U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

TOMÁS DIEGUEZ DE PAIVA CORREIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

Coorientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

JUNHO DE 2022

Análise da Implementação da Digitalização na Construção

Tomás Dieguez de Paiva Correia

Mestrado em Engenharia Civil

JUNHO DE 2022

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌍 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Agradecimentos

Com o fim do meu percurso académico como estudante de Engenharia Civil, não poderia deixar de agradecer a todos as pessoas que me acompanharam e acreditaram em mim ao longo de todo este processo.
À minha mãe, por simplesmente ser quem é. Agradecer por acreditar em mim como ninguém, e por todo o amor e tempo investido, fazendo de mim a pessoa que sou hoje.
Ao meu Pai, um agradecimento por todos as palavras, amor, confiança e chamadas de atenção nos momentos certos.
Aos meus avós, que sempre me trataram como um verdadeiro rei. Obrigado por todas as conversas e conselhos.
À Joana, que com toda a paciência e com todo o amor do mundo, acreditou em mim desde início. Por aturar todas as minhas mudanças de humor e por mesmo nos momentos de dúvida estar presente e me fazer ver o melhor caminho, o meu obrigado.
Ao meu amigo André Lopes, por todas as conversas e horas comigo "perdidas", o meu grande obrigado.
Aos meus colegas de cursos e amigos de longas batalhas, por todas as histórias que marcaram este percurso. Todos os momentos com cada um foram especiais e vou para sempre guardá-los comigo.
A todos os meus amigos, por serem os melhores amigos que poderia ter. Por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos, sempre dispostos a ouvir-me e a festejar os meus sucessos.
Ao meu orientador, Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro, por todo o apoio e confiança, pelos conselhos e partilha de conhecimentos. Por toda a disponibilidade e vontade demonstrada desde início para atingir a meta final.
Ao BUILT CoLAB, em especial ao Engenheiro Luís Sanhudo e à Engenharia Ana Catarina Rocha um agradecimento pela oportunidade de trabalhar convosco, demonstrando sempre atenção e disponibilidade.
A todos um enorme agradecimento por me ajudarem a superar todos os obstáculos que encontrei neste longo percurso.

Resumo

A transformação digital é um termo em voga que domina a nossa vida e impacta fortemente a sociedade e o mundo dos negócios. Sendo um conceito fortemente associado à tecnologia, tem efeitos sistémicos, influenciando significativamente os sistemas e processos.
A transformação digital introduz rápidas mudanças e uma revolução grande na forma de viver das pessoas. A globalização dos mercados é um fator decisivo para a sustentabilidade de um país, aparecendo a tecnologia em todo o lado, parecendo centrada em máquinas e processos. As empresas devem sobreviver e, mais do que nunca, manter ou ganhar vantagem competitiva.
A complexidade e dinâmica do mundo atual é enorme e a transformação digital coloca enormes desafios, mas abre também inúmeras oportunidades que devem ser aproveitadas. As empresas que não se adaptam e se preparam correm sérios riscos de vir a desaparecer no mercado.
O setor de construção é um setor atento, que importa inovações de outros setores, mas que ainda não consegue replicar essas inovações em todos os elos da cadeia de valor. O governo está atento às dificuldades e apoia o *cluster* da construção através de políticas públicas e incentivos nesta área.
A presente Dissertação tem como objetivo tentar perceber como as empresas do setor AEC em Portugal estão a responder aos enormes desafios originados pela transformação digital. Inicialmente é feito o enquadramento do tema, são apresentados os principais objetivos, metodologia e estrutura do trabalho fazendo posteriormente uma abordagem sobre os conceitos de digitalização e de Indústria 4.0.
Adicionalmente, são explanadas algumas iniciativas da indústria 4.0 em Portugal e noutros países, bem como desafios e benefícios para a implementação, estado atual da construção em Portugal, ferramentas de medição e casos de estudo. É explicado o desenvolvimento do inquérito sobre a digitalização no setor AEC utilizado neste estudo, complementado com a análise e discussão de resultados. Através de uma análise crítica do estudo empírico *vs* estado de arte, foi possível melhor perceber os resultados obtidos. Finalmente, no último capítulo, é apresentada a conclusão, as principais limitações, bem como sugestões para estudos futuros.
Os resultados obtidos parecem concluir que as empresas de construção estão atentas às dinâmicas geradas pela transformação digital, embora o estejam a fazer a diferentes velocidades. O investimento alto necessário e a carência de Recursos Humanos especialistas nesta área, parecem ser as principais barreiras. É necessária formação e requalificação dos atuais trabalhadores, bem como apoio do governo para ajudar e orientar as empresas neste processo de mudança de paradigma.

Palavras-chave: Complexidade, Indústria 4.0, Setor AEC, Transformação Digital

Abstract

Digital transformation is a buzzword that dominates our lives and strongly impacts society and the business world. Being a concept strongly associated with technology, it has systemic effects, significantly influencing systems and processes.
Digital transformation introduces rapid changes and a major revolution in the way people live. The globalization of markets is a decisive factor for the sustainability of a country, with technology appearing everywhere, seemingly centered on machines and processes. Companies must survive and, more than ever, maintain or gain competitive advantage.
The complexity and dynamics of today's world is enormous, and digital transformation poses enormous challenges, but it also opens up countless opportunities that must be seized. Companies that do not adapt and prepare are at serious risk of disappearing from the market.
The construction industry is an attentive sector that imports innovations from other sectors, but is not yet able to replicate these innovations in every link of the value chain. The government is aware of the difficulties and supports the construction cluster through public policies and incentives in this area.
This dissertation aims to try to understand how companies in the AEC sector in Portugal are responding to the enormous challenges brought about by digital transformation. Initially, the subject is framed, the main objectives, methodology and structure of the work are presented, followed by an approach on the concepts of digitalization and Industry 4.0.
Additionally, some Industry 4.0 initiatives in Portugal and other countries are explained, as well as challenges and benefits for implementation, current state of construction in Portugal, measurement tools and case studies. The development of the survey on digitalization in the AEC sector used in this study is explained, complemented with the analysis and discussion of results. Through a critical analysis of the empirical study vs. state of the art, it was possible to better understand the results obtained. Finally, in the last chapter, the conclusion, the main limitations, as well as suggestions for future studies are presented.
The results obtained seem to conclude that construction companies are aware of the dynamics generated by digital transformation, although they are doing so at different speeds. The high investment required and the lack of Human Resources specialized in this area, seem to be the main barriers. Training and retraining of current workers is needed, as well as government support to help and guide companies in this paradigm shift process.

Keywords: Complexity, Industry 4.0, AEC Sector, Digital Transformation

"If you set goals ridiculously high and it's a failure,
You will fail above everyone else's success."

James Cameron

Conteúdo

1 Introdução **1**
- 1.1 Enquadramento do Tema . . . 1
- 1.2 Principais Objetivos . . . 3
- 1.3 Metodologia . . . 3
- 1.4 Estrutura do Trabalho . . . 4

2 Estado de Arte **5**
- 2.1 Digitalização . . . 5
- 2.2 Indústria 4.0 . . . 6
- 2.3 Tecnologias e Aplicações no Apoio à Indústria 4.0 e Digitalização . . . 8
  - 2.3.1 Sistemas *Cyber* Físicos . . . 9
  - 2.3.2 *Internet of Things* . . . 10
  - 2.3.3 Tecnologias de Recolha de Dados em Tempo Real . . . 11
  - 2.3.4 Robótica . . . 12
  - 2.3.5 *Laser Scanning* e Fotogrametria . . . 12
  - 2.3.6 Computação em Nuvem . . . 13
  - 2.3.7 *Big Data* . . . 14
  - 2.3.8 Impressão 3D . . . 15
  - 2.3.9 Computação Visual . . . 16
  - 2.3.10 Equipamentos Autónomos e Inteligência Artificial . . . 18
- 2.4 Impactos da Indústria 4.0 . . . 18
- 2.5 Programas e Iniciativas da Indústria 4.0 Noutros Países . . . 20
  - 2.5.1 Alemanha . . . 21
  - 2.5.2 Europa . . . 21
  - 2.5.3 China . . . 22
  - 2.5.4 Estados Unidos/ Canadá . . . 23
  - 2.5.5 Brasil . . . 24
- 2.6 Indústria 4.0 em Portugal . . . 25
- 2.7 Impactos da Implementação da Digitalização . . . 26
- 2.8 Estado Atual da Digitalização em Portugal . . . 28
  - 2.8.1 Plataforma Tecnológica Europeia da Construção . . . 28
  - 2.8.2 Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção . . . 29
  - 2.8.3 Importância do *Cluster* Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) . . . 30
- 2.9 Ferramentas de Medição do Nível de Digitalização . . . 32
  - 2.9.1 *SHIFT2Future* . . . 32
  - 2.9.2 Modelo *THEIA* . . . 33
  - 2.9.3 Deloitte - *Digital Maturity Model* . . . 34
  - 2.9.4 *Digital Strategy Toolkit* . . . 35

2.10 Casos de Estudo 37

3 Desenvolvimento do Inquérito Sobre a Digitalização no Setor AEC 43
3.1 Investigação Quantitativa 43
3.2 Procedimentos Metodológicos 44
3.3 Objetivo e Questões do Questionário 45
3.3.1 Validação do Questionário 47
3.3.2 Escala de *Likert* 47
3.4 Disseminação do Questionário 48

4 Análise e Discussão de Resultados 49
4.1 Caraterização da Amostra 49
4.2 Análise dos Resultados 52
4.2.1 Estratégia 52
4.2.2 Recursos Humanos 54
4.2.3 Organização 55
4.2.4 Clientes e Parceiros 55
4.2.5 Tecnologias 56
4.2.6 Nível de Adoção das Tecnologias 57
4.2.7 Principais Barreiras para a Adoção das Tecnologias 57
4.3 Discussão dos Resultados 58

5 Análise Crítica - Estudo Empírico vs Revisão de Literatura 61

6 Conclusão 67
6.1 Conclusão 67
6.2 Principais Limitações 68
6.3 Possíveis Estudos Futuros 68

Referências 69

A Anexos 81
A.1 Email Enviado 82
A.2 Questionário Realizado 83
A.2.1 Dados Iniciais 83
A.2.2 Caracterização das Empresas 84
A.2.3 Estratégia 85
A.2.4 Recursos Humanos 87
A.2.5 Organização 89
A.2.6 Clientes e Parceiros 91
A.2.7 Tecnologia 92
A.2.8 Agradecimentos 95

Lista de Figuras

2.1 Evolução Indústria ao longo dos anos [47] 6
2.2 Adaptação das empresas às novas tecnologias. Adaptado [133] 8
2.3 Tecnologias industriais. Adaptado [131] 9
2.4 CPS. Adaptado [131] 10
2.5 Planeamento para a Digitalização. Adaptado [22] 13
2.6 Implementação nas empresas. Adaptado [9] 15
2.7 Dimensões do Modelo *THEIA*. 34

3.1 Equação de Avaliação dos Parâmetros. 45

A.1 E-mail enviado às empresas como pedido de colaboração 82

Lista de Tabelas

2.1 Desafios da Implementação da Transformação Digital . . . 27
2.2 Benefícios da Implementação da Transformação Digital . . . 28
2.3 Estrutura da Dimensões do Inquérito DMM . . . 36
2.4 Caso de Estudo de Brynjolfsson & Hitt (2000) [37], (2003) [38]; Belvedere *et al.*(2013) [32]; Kryvinska *et al.*(2014) [86] sobre a Digitalização . . . 37
2.5 Caso de Estudo de Neff *et al.*(2010) [106] . . . 37
2.6 Caso de Estudo de Merschbrock, & Munkvold (2014) [97] . . . 37
2.7 Caso de Estudo de Merschbrock, & Munkvold (2015) [98] . . . 38
2.8 Caso de Estudo de Shibeika & Harty (2015) [136] . . . 38
2.9 Caso de Estudo de Marcelo *et al.*(2018) sobre a Digitalização [95] . . . 38
2.10 Caso de Estudo de Pereira & Araújo (2018) sobre a Digitalização [120] . . . 39
2.11 Caso de Estudo de Pereira (2021) sobre a Digitalização [117] . . . 39
2.12 Caso de Estudo "da construção"sobre a Digitalização [50] . . . 39
2.13 Caso de Estudo de Koscheyev *et al.*(2019) sobre a Digitalização [118] . . . 40
2.14 Caso de Estudo de Reis (2019) sobre a Digitalização [122] . . . 40
2.15 Caso de Estudo de Ginigaddara *et al.*(2021) [68] . . . 40
2.16 Caso de Estudo de Truant *et al.*(2021) sobre a Digitalização [145] . . . 41
2.17 Caso Estudo de European Construction Sector Observatory (2021) sobre a Digitalização [13] . . . 41

3.1 Escala utilizada para avaliação do uso das tecnologias . . . 46
3.2 Escala de *Likert* utilizada no questionário . . . 48

4.1 Cargo do Respondente . . . 49
4.2 Longevidade de Atuação da Empresa . . . 50
4.3 Tipos de Empresa . . . 50
4.4 Tipos de Empresa (Continuação) . . . 51
4.5 Tamanho da Empresa . . . 51
4.6 Localização da Sede da Empresa . . . 52
4.7 Zona de Principal Atuação . . . 52
4.8 Importância da Digitalização . . . 53
4.9 Investimento em Tecnologia . . . 53
4.10 Competências dos Colaboradores . . . 54
4.11 Autonomia e Ferramentas Fornecidas . . . 54
4.12 Processos de Tomada de Decisão . . . 55
4.13 Partilha e Gestão da Informação . . . 55
4.14 Clientes e Parceiros . . . 56
4.15 Presença das Tecnologias nas Empresas . . . 56

4.16 Nível de Adoção das Tecnologias 57
4.17 Barreiras que Impedem a Adoção das Tecnologias 58

5.1 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura 61
5.2 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação) 62
5.3 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação) 63
5.4 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação) 64
5.5 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação). 65
5.6 Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação) 66

Abreviaturas

3D	Três Dimensões
AA&D	Active Aging & Design
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AI	Inteligência Artificial
AMP	Advanced Manufacturing Partnership
AR	Realidade Aumentada
BIM	Building Information Modeling
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
CBM	Cloud Based Manufacturing (Fabrico Baseado em Nuvem)
CFL	Construção Fora do Local
CLC	Controladores Lógicos Programáveis
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CNI	Conferação Nacional da Indústria
CPPS	Cyber Physical Production Systems (Sistemas de Produção Cyber Físicos)
CPS	Cyber Physical System (Sistemas Cyber Físicos)
CSES	Centre for Strategy & Evaluation LLP
CTCV	Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
DBE	Digital Built Environment
DFKI	German Research Centre for Artificial Intelligence
E2B	Energy Efficient Buildings
ECTP	European Construction Technology Platform
EFFRA	European Factories of Research Association
ERP	Planeamento de Recursos Empresariais
ETP's	Plataformas Tecnológicas Europeias

EY	Ernst & Young
FoF	Factories of the Future
GB	Gygabite
GIS	Sistemas de Informação Geográfico
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H&R	Heritage & Regeneration
HD4AR	Hybrid 4Dimensional Augmented Reality
I&M	Infrastructure & Mobility
IAPMEI	Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação
ICT	Tecnologias de Informação e Comunicação
IDI	Investigação, Desenvolvimento e Inovação
IDT	Investigação e Desenvolvimento Tecnológico
IIC	Industrial Internet Consortium
IMSC	Intelligente Manufacturing Sytem Centre
INE	Instituto Nacional de Estatística
INS	Sistema de Navegação Inercial
IoT	Internet of Things
IoTS	Internet of Things and Services
ISQ	Instituto Soldadura e Qualidade
M&S	Materials & Sustainability
M2M	Machine-Machine
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio
ML	Machine Learning
MR	Mixed Reality
NNMI	National Network for Manufacturing Innovation
Nova SBE	School of Business and Economics
OT	Tecnologias de Operação
PME	Pequenas e Médias Empresas
PPP	Parceria Público Privada
PTPC	Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção

QR	Códigos de Resposta Rápida
RFID	Frequência de Rádio Identificadas
ROI	Retorno Sobre o Investimento
SCTN	Sistema Científico e Tecnológico Nacional
SFM	Structure From Motion
TB	Terabyte
THEIA	Technological and Holistic Engagement for Industry 4.0 Assessment
TI	Tecnologia de Informação
TLS	Laser Scanning Terrestre
UE	União Europeia
UWB	Ultra WideBand (Banda Ultra Larga)
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VR	Realidade Virtual
ZB	Zettabyte
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do Tema

Descrever o processo de transformação digital implica utilizar uma terminologia muito variada, entre a qual se destaca a digitalização. Trata-se do processo de transformação das empresas em empreendimentos digitais [65] [128], abrangendo assim o contexto mais amplo da "utilização da tecnologia"[102] [111]. Tendendo a ser o conceito de transformação digital um conceito fortemente associado à tecnologia, é tipicamente definido como "um esforço para permitir modelos de negócios existentes através da integração de tecnologias avançadas"[41]. Dado que as tecnologias digitais são altamente invasivas e sistémicas [58], com impacto significativo nos sistemas e processos. As transformações empresariais e a adaptação digital são enormes [84], com enfoque particular no capital social [155].

Contudo, se por um lado a transformação digital abre inúmeras oportunidades que devem ser aproveitadas, enquadrar a introdução das tecnologias digitais como uma inovação, ajuda a compreender o impacto da mudança digital ou tecnológica nos negócios. A inovação refere-se a um novo produto, serviço ou processo [14], mas também está relacionada com o marketing, a organização e o próprio modelo de negócios [138]. Os processos informais, o conhecimento tácito e o contexto são determinantes [114]. Sendo tradicionalmente a inovação maioritariamente do tipo incremental ou radical, as empresas vêm-se agora envolvidas em abordagens completamente novas [14] [42], com ruturas grandes, frequentemente impulsionado pela inovação tecnológica, e afetando a paisagem de toda a indústria [46]. As organizações que não conseguem responder à mudança digital são substituídas por novos participantes/*players* [46] e as arquiteturas industriais mudam frequentemente de forma significativa [79].

À semelhança de outras indústrias, a indústria da construção tem vindo a sofrer um processo gradual, mas acelerado, de mudança digital nas últimas décadas. O ambiente construído está à beira de ser perturbado pelo “vortex digital” e inúmeras empresas são afetadas por alterações causadas pelo “ciclone digital” [84]. Os anos 50 surgem como ponto de viragem para o estado atual [64]: várias tecnologias digitais têm vindo a ser aplicadas no setor da construção, o que por sua vez permite a digitalização dos processos empresariais e de projeto, avançando para a eventual

transformação digital da indústria que atualmente estamos a vivenciar. Embora este setor importe frequentemente inovações tecnológicas de outros setores [115], não as está a integrar da mesma forma ao longo da cadeia de valor, isto é, desde a conceção até à produção [114]. As inovações são difíceis de difundir, sobretudo porque existe uma grande variabilidade de produtos e procura [27] com caráter temporário. Neste sentido, poder-se-á afirmar que o setor da construção é notório pela adoção de inovações de forma *adhoc* [52], sobretudo quando se trata de grandes projetos onde a inovação é considerada como tendo uma adoção lenta [103].

A comunidade científica tem apresentado estudos que contribuem para a compreensão das diferentes inovações e da sua adoção no setor da construção. Exemplos estão associados a inovação de vários tipos, principalmente ao nível do produto, novos materiais, processos, fluxos de trabalho e tecnologias digitais [105]. Assim, nos anos 2000, as inovações parecem ter estado associadas, com a seguinte ordem de complexidade: i) incremental, ii) modular, iii) arquitetónica, iv) de sistema e (v) radical [139], requerendo um processo de implementação diferente, devido ao nível variável de dificuldade e relevância ao longo da cadeia de fornecimento da construção. Também foram identificadas as profundas vantagens que as inovações digitais podem ter na construção, como por exemplo a nível de redes de projetos [35], representações digitais tridimensionais (3D) de bens construídos, design e processos de construção não automatizados utilizando a Modelação da Informação de Construção (BIM), mudanças nas tecnologias, práticas de trabalho e conhecimentos em múltiplas comunidades [35]. Atualmente, o BIM é considerado o agregador de informação e tecnologia digital mais representativo no sector da construção a nível mundial, mas a sua adoção tem criado novos desafios, particularmente em torno da liderança, comunicação e colaboração [114].

Contudo, o impacto do digital não só diz respeito a aspetos tecnológicos e melhorias operacionais, mas também implica compromisso e confiança [93], afeta a coordenação [36] e a colaboração [29]. Estudiosos e profissionais estão amplamente de acordo que os produtos e a produção do ambiente construído estão a ser transformados pelas tecnologias digitais estando a ser criadas oportunidades para sustentar inovações digitais ao longo do ciclo de vida dos bens construídos. Embora a taxa de mudança digital esteja atualmente a acelerar, é imprescindível reconhecer e compreender a natureza e os resultados criados pela digitalização do ambiente construído ao longo do tempo nos projetos e empresas do setor da construção.

Aproximando-se o investigador da reta final do percurso académico como aluno de Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, é necessário que vá para o mercado de trabalho com conhecimento científico atualizado sobre este tema da digitalização, já que é um tema que tem impactado e impactará fortemente o setor da construção nos próximos anos.

A proposta do tema resultou de várias reuniões entre o investigador, o Orientador, Professor Doutor Alfredo Soeiro e o Supervisor por parte da empresa BUILT CoLAB, Engenheiro Luís Sanhudo. Em conjunto foi decidido fazer a análise do setor da construção em Portugal, no que concerne à situação atual da transformação digital, a fim de tentar perceber que tecnologias e ferramentas servem de apoio ao trabalho das empresas do setor AEC.

O BUILT CoLAB é um Laboratório Colaborativo para o Ambiente Construído do Futuro que de-

fine como principal objetivo a transição digital e climática dos edifício e infraestruturas, tornando-os mais inteligentes e sustentáveis, tendo em preocupação o aumento da competitividade e produtividade de todo o setor AEC.
A evolução tecnológica está cada vez mais presente a nível mundial, potenciando assim todos os sistemas industriais que por ela passam. As novas tecnologias levaram e levam a mudanças acentuadas nas diversas áreas da construção, facilitando assim a sua produtividade e a possibilidade de oferta de novos produtos e serviços. Perceber como o setor da construção está a responder aos desafios que estão a surgir, é um tema interessante que merece ser estudado.
Adicionalmente, as empresas que não abraçarem rapidamente esta dinâmica de uma forma consciente e informada, correm o risco de perder competitividade e, no limite, não sobreviverem aos enormes desafios do mercado global.

1.2 Principais Objetivos

O uso da tecnologia é cada vez mais uma realidade, obrigando as empresas a desenvolver competências nestas áreas e a potenciar a sua transformação, com vista a um aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade.
Tendo como perguntas de partida: “Como é que em Portugal as empresas de construção estão a responder à transformação digital"e “Quais as tecnologias utilizadas nas empresas do setor AEC”, o objetivo principal deste estudo passa por:

- Perceber, estudar, investigar e conhecer ferramentas que possam facilitar as empresas e os seus profissionais a ter uma maior produtividade, em parceria com o avanço da digitalização;
- Perceber até que ponto as empresas estão a acompanhar os novos avanços tecnológicos e estão a tirar benefício dos mesmos;
- Perceber se as empresas, para além de obter os resultados previstos e procurando satisfazer as necessidades do consumidor, aumentam a produtividade e reduzem os custos.

Como objetivos específicos deste estudo, apontam-se:

- Obter informações concretas sobres as novas e melhores fontes de digitalização;
- Conseguir contactar as empresas para perceber o seu nível de transformação digital;
- Informar as respetivas empresas de como melhorar e facilitar o seu trabalho, sugerindo as melhores tecnologias para o fazer.

1.3 Metodologia

Para a estudo do tema, foi realizada uma revisão de literatura com principal apoio a bases científicas tais como a *Scopus*, a *Web of Science*, o Repositório Aberto e o *Science Direct*. A informação

retirada foi também fundamentada em livros, revistas e jornais especializados na área, onde foram conseguidas recolher diferentes abordagens e reflexões.
Começamos por tentar perceber qual o estado de arte a nível tecnológico das empresas de construção a nível internacional, mais propriamente na Alemanha, China, Estados Unidos, Canadá e Brasil. Depois procuramos conhecer a situação em Portugal, a fim de ser possível fazer uma comparação entre as diversas realidades. Posteriormente, foi realizado um questionário baseado no modelo de Azhari *et al.* (2014), desenvolvido na Alemanha, pela Consultora *Neuland*, adaptado à realidade e cultura do setor AEC em Portugal, a fim de caraterizar a evolução digital presente nas empresas.
O questionário foi lançado em maio de 2022, através do *Google Forms*, e foi enviado às empresas com sede em Portugal, tendo permanecido aberto cerca de um mês e meio. O questionário foi previamente validado pela academia (5 Professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) e pelo mundo empresarial (4 Engenheiros Civis e 1 Arquiteto).

