAO. "Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison." *Ieee Access* 6 (2018): 3585-3593.

RIBEIRO, A. L. D., & ARAKAKI, R. Gerenciamento de Projetos Tradicional x Gerenciamento de Projetos Ágil: Uma Análise Comparativa. In *International Conference on Information Systems and Technology Management*. 2006. pp. 1594–1604.

RIGBY, Darrell K.. *MANAGEMENT TOOLS 2017: an executive's guide. An executive's guide*. 2017. Disponível em: <https://www.bain.com/insights/management-tools-internet-of-things/>. Acesso em: 22.1.2021.

ROBLEK V., MEŠKO M., KRAPEŽ A., 2016: A Complex View of Industry 4.0 – SAGE Open, April-June 2016: 1–11.

ROTH, Andrew; O'RIORDAN, Anne. Building a start-up innovation ecosystem: A conversation with Jardine Matheson's Anne O'Riordan and Michael Poon. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/building-a-start-up-innovation-ecosystem-a-conversation-with-jardine-mathesons-anne-oriordan-and-michael-poon>. Acesso em 24.5.2021.

RÜßMANN, Michael et al. *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group, v. 9, 2015.

SAS INSTITUTE. *Insights: SAS*. SAS /institute web site, 2015. Disponível em: http://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html. Acesso em: 12.9.2020.

SCHÖNBECK, Pia; LÖFSJÖGÅRD, Malin; ANSELL, Anders. Quantitative Review of Construction 4.0 Technology Presence in Construction Project Research. *Buildings*, 2013, v. 10, n. 10, p. 173.

SHAHU, Rashmi; PUNDIR, Ashok K.; GANAPATHY, L. An empirical study on flexibility: a critical success factor of construction projects. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 2012, v. 13, n. 3, p. 123-128.

SHEN WM, Norrie DH. Agent-based systems for intelligent manufacturing: A state-of-the-art survey. *Knowl Inf Syst* 1999;1(2): 129–56.

SHERRATT, Fred; DOWSETT, Ruth; SHERRATT, Simon. *Vive la révolution! Mas e o pessoal da Construção 4.0 ?*. Gestão, compras e direito, 2020.

SHI, Q. Rethinking the implementation of project management: A Value Adding Path Map approach. *International Journal of Project Management*, 2011, 29(3), 295–302.

SCHIMANSKI, Christoph Paul et al. Pushing digital automation of configure-to-order services in small and medium enterprises of the construction equipment industry: A design science research approach. *Applied Sciences*, v. 9, n. 18, p. 3780, 2019.

SCHOLZ, Julia-Anne; SIECKMANN, Felix; KOHL, Holger. Implementation with agile project management approaches: Case Study of an Industrie 4.0 Learning Factory in China. *Procedia Manufacturing*, v. 45, p. 234-239, 2020.

SCHUMACHER, A., EROL, S., & SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 2016, pp. 161-166.

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

SILVA, Guilherme Policarpio da. *Identificação dos impactos da Indústria 4.0 nas organizações: uma Revisão Sistemática de Literatura*. 2018. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

SINGH, R., & LANO, K. Literature survey of previous research work in models and methodologies in project management. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2014, 5 (9), 107 – 122.

SMITH A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations: Volume 1. Indianapolis: Liberty, 1981, 23–30.

SNEADER, Kevin; SINGHAL, Shubham. The next normal arrives: Trends that will define 2021—and beyond. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/leadership/the-next-normal-arrives-trends-that-will-define-2021-and-beyond/pt-BR>. Acesso em: 23.5.2021.

ŠPUNDAK, M., SUKIĆ, H., & ŠTRIGA, K. How to Improve Project Management in Croatia? Paper presented at PMI® Global Congress 2011—EMEA, Dublin, Leinster, Ireland. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2011.

ŠPUNDAK, M. Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014, 119, 939–948.

STOCK, T. & SELIGER, G. *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use*. 2016.

TERINO, Joe; HANBURY, Peter; SOBEL, Jon. Industry 4.0: Getting Digital Manufacturing Right. 2019. Disponível em: <https://www.bain.com/insights/industry-4-0-getting-digital-manufacturing-right/>. Acesso em: 29.5.2021.

TOLFREE, David; WALSH, Steven T. Uma introdução ao campo de comercialização de tecnologias de manufatura de materiais emergentes em um mundo IoT. *Translational Materials Research*, v. 5, n. 2, pág. 024002, 2018.

TURNER, Christopher J. et al. Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 17, n. 2, p. 746-756, 2020.

VAN ECK, N. J; WALTMAN, L. VOSviewer Manual - version 1.6.8. Univeriteit Leiden, n. April, p. 1–51, 2018.

VRCHOTA, Jaroslav et al. Critical Success Factors of the Project Management in Relation to Industry 4.0 for Sustainability of Projects. *Sustainability*, v. 13, n. 1, p. 281, 2021.

WANASINGHE, Thumeera R. et al. Digital twin for the oil and gas industry: overview, research trends, opportunities, and challenges. *IEEE Access*, v. 8, p. 104175-104197, 2020.

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

ZULKEFLI, Nur Syamimi; MOHD-RAHIM, Faizul Azli; ZAINON, Nurshuhada. Integrating Building Information Modelling (BIM) and Sustainability to Greening Existing Building: Potentials in Malaysian Construction Industry. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, v. 11, n. 3, p. 76-83, 2020.