1.4 Estrutura do Trabalho

Após investigação, realizada prioritariamente em artigos académico, artigos científicos, livros, dissertações e pesquisa em bases de dados científicas, foi estruturado o segundo capítulo, sendo ele dedicado à revisão bibliográfica. Numa primeira parte deste estudo foram aprofundadas definições e temas importantes, tais como conceitos sobre Digitalização e Indústria 4.0. Foi recolhida informação sobre o estado atual da construção a nível digital em Portugal, com o intuito de perceber a sua resposta e o seu avanço. Foi, ainda, considerado relevante apresentar o nível da evolução tecnológica apresentado nas empresas em alguns países no estrangeiro e perceber quais foram os principais desafios e conceitos a ter em conta para a sua implementação. Para isso, foi feita referência a alguns países onde essa evolução foi mais impactante, sendo também visível uma melhoria acentuada, quer a nível de rendimento e produtividade, quer a nível competitivo. Foram apresentados diversos casos de estudo semelhantes, que ajudaram a consolidar o trabalho de investigação.
No terceiro capítulo foi apresentado o questionário realizado e enviado às empresas nacionais, com o intuito de perceber qual o seu avanço tecnológico e quais as ferramentas e softwares utilizados. Adicionalmente, foram identificadas algumas das principais barreiras que dificultam a implementação das tecnologias nas empresas, procurando soluções para a sua minimização.
O quarto capítulo foi destinado à avaliação e análise dos inquéritos realizados, a fim de perceber e justificar o nível e posicionamento de cada empresa no mercado.
O quinto capítulo teve como foco uma análise crítica, fazendo uma ligação dos resultados obtidos com todo o estado de arte. Este capítulo teve um peso importante, pois através do mesmo foi possível entender melhor o porquê de se justificarem alguns dos valores encontrados, tornando o estudo mais objetivo e mais claro na sua compreensão.
No último e sexto capítulo, são feitas as conclusões gerais do trabalho, são apresentadas limitações e indicados possíveis desenvolvimentos para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Estado de Arte

2.1 Digitalização

Cada vez mais o tema da digitalização se depara na vida das pessoas e das organizações. Nesta era cada vez mais digital, as relações entre organizações e clientes, estão em constante desenvolvimento e novos modelos de negócio estão a ser desenvolvidos. O aumento de flexibilidade, agilidade e capacidade de criar rapidamente novas oportunidades de negócio, são aspetos fundamentais para acompanhar um mercado em constante mudança e conseguir sobreviver.
A digitalização assume-se na indústria como uma maneira de executar atividades presenciais, digitalmente enfatizando a importância de colocar a tecnologia avançada em cada produto e serviço. Não significa apenas ficar sem papel; significa ser capaz de integrar soluções para gerir, organizar, controlar e gerar valor a partir de dados digitais para a criação de valor, sustentabilidade, e criação de novas oportunidades para as empresas e para a sociedade [63].
Os sistemas operacionais estão-se a tornar cada vez mais complexos e automatizados e essa automatização é sentida essencialmente, nas máquinas, dispositivos, sensores e sistemas de controlo, devidamente acompanhados pelas competências que as pessoas são obrigadas a desenvolver para melhor acompanhar as novas estações de trabalho que, obrigatoriamente, vão começar a ser criadas. A alteração nos processos de digitalização implica a criação de novas funções. As funções podem ser agrupadas em três grandes conjuntos a saber: i) funções operacionais (frequentemente de modelação, que exigem o domínio de ferramentas informáticas específicas), ii) funções de desenvolvimento (que exigem o domínio de técnicas de programação) e iii) funções de gestão (que são responsáveis pela integração do BIM ao nível de uma equipa de trabalho, de uma empresa, ou de um empreendimento) [147].
Este processo, exige aprofundamento de conhecimentos de aplicações e *hardwares* específicos assim como do domínio dos processos de gestão da informação. Como Gartner (2018) [63] afirma, a digitalização é a utilização de tecnologias para mudar um modelo de negócio e proporcionar novas receitas e produção de valor, gerando oportunidades, sendo o processo de transição para um negócio digital.

Relativamente a este temática, o governo sente-se confrontado com questões derivadas da desigualdade potencial e salarial provocados pela incerteza do futuro digital.

2.2 Indústria 4.0

Ao longo dos anos, a indústria tem vindo a sofrer grandes revoluções, tanto a nível tecnológico como a nível de produção (figura 2.1): desde a máquina a vapor até à automatização e robótica presente nos processos [47].
A primeira revolução, ocorre em Inglaterra nos finais do século XVII, marcada pela transição do trabalho humano por máquinas a vapor. Já na segunda revolução, no início do século XX e com o desejo de se construir tudo mais rapidamente, há evoluções nas indústrias químicas, elétricas e do aço sendo marcado pela produção em massa associada às linhas de produção. No final dos anos 70, surge a terceira revolução marcada pela automação dos produtos apoiada pelas tecnologias de informação.

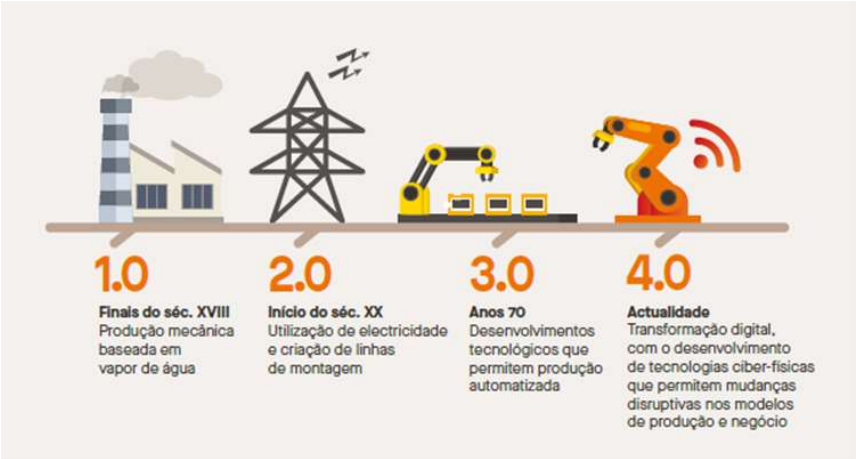


Figura 2.1: Evolução Indústria ao longo dos anos [47]

Com o intuito de se encontrar um aumento de produtividade, agilidade e flexibilidade no mundo industrial, as empresas tiveram de se adaptar aos últimos avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (ICT) e das Tecnologias de Operação (OT) tendo como principal motor a utilização de Sistemas*Cyber* Físicos (CPS) [131].
Com o aparecimento desta Quarta Revolução Industrial, este setor tem a oportunidade para desenvolver novos modelos de negócio através de uma produção mais eficiente, baseado numa junção de tendências e tecnologias, quer físicas quer digitais, que visam reformular o modo como tudo é concebido. Os fatores catalisadores para estas transformações são de natureza social, económica e políticas, marcador por [89]:

- Curtos períodos de desenvolvimento de produtos e serviços - a alta capacidade de inovação tornou-se um fator importante na adaptação ao *time to marke*t para muitas empresas;

- Individualização da procura - os consumidores definem os termos das negociações comerciais. Essa tendência leva a um alto grau de personalização dos produtos e, em alguns casos, exigem produtos personalizados (lote único);
- Flexibilidade - devido às novas exigências do mercado, o desenvolvimento e produção de produtos individuais requer um alto grau de flexibilidade;
- Descentralização - para responder às condições de mercado e dar respostas ágeis, são necessários processos de tomada de decisão rápidos, que acabam por conduzir à redução e fragmentação das hierarquias organizacionais;
- Eficiência de Recursos – a crescente escassez de recursos e o consequente aumento do preço das matérias-primas, bem como as alterações dos fatores sociais e ambientais, exigem uma maior atenção à sustentabilidade no contexto industrial, conduzindo a uma utilização mais eficiente dos recursos.

Com todas estas transformações, é cada vez mais difícil para as empresas manter o seu nível competitivo dada à constante evolução e complexidade industrial, o que obriga a que haja um desafio de ajustes constante para obter a customização dos produtos, com uma redução de custos e mantendo ainda assim uma grande variedade de oferta. Estes desafios são usualmente relacionados com a digitalização, a utilização das tecnologias de informação e a conectividade de produtos, recursos produtivos e processos, que são potencializados pela *Internet of Things* (IoT) [125].
Perante a necessidade de otimização e mantendo um elevado nível de produtividade, como substituição à mão de obra surge o Controle Numérico Computadorizado (CNC) e os Controladores Lógicos Programáveis (CLP). A automação é,assim, também complementada com a rede de comunicação onde a IoT e os CPS conectam todas as componentes através dos sistemas de controle. Estas ajudas são concebidas pelos sensores e por todos os sistemas de resposta que as complementam, originando a que a integração dos CPS conduza à obtenção de informações lógicas, compreensíveis e significativas, afim de tornar possível um reajuste dos parâmetros de produção de forma inteligente. Neste sentido, a indústria 4.0 constitui um termo amplo que tem sido apresentado como uma confluência de tendências e promessas tecnológicas para reformular a forma como as coisas são feitas [10].
É um conceito que não apresenta uma definição exata, sendo definida muitas vezes como a produção orientada por CPS, com recursos de produção, sistemas de armazenamento, e logística inseridas num ambiente de necessidades sociais, para estabelecer cadeias globais de criação de valor [141] e implementar a fábrica inteligente [153].
Este paradigma é essencialmente moldado por três dimensões: (i) Integração Horizontal através de toda a rede de criação de valor, (ii) Engenharia de Ponta a Ponta durante todo o ciclo de vida do produto e (iii) Integração Vertical e sistemas de fabrico em rede [141][153].

Mas, como Schuh [133] defende, a adaptação e o desenvolvimento de cada empresa às novas tecnologias não é igual. Cada empresa, com o seu devido tempo, deverá inicialmente fazer uma

análise interna da situação em que se encontra e definir quais os seus objetivos estratégicos relativamente à implementação de novos meios, sabendo que quanto mais rápida for essa adaptação mais rapidamente vai sair da situação perigosa de não estar a trabalhar num ambiente digital, A figura seguinte (figura 2.2) ilustra a adaptação das empresas às novas tecnologias. Como se pode verificar, as perceções dos benefícios e valores da adaptação digital antecedem a análise, a decisão e a ação.

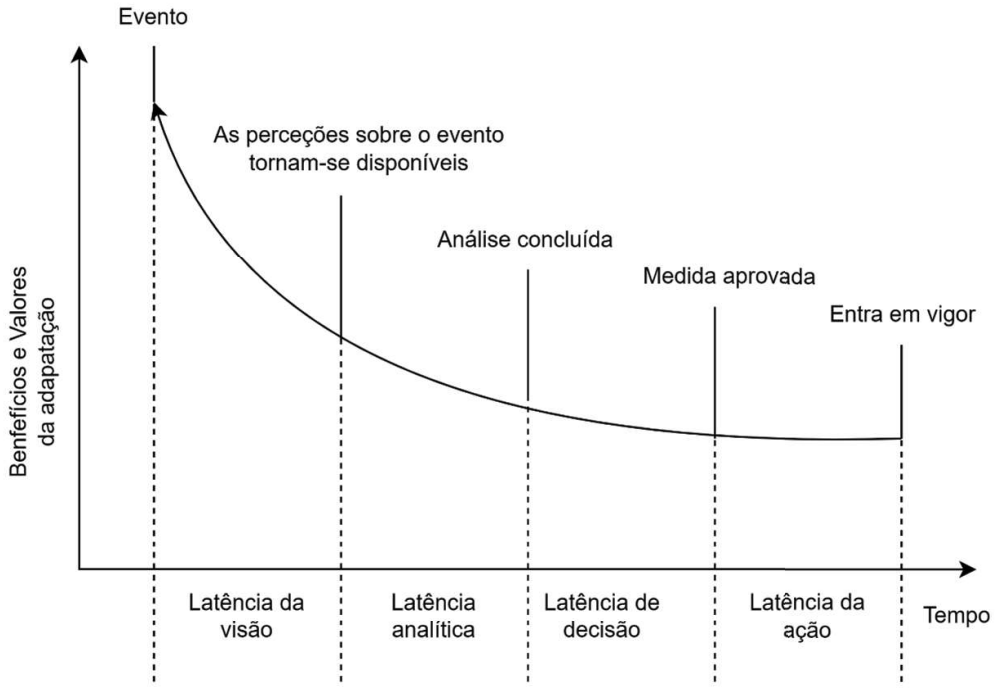


Figura 2.2: Adaptação das empresas às novas tecnologias. Adaptado [133]

2.3 Tecnologias e Aplicações no Apoio à Indústria 4.0 e Digitalização

Com este conceito da Indústria 4.0, aparecem novos e variados conceitos e tecnologias habilitadoras (*key enabling technologies*) que são o principal motor desta Revolução Industrial e independentemente do papel que desempenham é importante referir nomes como: CPS, *Internet of Things and Services* (IoTS), *machine-machine* (M2M), automação industrial, equipamentos autónomos e inteligentes, dispositivos móveis inteligentes, *Big Data* industrial, digitalização dos produtos e processos, tecnologias de computação visual como a realidade virtual e aumentada, processamento de imagens 3D, interfaces de interação homem-máquina, computação em nuvem, manufatura aditiva e introdução de inteligência artificial [131]. Quando todas estas tecnologias se encontram em união e sintonia, em conjunto com as organizações e com os novos modelos de negócio atingimos um aumento significativo na produção industrial.

A figura seguinte (figura 2.3) mostra a conexão tecnológica com o nível na construção 4.0 e a

função, ajudando a perceber todo o potencial destas tecnologias se efetivamente estiverem ligadas e estiverem em sintonia com a visão estratégica e objetivos da empresa.

Tecnologia em Desenvolvimento	Nível na Construção 4.0	Função
BIM	Digital	Modelação e simulação
Armazenamento em Nuvem	Digital	Recolher, gerir e eliminar documentação para toda a equipa
Drones	Digital	Recolha de imagens aéreas
AR/VR	Digital	Aplicação virtual de todas as fases para toda a equipa
Inteligência Artificial	Digital	Classificar, prever, processar imagens e resolver problemas
Big Data	Digital	Análise de tendências e *business intelligence*
Laser Scanner	Digital	Recolhas de dados de uma nuvem de pontos
Robótica e Automatização	Físico	Transportar, produzir e montar
Sensores	Físico	Recolher localização, temperatura, humidade e informação de movimento
Internet of Things	Físico	Conexão de pessoas, dados e coisas
Atuadores	Físico	Converter interações digitais em ações físicas
Trabalhadores com Sensores	Físico	Recolher localização, temperatura, humidade e informação de movimento
Equipamentos com Sensores	Físico	Montagem de peças e produtos em ambiente conhecido
Impressão 3D	Físico	Imprimir partes e produtos através de um modelo BIM

Figura 2.3: Tecnologias industriais. Adaptado [131]

2.3.1 Sistemas *Cyber* Físicos

Os sistemas *cyber* físicos (CPS) aparecem como um novo conceito que ainda não consegue ser descrito na íntegra, mas que normalmente representam os sistemas inteligentes tais como a IoT, M2M, *internet* industrial, cidades inteligentes, etc [131]. Algulyev (2018) [17], afirma tratar-se de um sistema que integra os componentes cibernéticos e físicos, utilizando o sensor moderno, rede, e tecnologias informáticas. Ashibani (2017) [24], adicionalmente, defende que CPS é definido como um sistema de rede constituído por *cyber* (comunicação e computação) e componentes físicos (atuadores e sensores) que interagem num ciclo de *feedback* com a possível intervenção humana, como podemos observar na figura 2.4.

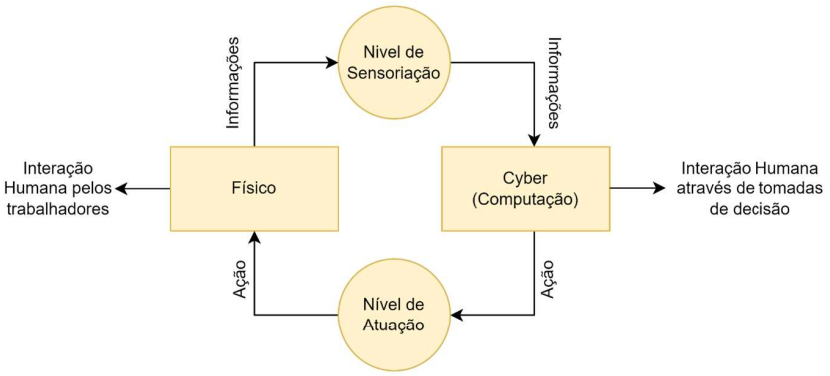


Figura 2.4: CPS. Adaptado [131]

Os CPS começam a surgir em diferentes indústrias, como são exemplo as telecomunicações, os eletrodomésticos e a indústria automóvel, onde os bens digitais e físicos são concebidos como sistemas integrados. São a tecnologia mais influente e inteligente para melhor integração dos sistemas automatizados assim como os responsáveis pelo aumento produtivo e logístico no setor industrial. Neste sentido os CPS, são altamente multifuncionais e, portanto, abrangem muitos domínios diferentes, tais como transporte, cuidados de saúde, manufatura, agricultura, energia, defesa, aeroespacial, construção entre outros setores da economia [132].

Um outro conceito associado ao CPS é a comunicação entre máquinas (M2M), esta com referência a dispositivos inteligentes, tais como computadores, processadores incorporados, sensores inteligentes, atuadores e dispositivos móveis estando ligados por uma rede de comunicação. Possibilitando novos modelos de negócio, tanto M2M como IoT visam a agregação de dados, oferecendo serviços inteligentes aos clientes para melhorar a eficiência e fornecer sistemas de automação e de baixo custo no mundo do comércio eletrónico.

Assim, com base no seu desenvolvimento na área da produção e fabrico, surge uma variante denominada de Sistemas de Produção *Cyber* Físicos (CPPS) que, L.Ribeiro (2017) [126], refere como uma composição de Recursos Humanos, produção equipamento, e produtos agregados para os quais estabelece um ou vários *cyber* físicos formulados interfaces de interação [74]. O aumento e a diversificação da procura de produtos e serviços levaram à introdução de modelos de negócio de Sistemas Produto-Serviço (PSS). Estes dois sistemas foram integrados com o objetivo de criar um sistema de produtos cibernéticos mais independentes e flexíveis. CPPS oferece tanto soluções CPS como PSS cobrindo todo o ciclo de vida do produto [157].

2.3.2 *Internet of Things*

Cada vez mais existe uma ligação profunda entre o mundo virtual e o mundo físico, onde os produtos e equipamentos têm sido desenvolvidos e comercializados em qualquer tipo de área. A IoT cria uma sintonia entre o mundo físico, que os faz pensar, ver e ouvir, obtendo assim uma partilha de informação e decisões coordenadas. O seu objetivo é transformar objetos tradicionais em inteligente, explorando as suas bases tecnológicas assim como os dispositivos generalizados,

tecnologias de comunicação, redes de sensores e protocolos [16]. Segundo o INE [9], cerca de 13% das empresas portuguesas, com 10 ou mais funcionários, já utilizam o conceito de IoT. A presença desta tecnologia não está presente apenas nas indústrias, sendo cada vez mais sentida noutras áreas como na saúde, transportes, edifícios, serviços públicos e nas cidades. IoT é a combinação da tecnologia de informação eletrónica com a vida diária das pessoas e a combinação de informação e dados com redes de comunicação estabelecendo uma ligação estreita entre as coisas [94]. Assim, são definidos 6 elementos principais para incorporar as funcionalidades da IoT: identificação, sensorização, comunicação, computação, serviços e semântica [16].
É possível obter melhorias de qualidade e produtividade, proporcionando robustez, autonomia, auto-organização, auto manutenção, transparência, previsibilidade, eficiência, interoperabilidade, rastreio, que são alguns benefícios da Indústria 4.0 [100].
De referir que durante o estudo deste conceito, nomeadamente na área financeira e da saúde, surgiram dúvidas sobre as condições de segurança que os sistemas que se baseiam nos princípios do IoT podem oferecer. Porém ao longo dos anos com os avanços tecnológicos foi possível mostrar que efetivamente esses produtos são seguros e confiáveis [48].

2.3.3 Tecnologias de Recolha de Dados em Tempo Real

Para monitorização de projetos de construção, as tecnologias dividem-se em três principais categorias [123]:

1. Tecnologias de informação melhorada, como correio de voz, multimédia e computação portátil;

2. Tecnologias geoespaciais, neste caso os Sistemas de Informação Geográfico (GIS), Sistema de posicionamento Global (GPS), Códigos de Resposta Rápida (QR), Frequências de Rádio Identificadas (RFID) e Banda Ultra Larga (UWB);

3. Tecnologias baseadas em imagem, fotogrametria e leitura a laser.

Quer os sistemas GPS quer os sistemas GIS, são utilizados de forma automatizada para localizar e analisar os equipamentos no estaleiro [140]. A sua localização é importante para melhorar a gestão e recolher informações de segurança. Uma das principais funções do GIS, em sintonia com o BIM, passa por identificar os espaços disponíveis com o objetivo de os aproveitar com material de apoio.
Já os códigos de resposta rápida, apesar de serem considerados a ferramenta mais rentável da área da construção, apresenta problemas na velocidade de resposta ao pedido. Cada código de barras apresenta informação restrita e por vezes essa informação pode não estar totalmente percetível devido aos danos que possam sofrer [110]. Apesar deste problema, o seu uso tem sido crescente, pois as facilidades de acesso às aplicações de leitura cada vez estão mais presentes no nosso dia a dia.
As RFID, também em sintonia com o BIM, vêm resolver questões relativas à resposta à distância, através da transmissão de ondas de rádio como substituição às ondas de luz, possibilitando uma

melhor otimização, controlo e qualidade dos projetos. Os sinais *ultra wideband* (UWB) fornecem um posicionamento mais exato e um melhor controlo à distância, consumindo sempre pouca energia [143].
Em conclusão, todas estas tecnologias desenvolvidas oferecem várias vantagens. Porém nem sempre a informação é fidedigna e apresentam por vezes incoerências [23]. As tecnologias baseadas em imagem são as mais adequadas para obter uma boa recolha de informação, pelo que a introdução de *drones* e tecnologias fotográficas são assim os melhores apoios de controlo na construção.

2.3.4 Robótica

Como exemplo, os *drones* são os dispositivos robóticos mais utilizados como apoio à construção. A sua utilização vem permitir e facilitar, em tempo real, a recolha de dados do projeto, fornecendo assim atividade efetiva no local. Devido à sua capacidade de observação, visualização e alinhando com a vantagem de agilizar facilmente, diversos ângulos podem ser vistos obtendo uma visão mais global e abrangente.
Planear um voo com *drone* requer um domínio de múltiplos fatores, tais como a distância de alvo, altitude, velocidade entre outros. A precisão do voo, assim como a prevenção de obstáculos, depende fortemente da precisão do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e do Sistema de Navegação Inercial (INS).
Tahar (2012), testou a precisão do GPS a bordo em combinação com algoritmos específicos de registo de imagens comparando com pontos de controlo terrestres informados pelo *Google Earth Pro*. Os resultados constataram que o erro médio quadrático, era menor para voos que utilizavam o GPS a bordo do que para voos que utilizavam pontos de controlo em terra, embora a diferença seja equivalente a aproximadamente a mais ou menos dois metros [142].
Volkmann *et al.*(2014) também especificam a utilização do *Google Earth* para informar o seu plano de voo, embora apontem que é apenas uma ferramenta aceitável para o reconhecimento no local, pois as imagens não são suficientemente atuais e não são capazes de retratar obstáculos específicos dos *drones*[150].

2.3.5 *Laser Scanning* e Fotogrametria

A digitalização a laser 3D (*Laser Scanning*) é uma tecnologia essencial de recolha de dados para poder realizar um controlo ativo do projeto, através de uma avaliação dimensional, visual, frequente, precisa e completa das condições no local de construção [15]. É principalmente utilizada para criar modelos detalhados do interior e exterior de edifícios.
O *Laser Scanning* Terrestre (TLS) é uma tecnologia de captura de realidade 3D, que produz densas nuvens de pontos, utilizando princípios de medição de distâncias. As nuvens de pontos trazem informações adicionais, como a cor e a intensidade do ponto, acompanhado de imagens de suporte o que facilita a visualização da nuvem em bruto. Esta captura de pontos tem elevada precisão pois recolhe a informação ao milímetro e tem a capacidade de capturar mais de um milhão de pontos por minuto. No setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), TLS é adequado para uma

grande quantidade de aplicações sendo assim capaz de criar documentação, monitorização do estado de construção, controlo de qualidade dimensional, planeamento urbano, Engenharia reversa e a monitorização de bens [146].

Num estudo de Greaves *et al.* (2007), é demonstrado que o mercado de hardware, software e serviços de digitalização a laser tridimensional cresceu exponencialmente na última década, e a indústria AEC é um dos seus principais clientes. Isto mostra que os proprietários e empreiteiros estão cientes do potencial da utilização desta tecnologia, para a deteção do estado de construção em 3D dos projetos de construção. Ainda assim, a utilização atual dos laser scanners na indústria é limitada à captura das condições 3D existentes e da captura de algumas dimensões, pontos de ligação e secções transversais das nuvens de pontos tridimensionais, pois o software atual de análise de nuvens pontuais requer uma análise manual de dados demorada para segmentar os dados ao nível do objeto [71].

Em alternativa à produção de nuvens de pontos 3D temos a Fotogrametria que apresenta também algumas aplicações semelhantes. Comparativamente ao TLS, apresenta algumas vantagens, nomeadamente o preço e o transporte, contudo o nível de precisão, controlo de dados, escala e reconhecimento dos materiais não é tão pormenorizado [109].

Assim, El-Omari e Moselhi (2011), propuseram a integração entre LS e a fotogrametria para aumentar a velocidade e precisão dos dados adquiridos nos locais de construção. O sistema conseguiu construir um modelo de nuvem de pontos 3D com precisão satisfatória, através das técnicas obtidas dos pontos em comum dos dois modelos de nuvem [59].

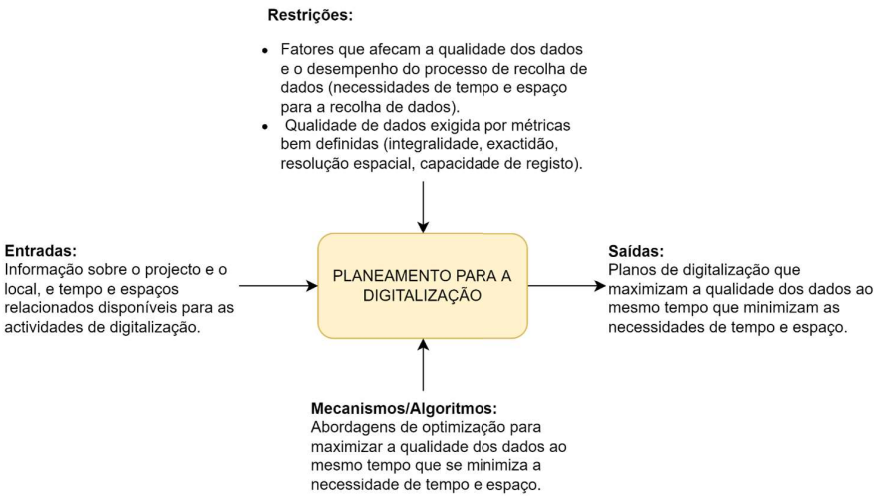


Figura 2.5: Planeamento para a Digitalização. Adaptado [22]

2.3.6 Computação em Nuvem

O modelo de computação em nuvem promove um amplo acesso em rede a um conjunto de recursos, utilização e controlo ótimos de recursos, esforço mínimo de gestão de recursos de hardware e

software, maiores capacidades de computação, sem interação humana, com fornecedores de serviços. A computação em nuvem é caraterizada pela sua grande capacidade de armazenamento de dados sendo por isso já introduzida nas grandes empresas industriais e de serviços [72].
A computação em nuvem é um modelo que permite uma computação conveniente, pedindo acesso a uma rede partilhada de recursos informáticos como servidores, armazenamento, aplicações e serviços que podem ser facilmente disponibilizados. A definição é simples e resumida que compreende cinco caraterísticas essenciais sendo eles o serviço automático a pedido, amplo acesso à rede, partilha de recursos, flexibilidade e serviço medido. Compreende também três modelos de serviço e quatro modelos implementados (público, privado, comunitário e híbrido) [31].
Com a Indústria 4.0, surge o fabrico baseado em nuvens (CBM – *Cloud-Based Manufacturing*) que contribui significativamente para o sucesso e ascensão deste paradigma. CBM é descrita como uma rede de modelo de fabrico que explora o acesso a uma coleção partilhada de produção diversificada e recursos variados para formar sistemas *cyber* físicos temporários e linhas de produção reconfiguráveis que aumentem a eficiência, reduzam os custos do ciclo de vida do produto e permitam a melhor aplicação dos recursos em resposta as tarefas pedidas pelos clientes [144]. Assim, é possível afirmar que as principais caraterísticas são a agilidade, escalabilidade, acesso descentralizado e a virtualização.
Em um caso de estudo, Zhang *et al.*(2012), desenvolveram um quadro para comparação de aplicações de computação em nuvem baseadas em BIM, com o objetivo de encarregar os implementadores de ICT, a tomar decisões informadas sobre a sua adoção [165]. Wong *et al.*(2014) estudaram a literatura existente sobre a integração de aplicações de computação em nuvem e BIM, focando-se essencialmente na gestão do ciclo de vida do edifício [158].
Chong *et al.*(2014) realizaram um estudo das aplicações existentes de computação em nuvem no ambiente construído e desenvolveram um modelo de tomada de decisão para ajudar os profissionais na seleção de aplicações adequadas para os seus casos de utilização [45]. Também, Almaatouk *et al.*(2016) reviram o potencial da nuvem informática para melhorar a colaboração na indústria da construção e concluiram que se traduz em custos reduzidos para o armazenamento de dados [18].

2.3.7 *Big Data*

Estamos na era digital e as empresas cada vez mais precisam de analisar conjuntos de grandes dados. Dependendo das ferramentas utilizadas e da política económica das mesmas, será possível obter ganhos significativos sobre os concorrentes. Cada vez mais as empresas se sentem desafiadas a implementar novos métodos e apresentar melhorias tecnológicas, dado que há uma maior disponibilidade de sensores, sistemas de absorção de dados e redes de computadores [96].O termo *Big Data* representa uma fronteira entre produtividade, inovação e competitividade, estando este conceito definido pela conexão entre sensores e equipamentos que representam um grande volume de dados.
Em 2001, as 3 caraterísticas do *Big Data* (Volume, Variedade e Velocidade) eram defendidas pelos autores da época [88]. Contudo, ao longo dos anos e da informação é caraterizado pelos 5 V´s [78] [75]:

- Volume: descreve a quantidade, medida em *gygabite* (GB), *zettabytes* (ZB) e *terabytes* (TB), de dados e informação fornecida que é o principal mecanismo para armazenamento, processamento e gestão de dados [53] [54];
- Velocidade: velocidade de acesso e produção de dados;
- Variedade: os dados podem ser fornecidos de diversas maneiras separados em estruturados, semiestruturados ou não estruturados sendo essa separação essencial para análise;
- Veracidade: especifica o nível de qualidade, credibilidade e qual a aplicação dos dados. É o principal desafio quando comparado com os outros [21];
- Valor: perceber os custos e os benefícios que serão obtidos após recolha e análise dos dados caraterizados por todas as fazes anteriormente explicadas [53].

A implementação deste conceito na Indústria 4.0, apresenta ainda assim dificuldades principalmente nas Pequenas e Médias Empresas (PME) devido ao seu custo elevado associado [154]. Segundo o INE e como podemos observar na figura em baixo, apenas 10,2% destas empresas recorrem a este conceito. Já nas grandes empresas, verificamos que 32,2% dessas empresas já estão a por em prática a sua utilização [9].

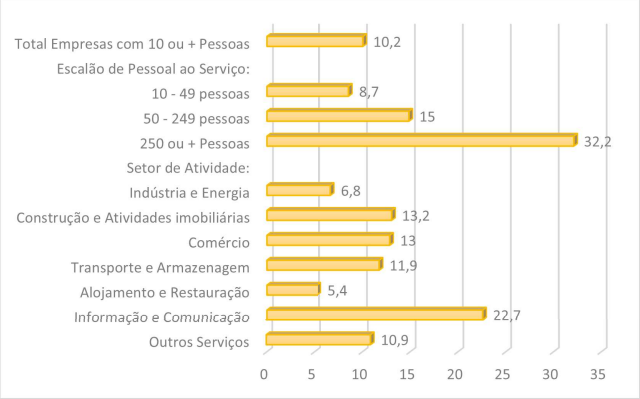


Figura 2.6: Implementação nas empresas. Adaptado [9]

2.3.8 Impressão 3D

A impressão 3D (*3D printing*) vem acrescentar à Indústria 4.0 novas oportunidades de ver os projetos e de como eles poderão ser realizados. Uma das principais vantagens deste processo, é que a impressão 3D oferece uma maior flexibilidade e um baixo custo adicional no processo de construção mas para isso é preciso estar atento ao desenvolvimento e caraterísticas da indústria [108]. O interesse pela impressão 3D tem aumentado nos últimos anos e com isso há a necessidade de investigar, discutir barreiras e impactos para a inovar os projetos de construção [33].
A tecnologia de impressão 3D é utilizado em diversos setores, sendo utilizados diversos tipos de materiais, permitindo assim que objetos físicos sejam produzidos através de modelos digitais.

Na área da construção já podemos encontrar impressores grandes, capazes de simular estruturas grande e complexas em tempo reduzido, e nas áreas de saúde e medicina já é também utilizado várias vezes para a recomposição e substituição de órgãos humanos [96].
A personalização em massa, tem sido um objetivo da indústria da construção há muitas décadas [30]. Com efeito, cada vez mais se tenta implementar a utilização de produtos pré-fabricados, mas apenas certos tipos de produtos limitados podem ser implementados. Por outro lado, esta tecnologia pode ajudar a construir produtos personalizados sem aumento de custos, uma vez que a impressão de um edifício complexo, funciona da mesma maneira que a impressão de um bloco de betão [159]. Assim, as vantagens deste processo passam essencialmente por:

- Redução de desperdício, utilizando apenas o material necessário e não mais do que é preciso;
- Flexibilidade, pois permite aos programadores obter estruturas complexas;
- Reduzida mão de obra devido à sua altamente automatização em todo o processo de construção;
- Melhorias económicas e ambientais, utilizando a quantidade necessária de materiais, eliminando desperdícios desnecessários.

É um facto que a sua utilização ainda está numa fase precoce tendo ainda grande margem de crescimento a nível mundial. Muitos modelos de negócio podem ser implementados, nomeadamente o desenvolvimento de novos modelos 3D facilitando e tornando mais rápida a criação de novos produtos.
Laarman *et al.*(2014), inventaram outro método de fabrico digital denominado *Antigravity*, capaz de criar objetos 3D em qualquer superfície, independentemente da rugosidade ou inclinação, e sem necessidade de uma estrutura de suporte adicional [87]. Craveiro *et al.*(2013) propuseram um sistema de processamento digital 3D inovador, capaz de ser utilizado para o fabrico de componentes estruturais funcionais com diferentes materiais [49].
Também Ghaffar *et al.*(2018), descreveram as vantagens e as diversas aplicações da impressão 3D para a produção em massa, mas também para potenciais questões legais (regulamentos e políticas que precisam de sofrer alterações para a adaptação desta tecnologia) e para processos de certificação de novos componentes que venham a surgir [67]. Ainda Wu *et al.*(2018),estudaram e afirmaram que a prontidão tecnológica, eficácia da impressão 3D, apoio organizacional à produção de impressão e considerações políticas e regulamentares relacionadas com a impressão 3D para a construção são fatores que influenciam a implementação desta tecnologia [160].

2.3.9 Computação Visual

A computação visual vem como apoio à Indústria 4.0, na medida em que facilita a capacidade de tornar físico o que está monitorizado. Aparece com o objetivo de melhorar a interação homem-máquina em diversos níveis de produção inteligente [56]. Como suporte são introduzidos conceitos como a impressão 3D, modelos em realidade virtual e em realidade aumentada e simulação de

sensores e atuadores [96].

A realidade virtual (*virtual reality* – VR) visa a criar um cenário físico num software de simulação. Apareceu para melhorar o desempenho e o envolvimento nos campos da arquitetura, engenharia e construção (AEC) através de uma abordagem assistida por computador para proporcionar uma perspetiva simples e interativa [166]. Em muitas casos, é pioneira em fases iniciais de projetos de muitas indústrias facilitando a comunicação e a coordenação [76]. É caraterizada por permitir simulações, testes e sensações em tempo real tudo virtualmente, sem haver necessidade de contacto do mundo físico.

Em Itália, a VR foi aplicada num projeto de construção que serviu como caso de estudo para o desenvolvimento dos conteúdos das sessões de formação e a sua implementação. O caso de estudo consiste na construção de um novo complexo de três edifícios de um andar com uma estrutura de madeira sobre uma instalação de escritórios existente na cidade de Pisa.

Na fase de projeto, o proprietário (Conselho Nacional de Investigação), deu prioridade a uma solução tecnológica que assegure o funcionamento e o mínimo efeito sobre as atividades em curso durante a fase de construção. Este estudo é introduzido na fase de construção da estrutura para o desenvolvimento e teste do protocolo de formação em VR, e com o envolvimento de trabalhadores experientes e altamente especializados, foram proporcionados *feedbacks* relativos à eficácia da transmissão do conteúdo de segurança do VR [66].

A realidade aumentada (*augmented reality* - AR), apesar de ser também uma tecnologia dentro da computação visual, apresenta diferentes aplicações nos produtos e processos comparativamente à realidade virtual. A AR é uma tecnologia que transforma o ambiente real em aumentado através de objetos virtuais como por exemplo gráficos digitais, câmaras e sensores [77].

Segundo Ratajczak *et al.*(2019), a criação de uma aplicação de AR construída através de modelos BIM, vem facilitar o controlo e a gestão de obra, projetando a informação armazenada recolhida, através de um *smartphone* capaz de detetar movimento e profundidade, será possível assim detetar a posição de cada elemento [124].

Zollmann *et al.* (2014) , introduziram uma abordagem para a utilização de AR para a monitorização do local de construção [167]. Os autores desenvolveram métodos para a captura de dados aéreos e para a reconstrução 3D. Através da disponibilidade de dados e da utilização de sensores adicionais, tais como GPS ou simplesmente baseados na visão, os autores ofereceram a visualização do progresso diretamente do local. O HD4AR foi implementado para utilização móvel, utilizando a imagem como ponto de recurso e como base para a localização do utilizador, o algoritmo *Structure From Motion* (SFM) para construir e combinar um modelo geométrico 3D utilizando câmaras de *smartphone* normais. HD4AR pode desenvolver um AR quase em tempo real usando imagens, demorando apenas entre três a seis segundos para a localização e menos de uma hora para a geração de nuvens de pontos [26].

AR e VR têm sido utilizadas como ferramentas de comunicação, colaborando remotamente entre os trabalhadores presentes e os que estão fora. A ferramenta BIM é a mais utilizada no apoio à gestão de instalações, permitindo contacto em tempo real com o exterior [19]. As duas tecnologias complementam-se, e as duas em sintonia reduzem o tempo dos processos, aumentam a eficiência

e conseguem ainda prevenir falhas na fase inicial do projeto.
O termo associado a esta junção é *Mixed Reality* (MR), é estudado como uma tecnologia de colaboração remota na gestão de instalações e equipamentos, onde tem sido aplicado para desenvolver métodos que melhorem a eficácia de comunicação à distância [55]. A MR tem sido explorado como um instrumento onde os investigadores implementam simulações de locais de trabalho de risco e testam as maneiras seguras de intervenção. Estas tecnologias têm um enorme potencial de desenvolvimento e devem ser combinadas com outras tecnologias para que melhor seja criada uma interação entre o mundo real e o mundo virtual.

2.3.10 Equipamentos Autónomos e Inteligência Artificial

No meio industrial, tem-se vindo a desenvolver processos autónomos de fabrico já utilizados na linha de produção. Aqui a inteligência artificial é incorporada nas máquinas (*machine learning* - ML), facilitando a organização e evolução dos postos de trabalho e elevando o nível de competitividade. O *machine learning* melhora o processo de tomada de decisões de gestão quer durante o planeamento a longo prazo quer no planeamento diário [121]. A sua contribuição é sentida nas áreas de gestão de projetos, dando apoio ao controlo de qualidade, segurança e desempenho [161]. A inteligência artificial (AI) aparece para levar os computadores a obter os estímulos humanos como o raciocínio, perceção e a representação tornando-os capazes de resolver os problemas de maneira intencional e inteligente [113]. O seu desenvolvimento mecânico é fundamental na capacidade de aprendizagem de dados de várias fontes para seguidamente, conseguir tomar decisões da forma acertada e independente. Em todo o mundo e com colaboração de desenvolvedores, através de algoritmos abertos, tem-se aperfeiçoado programas e funcionalidades para melhor complementar os diversos setores.
Segundo um relatório publicado pela empresa *Accenture*, a AI pretende potenciar a mão de obra em cerca de 40% e é capaz de duplicar as taxas de crescimento económico anual em 2035. Para corresponder à expectativa, as empresas têm investido nas diversas tecnologias podendo assim alargar o potencial da AI [12]. Quantos mais *softwares* forem introduzidos nos produtos e nos equipamentos, mais tecnologias serão integradas no meio de produção através dos algoritmos inteligentes, onde passarão a ser capazes de prever o seu ciclo de vida, fazendo uma gestão autónoma da sua utilização garantindo sempre qualidade e otimização do produto.

2.4 Impactos da Indústria 4.0

A inovação e os desenvolvimentos tecnológicos desempenham um papel fundamental em todas as organizações. Contudo os avanços e as transformações trazem-lhes novos desafios. A Indústria 4.0 vai alterar a maneira de estar das empresas, relativamente à conceção, processos, operações e serviços. Com esta adaptação vão aparecer alterações na gestão e nos empregos futuros, permitindo a criação de novos modelos empresariais, que terão um grande efeito na indústria e nos mercados, de forma eficaz que afeta todo o ciclo de vida do produto, proporcionando uma nova forma de produzir e fazer negócios, permitindo a melhoria dos processos e aumento da competitividade da

empresa [116]. Serão então sentidos impactos em diferentes domínios e em seis principais áreas como: (i) Indústria, (ii) Produtos e serviços, (ii) Modelos empresariais do mercado, (iv) Economia, (v) Ambiente de trabalho e (vi) Desenvolvimento de aptidões.

1. A Indústria é o setor que mais sente essa implementação, onde a produção passa a ser controlada autonomamente desencadeando ações e dando resposta ao meio envolvente [61]. Os processos e operações de produção são também afetados pelos desenvolvimentos tecnológicos que permitem uma melhor flexibilidade e eficiência nas operações. A indústria é assim revolucionada em três pontos principais: digitalização da produção, automatização e ligação e contacto constante ao local de fabrico trocando informações em tempo real [127]. Com isto verifica-se um aumento de produtividade, tendo influência em todos os desenvolvimentos de processos.

2. Os produtos e serviços são também influenciados, pois as mudanças e exigências do mercado obrigam a uma adaptação mais complexa e inteligente do produto. Os produtos começam a ser mais adaptáveis procurando satisfazer os requisitos específicos do cliente, promovendo uma personalização em massa [82]. Assim, é possível caraterizar a Indústria 4.0 pela oportunidade de melhorar todo o processo de fabricação até ao fim do seu ciclo de vida.

3. Modelos empresariais de mercado começam a aparecer e cada vez são mais inovadores. A forma como os produtos e serviços são vendidos e prestados, trazendo novas oportunidade e modelos de negócio através da facilidade de interação fabricante cliente, complementando as exigências de mercado [70]. Através da eliminação da barreira entre a informação e a parte física, existirá um aumento de aumento de competitividade com a criação de modelos de mercado mais complexos e digitais [164].

4. A economia é influenciada pelo paradigma e pelos novos desenvolvimentos tecnológicos. A aproximação do mundo físico e do mundo virtual terá um impacto generalizado em setores económicos sendo o principal motor da produtividade e inovação.

5. O ambiente de trabalho tem transformado os empregos e competências necessárias em simultâneo com o avanço tecnológico verificando-se mais essa mudança na interação homem máquina e na interação entre trabalhadores. O aumento de máquinas inteligentes assim como a sintonia do mundo físico com o virtual leva a uma transformação no ambiente de trabalho. A integração da Indústria 4.0 nos sistemas de fabrico e a crescente a implementação de novas tecnologias terá impacto nos perfis profissionais, bem como na gestão do trabalho, na organização e planeamento. O principal desafio neste contexto é evitar o que é chamado de desemprego tecnológico, redefinindo empregos atuais e a tomada de medidas para adaptar a mão de obra aos novos empregos que serão criados [127].

6. Serão desenvolvidas novas competências, através da formação, para responder a todas estas novas mudanças. Novos campos de competência requeridos precisam de ser incluído

> na educação, uma vez que o pensamento interdisciplinar desempenhará um papel importante,bem como as competências em matéria social e outros domínios técnicos para realizar novas tarefas [116].

Em 2016, a pedido do Parlamento Europeu, foi desenvolvido um estudo pelo *Centre for Strategy & Evaluation Services LLP* (CSES), onde foi concluído que a implementação da Indústria 4.0 só será bem sucedida caso se consiga garantir requisitos-chave tais como: "Uniformidade de sistemas TIC, das suas plataformas e protocolos; Organização de trabalho a reflexão de novos modelos de negócio; Segurança digital e proteção de propriedade intelectual; Disponibilidade de mão de obra especializada; Inovação, desenvolvimento e investimento; Integração de PME's e a Existência de um quadro legal comum." [119].
Também Glass *et al.*(2018), realizaram um estudo a 253 empresas alemãs para conhecer as principais barreiras sentidas para a implementação digital, tendo sido identificadas como principais: a falta de capacidade tecnológica, falta de segurança relativamente à perda de dados e a falta de apoio e más condições externas [69].

2.5 Programas e Iniciativas da Indústria 4.0 Noutros Países

A velocidade de implementação da Indústria 4.0 tem vindo a aumentar cada vez mais e a necessidade de adaptação reflete-se no compromisso industrial de cada um, dependente de um apoio governamental capaz de expandir e atrair a sua indústria a empresas estrangeiras[96]. Como resposta, cada país passou por um processo de adaptação capaz de criar os seus próprios projeto.
Na Alemanha, as empresas *BITKOM, VDMA*, e *ZVEI* com ajuda do governo, criam o projeto *Platform Industrie 4.0*. Com parceria a universidades e instituições a *German Research Centre for Artificial Intelligence* (DFKI) cria também o programa *Smart Factory*. Ainda na Europa e com necessidade de acompanhar a competitividade, aparece a iniciativa *Factories of the future* (FoF) lançada pela *European Factories of Research Association* (EFFRA).
Os Estados Unidos, também através das universidades e instituições cria o *Industrial Internet Consortium* (IIC). Aparece também o *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI) e o *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) para continuar a dar resposta às necessidades. Ainda na América, o projeto *Intelligente Manufacturing Sytem Centre* (IMSC) surge no Canadá desenvolvido pelas universidades. Já no Brasil, e com as suas limitações, grupos de trabalho como o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia. Inovações e Comunicações (MCTIC) criam e desenvolvem a Confederação Nacional da Indústria (CNI).
Do outro lado do mundo, com a sua influência e poder económico e social, a China apresenta-nos o seu projeto *Made in China 2025*, com projetos inovadores.

2.5.1 Alemanha

O projeto *Plattform Industrie 4.0* aparece como apoio para a coordenação e transição na economia digital na Alemanha. É desenvolvido principalmente por três principais empresas, tendo cada uma um papel específico. A empresa BITKOM, representa as empresas de tecnologia de informação, a VDMA é representa as máquinas e os equipamentos e a empresa ZVEI é o principal fornecedor de dispositivos elétricos e eletrónicos. Todas são fortemente apoiadas pelo governo alemão [149]. Querendo este projeto impor-se no meio industrial em vários setores, a Comissão Europeia define os objetivos do projeto como [8]:

1. Foco nas necessidades das empresas e dos utilizadores finais;
2. Cria um ponto de contacto central para obter parcerias e alianças internacionais;
3. Transparência nos objetivos;
4. Desenvolver uma linguagem comum e clara;
5. Estabelecer processos fiáveis para o trabalho realizado na plataforma.

No DFKI, sendo reconhecido pela sua excelência, com o departamento responsável pelos sistemas de fabrico inovadores identifica quatro elementos de identificação da *Smart Factory* destacando a importância do fabrico inteligente onde os *Smart Products* são capazes de conhecer o seu processo de produção estando em sintonia com as *Smart Machines*. O *Smart Planner* otimiza os processos em tempo real com apoio dos *Smart Operators* capazes de controlar as atividades em curso [85]. Ainda Daudt *et al.*(2016) estudam e referem *Fraunhofer Institute*, criado num período pós 2ª guerra mundial, como um dos pilares mais predominantes na política industrial alemã. [51].

2.5.2 Europa

Em Março de 2019, a EFFRA salienta a importância de realizar uma estratégia na Europa, a *Horizon Europe*. A EFFRA propõe cinco áreas e objetivos para o programa FoF, sendo elas [5]:

- Redes de valor ágeis;
- Excelência na produção: processos de fabrico e serviços avançados para produção de produtos inovadores sem defeitos;
- Fator humano: desenvolver as competências humanas em sintonia com a tecnologia progressiva;
- Redes de valor sustentável: que impulsiona a economia circular;
- Plataformas de produção digital interoperáveis: apoio a um ecossistema de serviços de fabrico.

Com a Parceria Público Privada (PPP) no FoF foi possível sentir mais competitividade e cooperação na indústria europeia. Foram definidas e identificadas as transformações, onde cada domínio representa um aspeto particular das transformações com base em: (i) Processos de produção avançados; (ii) Sistemas de produção inteligentes capazes de se adaptar; (iii) Fábricas digitais, virtuais e eficientes a nível de recursos; (iv) Empresas colaborativas e móveis; (v) Produção centrada no ser humano; (vi) Produção orientada para o cliente. Para se conseguir atingir estas transformações, várias oportunidades e desafios foram identificados como:

- Produção dos produtos do futuro, capazes de responder à constante mudança da sociedade;
- Sustentabilidade ambiental da produção procurando redução do consumo de recursos;
- Sustentabilidade social com a integração das competências humanas com a tecnologia;
- Sustentabilidade económica capaz de realizar uma produção rentável, com fábricas reconfiguráveis e adaptáveis capazes de produzir em pequena escala.

2.5.3 China

O plano *Made in China 2025* apresenta uma estratégia, constituída por três etapas, para tornar a China um líder na produção até ao ano 2049. O objetivo é trabalhar conceitos essenciais como a inovação, otimização, olhar para o futuro, desenvolvimentos independente e cooperação [91] [93]. O primeiro passo é evoluir até se tornar uma potência de fabrico até 2025, o segundo passo é atingir o nível médio das potências mundiais de produção até 2035 e o terceiro é sutentar a posição da China como potência transformadora na lista dos melhores do mundo até 2049. São definidas assim nove principais tarefas como prioritárias [81]:

1. Melhorar a inovação na produção;
2. Integrar a tecnologia de informação;
3. Reforçar a base industrial;
4. Promover marcas chinesas;
5. Cumprir a produção verde;
6. Promover avanços tecnológicos de informação, equipamentos de alta tecnologia e poupanças de energia;
7. Reestruturar o setor de produção;
8. Promover serviços orientados para a indústria da produção;
9. Internacionalizar o fabrico.

Cada vez mais a China se quer tornar independente neste setor sem ter a necessidade de utilizar tecnologias de outros países para atingir a tão pretendida liderança. Para promover o conceito de produção inteligente a implementação de fábricas inteligentes, interação homem-máquina, monitorização em tempo real e auto adaptação dos processos de fabrico serão fundamentais neste processo.

2.5.4 Estados Unidos/ Canadá

Os Estados Unidos, também através das universidades e instituições cria o *Industrial Internet Consortium* (IIC). Aparece também o *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI) e o *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) para continuar a dar resposta às necessidades e manter o país no topo da competitividade mundial.
Fundada em 2014, a IIC contribui para a base técnica da IIoT tendo como objetivo impulsionar a inovação tecnológica promovendo a transformação empresarial. O papel da IIC é fornecer valor comercial à indústria, organizações e sociedade acelerando uma implementação da IoT com confiança. Com os programas e constantes iniciativas realizados pelos membros da direção, os membros serão capazes de servir os clientes da melhor maneira.
Estes serviços já são utilizados em ambiente empresarial, saúde, investigação e fabrico. A IIC foca-se então em impulsionar a inovação tecnológica capaz de ajudar as organizações a identificar as melhores práticas tecnológicas, construir marcas credíveis, fazer crescer os seus negócios facilitando o trabalho em rede dos membros e colaboradores [7].
A *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI) e a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) aparecem depois numa altura em que os Estados Unidos começam a ficar para trás e vão perdendo competitividade em comparação com os outros países. A missão do programa NNMI é conectar pessoas, ideias e tecnologia para resolver os desafios de produção relevantes para a indústria, aumentando assim o crescimento económico e o reforço da segurança nacional [107]. À medida que as empresas vão ajudando neste processo, o sucesso será então medido pelo progresso contínuo e o cumprimento dos objetivos do mesmo. Considera-se assim que este programa foi concebido para:

- Proporcionar um ambiente de inovação favorável à produção avançada;
- Permitir um desenvolvimento doméstico forte de tecnologias de produção transformadoras;
- Promover o investimento público e privado;
- Facilitar a rápida expansão no mercado de produção tecnológica;
- Fornecer liderança e soluções criativas para desenvolver o talento necessário para a inovação, através de empresas de produção avançadas.

O projeto *Intelligente Manufacturing Sytem Centre* (IMSC) surge no Canadá desenvolvido pela Universidade de Windsor e dedica-se à indústria de montagem de produto. Surge também as *iFactory* que consiste em módulos que facilmente podem ser reconfigurados para mudar os sistemas

e as suas funcionalidades. A sua tecnologia única de acionamento, controlo e interfaces e modularidade são essenciais para desenvolver, testar e demonstrar os estimuladores físicos e lógicos inovadores de mudança, como o processamento de encomendas orientadas para variedade, planos de processo, planos de produção e horários [60].

2.5.5 Brasil

No Brasil, o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) criam e desenvolvem a Confederação Nacional da Indústria (CNI) com o objetivo de implementar a Indústria 4.0 e melhorar o estatuto do país nas cadeias de valor. Para isso, a introdução de novas tecnologias será essencial para a indústria do Brasil dar esse passo [2].
Perante as necessidades, a CNI define sete prioridades para o seu desenvolvimento:

1. Aplicações nas cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores: É necessário identificar as cadeias produtivas que precisam se adaptar a esse novo modelo em menor tempo para se manterem competitivas internacionalmente.

2. Mecanismos para induzir a adoção das novas tecnologias: estudo realizado pela CNI denominado Sondagem Especial – Indústria 4.0, revelou que uma pesquisa envolvendo 2.225 empresas mostrou entendimento insuficiente sobre as tecnologias digitais e seus benefícios, indicando a necessidade de esforços para divulgar o tema. O intercâmbio técnico e comercial com outros países será a base para a aquisição de conhecimento.

3. Desenvolvimento tecnológico: O desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil abre novos caminhos para os provedores de soluções nacionais se desenvolverem em um novo ambiente tecnológico. Para capitalizar adequadamente essas oportunidades, é preciso que se desenvolvam e fortaleçam ferramentas de apoio à evolução tecnológico das empresas locais.

4. Ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga:A infraestrutura de banda larga limitada e as redes móveis são obstáculos às suas operações, pois o fluxo de informações é fundamental para o funcionamento da produção.

5. Aspetos regulatórios: A arquitetura da Internet pode ser dividido em infraestrutura física (satélites, cabos, equipamentos), aplicações (conteúdo) e lógica (padrões técnicos). Quanto aos provedores, eles podem ser divididos em provedores de: conectividade, indústria de produtos de informática, aplicativos, infraestrutura de telecomunicações, produtos e software de telecomunicação. Com isto, a regulação deve ser o motor de inovação.

6. Formação de recursos humanos: As recentes maneiras de produção trazidas pela Indústria 4.0 exigem profissionais com formação diferente. Esse modo de produção caracteriza-se pela integração de novas aprendizagens, criando assim equipas com alto nível de conhecimento técnico.

7. Articulação institucional: Para que o Brasil possa aproveitar toda as oportunidades, é preciso que haja uma ação coordenada entre empresas públicas e privadas nas questões relacionadas com a digitalização.

2.6 Indústria 4.0 em Portugal

Em 2016, a Comissão Europeia através do programa Estratégia de Digitalização da Indústria, fortalece a necessidade de Portugal se adaptar à Indústria 4.0. Com este incentivo, o Governo Português no início de 2017, cria o programa "Portugal i4.0" com o principal objetivo de tornar este processo de adoção mais rápido e simples.
A entidade Portuguesa responsável pela coordenação e gestão do Programa Portugal i4.0 denomina-se COTEC. Para implementar esta estratégia foram contactadas 25 Universidades e 88 empresas, criando assim um Comité Estratégico capaz de definir um plano de medidas válidas a seguir. Foi estabelecido que se ia requalificar os trabalhadores levando-os a melhoras as suas competências digitais e esta formação teve impacto direto em mais de 20 mil trabalhadores, contribuindo positivamente para mais de 50 mil empresas.
Em setembro de 2016, a PwC com o relatório "*PwC Global Industry 4.0*" faz o primeiro estudo de onde foram retiradas as seguintes conclusões [20]:

- Comparativamente com os resultados globais, 34% das empresas consideram estar avançadas digitalmente;
- 86% das empresas portuguesas esperam em 2021 estar com elevado nível de digitalização;
- Em 57% da empresas é esperado um aumento de receitas de 10%;
- Em 55% das empresas uma redução de custos superior a 10%;
- Em 70% das empresas um ganho de eficiência superior a 10%;
- Cerca de 50% das empresas afirma que a falta de conhecimento e formação são a principal barreira para a adaptação;
- A cibersegurança preocupa 61% das empresas;
- 60% das empresas espera em dois anos obter retorno do investimento;
- A análise de dados é essencial para 41% das empresas.

Um outro estudo realizado em 2018, pela *NovaSBE Center for Digital Business & Technology* em conjunto com a EY, procura descrever o nível de maturidade digital das empresas nacionais. Com este estudo foi possível afirmar que na globalidade todas as empresas se sentem confiantes relativamente à adaptação e apenas algumas dizem estar atrasadas face ao mercado. Verificou-se que apesar de haver estratégias e ideias para a implementação, existe uma incompatibilidade nas mesmas. Foi ainda possível concluir que as tecnologias mais utilizadas são a IoT, Computação em Nuvem e *Big Data*.

2.7 Impactos da Implementação da Digitalização

No presente estudo, é importante perceber onde estão presentes e quais os principais os obstáculos para a implementação da digitalização. Um dos desafios passa por saber como lidar com o grande volume de dados, tornando assim a tomada de decisão mais lenta. A falta de ferramentas inteligentes relativamente à análise de dados leva a uma falta de gestão de dados por parte das máquinas [90].

De acordo com Wang *et al.*(2015), o principal obstáculo para explorar as tecnologias CPS, continua a ser por culpa de indústria muito conservadora com pequenas margens que não permitem elevar o risco estratégico [152]. Os autores defendem que os CPS precisam de encontrar novas tecnologias de transição inovadores que possam gradualmente ser integradas sem grande investimento. Para Rennung *et al.*(2016), o aumento da complexidade de produtos e processos, a instabilidade do mercado e a redução dos ciclos de produtos, tecnologia e inovação são alguns exemplos dos principais desafios atuais e futuros na produção [125].

A comunicação entre os diferentes sistemas digitais é também outro desafio, levando a que empresas como *International Electro-technical Commission e International Organization for Standardization*, estejam envolvidas no desenvolvimento de normas de padronização da IoT. Para isso é preciso existir uma grande coordenação entre as diferentes empresas no sentido de fortalecer as relações entres organizações nacionais e internacionais [162].

A não adoção das novas tecnologias leva a uma perda de competitividade no mercado. Essa proveniente da falta de conhecimento de ferramentas práticas para a obtenção de informações e metodologias que permitam a integração dos diversos recursos humanos e tecnológicos de maneira a atualizar as suas estratégias competitivas. Para haver mudança de comportamento das empresas, é necessário que haja um investimento em pessoas especializas, que incentivem o alinhamento estratégico baseado nas necessidades dos mercados em que atuam, nas tecnologias que envolvem todo o seu negócio e na necessidade de investimento para aguentar as mudanças que são precisas [148].

Segundo Lichtblau *et al.*(2015), o não conseguir alcançar os níveis de digitalização pretendidos derivam destas 10 principais barreiras [92]:

1. Falta de interoperabilidade entre tecnologias;
2. Falta de conhecimento sobre o ROI (Retorno Sobre o Investimento);
3. Dificuldade em adaptar processos existentes;
4. Falta de conhecimento e/ou compreensão da tecnologia;
5. Falta de Recursos Humanos qualificados;
6. Falta de capacidade de equipamentos e softwares;
7. Custo de equipamento e softwares;

8. Falta de Normas;

9. Disponibilidade tecnológica;

10. Quadro jurídico pouco claro.

A tabela seguinte (Tabela 2.1) apresenta adicionalmente desafios da implementação da transformação digital estudados pela comunidade científica

Tabela 2.1: Desafios da Implementação da Transformação Digital

Autores	**Lista de Desafios**
Orlikowski & Scott (2008) [112]; Westerman *et al.*(2012) [156];Fitzgerald *et al.*(2014) [62]; Wamba *et al.*(2017) [151]; Yucel (2018) [163]; Büchi *et al.*(2020) [40]	Falta de ímpeto
	Regulamentação e reputação
	Falta de clareza nos negócios
	Falta de competências
	Questões culturais
	Dificuldades de TI
	Financiamento insuficiente
	Limitações dos sistemas de TI
	Papéis e responsabilidades não são claros
	Falta de clareza nos negócios
	Unidades de negócios que implementam independentemente em silos
	Cultura não passível de mudança
	Falta de competências de liderança
	Preocupações regulamentares
	Relacionadas com a estratégia
	Relacionadas com a implementação
	Falta de competências internas e grandes custos de investimento

No que concerne aos principais benefícios da Transformação Digital, a tabela seguinte (Tabela 2.2) apresenta grande parte dos apontados pela comunidade científica.

Tabela 2.2: Benefícios da Implementação da Transformação Digital

Autores	**Lista de Benefícios**
Brynjolfsson & Hitt (2000) [37], (2003) [38]; Orlikowski & Scott (2008) [112]; Brynjolfsson & McAfee (2011) [39]; Belvedere *et al.*(2013) [32]; Fitzgerald *et al.*(2014) [62]; Westerman *et al.*(2014)[156]; Hess *et al.*(2016) [80]; Schwertner (2017) [134]; Wamba *et al.*(2017) [151]; Căpuşneanu, *et al.*(2021) [43]; Morais (2021) [101]; Mulrow *et al.*(2021) [104]	Melhoria da produtividade
	Redução de custos e inovação
	Melhor experiência e envolvimento dos clientes
	Operações simplificadas e novas linhas de negócio ou modelos empresariais
	Eficiência organizacional
	Agilidade organizacional
	Inovação de fabrico
	Qualidade e segurança dos produtos e melhoria dos processos
	Racionalização do fluxo de trabalho
	Melhoria da produtividade
	Performance da organização
	Retorno do investimento

2.8 Estado Atual da Digitalização em Portugal

2.8.1 Plataforma Tecnológica Europeia da Construção

A transformação digital e a competitividade dos mercados, também no que respeita ao setor da construção, mais especificamente no que diz respeito à Engenharia Civil, são fatores grandes de mudança. A investigação científica acompanha o desenvolvimento tecnológico e, mesmo as empresas de construção mais tradicionais e de pequena dimensão, são obrigadas a complementar as suas estratégias com novas ferramentas de informação e comunicação. Neste sentido, surgem as Plataformas Tecnológicas da Construção, representando um dos canais privilegiados para ajudar a promover a reflexão, criar cooperações, influenciar políticas, incentivar universidades e empresas e englobar valências, entre outros [44].

Em outubro de 2004, em *Maastricht*, Holanda, foi fundada a Plataforma Tecnológica Europeia da Construção (ECTP - *European Construction Technology Platform*). Relacionada com a lógica da criação de uma estratégia de crescimento para a Europa, esta plataforma visava aumentar os índices de competitividade e sustentabilidade do setor da Construção, através do reforço dos laços entre o tecido empresarial. A ECTP tem vindo a fomentar a criação de uma rede europeia de plataformas nacionais que, através de uma participação coordenada de todos os membros, têm a oportunidade de fazer parte de uma rede de partilha de conhecimento, informação e influência,

que lhes permite identificar oportunidades relativas ao desenvolvimento do setor numa perspetiva de construção mais sustentável [130].
Esta rede tem vindo a constituir um conjunto de atores chaves relevante, com capacidade para influenciar o investimento em investigação e inovação na Europa, quer a nível social, quer tecnológico, bem como estimular a troca de experiências entre as entidades envolvidas. Atualmente, a ECTP reúne já cerca de 150 organizações de toda a fileira da construção e está em 26 países. Tem como membros grandes empresas, PME's, universidades, institutos de investigação e associações profissionais [44].
A ECTP é uma das 38 Plataformas Tecnológicas Europeias (ETP's) reconhecidas pela Comissão Europeia como ator chave na dinamização da inovação, transferência de conhecimento e competitividade europeia. Esta plataforma canaliza os fundos europeus de investigação e desenvolvimento, entre os quais o Programa "*Horizon Europe*"
O *Horizon Europe* é o programa de investigação e inovação da UE para 2021-2027, com um orçamento de 95,5 mil milhões de euros. Aborda as alterações climáticas, ajuda a alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e estimula a competitividade e o crescimento da UE.
Hoje a ECTP é uma voz de liderança, impulsionando a inovação para a indústria na Europa, prestando consultoria aos governos e à União Europeia para transformar o setor e moldar a estratégia e a mudança na investigação. As principais áreas foco da ECTP atualmente incluem:"i) *Active Aging & Design* (AA&D); ii) *Digital Built Environment* (DBE); iiii) *Energy Efficient Buildings* (E2B); iv) *Heritage & Regeneration* (H&R); v) *Infrastructure & Mobility* (I&M) and v) *Materials & Sustainability* (M&S)"[4].

2.8.2 Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção

A Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC) foi constituída como Associação sem fins lucrativos no dia 26 de outubro de 2011 e tem como objetivos o estímulo à cooperação, ao crescimento e à construção sustentável entre grandes empresas, PME's, entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN), Associações, Ordens, Institutos e Entidades Públicas ou Privadas, da fileira da construção e obras públicas. Tem como missão, a "promoção da reflexão sobre o sector e implementação de iniciativas e projetos de investigação, desenvolvimento e inovação, que possam contribuir para o incremento da respetiva competitividade no quadro geral da economia congregando e promovendo a cooperação entre empresas, entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN), associações, federações, confederações, entidades públicas ou privadas, do sector da construção e obras públicas ou com ele ligadas"[11]. Como visão pretende "tornar-se num agente ativo de promoção da inovação e competitividade do sector da construção, reconhecido no País e no estrangeiro"[11]. Tendo ainda como Valores "Abertura, Ambição, Cooperação e Rigor"[11], apresenta-se com os seguintes vetores estratégicos:

- Promover a Vigilância do Conhecimento e das Tecnologias da Construção;

- Influenciar a agenda de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (IDT) do SCTN para as necessidades e desafios do Mercado da Construção;
- Promover consórcios de projetos de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (IDI) e ajudar a captar fundos;
- Influenciar as políticas relacionadas com o IDI na Construção em Portugal e na Europa (através da Plataforma Tecnológica Europeia da Construção - ECTP).

Em julho de 2015, a PTPC submeteu uma candidatura para a constituição de um *Cluster* de Competitividade no setor da construção para o período de 2015 a 2020, reunindo o interesse de cerca de 80 entidades do setor, entre grandes empresas, PME, Associações setoriais e entidades não empresariais do SI&I que, em conjunto, constituíram o grupo inicial de associados do *cluster*. Surge assim o *Cluster* AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção, que assenta a sua estratégia numa visão que privilegiam a aposta na IDI e na internacionalização como principais motores da competitividade do setor da arquitetura, engenharia e construção a nível nacional, procurando sobretudo fomentar relações e sinergias entre os diversos atores do setor e em toda a cadeia de valor [11].
O *Cluster* AEC apresenta como missão "posicionar-se como uma plataforma agregadora de conhecimento e de competências do setor da construção, promovendo a competitividade do tecido empresarial através do fomento de atividades de investigação"[6]. Os seus principais objetivos passam por: i) "fomentar as atividades de IDI em parceria; ii) aumentar as exportações e o emprego qualificado; iii) promover a visibilidade internacional do setor; iv) reforçar as competências do setor e v) promover a cooperação e parcerias"[6].

2.8.3 Importância do *Cluster* Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)

Os Clusters são formados por empresas, associações empresariais, entidades públicas e entidades não empresariais do Sistema de Investigação e Inovação. Em Portugal estão constituídos formalmente 19 clusters [3] a entidade que é responsável por assegurar a articulação com as entidades públicas que devam ser consultadas ou envolvidas na concretização das estratégias associadas aos Pactos Setoriais é o IAPMEI [1]. Segundo o mesmo Instituto, a lógica subjacente à definição dos eixos estratégicos está estruturada de acordo com as necessidades de cada setor, embora as diretrizes gerais das ações dos vários *clusters* cruze necessidades semelhantes, nomeadamente: "i) capacitação de Recursos Humanos com competências para dar resposta e apoio à modernização dos sistemas de produção; ii) Investimento em I&D e Inovação, envolvendo universidades, centros tecnológicos e empresas que permitam aumentar a capacidade de transferência de conhecimento; iii) internacionalização e atração de investimento estrangeiro; iv) aspetos legais regulamentares e v) financiamento"[6].
Em Portugal, o *cluster* AEC emprega diretamente 350.000 pessoas e gera um volume de faturação da ordem dos 19,9 mil milhões de euros, dos quais 4,5 mil milhões de euros são relativos a exportação [6]. O setor AEC caracteriza-se por elevados níveis de competência, sendo capaz de dar resposta ao rigor e exigências dos padrões internacionais impostos pelos grandes líderes mundiais

da indústria. A cadeia de valor alargada do setor da construção (que inclui todas as atividades a montante e a jusante) assume uma importância central na economia nacional, sendo responsável por mais de 550 mil postos de trabalho e 37,5 mil milhões de euros de volume de negócios.
Os eixos do Pacto Setorial são a nível da Inovação e Conhecimento, Qualificação e Formação de Recursos Humanos, Promoção Externa e Internacionalização, Sustentabilidade e Financiamento do Setor, Capacitação de Recursos Humanos. De seguida, são explanados os respetivos objetivos e medidas:

- Inovação e Conhecimento – Objetivo: Fomentar a I&D, a inovação e a capacitação tecnológica do setor, bem como promover práticas de transferência de tecnologia.
  - Medidas: Criação e dinamização de um Laboratório Colaborativo para o Ambiente Construído do Futuro (BUILT CoLAB). Sensibilização e alinhamento de todos os *stakeholders* do setor AEC para a importância da mudança digital. Promoção, em larga escala, os princípios da eficiência energética. Promoção, em larga escala, os princípios da Economia Circular. Desenvolvimento de ferramentas, normas e guias de apoio ao setor, divulgando e facilitando o acesso ao conhecimento. Dinamização de processos de inovação aberta por via de programas de transferência de tecnologia e *matchmaking*. Criação e dinamização do BdSPT enquanto grupo espelho dos desenvolvimentos promovidos pela *Buildingsmart Internacional.*
- Qualificação e Formação de Recursos Humanos – Objetivo: Reformar o ensino e a formação profissional.
  - Medidas: Implementação de programas de formação profissional em tecnologias de informação e na área do "pensamento computacional". Promoção da imagem do setor AEC como um setor inovador e com potencial de crescimento junto dos jovens em idade escolar, disseminando práticas inovadoras e melhorando a atratividade do setor. Criação de *working groups* para a qualificação e formação do setor AEC, promovendo o debate em torno das áreas críticas para a valorização do potencial humano no setor.
- Promoção Externa e Internacionalização – Objetivo: Promoção Externa e Internacionalização.
  - Medidas: Desenvolvimento de marca *umbrella* associada ao Cluster AEC, assente numa oferta complementar de produtos/serviços. Definição de uma Estratégia de posicionamento do setor AEC junto das agências de desenvolvimento e instituições financeiras internacionais. Criação de uma plataforma estratégica para a internacionalização e exportação, facilitando o estabelecimento de acordos e parcerias estratégicas que agilizem a entrada em mercados externos. Consolidação da oferta interna de bens e serviços e da capacidade exportadora das PME associadas através da criação e dinamização de *working groups* de exportação.

- Sustentabilidade e Financiamento do Setor – Objetivo: Sustentabilidade e Financiamento do Setor.
  - Medidas: Definição de uma estratégia de posicionamento do setor da construção junto das agências de desenvolvimento e instituições financeiras internacionais. Criação e dinamização de *working groups* em torno das Políticas Públicas. Programa Mobilizador - Implementação de um programa de sensibilização e envolvimento dos empresários em projetos-piloto de desenvolvimento de novos serviços/produtos. Dinamização, consolidação e sustentabilidade do *Cluster* AEC a nível nacional e internacional.
- Capacitação de Recursos Humanos – Objetivo: Reforço da equipa técnica de gestão do Cluster.
  - Medidas: Reforço da equipa técnica de gestão do *Cluster* AEC. Constituição da equipa técnica do BUILT CoLAB.

2.9 Ferramentas de Medição do Nível de Digitalização

2.9.1 *SHIFT2Future*

O modelo *SHIFTo4*.0 surge com o objetivo de testar e avaliar o modelo de diagnóstico de maturidade digital desenvolvendo um projeto piloto onde participaram 7 entidades: Instituto Politécnico de Leiria, Universidade do Minho, IAPMEI, Universidade de Aveiro, CTCV, Ceiia e ISQ. Foram assim contactadas e diagnosticadas 64 empresas, representadas por 49 PME e 15 grandes empresas.
A iniciativa *SHIFT2Future* visa dar continuidade ao projeto piloto *SHIFTo4*.0 com o objetivo de apoiar e acelerar a transição das empresas para a economia 4.0, capacitando os empresários com conhecimento e ferramentas úteis, que lhes permitam enfrentar e ultrapassar os novos desafios da digitalização.
SHIFT2Future a salienta que o mundo digital é a nova realidade empresarial. O mundo dos negócios mudou e caso a estratégia de uma empresa integre a transmissão digital, este programa vem acelerar a transição digital das empresas preparando-os para a economia 4.0. Este programa disponibiliza gratuitamente: seminários e workshops temáticos e setoriais, uma plataforma de conhecimento e 4.0, *roadmaps* setoriais para a implementação de soluções e 4.0 e exemplos de boas práticas.
O *SHIFT2Future* disponibiliza também uma avaliação do estado de maturidade digital da empresa e dos seus objetivos em seis grandes áreas: estratégia e organização, infraestrutura, operações, produtos, serviços baseados em dados e Recursos Humanos. Essa avaliação é feita fornecendo linhas de orientação para incremento dessa maturidade através de autodiagnóstico na plataforma *Shift to 4.0* gerando um relatório com nível de maturidade orientações genéricas ou de um diagnóstico assistido por um facilitador 4.0 que resulta num plano de implementação que poderá servir também para fundamentar futuras candidaturas a apoios financeiros.

Os facilitadores neste projeto são especialistas setoriais com competências na área da transformação digital. Os diagnósticos assistidos destinam-se exclusivamente a PME's das regiões Norte, Centro e Alentejo e dos setores: moldes e plásticos, pedra, cerâmica e vidro, têxteis e calçado, automóvel e aeronáutica, IT e IoT, metalomecânica agroalimentar e turismo.

2.9.2 Modelo *THEIA*

O Modelo *THEIA* - *Technological and Holistic Engagement for Industry 4.0 Assessment*, deu seguimento ao Projeto Plataforma Portugal Indústria 4.0, como maneira de diagnosticar e caraterizar o setor empresarial português. Este modelo vem procurar atingir três objetivos centrais:

- Acelerar a adoção das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 no setor empresarial nacional;
- Promover as empresas tecnológicas nacionais internacionalmente;
- Elevar Portugal no contexto da Indústria 4.0 tornando um local propício ao investimento.

Como atividade da Plataforma Portugal I4.0 aparece a criação de um Modelo de Avaliação de Maturidade I4.0 que vem trazer um teste de autodiagnóstico para as PME, permitindo um perceção sobre o seu lugar e preparação para este novo paradigma e também para conseguirem identificar em que áreas devem investir mais no sentido de mostrar uma evolução tecnológica.
Assim, este modelo de avaliação de maturidade é uma ferramenta única para melhorar a estrutura empresarial portuguesa, em especial as PME, pois em primeiro lugar vem permitir obter informação importante sobre o estado de maturidade das organizações portuguesas, bem como o seu contributo para a transformação digital própria à Indústria 4.0. Por meio desta análise, a COTEC vai conseguir controlar com mais precisão as necessidades do negócio, facilitando a comunicação e transmissão de informações relevantes que atendam às necessidades do negócio.
Posteriormente, ao utilizar esta ferramenta de autodiagnóstico, toda a empresa será enfrentada com questões que a vão forçar a refletir sobre as suas capacidades e como se deseja posicionar no futuro. A medição da sua maturidade poderá construir expectativas com mais facilidade à transformação digital.
Este modelo, está organizado em quatro dimensões: Inovação e gestão da mudança, Gestão dos ativos intangíveis, Operações e processos e Orientação para o cliente. Estas dimensões representam um caminho lógico para a transformação, carregando elas um plano definido de preparação e execução.



Figura 2.7: Dimensões do Modelo *THEIA*.

2.9.3 Deloitte - *Digital Maturity Model*

Através de um estudo feito pela Deloitte, uma das coisas que trava a indústria das comunicações do progresso mais amplo na transformação digital é a falta de um roteiro claro e orientado para a indústria. A criação do Modelo Digital de Maturidade é uma ferramenta eficaz para fornecer orientações para um caminho claro ao longo de todo o percurso de transformação.
Já existem vários modelos de maturidade digital com âmbitos, pontos de vistas e métricas diferentes para medir o sucesso. Ainda assim, este novo modelo do Forum Deloitte-TM é:

- A primeira ferramenta industrial de avaliação de maturidade digital;
- A primeira organização de modelo digital que engloba 5 núcleos de dimensões empresariais (Clientes, Estratégia, Operações, Pessoas e Culturas e Tecnologia);
- A primeira a fazer comparações e medições do progresso.

A utilização do Modelo Digital de Maturidade vai potenciar as empresas através das diferentes etapas da sua transformação digital. Vai permitir aos líderes empresariais avaliar onde estão na sua evolução da transformação, criar objetivos e planos a curto e longo prazo e fazer transformações impactantes de investimentos em projetos.
O DMM (Deloitee *Maturity Model*) avalia a capacidade digital em 5 dimensões empresariais claramente definidas para criar uma visão abrangente da maturidade digital em toda a organização:

1. Clientes: proporciona uma experiência onde os clientes veem a organização como seu parceiro digital usando os seus canais preferidos de interação para controlar o seu futuro ligado *on* e *offline*;
2. Estratégia: concentra-se em como a transformação de negócios funciona para aumentar a sua vantagem competitiva através de iniciativas digitais; está integrado na estratégia empresarial geral;
3. Tecnologia: garante o sucesso de estratégia digital, ajudando a criar, automatizar processos e na troca de dados para satisfazer as necessidades de clientes a baixo custo;

4. Operações: executar e evoluir processos e tarefas utilizando tecnologias digitais para conduzir a gestão estratégica e melhorar a eficiência e eficiência dos negócios;

5. Organização e Cultura: definem e desenvolvem uma cultura organizacional com o governo e com talentos para apoiar a progressão ao longo da curva de maturidade digital; flexibilidade para alcançar o crescimento e objetivos da inovação.

O DMM carateriza a capacidade digital de uma organização no estado em que se encontra. Elimina também a ambiguidade que pode resultar da utilização de múltiplas ferramentas de avaliação digital e fornece uma base firme a partir da qual se pode definir um caminho para alcançar os resultados desejados simultaneamente em toda a empresa.

2.9.4 *Digital Strategy Toolkit*

Uma abordagem semelhante foi também realizada pelo Governo do Sul da Austrália à qual foi atribuída o nome de *Digital Strategy ToolKit*. Esta ferramenta permite avaliar a maturidade digital numa escala de 5 níveis, organizados por ordem crescente, correspondendo o nível 1 ao nível inferior “Mínimo” , o nível 2 “Informal e Reativo”, nível 3 de “Transição”, nível 4 “*Costumer-Driven*” e o nível máximo “Transformado". Ficou também definido que esta ferramenta ia ser dividida em cinco dimensões:

- Governação e Liderança: o apoio executivo, autorização, processos de relatório e detalhe de papéis e responsabilidades;

- Pessoas e Cultura: a cultura da organização, incluindo foco no cliente, inovação, risco e atenção à gestão da mudança, especialmente as funções do pessoal;

- Capacidade: a capacidade de ser evoluído digitalmente. Recursos, números de pessoal e conjuntos de competências, acesso à tecnologia certa, plano de formação, políticas de apoio e procedimentos;

- Inovação: a vontade e a capacidade de imaginar novos serviços e produtos e novas formas de prestação de serviços. Nível de proatividade e desejo de avaliar e implementar novas tecnologias, processos de negócio e modos de trabalho;

- Tecnologia: A adequação de plataformas tecnológicas subjacentes, programas e sistemas que apoiam os outros quatro pilares.

Tabela 2.3: Estrutura da Dimensões do Inquérito DMM

Dimensões Inquérito DMM	
Clientes	Envolvimento
	Experiência
	Perspetiva e comportamento
	Confiança e perceção
Estratégia	Gestão da marca
	Gestão do ecossistema
	Finanças e investimento
	Network
	Portfólio e inovação
	Gestão do interveniente
	Gestão estratégica
Tecnologia	Aplicações
	"Coisas"conectadas
	Base de Dados
	Mercado e cliente
	Segurança
	Tecnologia arquitetónica
Operações	Mudança
	Recursos automatizados
	Controlo em tempo real
	Serviços integrados
	Processos inteligentes e adaptáveis
	Automatização de normas
Organização e Cultura	Cultura
	Liderança
	Design organizacional
	Mão de obra qualificada

2.10 Casos de Estudo

Procurou-se encontrar casos de estudo relacionados com o tema, para posteriormente serem a base de uma análise crítica como complemento ao que queremos estudar. Tendo em conta os objetivos definidos, a partir da Tabela 2.4 até à Tabela 2.17, são apresentados diversos estudos realizados por diferentes autores. A partir das conclusões tiradas pelos diferentes autores, vai ser possível começar a entender a Indústria assim como as suas principais vantagens e desafios.

Tabela 2.4: Caso de Estudo de Brynjolfsson & Hitt (2000) [37], (2003) [38]; Belvedere *et al.*(2013) [32]; Kryvinska *et al.*(2014) [86] sobre a Digitalização

Brynjolfsson & Hitt (2000), (2003); Belvedere *et al.*(2013); Kryvinska *et al.*(2014)
As empresas devem aumentar o investimento na transformação digital, bem como a taxa de implementação, a fim de gerar valor e benefícios futuros em termos de oferta de produtos e processos de fabrico.

Tabela 2.5: Caso de Estudo de Neff *et al.*(2010) [106]

Neff *et al.*(2010)
Fracasso da comunicação digital na transposição das fronteiras do conhecimento na construção virtual - O estudo sugere que o pensamento disciplinar profundamente enraizado não é facilmente ultrapassado pelas representações digitais do conhecimento e que a colaboração pode ser dificultada pela exposição de distinções previamente implícitas entre as competências e o estatuto organizacional dos membros da equipa. A ferramenta estudada foi a modelação da informação de construção. A ferramenta reflete e amplia as representações disciplinares do edifício por arquitetos, engenheiros e construtores, em vez de apoiar uma maior colaboração entre eles. O estudo indica que as pessoas têm por vezes dificuldade em ultrapassar a falta de flexibilidade interpretativa nas ferramentas de coordenação digital, mesmo quando essas ferramentas são construídas para encorajar a colaboração interdisciplinar.

Tabela 2.6: Caso de Estudo de Merschbrock, & Munkvold (2014) [97]

Merschbrock, & Munkvold (2014)
Grande projeto de construção de cuidados de saúde em que a utilização do BIM é primordial – os 1) agentes de mudança, 2) uma infraestrutura de computação em nuvem, 3) novas funções e responsabilidades, 4) contratos BIM, 5) um ambiente de aprendizagem IS, e 6) envolvendo programadores de software, são identificados como influentes para o sucesso da difusão do BIM neste projeto, e podem servir de exemplo para a implementação do BIM noutros projetos de apoio ao design integrado.

Tabela 2.7: Caso de Estudo de Merschbrock, & Munkvold (2015) [98]

Merschbrock, & Munkvold, (2015)
Implementação do BIM no projeto de construção de um hospital - Com base na difusão da teoria das inovações, o estudo identifica o seguinte conjunto de fatores chave que permitem a colaboração digital no projeto: agentes de mudança, novos papéis e responsabilidades, uma infraestrutura de computação em nuvem, contratos BIM, e um ambiente de aprendizagem BIM. Os resultados apresentados neste artigo podem servir de exemplo para a implementação de BIM e trabalho colaborativo em projetos de construção.

Tabela 2.8: Caso de Estudo de Shibeika & Harty (2015) [136]

Shibeika & Harty (2015)
Difusão da inovação social numa empresa de engenharia do Reino Unido - Os resultados descrevem a difusão de uma inovação digital como múltipla e parcial dentro de um sistema social complexo durante tempos de mudança e incerteza organizacional, contribuindo assim para a difusão de estudos de inovação em construção, mostrando uma gama de atividades e dinâmicas de um processo de difusão não linear.

Tabela 2.9: Caso de Estudo de Marcelo *et al.*(2018) sobre a Digitalização [95]

Marcelo *et al.*(2018), p. 497
A implementação da metodologia BIM melhoram a perceção de obra por parte dos intervenientes. A utilização de uma equipa pluridisciplinar promove uma maior agilização no processo de definição de uma nova solução técnica-económica enquadrada com os prazos de execução da obra. No que respeita ao processo de gestão de orçamento, há uma maior facilidade na validação dos mapas de quantidades e apoio na extração de quantidades de acordo com o faseamento de execução da obra. Todos os intervenientes percecionam o estado da obra através de elementos gráficos dos trabalhos já executados e por realizar, bem como realizar simulações que permitam validar alterações às soluções construtivas, alterações ao nível do planeamento, e analisar a viabilidade de utilização de determinados equipamentos.

Tabela 2.10: Caso de Estudo de Pereira & Araújo (2018) sobre a Digitalização [120]

Pereira & Araújo (2018)
As PME's angolanas estão muito distantes da digitalização nos seus processos de negócio e não utilizam de forma eficiente os recursos que as tecnologias móveis e as redes sociais podem oferecer. O estudo parece indicar que as empresas angolanas não conseguem resultados positivos com a implementação das tecnologias móveis e das redes sociais nos processos de negócio. As principais dificuldades que as PME's angolanas enfrentam estão relacionadas com os custos da Internet, a falta de *Know-how* dos colaboradores, a falta de alinhamento dos objetivos da empresa com as soluções tecnológicas e a inexistência de estratégias que garantam uma implementação inteligente destas tecnologias são as principais dificuldades que as pequenas e médias empresas enfrentam.

Tabela 2.11: Caso de Estudo de Pereira (2021) sobre a Digitalização [117]

Pereira (2021), p. 6
Pouco mais de 40% das PME investigadas não sabem o que é transformação digital. Dentro das que sabem, mais de 80% percecionam que o processo de implementação é extremamente, ou muito, complexo. Deste universo, verifica-se que em 54% dos casos existe uma relação entre essa perceção de complexidade e a não implementação do processo.

Tabela 2.12: Caso de Estudo "da construção"sobre a Digitalização [50]

da construção (2019), p. 23
De uma forma geral, verifica-se um baixo nível de maturidade tecnológica das PME do setor AEC, e em particular da fileira da Construção, evidenciando-se uma adoção lenta de tecnologias e ferramentas modernas de apoio à gestão de operações; É possível observar uma relativa resistência à inovação e à capacitação tecnológica, sendo que será fundamental potenciar um maior envolvimento da Gestão de Topo na integração de novas tecnologias e na digitalização de processos nas empresas; Partindo do reconhecimento existente nas empresas relativamente à utilidade/potencial do recurso a novas tecnologias no setor, dever-se-á apostar na capacitação das empresas em torno da transformação digital do setor AEC, nomeadamente através de programas de formação, desenvolvimento de manuais e guias de apoio e da partilha de recursos.

Tabela 2.13: Caso de Estudo de Koscheyev *et al.*(2019) sobre a Digitalização [118]

Koscheyev *et al.*(2019), p.7
A transformação digital no setor da construção exerce influência em toda a cadeia de valor do produto, o que origina a que as ferramentas digitais sejam uma parte constituinte obrigatória dos processos operacionais e de produção. A fim de superar estes problemas comuns de transformação digital as empresas devem alterar o seu modelo operacional para cumprir a estratégia de transformação digital que inclui os seguintes elementos: 1) Focalização na cooperação com o cliente. A abordagem digital deve fornecer não só a solução de tarefa operacional ou de gestão específica, mas concentrar-se na cooperação entre o cliente (pessoa física, entidade jurídica ou estado) e organização. 2) Pacote completo de vantagens digitais. As empresas obterão o máximo de vantagens se utilizarem o combinação da variedade de ferramentas digitais: por exemplo, análise alargada do segmento alvo e Desenho BIM. 3) Novo sistema de gestão. O Sistema de gestão integrado irá assegurar um novo modelo de funcionamento com mais estabilidade. O estímulo e a transparência do sistema de dados digitais são ferramentas importantes que ajudam a gestores na aceleração e implementação de novas tecnologias. 4) Educação digital. Os programas de transformação cultural e de formação profissional permitem às empresas de construção utilizar o potencial dos Recursos Humanos e tornar as organizações mais flexíveis. Isto proporciona a possibilidade de se adaptarem rapidamente à evolução das condições do mercado e das exigências dos clientes.

Tabela 2.14: Caso de Estudo de Reis (2019) sobre a Digitalização [122]

Reis (2019), p. 6
A digitalização é um pré-requisito para que a transformação digital possa ocorrer, as empresas possuem níveis de digitalização reduzidos e não estão preparadas para a transição, embora o governo português esteja a desenvolver um programa de apoio às PME para materializar o conceito indústria 4.0.

Tabela 2.15: Caso de Estudo de Ginigaddara *et al.*(2021) [68]

Ginigaddara *et al.*(2021)
Evolução das competências de construção fora do local: um estudo de caso australiano - Este estudo identifica a não adequação do sistema de classificação existente, a indisponibilidade e a necessidade de categorização de competências específicas da construção fora do local (CFL). Destaca novas competências que entram na CFL, nomeadamente, engenheiro de modelação de informação de construção, desenhador tridimensional, gestor de projetos CFL e coordenador de projetos, que não são identificadas nas classificações de competências disponíveis na Austrália. Estas, juntamente com as competências existentes, precisam de ser trabalhadas para criar uma nova classificação de competências.

Tabela 2.16: Caso de Estudo de Truant *et al.*(2021) sobre a Digitalização [145]

Truant *et al.*(2021)
A digitalização tem um impacto forte e direto na rentabilidade.

Tabela 2.17: Caso Estudo de European Construction Sector Observatory (2021) sobre a Digitalização [13]

European Construction Sector Observatory (2021),p. 119-121
A transformação digital traz inúmeras oportunidades para as empresas europeias, bem como desafios importantes. Quer estejam relacionados com a aquisição de dados, processos de automatização ou informação e análise digital, a tecnologias digitais estão profundamente interligadas e cada vez mais presentes no sector da construção, sendo aplicadas em todas as suas fases de cadeia de valor, desde as fases de conceção e construção, até à operação e manutenção. No entanto, a sua cadeia de valor, o seu nível de adoção também difere, seguindo i) a sua dimensão e capacidade de investimento; ii) a sua maturidade no mercado e preparação tecnológica; iii) os benefícios percebidos (e para que ator); e iv) o mercado e restrições políticas/-regulamentares e oportunidades. Entre as tecnologias digitais mais adotadas estão os sensores de figuras, os *drones* e o BIM. O sector público desempenha um papel fundamental no apoio e incentivo da transformação digital, impulsionando a adoção de tecnologias digitais no sector da construção. Fá-lo principalmente através de três tipos de intervenções: i) como decisores políticos, ao ser capaz de estabelecer as regras do jogo e liderar a digitalização ii) como compradores e administradores de edifícios e infraestruturas, sendo capaz de influenciar o mercado, oferecendo oportunidades de negócio; e iii) como administradores de serviços públicos relacionados com a construção, tendo por isso a possibilidade de digitalizar primeiro os seus próprios processos - de modo a facilitar a digitalização da cadeia de valor. Vários governos nacionais optaram por fomentar a adoção de tecnologias digitais em projetos de construção, exigindo a sua utilização em concursos públicos. As políticas e os regulamentos são, portanto, considerados como um dos principais motores para a digitalização do sector da construção. De acordo com os resultados do estudo, o custo do equipamento e do software, a falta de mão-de-obra qualificada e a falta de sensibilização e compreensão são os três principais fatores que dificultam uma digitalização mais rápida e mais ampla do sector europeu da construção. É importante realçar esta perspetiva, salientando o facto de que a importância destes desafios também varia de acordo com a tecnologia: o custo do equipamento é um fator limitativo importante para a impressão 3D e a robótica, mas é uma questão secundária para a adoção de sensores. Para além dos desafios acima mencionados, o relatório também analisa as questões relacionadas com a inerente fragmentação do sector da construção, cibersegurança e a normalização. No entanto, a introdução de políticas e instrumentos a nível da UE e a nível nacional deverá permitir aliviar o peso destes desafios na transformação digital do sector da construção.

Capítulo 3

Desenvolvimento do Inquérito Sobre a Digitalização no Setor AEC

Com base nos conceitos e na revisão bibliográfica feita anteriormente, parece evidente a importância da digitalização no setor AEC, já que a sua adoção por parte das empresas é um passo importante para garantir continuidade, competitividade, produtividade e qualidade nas mesmas. A presente Dissertação apresenta um caso de estudo em Portugal, tendo para isso sido realizado um inquérito a empresas nacionais do setor AEC, com o objetivo de perceber como é que as empresas estão a responder às exigências impostas pela transformação digital, e qual a importância e conhecimento que cada uma dispõe sobre este assunto. Para isto foram utilizados conceitos da Indústria 4.0, com a finalidade de identificar o estado atual da digitalização tendo consciência das causas responsáveis pela não adaptação.

3.1 Investigação Quantitativa

Uma abordagem quantitativa é um método científico, capaz de controlar as variáveis que influenciam o objetivo do estudo. O quantitativo é tradicionalmente objetivo e observável, mas em Psicologia é baseado na abordagem conceitual do pesquisador e é uma das formas de expressão da realidade [34].
A pesquisa metodológica quantitativa, segundo Gunther (2006), apresenta as seguintes caraterísticas [73]:

- O pesquisador interage com os sujeitos da pesquisa de forma neutra e objetiva onde os seus sentimentos e opiniões são irrelevantes;
- Crenças e valores pessoais não são considerados fontes de influência no processo de pesquisa científica;
- Analise dos resultados usando uma linguagem matemática, isto é, análise estatística e teoria das probabilidades para os explicar esses.

Com este este tipo de pesquisa, existe uma análise de dados em que a linguagem matemática é a usada para interpretar os resultados obtidos, para fazer a correlação da realidade empírica com a teoria sobre a qual o estudo se baseia.
De acordo com Minayo e Sanches *et al.*(1993), a utilização da linguagem matemática vem interpretar, descrever e representar as diferenças apresentadas, sendo capaz de encontrar relações entre eles. A pesquisa quantitativa opera em patamares de realidade, onde os dados são apresentados em sentidos observáveis [99].

3.2 Procedimentos Metodológicos

Para aprofundar e conhecer a adaptação das empresas do setor AEC à transformação digital, a metodologia associada passa pelo desenvolvimento de um inquérito onde são aplicados vários domínios de conhecimentos sobre a Indústria 4.0. Nesta fase procede-se à recolha de dados que posteriormente serão complementados por profissionais do setor.
Para obtenção de respostas para este estudo, foi enviado via e-mail (Anexo A), um questionário para cerca de 600 empresas estando todas elas listadas e oficializadas. Empresas de todo o país, incluindo regiões autónomas, receberam convite de colaboração neste estudo. Este questionário, para acompanhar este estudo, foi desenvolvido através da plataforma *Google Forms*.
Foi utilizado um questionário, atendendo que o mesmo pode ser definido como um método de recolha de dados e informação, constituído por uma base de perguntas que deve ser respondido sem a presença do criador do mesmo [57]. Também Baptista *et al.*(2011), define um questionário como um instrumento de investigação que procura recolher informações sobre um certo grupo representativo da população em estudo [28]. Para a elaboração de um questionário, é essencial perceber o que pede cada questão e para isso é preciso certificar que as perguntas são simples e claras. Uma coerência e um fio de ligação entre os temas é também importante evitando assim a monotonia ao longo do realizar do mesmo.
A elaboração de um questionário segue três principais etapas: i) formação das perguntas; ii) composição das perguntas e iii) organização das perguntas, subdividido em diferentes momentos [129]:

- Especificação da informação necessária;
- Determinar o tipo de questionário e o método de administração;
- Definir o conteúdo das questões;
- Definir a forma de resposta para cada questão;
- Definir a estrutura e a redação das questões;
- Definir a sequência das questões;
- Definir a forma e o *layout* do questionário;
- Reexaminar os passos 1 a 7 e revê-los se necessário;

- Reproduzir o questionário;
- Pré-teste e revisão do questionário.

Da mesma forma que são apresentadas as etapas de elaboração de um questionário, enumera-se também os principais e mais comuns erros na realização:

1. Apresentar questões com mais de um sentido;
2. Apresentar questões irrelevantes para o inquirido;
3. Apresentar questões que conduzem para uma resposta não concreta ou enganosa;
4. Falta de incentivo a responder ao questionário;
5. Pedir informações repetidas ou que podem ser encontradas através de outro tipo de fonte.

A realização deste questionário sobre a digitalização foi baseada num modelo de Azhari *et al.*(2014), desenvolvido na Alemanha pela consultora *Neuland* em parceria com a Universidade de *Reutlingen* mais especificamente com o Centro de Pesquisa de Negócios Digitais [25]. Este estudo procura recolher os dados necessários para analisar a digitalização na empresa. Está organizado por 5 principais dimensões (Estratégia, Recursos Humanos, Organização, Clientes e Parceiros e Tecnologia) de maneira a garantir que que a transformação digital ocorra na totalidade dentro da organização.
Na maioria dos casos, desde o início da criação, as empresas procuram seguir um caminho natural e tradicional, no entanto, ao enfrentarem um cenário que não vai de acordo ao delineado é normal que essas empresas estejam suscetíveis a mudanças. Caso se sinta um aumento de utilização de novas tecnologias no mercado, as organizações precisam de inovar para conseguir obter a melhor transformação digital. Com isto as diferentes partes da organização, também vão sofrer alterações de modo a melhor acompanhar esta transformação.
Identificada a perceção sobre o questionário, os especialistas vão procurar participar no estudo com uma ponderação do nível de concordância e discordância que têm sobre os indicadores apresentados. Esses indicadores serão medidos pelo parâmetro *Interrater Agreement* (IRA) [135].

$$IRA = \frac{Número\ de\ Participantes\ que\ Concordam}{Número\ Total\ de\ Participantes}$$

Figura 3.1: Equação de Avaliação dos Parâmetros.

3.3 Objetivo e Questões do Questionário

O objetivo principal deste estudo é auscultar as empresas do setor, relativamente à sua transição digital, tirando conclusões sobre o estado atual da digitalização, a nível nacional. Para conseguir obter as respostas necessárias, foram criadas questões capazes de orientar o inquirido a responder

da maneira mais claro e precisa, como apresentado no Anexo A.2.
O presente questionário é constituído por vinte perguntas, sendo dezanove delas obrigatórias e uma pergunta final optativa, caso o inquirido queira ter acesso ao estudo e ao resultado final. O questionário está dividido em oito secções, mas apenas em cinco delas são realizadas questões relacionadas com o tema.
Na primeira secção sobre dados inicias, é feita uma questão de escolha múltipla e uma de resposta curta apenas para caraterizar a pessoa que está a colaborar neste estudo. De seguida é apresentada uma breve caraterização da empresa, com novamente uma pergunta de resposta curta e quatro de escolha múltipla.
Passamos de seguida para as cinco secções seguintes, onde a partir daí podemos caraterizar qual o nível de adaptação do setor a esta transição digital.Foram definidos assim, as cinco categorias distintas:

1. Estratégia: são apresentadas duas questões de escolha múltipla, sobre a digitalização e o investimento na mesma dentro da empresa;

2. Recursos Humanos: questões sobre os trabalhadores e ações que promovam o uso da tecnologia são colocadas, também através de duas escolhas múltiplas.

3. Organização: em duas questões de escolha múltipla, são abordados os processos de tomada de decisão assim como sobre a partilha e gestão da informação;

4. Clientes e Parceiros: com uma questão de escolha múltipla caraterizamos a ligação empresa clientes;

5. Tecnologias: é a secção mais aprofundada e é a base de todo o estudo. São realizadas cinco questões de escolha múltipla, divididas nas tecnologias de aquisição de dados, automatização de processos e na análise de dados e informação digital. Posteriormente, numa escala de cinco níveis, é questionado o nível de adoção de cada tecnologia. Conclui-se esta secção, procurando encontrar as barreiras e os motivos aos quais a introdução das mesmas, ainda não foi feita.

Tabela 3.1: Escala utilizada para avaliação do uso das tecnologias

Não Iniciado	Experimental	Alguns casos	Iniciado Ativamente	Totalmente Integrado
O	O	O	O	O

Na última secção, é encontrado um espaço de preenchimento opcional, que caso pretendam ter acesso ao resultado do estudo, podem deixar o seu nome e respetivo e-mail para onde serão enviadas as conclusões retiradas.

3.3.1 Validação do Questionário

Autores como Baptista e Sousa *et al.*(2011) [28], acrescentam e reforçam a ideia de que a boa elaboração de um bom questionário, implica um teste-piloto a especialistas e pessoas da área, a fim de ser possível perceber se está bem feito e se responde devidamente às questões feitas pelo investigador.
Os testes-piloto são testados empiricamente, após respetiva formulação e validação, para se verificar a sua usabilidade e adequação. Os inquiridos selecionados são profissionais dentro do setor e com diversidade relativamente ao trabalho e anos de experiência que exercem a profissão. Professores, antigos colegas de curso, que começaram recentemente a exercer, e administradores de empresas foram selecionados; através deles foi possível recolher os resultados e ter perceções da avaliação realizada.
Para a realização dos mesmos, foram selecionados profissionais, que obrigatoriamente trabalham em empresas distintas, para ser assim possível obter resultados distintos e reais. Foi utilizado e enviado um questionário, semelhante ao que posteriormente foi enviado de forma oficial às empresas que fazem parte do estudo, ajustando apenas o *feedback* recebido.
Os resultados obtidos nesta avaliação das empresas selecionadas podem ser analisados e interpretados, tendo em vista o tamanho e a relevância das mesmas no setor AEC que de maneira consecutiva tem passado por avanços de inovação tecnológica. Por outro lado, não podem servir de base para afirmações conclusivas que se estendam ao setor em geral. A partir dos resultados obtidos, destacam-se apenas alguns dos pontos fortes e fracos avaliados em cada empresa, mas sempre sem possibilidade de avaliar o setor na sua totalidade.

3.3.2 Escala de *Likert*

A escala de *Likert* apareceu em 1932 e foi concebida para avaliar a "atitude" de um certo grupo de pessoas. Uma atitude pode ser definida como uma forma preferencial de comportamento numa circunstância específica, criada através de crenças ou ideias que foram adquiridas através de interações sociais [83]. Esta escala procura quantificar o pensamento subjetivo e sentido num ambiento propício a tal.
Originalmente, a escala de *Likert* é definida por um conjunto de afirmações oferecidas para uma situação real ou hipotética em estudo. Assim como neste questionário realizado, os participantes são convidados a mostrar os seus níveis de concordância, desde "discordo totalmente" a "concordo totalmente", com a declaração dada numa escala métrica [137]. Durante a realização do questionário, em praticamente todas as questões, é apresentada uma escala de cinco níveis, tornando assim o preenchimento do mesmo mais simples e de fácil compreensão. Na imagem em baixo podemos ver os níveis que foram aplicados.

Tabela 3.2: Escala de *Likert* utilizada no questionário

Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
O	O	O	O	O

3.4 Disseminação do Questionário

Durante a primeira fase deste processo, foram selecionados distintos tipos de empresas do setor, incluídas empresas de todo o país inclusive regiões autónomas, para se obter resultados concretos e reais para a conclusão deste estudo. Foram incluídas empresas de fiscalização, gabinetes de projeto, gabinetes de arquitetura, empreiteiro geral, fabricantes entre outras.

Numa fase inicial, começou-se por procurar em plataformas online, empresas de todos os tamanhos independentemente de serem elas pequenas, médias ou grandes. Primeiramente foram selecionadas duzentas empresas e contactadas via e-mail para colaborar no questionário realizado no *Google Forms*.

Devido à reduzida participação e ajuda, foram selecionadas mais cem empresas para colaborar a fim de ter respostas suficientes. Ainda assim não foi suficiente, e foi repetido sucessivamente este processo até serem enviados 500 e-mails e obter 60 respostas.

Por ainda ser insuficiente o número de respostas, tiveram de ser arranjados outros meios para contactar os profissionais com conhecimento no setor. Através de redes sociais como *LinkedIn* e *Facebook*, foram encontradas mais pessoas que seriam úteis e capazes de participar neste estudo. Foram assim enviados mais 100 pedidos de participação obtendo assim mais 26 respostas.

Capítulo 4

Análise e Discussão de Resultados

Para o presente estudo, foi lançado um questionário, através do *Google Forms*, validado previamente pela Academia científica (5) e pelas empresas (5). Obtiveram-se 86 respostas dos 600 questionários enviados. As respostas foram todas validadas e representam uma taxa de colaboração de 14%. O questionário esteve disponível durante o mês de maio de 2022 e início de junho de 2022. Os dados foram introduzidos no *Microsoft Office Excel* para uma posterior análise, incidida nos processos de análises descritivas, tabelas e gráficos. Todos os valores foram obtidos através dos dados recolhidos e fornecidos pelas empresas. Este capítulo encontra-se então dividido em 3 partes: a caraterização da amostra, análise e discussão de resultados.

4.1 Caraterização da Amostra

Numa primeira fase foi enviado o questionário a cada empresa e cada uma decidiu selecionar quem iria fornecer as informações para o mesmo. Foram assim obtidas respostas de diferentes cargos, obtendo 9% respostas de cargos Administrativos, 10% de Recursos Humanos e 20% de Diretores. É destacada a participação de Gerentes com 28% das respostas e de Engenheiros com 33%.Importante referir que muitos dos Dirigentes que fazem parte de cargos mais altos são, muitas das vezes, também Engenheiros.

Tabela 4.1: Cargo do Respondente

Cargo na Empresa	**Percentagem de Colaboração**
Administração	9%
Recursos Humanos	10%
Direção	20%
Gerentes	28%
Engenheiros	33%

Posteriormente fomos identificar o número de anos de constituição das empresas respondentes, a fim de termos uma perceção da antiguidade. A Tabela 4.2 mostra que 32% das empresas têm menos de 10 anos, 28% entre 20 e 29 anos, 19% entre 10 e 19 anos, 14% entre 30 e 40 anos. Com mais de 40 anos surgem 7% das empresas.

Tabela 4.2: Longevidade de Atuação da Empresa

Anos no Mercado	**Percentagem de Colaboração**
Menos de 10 anos	32%
Entre 10 e 19 anos	19%
Entre 20 e 29 anos	28%
Entre 30 e 40 anos	14%
Mais de 40 anos	7%

Destas empresas, o tipo de empresa a que estão afetos pode ser visto na tabela 4.3. Assim, foi pedida a participação a todo o setor, isto é, empresas de todos os tipos, apenas exigindo que fossem sediadas no país. Tivemos assim a colaboração de 11 tipos de empresa: Consultoria, Fabricantes, Fiscalização, Fornecedor, Gabinete de Arquitetura, Laboratório Colaborativo, Promotores/Dono de Obra, *Software Developers*, Subempreiteiro, Empreiteiro Geral e Gabinete de Projeto. Estes dois últimos tipos mencionados, são os que contribuíram com mais respostas correspondendo a 25% e 27% respetivamente. É importante referir que cerca de 42% das inquiridas, não desempenham apenas uma função.

Tabela 4.3: Tipos de Empresa

Tipo de Empresa	**Percentagem de Colaboração**
Gabinete de Projeto	27%
Empreiteiro Geral	25%
Fiscalização	12%
Empreiteiro	7%
Fabricantes	6%
Promotores/Dono de Obra	6%

Tabela 4.4: Tipos de Empresa (Continuação)

Tipo de Empresa	**Percentagem de Colaboração**
Gabinete de Arquitetura	5%
Consultoria	5%
Fornecedor	3%
Softwares Developers	2%
Laboratórios Colaborativos	2%

Conseguiu-se organizar os dados por tamanho de empresa, estando eles subdivididos em 3 principais grupos: microempresas, até aos 10 colaboradores, pequenas e médias empresas, entre os 10 e os 250 colaboradores e nas grandes empresas com mais de 250. A participação das PME's foi de aproximadamente 50% contribuindo para a maioria do estudo.

Tabela 4.5: Tamanho da Empresa

Número de Colaboradores	**Percentagem de Colaboração**
Entre 0 e 10 Colaboradores	37%
Entre 11 e 50 Colaboradores	33%
Entre 51 e 150 Colaboradores	8%
Entre 151 e 250 Colaboradores	8%
Mais de 250 Colaboradores	14%

A disseminação do questionário foi feita de maneira a chegar a empresas de todo o tipo e de todo o país. Contudo as empresas da região Norte do país, com quase 60%, foram as que mais mostraram interesse neste tipo de assunto em concreto. Na região Centro e Sul foram registadas aproximadamente o mesmo número de respostas mas, apesar da discrepância, consegue-se verificar uma homogeneidade relativamente à atuação das mesmas por todo o país. Conseguimos perceber que já existe alguma preocupação das empresas em expandir o seu negócio para fora do país, com principal interesse na Europa e em África.

Tabela 4.6: Localização da Sede da Empresa

Localização	Percentagem de Colaboração
Norte	59%
Centro	22%
Sul	19%

Tabela 4.7: Zona de Principal Atuação

Zona de Atuação	Percentagem de Colaboração
Nacional-Norte	28%
Nacional-Centro	26%
Nacional-Sul	23%
Europa	11%
África	8%
América do Sul	4%
América do Norte	Aproximadamente 0 %
Ásia	Aproximadamente 0%

4.2 Análise dos Resultados

4.2.1 Estratégia

O questionário está dividido em 5 principais secções. A estratégia vai ser abordada com principal foco na digitalização e no investimento na tecnologia que as empresas têm vindo a desempenhar. Tentou-se perceber se as empresas estavam a acompanhar a evolução natural da digitalização concluindo assim que em praticamente todas as empresas é realçada a importância do meio digital, fazendo parte também parte da estratégia futura. É questionada a influência que os clientes e a normalização têm no desenvolvimento destas ferramentas, obtendo resultados semelhantes correspondendo a uma opinião de concordância sobre o assunto. Em algumas empresas, mais especificamente nas PME´s, é a administração em parceria com os colaboradores que pretendem impulsionar este tema.

As empresas respondentes na sua maioria consideram que a empresa dá importância e muita importância à digitalização (85%), sendo um elemento central para a estratégia (78%). 50% da sua necessidade é por imposição dos clientes e ocorre devido aos requisitos de normalização (55%). Sendo impulsionada mais pela administração (70%) que pelos colaboradores (55%).

Tabela 4.8: Importância da Digitalização

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Recebe importância na empresa.	85%	5%
É um elemento central para a estratégia futura.	78%	2%
Ocorre devido aos requisitos dos clientes.	50%	3%
Ocorre devido aos requisitos de Normalização.	55%	12%
É impulsionada pela administração.	70%	9%
É maioritariamente impulsionada pelos colaboradores.	55%	13%

A maior parte das empresas, não só as mais recentes, estão conscientes que o investimento em tecnologia é crucial para uma maior competitividade e acompanhamento do mercado. Conforme esperados, os resultados obtidos no tópico da tecnologia vão de acordo com a evolução das restantes indústrias. O constante investimento e capacidade de resolução de problemas, leva a que a tecnologia seja adota pela maioria das empresas deste setor.
As empresas respondentes na sua maioria fazem investimento em tecnologia (86%), mas são precisas pessoas para poderem continuar a investir (50%). Facilita a comunicação interna em 90%, apoia o *Back Office* (80%), aumenta em 69% a produtividade do fabrico, em 66% a produtividade da montagem e da construção. A digitalização dá maior controlo na gestão de obra em 85%, bem como a avaliação de desempenho e qualidade (83%).

Tabela 4.9: Investimento em Tecnologia

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Está presente na empresa.	86%	9%
Exige contratação de pessoas para se poder investir.	50%	17%
Facilita a comunicação interna.	90%	2%
Apoia o *Back Office* (Ex. Recursos Humanos, Logística, etc.).	80%	5%
Aumenta a produtividade do fabrico.	69%	1%
Aumenta a produtividade da montagem e construção.	66%	3%
Dá maior controlo na gestão de obra.	85%	1%
Facilita a avaliação do desempenho e da qualidade.	83%	1%

4.2.2 Recursos Humanos

As empresas respondentes na sua maioria já têm colaboradores com competências para a utilização de processos e ferramentas digitais (86%) e em 48% dos casos necessitam de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares. As empresas já têm ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novos processos (77%) e a novas ferramentas e tecnologias (81%). Iniciativas que promovam a participação dos colaboradores nos processos de inovação são referidas em 69% dos casos.

Tabela 4.10: Competências dos Colaboradores

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Colaboradores com competências para a utilização de processos e ferramentas digitais.	86%	2%
Necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares.	48%	22%
Ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novos processos.	77%	10%
Ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novas ferramentas e tecnologias.	81%	7%
Utiliza mecanismos e iniciativas que promovam a participação dos colaboradores nos processos de inovação.	69%	13%

Os colaboradores têm em 58% autonomia para trabalhar em horário flexível e em 45% em teletrabalho. Têm, na sua maioria, acesso a processos digitais para exercer a sua atividade (83%) e para trabalhar à distância em 78% dos casos.

Tabela 4.11: Autonomia e Ferramentas Fornecidas

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Autonomia para trabalhar em horário flexível.	58%	22%
Autonomia para exercer teletrabalho.	45%	34%
Acesso a processos digitais para exercer a sua atividade.	83%	23%
Acesso a ferramentas necessárias para trabalhar à distância.	78%	9%

4.2.3 Organização

Os processos de tomada de decisão são em 85% baseados na experiência, 60% em dados recolhidos e 48% são suportados por hardware e software capaz de recolher, tratar e analisar dados relativos à operações, de forma autónoma e periódica.

Tabela 4.12: Processos de Tomada de Decisão

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Baseiam-se na experiência.	85%	2%
Baseiam-se em dados recolhidos (*data-driven*)	60%	8%
São suportados por hardware e software capaz de recolher, tratar e analisar dados relativos às operações, de forma autónoma e periódica.	48%	23%

Apenas 40% da partilha e gestão da informação é realizada em papel, mas com armazenamento do conteúdo em formato digital. Ocorre maioritariamente em formato digital (74%) e em 63% é realizada com recurso a uma plataforma digital destinada ao efeito.

Tabela 4.13: Partilha e Gestão da Informação

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
É realizada maioritariamente em papel mas com armazenamento do conteúdo em formato digital.	40%	50%
Ocorre maioritariamente em formato digital.	74%	6%
É realizada com recurso a uma plataforma digital destinada ao efeito.	63%	14%

4.2.4 Clientes e Parceiros

As empresas disponibilizam os seus produtos e serviços em formato digital e online em 76% dos casos. Fornece ao cliente capacidade de personalizar os seus produtos/serviços digitalmente em 43% dos casos e colabora com entidades externas para resolução de problemas e aquisição de novos conhecimentos em 69% dos casos.

Tabela 4.14: Clientes e Parceiros

Fatores	**Concordância**	**Discordância**
Disponibiliza os seus produtos e serviços em formato digital e online.	76%	8%
Fornece ao cliente capacidade de personalizar os seus produtos/serviços digitalmente.	43%	27%
Colabora com entidades externas para resolução de problemas e aquisição de novos conhecimentos.	69%	12%

4.2.5 Tecnologias

Como é apresentado na tabela 4.15, a presença de tecnologias nas empresas ainda está numa fase muito inicial. A Tecnologia de Aquisição de Dados mais utilizada é a IoT, sendo apenas utilizada por 19% das empresas. Já nas Tecnologias de Automatização de Dados, 17% das empresas utilizam a construção modular, sendo a mais utilizada, e a utilização da robótica (2%) é praticamente inexistente. Como Tecnologia de Análise de Dados e Informação Digital, como era de esperar, o BIM é a ferramenta mais utilizada, estando presente em 48% das empresas.

Tabela 4.15: Presença das Tecnologias nas Empresas

Tecnologias de Aquisição de Dados:	
Fotogrametria	8%
Internet of Things	19%
Laser Scanning	15%
Sensores	14%
Tecnologias de Automatização de Processos:	
Construção Modular	17%
Drones	12%
Impressão 3D	10%
Robótica	2%
Tecnologias de Análise de Dados e Informação Digital:	
BIM	48%
Digital Twins	7%
Inteligência Artificial	4%
AR/VR	8%

4.2.6 Nível de Adoção das Tecnologias

Na tabela apresentada posteriormente vai ser possível observar que mesmo que a empresa já tenha recorrido à implementação de algumas destas tecnologias, muitas ainda se encontram num nível de adoção muito reduzido. Na Tabela 4.16 observamos que na generalidade, a maioria das empresas ainda está numa fase muito inicial de utilização. Apenas o BIM e a Inteligência Artificial, em 60% e 67% respetivamente, são utilizados de forma mais recorrente.

Tabela 4.16: Nível de Adoção das Tecnologias

Tecnologia	**Fase Inicial de Utilização**	**Fase Desenvolvida de Utilização**
Fotogrametria	67%	33%
Internet of Things	61%	39%
Laser Scanning	54%	46%
Sensores	74%	26%
Construção Modular	56%	44%
Drones	83%	17%
Impressão 3D	67%	33%
Robótica	67%	33%
BIM	40%	60%
Digital Twins	62%	38%
Inteligência Artificial	33%	67%
AR/VR	67%	33%

4.2.7 Principais Barreiras para a Adoção das Tecnologias

Na tabela 4.17 foram definidas e identificadas as principais razões às quais a utilização das tecnologias não está tão presente nas empresas como era de esperar. A falta de interoperabilidade , isto é, a capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro sistema e a falta de conhecimento sobre o ROI são os principais motivos definidos em 15% empresas. Ainda o custo dos equipamentos e softwares tem influência neste mesmo processo (10%) de adaptação. Por um outro lado, apenas 1% das empresas define como impeditivo a utilização de tecnologias por motivos jurídicos.

Tabela 4.17: Barreiras que Impedem a Adoção das Tecnologias

Barreiras	**Empresas Afetadas**
Falta de interoperabilidade entre tecnologias.	15%
Falta de conhecimento sobre o ROI (Retorno Sobre o Investimento).	15%
Dificuldade em adaptar processos existentes.	14%
Falta de conhecimento e/ou compreensão da tecnologia.	10%
Falta de Recursos Humanos qualificados.	7%
Falta de capacidade de equipamentos e softwares.	5%
Custo de equipamento e softwares.	10%
Custo de equipamento e softwares.	1%
Disponibilidade tecnológica.	2%
Quadro jurídico pouco claro.	1%

4.3 Discussão dos Resultados

Após interpretação e análise, a necessária discussão dos resultados é imprescindível para um melhor entendimento dos mesmos. Logo de início começamos por perceber quais as empresas que mostram interesse e querem saber sobre o tema. As empresas ao definirem quem vai colaborar nestes estudos devem procurar que seja alguém com conhecimento dos processos de trabalho e alguém com conhecimento sobre o que se pretende representar. Ao ser atribuído este papel aos Recursos Humanos, profissionais que nestes setor normalmente não apresentam grande conhecimento sobre o tema, poderá significar algum desinteresse pelo estudo. Por um outro lado, apesar da percentagem de colaboração de Administradores ser a mais baixa, este valor é representado maioritariamente por profissionais de microempresas pois o contacto e a comunicação dentro da empresa torna-se mais fácil.

A percentagem de colaboração das empresas mais recentes apresenta um valor significativo neste estudo, estando esse número representado em 60% por microempresas. Este número é justificado pelo conhecimento da atualidade complementado pela necessidade de adoção das tecnologias, percebendo que o interesse nestes tipos de estudo vai trazer benefícios para a própria empresa. O interesse deste tipo de empresas sobre o assunto pode levar a um aumento de número de profissionais da empresa, conduzindo assim a um crescimento da mesma. O reduzido número de empresas com mais de 40 anos, é representado na maioria por grandes empresas, mas por outro lado como já estão acostumadas aos métodos mais tradicionais são as que menos mostram interesse em colaborar neste tipo de estudos.

Como era de esperar, houve um maior interesse por parte das empresas de Gabinete de Projeto e de Empreiteiro Geral. A necessidade das mesmas estarem em constante evolução e aumentar a

competitividade em comparação ao restante mercado obriga a uma atualização constante das suas ferramentas digitais. Surpreendentemente os Gabinetes de Arquitetura, apesar da importância que este cargo desempenha na construção ao facilitar todos os processos que aparecem posteriormente, apresenta pouco interesse neste tema. Novamente são as microempresas deste tipo que valorizam este tipo de estudo para ajudar o seu crescimento.

A distribuição de empresas por todo o país está maioritariamente concentrada nas regiões Norte e Centro. Na região Sul podemos observar um menor interesse por parte dos Gabinetes de Arquitetura e de Consultoria relativamente à transformação digital. Este número pode ser também representado pela escassez de profissionais qualificados, justificado pela falta de conhecimentos e capacidade dos locais de ensino dessa mesma região para implementar este tópico. Apesar da diversidade de localização da sede das empresas, há uma preocupação em fornecer os serviços por todo o país.

Cada empresa apresenta a sua própria estratégia separada por diferentes fases envolvendo os diferentes setores. Uma percentagem mínima das empresas não apresenta sequer vontade nem conhecimento sobre a digitalização, não fazendo também parte dos seus planos futuros. A administração é o principal impulsionador para a transformação, sendo do interesse da mesma manter a sua empresa atualizada e o mais otimizada possível.

O investimento em tecnologia vem trazer um aumento de soluções dentro de cada empresa, sentido essencialmente na comunicação, no fabrico e na produtividade em todos os setores. A necessidade de introduzir este assunto vem ao encontro do dito anteriormente, salientando a falta de profissionais qualificados, sendo necessário a contratação de novos profissionais. Atingindo assim o nível pretendido, conseguimos avaliar o desempenho e o controlo mais individualizado obtendo um aumento de qualidade significativo.

Os diferentes softwares estão sujeitos a diferentes conhecimentos obrigando assim a que a empresa tenho profissionais próprios para isso, ou então que dentro da mesma ofereçam iniciativas que promovam os mesmos. Existe uma vontade dos colaboradores em aprenderem, quer para melhorar as suas competências, quer para possibilitar um crescimento da empresa. Muitas vezes existe uma dificuldade em fazer chegar as tecnologias aos colaboradores, ainda assim existe uma preocupação para cumprir os requisitos mínimos para que seja possível exercer a sua atividade.

Dentro das organizações o processo de tomadas de decisão incide maioritariamente nas reflexões realizadas após acontecimentos experienciadas, conseguindo assim qual o melhor método de os fazer. Ainda sem grande marca dentro das empresas, essas experiências em muitas delas já são recolhidas para posteriormente serem tratadas e analisadas autonomamente. Cada vez mais essa recolha de dados é feita em formato digital ou então manualmente mas com o objetivo de ser armazenada na plataforma que melhor se destina à sua posterior análise.

Para um melhor contacto com o cliente, a disponibilização dos seus serviços e dos seus produtos aos clientes é indispensável tornando um constante entre ambos. Ao haver esta conexão entre ambos e com o contacto entre eles é possível também ir acompanhando todo o processo, dando a oportunidade ao cliente de personalizar os seus produtos não tendo que esperar até ao fim e depois ter que se repetir todo o processo novamente.

Fazendo agora uma análise às tecnologias utilizadas, foram separadas em Tecnologias de Aquisição de Dados, Automatização de Processos e de Análise de Dados e Informação Digital, sendo estes os três principais grupos ao qual este estudo se foca onde a IoT, a Construção Modular e o BIM são respetivamente as tecnologias mais utilizadas.

Como analisado na maioria das empresas, todas a ferramenta apesar de já estarem implementadas, encontram-se numa fase inicial de utilização. Apenas o BIM e a AI têm sido mais estimulados dentro da empresa devido ao conhecimento e à maneira como podem ser utilizados em sintonia com outros aparelhos. Surpreendentemente o *Laser Scanning* e a Construção Modular também apresentam fases mais desenvolvidas de utilização muito por causa da facilidade de utilização que as mesmas ferramentas apresentam.

Após perceber melhor a maneira como se inseriam as diversas tecnologias nas empresas, foram identificas as dez principais barreiras que dificultam a adoção das tecnologias até agora faladas. A interoperabilidade é a barreira identificada em todas as tecnologias, isto é, a capacidade de um sistema se comunicar de forma transparente com outro sistema. A falta de conhecimento e compreensão das tecnologias tem sido também uma barreira, prejudicando essencialmente a implementação da Fotogrametria, *Digital Twin* , Inteligência Artificial e a AR/VR. É também analisado que a falta de conhecimento sobre o ROI é um dos obstáculos definidos, e apenas na Impressão 3D não tem tanto impacto. O objetivo da implementação destas tecnologias passa por facilitar e encontrar uma ligação nos trabalhos já existentes. Com isto observamos que muitas das empresas consideram que há dificuldade em adaptar as tecnologias (IoT, *Laser Scanning*, Sensores, Construção Modular, *Drones*, Impressão 3D, BIM, AI e AR/VR) aos processos existentes. Importante referir e de esperar que muitas das vezes estes processos apresentam elevados custos, principalmente na utilização do *Laser Scanning*, *Drones*, Impressão 3D e toda a Robótica.

Capítulo 5

Análise Crítica - Estudo Empírico vs Revisão de Literatura

Após a análise e discussão dos resultados, procurou-se fazer uma analise crítica com base numa comparação entre o estudo empírico e a revisão de literatura. A tabela seguinte (Tabela 5.1) indica de forma sucinta as concordâncias/discordâncias obtidas.

Tabela 5.1: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
49% das empresas respondentes são PME's	Em concordância, embora a % de PME's seja ainda manifestamente inferior à situação real em Portugal (99%)
23% das empresas já estão internacionalizadas (11% atuam na Europa, 8% na África e 4% na América do Sul)	Em concordância, dado a internacionalização se apresentar como uma forma de encontrar novos mercado, novos clientes e novas formas de rentabilizar a sua estrutura. Ainda em concordância com a missão do *Cluster* AEC e das tendências verificadas nos locais utilizados como comparação (Alemanha, Europa, China, Estados Unidos, Canadá e Brasil). Os resultados parecem mostrar que haverá ainda oportunidades que podem ser mais exploradas, nomeadamente na Ásia e na América do Norte, onde a presença das nossas empresas é quase inexistente. Talvez o contacto com esses mercados potencie, ainda mais, o investimento na transformação digital, dado a dimensão e a concorrência existente.

Tabela 5.2: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação)

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
85% das empresas concorda com a relevância do tema e apenas 5% não concorda, nem acredita que vale a pena a empresa interessar-se pelo tema	Em concordância, dado que a revisão de literatura é unânime na necessidade que as empresas têm de olhar para esta temática e a incorporarem nas suas práticas e operações.
78% das empresas considera que a transformação digital é um tema central para a estratégia futura	Em concordância. A revisão de literatura considera que a transformação digital é crucial para a continuidade, sustentabilidade, competitividade e qualidade das empresas. A transformação digital traz inúmeras oportunidades para as empresas europeias, bem como desafios importantes (*European Construction Sector Observatory, 2021* [13]). É um elemento central da estratégia.
50% da transformação digital ocorre devido aos requisitos dos clientes	Em concordância com a revisão de literatura (Koscheyev *et al.*(2019).
55% da transformação digital ocorre devido aos requisitos de Normalização	Em concordância, dado a Normalização ser repetidamente relacionada na revisão de literatura com uma das principais causas para inibição da transformação digital nas empresas. A falta de Normas é uma das principais barreiras para atingir o nível de transformação digital desejado nas empresas [92].
70% da transformação digital é impulsionada pela administração	Em concordância, dado que o compromisso e envolvimento da administração com a transformação digital vai facilitar o processo de investimento (capital, pessoas, tecnologia) e criar dinâmicos de inovação aberta com clientes e demais parceiros [138].
55% da transformação digital é impulsionada pelos colaboradores	Em concordância. De notar que o envolvimento da administração é fulcral, sobretudo se a empresa for mais pequena e com recursos mais limitados. Se a empresa for de maior dimensão, a existência de colaboradores especializados e qualificados, vai seguramente impulsionar a exploração e estudo das melhores tecnologias a aplicar na empresa.

Tabela 5.3: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação)

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
86% das empresas já tem investimento em tecnologia	Em concordância. De notar, contudo, que já ter investimento em tecnologia não quer necessariamente significar que é o investimento certo ou que a auto-avaliação é adequada. A revisão de literatura refere que o setor da construção é notório pela adoção de inovações de forma *adhoc* [52], sobretudo quando se trata de grandes projetos onde a inovação é considerada como tendo uma adoção lenta [103].
50% das empresas entende que é necessário contratar mais pessoas para se poder investir em tecnologia	Em concordância. A revisão de literatura aponta para a falta de pessoas com competências e especialização para liderar os projetos de transformação digital [92].
90% das empresas concorda em que o investimento em tecnologia facilita a comunicação interna	Em concordância. A revisão de literatura aponta como uma das principais vantagens do investimento em tecnologia a comunicação interna [112] [156] [62] [151] [163] [40].
80% das empresas concorda em que o investimento em tecnologia apoia o *Back Office*	Em concordância. A revisão de literatura aponta como uma das principais vantagens do investimento em tecnologia o apoio ao *Back Office* [112] [156] [62] [151] [163] [40].
69% das empresas concorda em que o investimento em tecnologia aumenta a produtividade do fabrico	Em concordância. A revisão de literatura aponta como uma das principais vantagens do investimento em tecnologia o aumento da produtividade[112] [156] [62] [151] [163] [40].

Tabela 5.4: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação)

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
66% das empresas concorda em que o investimento em tecnologia aumenta a produtividade da montagem e construção	Em concordância. A revisão de literatura aponta como uma das principais vantagens do investimento em tecnologia o aumento da produtividade da montagem e construção [112] [156] [62] [151] [163] [40].
85% das empresas concorda em que o investimento em tecnologia facilita a avaliação do desempenho e qualidade	Em concordância. A revisão de literatura aponta como uma das principais vantagens do investimento em tecnologia o ajudar a avaliação de desempenho e qualidade [112] [156] [62] [151] [163] [40].
86% das empresas já tem competências para a utilização de processos e ferramentas digitais	Em discordância. A revisão de literatura é unânime no que concerne à dificuldade em encontrar Recursos Humanos com as competências necessárias, uma vez que a transformação digital ocorre a um ritmo acelerado e a inovação tecnológica é, na maior parte das vezes, disrutiva [139] [138].
48% das empresas sentem necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares	Em concordância, embora a percentagem de resposta ser relativamente baixa. A revisão de literatura é unânime no que concerne à necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares[139] [127] [138].
48% das empresas sentem necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares	Em concordância, embora a percentagem de resposta ser relativamente baixa. A revisão de literatura é unânime no que concerne à necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares [139] [127] [138]. Esta baixa taxa pode significar que as empresas ainda não estão informadas sobre as vantagens da transformação digital, nem têm conhecimento e/ou qualificações sobre o tema (Pereira, 2021)

Tabela 5.5: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação).

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
77% das empresas têm já pensadas ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novos processos	Em concordância. As empresas, atendendo à complexidade e diversidade da mudança, sentem necessidade de ter Recursos Humanos qualificados, pelo que precisam de organizar ações de capacitação para os seus colaboradores relativamente a novos processos [92] [50] [116].
81% das empresas sentem necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos *softwares*	Em concordância. As empresas sentem efetivamente necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos *softwares*. Esta necessidade é apontada na literatura como um dos 10 obstáculos para implementar a transformação digital nas empresas, da forma como elas gostariam de ver implementada [92] [138].
69% das empresas utiliza mecanismos e iniciativas que promovem a participação dos colaboradores nos processos de inovação	Em discordância. A literatura refere a relativa resistência à inovação e à capacitação tecnológica [50].
85% dos processos de decisão baseiam-se na experiência	Em concordância. As empresas estão perante um novo panorama e a complexidade é grande. Com a dificuldade em encontrar Recursos Humanos qualificados e ainda numa fase incipiente de maturidade digital, as empresas baseiam-se, sobretudo, na experiência para tomar decisões [92].
60% dos processos de decisão baseiam-se em dados recolhidos	Em concordância. As empresas enfrentam enormes desafios. Os próprios desafios são novos e os dados ainda não estão completamente integrados e interligados, pelo que a experiência ainda é o elemento principal para a tomada de decisão [92].
48% dos processos de decisão são suportados por hardware e software capaz de recolher, tratar e analisar dados relativos à operações, de forma autónoma e periódica	Em concordância, embora a percentagem pareça ser bastante grande. A revisão de literatura aponta para a dificuldade em adaptar processos existentes, falta de conhecimento e/ou compreensão da tecnologia, falta de Recursos Humanos qualificados e falta de capacidade de equipamentos e softwares, como 10 das barreiras na implementação da transformação digital nas empresas.

Tabela 5.6: Estudo Empírico vs Revisão de Literatura (Continuação)

Resultado Obtidos	**Revisão Bibliográfica e Comentário Crítico**
40% da partilha e gestão da informação é realizada em papel, mas com armazenamento em conteúdo digital. Ocorre maioritariamente em formato digital (74%) e é realizada com recurso a uma plataforma digital destinada ao efeito	Em concordância com a revisão de literatura (Koscheyev et al.,2019)
70% das empresas disponibilizam os seus produtos e serviços em formato digital, dão ao cliente a possibilidade de personalização (43%) e colaboram com entidades externas para resolução de problemas e aquisição de novos conhecimentos (69%)	Em concordância. Os clientes parecem ser um dos principais impulsionadores para as empresas evoluirem no campo da transformação digital, não só pela força de negociação que apresentam, como pela diversidade da procura e *time to market* [37] [38] [112] [39] [32] [62] [155] [80] [134] [151] [101] [104].
19% das empresas utiliza IoT	Em concordância com o revisto na bibliografia em que, segundo o INE , cerca de 13% das empresas portuguesas, com 10 ou mais funcionários, já utilizam o conceito de IoT.
48% das empresas utilizam BIM	Em concordância com a revisão de literatura [114].
Barreiras que impedem a adoção de tecnologias (tabela 4.17)	Em discordância. Os valores apontados pelas empresas parecem não estar em concordância com o apontado pela literatura [92]. As respostas parecem não indicar que as empresas têm efetivamente barreiras grandes que não lhes permitem adotar as tecnologias como deveriam. A maior percentagem vai para a falta de interoperabilidade entre tecnologias (15%), falta de conhecimento sobre o ROI (15%), dificuldade em adaptar processos existentes (14%) e o custo de equipamento e softwares (10%). Não é dado grande protagonismo à qualificação dos Recursos Humanos (7%)e ao Quadro jurídico pouco claro (1%), por exemplo.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Conclusão

Hoje o mundo digital é cada vez mais uma realidade que invade as nossas vidas e que nos faz imergir para um novo mundo – o mundo do digital, suportado por um conjunto de tecnologias que não para de evoluir a cada dia que passa. As empresas e os negócios sofrem transformações enormes, surgindo a transformação digital como um conceito fortemente associado à tecnologia, com efeitos sistémicos, impacto significativo nos sistemas e processos.

A complexidade e dinâmica do mundo atual é enorme e a transformação digital abre inúmeras oportunidades que devem ser aproveitadas. Enquadrar a introdução das tecnologias digitais como uma inovação, ajuda a compreender o impacto da mudança digital ou tecnológica nos negócios. Os processos informais, o conhecimento tácito e o contexto são determinantes, mas não são suficientes para responder de uma forma eficaz às exigências. As empresas vêm-se agora envolvidas em abordagens completamente novas, com ruturas grandes e frequentemente impulsionadas pela inovação tecnológica, afetando a paisagem de toda a indústria. As organizações que não conseguem responder à mudança digital são substituídas.

A indústria da construção, à semelhança de outras indústrias, tem vindo a sofrer um processo gradual, mas acelerado, de mudança digital nas últimas décadas. Várias tecnologias digitais têm vindo a ser aplicadas e frequentemente são importadas inovações tecnológicas de outros sectores. Contudo, estas tecnologias digitais não estão a ser integradas da mesma forma ao longo da cadeia de valor, dado que existe uma grande variabilidade de produtos e procura com carácter temporário. O setor da construção é notório pela adoção de inovações de forma *adhoc*, sobretudo quando se trata de grandes projetos onde a inovação é considerada como tendo uma adoção lenta.

A comunidade científica tem apresentado estudos que contribuem para a compreensão das diferentes inovações e da sua adoção no setor da construção, com identificação dos principais obstáculos para a sua implementação e oportunidades para a sua aplicação.

O presente estudo permite perceber como é que o setor AEC em Portugal está a reagir às mudanças geradas pela transformação digital, apresentando como principais conclusões que é um setor que está atento à temática, já a inclui na sua estratégia, mas com desiquilíbrios grandes em termos de

velocidade. O investimento necessário para obter a tecnologia necessária é muito alto e, na maior parte das vezes, é feito de uma forma *adhoc*. È um setor que tem carência de Recursos Humanos especialistas nesta área e estas parecem ser as grandes barreiras para a sua implementação.
Nos seus processos de tomada de decisão ainda se apoia muito na experiência, embora utilize os dados e tenha software adequado para o fazer. A partilha e gestão da informação já é feita de forma digital e guardada em plataformas destinadas ao efeito. É um setor fortemente estimulado pelos clientes e parceiros, disponibilizando os seus produtos e serviços em formato digital e online, com possibilidade de personalização e trabalho colaborativo. Em termos de tecnologia as mais utilizadas são o BIM, o IoT, a Construção Modular e o Laser Scanning.
Contudo, os resultados obtidos apresentam algumas incoerências, revelando talvez que as empresas têm pouco conhecimento sobre a problemática, originando uma perceção errada, que poderá ter implicações graves para o futuro da mesma. Neste sentido, é reforçada a necessidade de requalificação e o aumento da competência dos Recursos Humanos, a fim de aproveitar todos os benefícios que a transformação digital pode trazer para as empresas.
Os principais obstáculos identificados foram a falta de interoperabilidade entre tecnologias, a falta de conhecimento sobre o ROI, dificuldade em adaptar processos existentes, falta de conhecimento e compreensão da tecnologia e custo de equipamento e softwares. A temática é muito abordada sob o ponto de vista tecnológico, o que não vai de encontro ao cerne da questão: as pessoas.
São muitos os desafios para a adoção das tecnologias neste setor, destacando-se o papel do governo para canalizar fundos para que as empresas possam investir, de forma estruturante, no caminho inteligente, onde sejam capazes de aproveitar todos os benefícios que a transformação digital lhes pode trazer.
É fundamental a formação e requalificação dos atuais trabalhadores, bem como apoio do governo para ajudar e orientar as empresas neste processo de mudança de paradigma.

6.2 Principais Limitações

Este estudo teve como principais limitações a falta de cooperação por parte das empresas, demasiado enfoque numa abordagem quantitativa em detrimento de uma metodologia mista, com entrevistas a empresas, o que permitiria explorar melhor algumas as incoerências observadas. A amostra apenas representa cerca de 14% das empresas inquiridas (600 empresas), o que não permite generalizar as conclusões e pode inclusivamente distorcer resultados.

6.3 Possíveis Estudos Futuros

Este estudo teve como principais limitações a falta de cooperação por parte das empresas. Houve uma baixa taxa de resposta e apenas 50% dos respondentes são PME's o que pode enviesar os resultados. Para estudos futuros, sugere-se que para além dos questionários sejam feitas entrevistas aos dirigentes. Será também interessante elaborar um guia informativo para auxiliar as empresas na transformação digital.

Referências

[1] Cluster. https://www.iapmei.pt/PRODUTOS-E-SERVICOS/Empreendedorismo-Inovacao/Eficiencia-Coletiva-e-Clusters/DOCS/Brochura-Clusters.aspx. Accessed: 2022-04-27.

[2] Desafios para indústria 4.0 no brasil.

[3] EPortugal. https://eportugal.gov.pt/inicio/espaco-empresa/clusters0. Accessed: 2022-04-27.

[4] European construction, built environment and energy efficient building technology platform. https://www.ptpc.pt/index.php/pt/plataforma-europeia. Accessed: 2022-04-27.

[5] Factories of the future roadmap effra vision for a manufacturing partnership in horizon europe.

[6] IAPMEI. https://www.iapmei.pt/Paginas/Cluster-AEC-Arquitetura-Engenharia-e-Construcao.aspx. Accessed: 2022-04-27.

[7] IIC. https://www.iiconsortium.org/about-us.htm. Accessed: 2022-04-26.

[8] Industry 4.0–prerequisites and visions. https://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2016-27/10__pi40_diemer_16494.pdf. Accessed: 2022-04-26.

[9] INE.https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_pesquisa&frm_accao=PESQUISAR&frm_show_page_num=1&frm_modo_pesquisa=PESQUISA_SIMPLES&frm_texto=Inqu%C3%A9rito+%C3%A0+utiliza%C3%A7%C3%A3o+de+tecnologias+de+informa%C3%A7%C3%A3o+e+comunica%C3%A7%C3%A3o+pelas+fam%C3%ADlias&frm_modo_texto=MODO_TEXTO_ALL&frm_data_ini=&frm_data_fim=&frm_tema=QUALQUER_TEMA&frm_area=o_ine_area_Destaques&xlang=pt. Accessed: 2022-04-13.

[10] Manufacturing's next act. https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act. Accessed: 2022-04-06.

[11] Missão e valores. https://www.ptpc.pt/index.php/pt/missao-visao-e-valores. Accessed: 2022-04-27.

[12] Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85027305052&origin=inward&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1. Accessed: 2022-04-21.

[13] European construction sector observatory country profile portugal, 2021.

[14] William J Abernathy e Kim B Clark. Innovation: Mapping the winds of creative destruction. *Research policy*, 14(1):3–22, 1985.

[15] Burcu Akinci, Frank Boukamp, Chris Gordon, Daniel Huber, Catherine Lyons, e Kuhn Park. A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control. *Automation in construction*, 15(2):124–138, 2006.

[16] Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, e Moussa Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17:2347–2376, 10 2015.

[17] Rasim Alguliyev, Yadigar Imamverdiyev, e Lyudmila Sukhostat. Cyber-physical systems and their security issues. *Computers in Industry*, 100:212–223, 2018.

[18] Qusay Almaatouk, Mohd Shahizan Bin Othman, e Ayman Al-khazraji. A review on the potential of cloud-based collaboration in construction industry. Em *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, páginas 1–5. IEEE, 2016.

[19] Khaled El Ammari e Amin Hammad. Remote interactive collaboration in facilities management using bim-based mixed reality. *Automation in Construction*, 107, 11 2019.

[20] Joaquim Antunes, António Pinto, Pedro Reis, e Carla Henriques. A indústria 4.0 e o seu impacto no tecido económico empresarial português: O caso da região dão-lafões. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 8(3 (2019)):263–291, 2019.

[21] Danilo Ardagna, Cinzia Cappiello, Walter Samá, e Monica Vitali. Context-aware data quality assessment for big data. *Future Generation Computer Systems*, 89:548–562, 12 2018.

[22] Afrooz Aryan, Frédéric Bosché, e Pingbo Tang. Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*, 125:103551, 2021.

[23] Zeynab Asgari e Farzad Pour Rahimian. Advanced virtual reality applications and intelligent agents for construction process optimisation and defect prevention. volume 196, páginas 1130–1137. Elsevier Ltd, 2017.

[24] Yosef Ashibani e Qusay H. Mahmoud. Cyber physical systems security: Analysis, challenges and solutions. *Computers and Security*, 68:81–97, 7 2017.

[25] P Azhari, N Faraby, A Rossmann, B Steimel, e KS Wichmann. Digital transformation report. *Neuland GmbH & Co. KG., Köln*, 2014.

[26] Hyojoon Bae, Mani Golparvar-Fard, e Jules White. High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (aec/fm) applications. *Visualization in Engineering*, 1(1):1–13, 2013.

[27] Glenn Ballard, Lauri Koskela, Gregory Howell, e Todd Zabelle. Production system design in construction. Em *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, volume 9, páginas 1–15, 2001.

[28] Cristina Sales Baptista e Maria José Sousa. Como fazer investigação, dissertações, teses e relatórios segundo bolonha. *Pactor Edições. Lisboa: Lidel*, 2011.

[29] Kristen Barlish e Kenneth Sullivan. How to measure the benefits of bim-a case study approach automation in construction, 2012.

[30] James Barlow, Paul Childerhouse, David Gann, Séverine Hong-Minh, Mon Naim, e Ritsuko Ozaki. Choice and delivery in housebuilding: Lessons from japan for uk housebuilders. *Building Research and Information*, 31:134–145, 3 2003.

[31] Sururah A Bello, Lukumon O Oyedele, Olugbenga O Akinade, Muhammad Bilal, Juan Manuel Davila Delgado, Lukman A Akanbi, Anuoluwapo O Ajayi, e Hakeem A Owolabi. Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, 122:103441, 2021.

[32] Valeria Belvedere, Alberto Grando, e Paola Bielli. A quantitative investigation of the role of information and communication technologies in the implementation of a product-service system. *International Journal of Production Research*, 51(2):410–426, 2013.

[33] Svetlana Besklubova, Miroslaw J. Skibniewski, e Xueqing Zhang. Factors affecting 3d printing technology adaptation in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147:04021026, 5 2021.

[34] Zélia Maria Mendes Biasoli-Alves. A pesquisa em psicologia: análise de métodos e estratégias na construção de um conhecimento que se pretende científico. *Diálogos metodológicos sobre prática de pesquisa*, 1998.

[35] Richard J Boland Jr, Kalle Lyytinen, e Youngjin Yoo. Wakes of innovation in project networks: The case of digital 3-d representations in architecture, engineering, and construction. *Organization science*, 18(4):631–647, 2007.

[36] David Bryde, Martí Broquetas, e Jürgen Marc Volm. The project benefits of building information modelling (bim). *International journal of project management*, 31(7):971–980, 2013.

[37] Erik Brynjolfsson e Lorin M Hitt. Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *Journal of Economic perspectives*, 14(4):23–48, 2000.

[38] Erik Brynjolfsson e Lorin M Hitt. Computing productivity: Firm-level evidence. *Review of economics and statistics*, 85(4):793–808, 2003.

[39] Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee. *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Brynjolfsson and McAfee, 2011.

[40] Giacomo Büchi, Monica Cugno, e Rebecca Castagnoli. Smart factory performance and industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150:119790, 2020.

[41] J Bughin, J Deakin, e B O'Beirne. Digital transformation: Improving the odds of success. mckinsey quaterly, 2019.

[42] Tom E Burns e George Macpherson Stalker. The management of innovation. university of illinois at urbana-champaign's academy for entrepreneurial leadership historical research reference in entrepreneurship, 1961.

[43] Sorinel Căpuşneanu, Melinda Timea Fülöp, Dan Ioan Topor, Nicoleta Magdalena Iacob, Alina Georgiana Solomon, e Ana Maria Ifrim. Designing a mobile chat application based on android platform. *International Journal of Innovation in the Digital Economy (IJIDE)*, 12(4):43–63, 2021.

[44] Gonçalo Vaz Cascarejo. Uso de plataformas tecnológicas da construção. 2017.

[45] Heap-Yih Chong, John Son Wong, e Xiangyu Wang. An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment. *Automation in Construction*, 44:152–162, 2014.

[46] Clayton M Christensen. *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Review Press, 2013.

[47] Em Colaboração. Modelo de avaliação de maturidade indústria 4.0 manual do utilizador.

[48] Mauro Conti, Ali Dehghantanha, Katrin Franke, e Steve Watson. Internet of things security and forensics: Challenges and opportunities, 2018.

[49] Flávio Craveiro, Helena Bártolo, e Paulo J Bártolo. Functionally graded structures through building manufacturing. Em *Advanced materials research*, volume 683, páginas 775–778. Trans Tech Publ, 2013.

[50] Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção. Estudo prospetivo setorial e identificação de áreas prioritárias, oportunidades e orientações estratégicas para as pme do setor aec da região norte, 2019.

[51] Gabriel Marino Daudt e Luiz Daniel Willcox. Reflexões críticas a partir das experiências dos estados unidos e da alemanha em manufatura avançada. 2016.

[52] Richard Davies e Chris Harty. Measurement and exploration of individual beliefs about the consequences of building information modelling use. *Construction management and economics*, 31(11):1110–1127, 2013.

[53] Andrea De Mauro, Marco Greco, e Michele Grimaldi. What is big data? a consensual definition and a review of key research topics. Em *AIP conference proceedings*, volume 1644, páginas 97–104. American Institute of Physics, 2015.

[54] Andrea De Mauro, Marco Greco, e Michele Grimaldi. A formal definition of big data based on its essential features. *Library Review*, 2016.

[55] Iñigo Fernández del Amo, John Erkoyuncu, Rok Vrabič, Romain Frayssinet, Cristina Vazquez Reynel, e Rajkumar Roy. Structured authoring for ar-based communication to enhance efficiency in remote diagnosis for complex equipment. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 8 2020.

[56] Javier Diaz, Carlos Toro, Iñigo Barandiaran, e Jorge Posada. Recommendations for sustainability in production from a machine-tool manufacture. *InImpact: The Journal of Innovation Impact*, 8(2):269, 2016.

[57] Olga Márcia do Vale Ferreira. *Uso das Tecnologias de informação e comunicação Nas Bibliotecas de Ensino Superior: O Caso do Instituto Politécnico do Porto*. Tese de doutoramento, Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2016.

[58] Tineke Mirjam Egyedi e Mostafa Hashem Sherif. Standards' dynamics through an innovation lens: Next generation ethernet networks. Em *2008 First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference-Innovations in NGN: Future Network and Services*, páginas 127–134. IEEE, 2008.

[59] Samir El-Omari e Osama Moselhi. Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects. *Automation in construction*, 20(6):699–705, 2011.

[60] H. ElMaraghy e W. ElMaraghy. Smart adaptable assembly systems. volume 44, páginas 4–13. Elsevier B.V., 2016.

[61] Selim Erol, Andreas Jäger, Philipp Hold, Karl Ott, e Wilfried Sihn. Tangible industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future of production. volume 54, páginas 13–18. Elsevier B.V., 2016.

[62] Michael Fitzgerald, Nina Kruschwitz, Didier Bonnet, e Michael Welch. Embracing digital technology: A new strategic imperative. *MIT sloan management review*, 55(2):1, 2014.

[63] Johan Frishammar e Åsa Ericson. Addressing societal challenges, 2018.

[64] David M Gann e Ammon J Salter. Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems. *Research policy*, 29(7-8):955–972, 2000.

[65] IT Gartner. Gartner it glossary. *Technology Research*, 2013.

[66] Vito Getuli, Pietro Capone, e Alessandro Bruttini. Planning, management and administration of hs contents with bim and vr in construction: an implementation protocol. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020.

[67] Seyed Hamidreza Ghaffar, Jorge Corker, e Mizi Fan. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction*, 93:1–11, 2018.

[68] Buddhini Ginigaddara, Srinath Perera, Yingbin Feng, e Payam Rahnamayiezekavat. Offsite construction skills evolution: An australian case study. *Construction Innovation*, 2021.

[69] Rupert Glass, Alyssa Meissner, Christopher Gebauer, Sandra Stürmer, e Joachim Metternich. Identifying the barriers to industrie 4.0. *Procedia Cirp*, 72:985–988, 2018.

[70] Jozef Glova, Tomáš Sabol, e Viliam Vajda. Business models for the internet of things environment. *Procedia Economics and Finance*, 15:1122–1129, 2014.

[71] T Greaves e B Jenkins. 3d laser scanning market red hot: 2006 industry revenues $253 million,% 43 growth. *Spar Point Research LLC*, 5(7), 2007.

[72] Volkan Gunes, Steffen Peter, Tony Givargis, e Frank Vahid. A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 8:4242–4268, 12 2014.

[73] Hartmut Günther. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? *Psicologia: teoria e pesquisa*, 22(2):201–209, 2006.

[74] Maki K. Habib e Chukwuemeka Chimsom I. Cps: Role, characteristics, architectures and future potentials. *Procedia Computer Science*, 200:1347–1358, 2022.

[75] Yosra Hajjaji, Wadii Boulila, Imed Riadh Farah, Imed Romdhani, e Amir Hussain. Big data and iot-based applications in smart environments: A systematic review. *Computer Science Review*, 39:100318, 2021.

[76] Bing Han, Jong Won Ma, e Fernanda Leite. A framework for semi-automatically identifying fully occluded objects in 3d models: Towards comprehensive construction design review in virtual reality. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 10 2021.

[77] Archana Harikrishnan, Abdullatif Said Abdallah, Steven K. Ayer, Mounir El Asmar, e Pingbo Tang. Feasibility of augmented reality technology for communication in the construction industry. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 10 2021.

[78] Reihaneh H. Hariri, Erik M. Fredericks, e Kate M. Bowers. Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges. *Journal of Big Data*, 6, 12 2019.

[79] Rebecca M Henderson e Kim B Clark. Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative science quarterly*, páginas 9–30, 1990.

[80] Thomas Hess, Christian Matt, Alexander Benlian, e Florian Wiesböck. Options for formulating a digital transformation strategy. Em *Strategic Information Management*, páginas 151–173. Routledge, 2020.

[81] Ma Huimin, Xiang Wu, Li Yan, Han Huang, Han Wu, Jie Xiong, e Jinlong Zhang. *Strategic plan of "Made in China 2025"and its implementation*. IGI Global, 5 2018.

[82] N. Jazdi. Cyber physical systems in the context of industry 4.0. IEEE Computer Society, 2014.

[83] Ankur Joshi, Saket Kale, Satish Chandel, e D Kumar Pal. Likert scale: Explored and explained. *British journal of applied science & technology*, 7(4):396, 2015.

[84] Gerald Kane. The technology fallacy: people are the real key to digital transformation. *Research-Technology Management*, 62(6):44–49, 2019.

[85] Dennis Kolberg e Detlef Zühlke. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. volume 28, páginas 1870–1875, 5 2015.

[86] Natalia Kryvinska, Sebastian Kaczor, Christine Strauss, e Michal Greguš. Servitization-its raise through information and communication technologies. Em *International conference on exploring services science*, páginas 72–81. Springer, 2014.

[87] Joris Laarman, Sasa Jokic, Petr Novikov, Luis E Fraguada, e Areti Markopoulou. Antigravity additive manufacturing. *Fabricate: Negotiating Design & Making*, 785:192–197, 2014.

[88] Doug Laney. 3d data management: Controlling data volume, velocity and variety. meta group. *Lakshen, Guma Abdulkhader*, páginas 1–4, 2001.

[89] Heiner Lasi, Peter Fettke, Hans Georg Kemper, Thomas Feld, e Michael Hoffmann. Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6:239–242, 8 2014.

[90] Jay Lee, Behrad Bagheri, e Hung-An Kao. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3:18–23, 2015.

[91] Ling Li. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "made-in-china 2025" and "industry 4.0". *Technological Forecasting and Social Change*, 135:66–74, 10 2018.

[92] K Lichtblau, V Stich, R Bertenrath, M Blum, Martin Bleider, A Millack, K Schmitt, E Schmitz, e M Schröter. Impuls, industry 4.0 readiness. *Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Kölb*, 2015.

[93] Sylvia Xihui Liu. feature innovation design: Made in china 2025, 2016.

[94] Li Long. Research on status information monitoring of power equipment based on internet of things. *Energy Reports*, 8:281–286, 5 2022.

[95] João Marcelo Marcelo, Alexandra Calheiros, e Miguel Azenha. Digitalização da construção no dstgroup: implementação da metodologia bim. 2018.

[96] Autor Reginaldo Carreiro Santos Orientador José Luís Ferreira Martinho. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de mestre em engenharia e gestão industrial.

[97] Christoph Merschbrock e Bjørn Erik Munkvold. Succeeding with building information modeling: A case study of bim diffusion in a healthcare construction project. Em *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, páginas 3959–3968. IEEE, 2014.

[98] Christoph Merschbrock e Bjørn Erik Munkvold. Effective digital collaboration in the construction industry–a case study of bim deployment in a hospital construction project. *Computers in Industry*, 73:1–7, 2015.

[99] Maria Cecilia de S Minayo e Odécio Sanches. Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade? *Cadernos de saúde pública*, 9(3):237–248, 1993.

[100] László Monostori. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and rd challenges. volume 17, páginas 9–13. Elsevier B.V., 2014.

[101] Luana Coelho de Morais. *Proposta de um instrumento de avaliação de cultura digital: aplicação no setor de saúde*. Tese de doutoramento, Universidade de São Paulo.

[102] Bethan Morgan. Organizing for digitalization through mutual constitution: the case of a design firm. *Construction management and economics*, 37(7):400–417, 2019.

[103] Peter WG Morris. Project management in the construction industry. *The Wiley guide to managing projects*, páginas 1350–1367, 2004.

[104] John Mulrow, Manasi Gali, e Emily Grubert. The cyber-consciousness of environmental assessment: how environmental assessments evaluate the impacts of smart, connected, and digital technology. *Environmental Research Letters*, 17(1):013001, 2021.

[105] Chung H Nam e Clyde B Tatum. Leaders and champions for construction innovation. *Construction Management & Economics*, 15(3):259–270, 1997.

[106] Gina Neff, Brittany Fiore-Silfvast, e Carrie Sturts Dossick. A case study of the failure of digital communication to cross knowledge boundaries in virtual construction. *Information, Communication & Society*, 13(4):556–573, 2010.

[107] Advanced Manufacturing National Program Office. National network for manufacturing innovation program strategic plan executive office of the president national science and technology council advanced manufacturing national program office, 2016.

[108] Nils OE Olsson, Emrah Arica, Ruth Woods, e Javier Alonso Madrid. Industry 4.0 in a project context: Introducing 3d printing in construction projects. *Project Leadership and Society*, 2:100033, 2021.

[109] Hany Omar, Lamine Mahdjoubi, e Gamal Kheder. Towards an automated photogrammetry-based approach for monitoring and controlling construction site activities. *Computers in Industry*, 98:172–182, 2018.

[110] Tarek Omar e Moncef L Nehdi. Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in Construction*, 70:143–155, 2016.

[111] Wanda J Orlikowski. Using technology and constituting structures: A practice lens for studying technology in organizations. *Organization science*, 11(4):404–428, 2000.

[112] Wanda J Orlikowski e Susan V Scott. 10 sociomateriality: challenging the separation of technology, work and organization. *Academy of Management annals*, 2(1):433–474, 2008.

[113] Yue Pan e Limao Zhang. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, 122:103517, 2021.

[114] Eleni Papadonikolaki. The digital supply chain: mobilising supply chain management philosophy to reconceptualise digital technologies and building information modelling (bim). *Successful Construction Supply Chain Management: Concepts and Case Studies*, páginas 13–41, 2020.

[115] Keith Pavitt. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research policy*, 13(6):343–373, 1984.

[116] A. C. Pereira e F. Romero. A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13:1206–1214, 2017.

[117] Alecsander Pereira. *A Transformação Digital nas PME Portuguesas: Análise das Empresas da Região Centro*. Tese de doutoramento, 2021.

[118] Ana Cecília Resende Pereira et al. A contribuição do setor de recursos humanos na capacitação de pessoas em tempos de transformação digital. 2019.

[119] António Angelo Machado Matos Pereira. *A indústria 4.0 em Portugal: O estado da arte*. Tese de doutoramento, 2021.

[120] Mário Pereira e Pedro Araújo. A transformação digital nas pequenas e médias empresas: Utilização e impacto das tecnologias móveis e sociais no caso angolano. Em *Conferência de Ciências da Computação, Tendências e Paradigmas (3CTP 2018)*, 2018.

[121] Clive Q.X. Poh, Chalani Udhyami Ubeynarayana, e Yang Miang Goh. Safety leading indicators for construction sites: A machine learning approach. *Automation in Construction*, 93:375–386, 9 2018.

[122] João Pedro de Almeida Lopes Ponte et al. Indústria 4.0: Estado da arte, análise de casos de estudo e proposta de um serviço de consultoria. 2019.

[123] Farzad Pour Rahimian, Saleh Seyedzadeh, Stephen Oliver, Sergio Rodriguez, e Nashwan Dawood. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of bim and machine learning. *Automation in Construction*, 110, 2 2020.

[124] Julia Ratajczak, Michael Riedl, e Dominik T Matt. Bim-based and ar application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance. *Buildings*, 9(5):118, 2019.

[125] Frank Rennung, Caius Tudor Luminosu, e Anca Draghici. Service provision in the framework of industry 4.0. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221:372–377, 6 2016.

[126] Luis Ribeiro. Cyber-physical production systems' design challenges. páginas 1189–1194. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 8 2017.

[127] Vasja Roblek, Maja Meško, e Alojz Krapež. A complex view of industry 4.0. *SAGE Open*, 6, 6 2016.

[128] Jeanne W Ross. *How to Develop a Great Digital Strategy: To Succeed Today, Companies Need a Unique Value Proposition that Incorporates Digital Technologies in a Way that is Difficult for Competitors to Replicate*. MIT Sloan Management Review, 2017.

[129] Maria Armanda Palma Salgado. Marketing 3.0 nas bibliotecas de ensino superior português: as perceções dos utilizadores e dos profissionais da informação e da documentação. 2014.

[130] Jesús Rodríguez Santiago. La plataforma europea de la construcción. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, (3457):89–94, 2005.

[131] Anil Sawhney, Mike Riley, e Javier Irizarry. Construction 4.0; an innovation platform for the built environment; first edition.

[132] Constantin Scheuermann, Stephan Verclas, e Bernd Bruegge. Agile factory-an example of an industry 4.0 manufacturing process. páginas 43–47. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 9 2015.

[133] Günther Schuh, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael Ten Hompel, e Wolfgang Wahlster. acatech study industrie 4.0 maturity index managing the digital transformation of companies.

[134] Krassimira Schwertner. Digital transformation of business. *Trakia Journal of Sciences*, 15(1):388–393, 2017.

[135] MMP Serra, L Ayres, M Santos, G Riveiro, e V Pansonato. Validation and adaptation scale denison culture (docs) for large brazilian companies. *Espacios*, 37(35):3, 2016.

[136] Amna Shibeika e Chris Harty. Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a uk engineering firm. *Construction management and economics*, 33(5-6):453–466, 2015.

[137] Yogesh Kumar Singh. *Fundamental of research methodology and statistics*. New Age International, 2006.

[138] Ashwin Sivam, Teresa Dieguez, Luís Pinto Ferreira, e Francisco JG Silva. Key settings for successful open innovation arena. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4):507–515, 2019.

[139] E Sarah Slaughter. Models of construction innovation. *Journal of Construction Engineering and management*, 124(3):226–231, 1998.

[140] Jongchul Song, ; Carl, T Haas, e Carlos H Caldas. Tracking the location of materials on construction job sites.

[141] T. Stock e G. Seliger. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. volume 40, páginas 536–541. Elsevier B.V., 2016.

[142] KN Tahar et al. Aerial terrain mapping using unmanned aerial vehicle approach. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 39:B7, 2012.

[143] Jochen Teizer, Davis Lao, e Menache Sofer. Rapid automated monitoring of construction site activities using ultra-wideband.

[144] Lane Thames e Dirk Schaefer. Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. volume 52, páginas 12–17. Elsevier B.V., 2016.

[145] Elisa Truant, Laura Broccardo, e Léo-Paul Dana. Digitalisation boosts company performance: an overview of italian listed companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 173:121173, 2021.

[146] Yelda Turkan, Frederic Bosche, Carl T Haas, e Ralph Haas. Automated progress tracking using 4d schedule and 3d sensing technologies. *Automation in construction*, 22:414–421, 2012.

[147] Humberto Varum e Carla Santos Silva. ficha técnica diretor diretora executiva.

[148] Ivica Veza, Marko Mladineo, e Ivan Peko. Analysis of the current state of croatian manufacturing industry with regard to industry 4.0. *Vodice, Croatia: Croatian Association of Production Engineering*, 2015.

[149] Birgit Vogel-Heuser e Dieter Hess. Guest editorial industry 4.0–prerequisites and visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2):411–413, 2016.

[150] Walter Volkmann e Grenville Barnes. Virtual surveying: Mapping and modeling cadastral boundaries using unmanned aerial systems (uas). Em *Proceedings of the FIG Congress: Engaging the Challenges—Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia*, páginas 16–21, 2014.

[151] Samuel Fosso Wamba, Angappa Gunasekaran, Shahriar Akter, Steven Ji-fan Ren, Rameshwar Dubey, e Stephen J Childe. Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of Business Research*, 70:356–365, 2017.

[152] Lihui Wang, Martin Törngren, e Mauro Onori. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37:517–527, 2015.

[153] Shiyong Wang, Jiafu Wan, Di Li, e Chunhua Zhang. Implementing smart factory of industrie 4.0: An outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, 2016.

[154] Shouhong Wang e Hai Wang. Big data for small and medium-sized enterprises (sme): a knowledge management model. *Journal of Knowledge Management*, 24:881–897, 5 2020.

[155] George Westerman, Didier Bonnet, e Andrew McAfee. *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Press, 2014.

[156] George Westerman, Maël Tannou, Didier Bonnet, Patrick Ferraris, e Andrew McAfee. The digital advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. *MITSloan Management and Capgemini Consulting, MA*, 2:2–23, 2012.

[157] Stefan Wiesner, Eugenia Marilungo, e Klaus Dieter Thoben. Cyber-physical product-service systems – challenges for requirements engineering. *International Journal of Automation Technology*, 11:17–28, 2017.

[158] Johnny Wong, Xiangyu Wang, Heng Li, e Greg Chan. A review of cloud-based bim technology in the construction sector. *Journal of information technology in construction*, 19:281–291, 2014.

[159] Peng Wu, Jun Wang, e Xiangyu Wang. A critical review of the use of 3-d printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68:21–31, 2016.

[160] Peng Wu, Xianbo Zhao, Jessica Hedi Baller, e Xiangyu Wang. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3d printing technology in the construction industry. *Architectural science review*, 61(3):133–142, 2018.

[161] Fu Xiao e Cheng Fan. Data mining in building automation system for improving building operational performance. *Energy and Buildings*, 75:109–118, 6 2014.

[162] Li Da Xu, Wu He, e Shancang Li. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2233–2243, 2014.

[163] Sakir Yucel. Estimating the benefits, drawbacks and risk of digital transformation strategy. Em *2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, páginas 233–238. IEEE, 2018.

[164] F. Zezulka, P. Marcon, I. Vesely, e O. Sajdl. Industry 4.0 – an introduction in the phenomenon. volume 49, páginas 8–12. Elsevier B.V., 2016.

[165] L Zhang e RRA Issa. Comparison of bim cloud computing frameworks. Em *Computing in Civil Engineering (2012)*, páginas 389–396. 2012.

[166] Ming Zhang, Lei Shu, Xiaowei Luo, Mengqi Yuan, e Xiazhong Zheng. Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model. *Automation in Construction*, 135:104113, 2022.

[167] Stefanie Zollmann, Christof Hoppe, Stefan Kluckner, Christian Poglitsch, Horst Bischof, e Gerhard Reitmayr. Augmented reality for construction site monitoring and documentation. *Proceedings of the IEEE*, 102(2):137–154, 2014.

Anexo A

Anexos

A.1 Email Enviado



Gmail Tomás Correia <tomasdieguezcorreia.feup@gmail.com>

Pedido de Colaboração - Dissertação FEUP

1 mensagem

Tomás Correia <tomasdieguezcorreia.feup@gmail.com>
Bcc:

Exmº Engenheiro,

O meu nome é Tomás Dieguez Correia, sou aluno do último ano do Mestrado em Engenharia Civil, da especialidade de Construções, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e, neste momento, encontro-me a realizar a minha dissertação subordinada ao tema "Digitalização no Setor AEC", na qual pretendo caracterizar o estado atual da digitalização no setor, a nível nacional.

Para a concretização do estudo empírico da dissertação é fundamental recolher dados numa amostra alargada de empresas relacionadas com o setor.

Neste contexto, venho solicitar a colaboração da instituição, para a minha investigação através do preenchimento, por parte destes, de um breve questionário. Este será enviado por email e os resultados serão recolhidos automaticamente pelo Google Forms. O questionário tem uma breve duração e a informação será anónima e confidencial.

No final do estudo, caso manifestem esse interesse, terei o maior prazer em partilhar os resultados.

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfHQaWAd8yBGKpl51Qv_X4yr74b77V74dngheAs9l89VCfLCg/viewform?usp=sf_link

Em cima envio assim o Link do questionário.

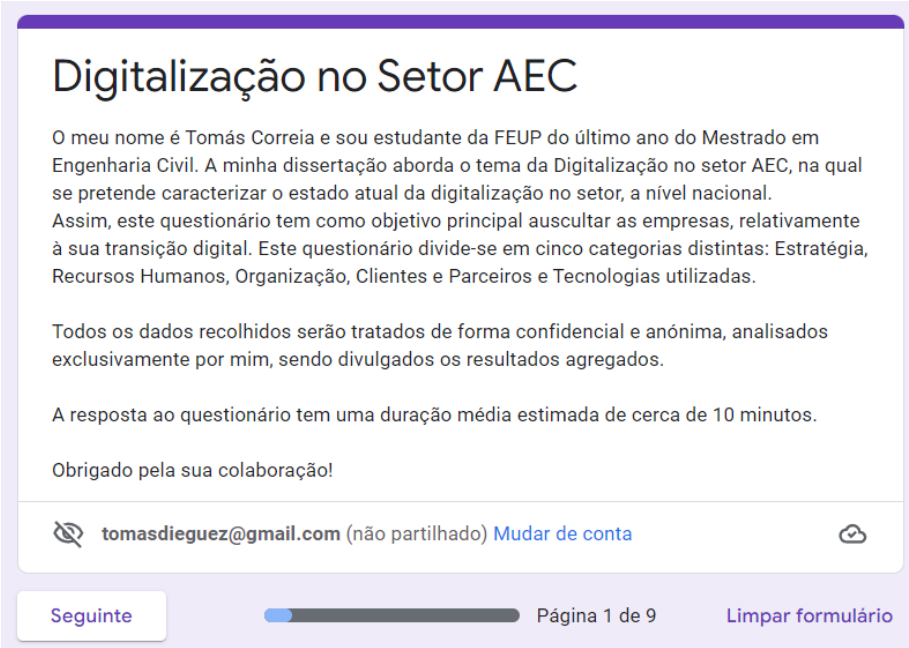
Grato pela atenção dispensada, é com expectativa que aguardo a Vossa contribuição.

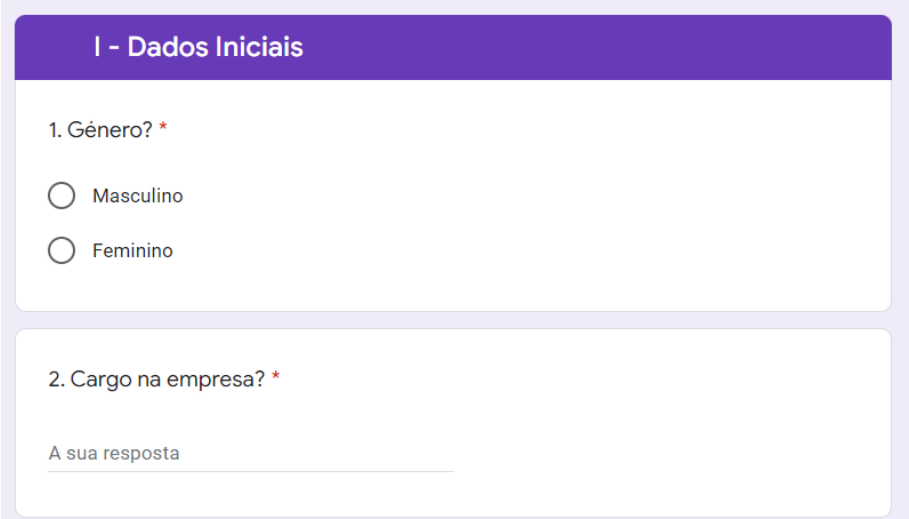
Com os melhores cumprimentos,
Tomás Dieguez Correia

Figura A.1: E-mail enviado às empresas como pedido de colaboração

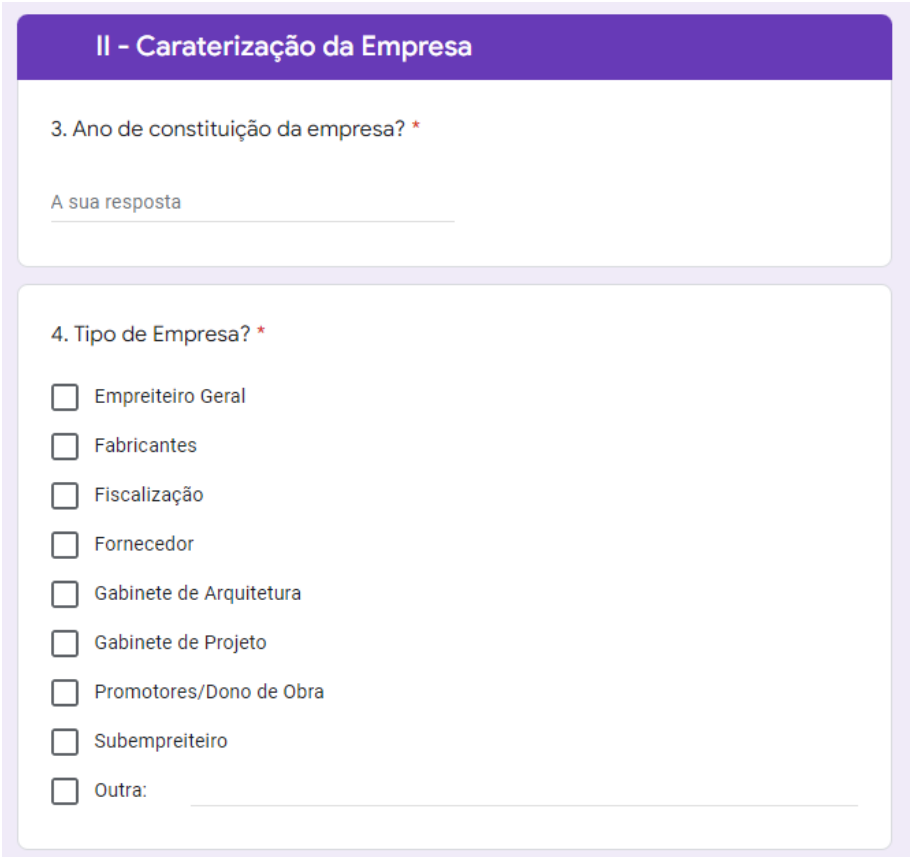
A.2 Questionário Realizado

A.2.1 Dados Iniciais





A.2.2 Caracterização das Empresas



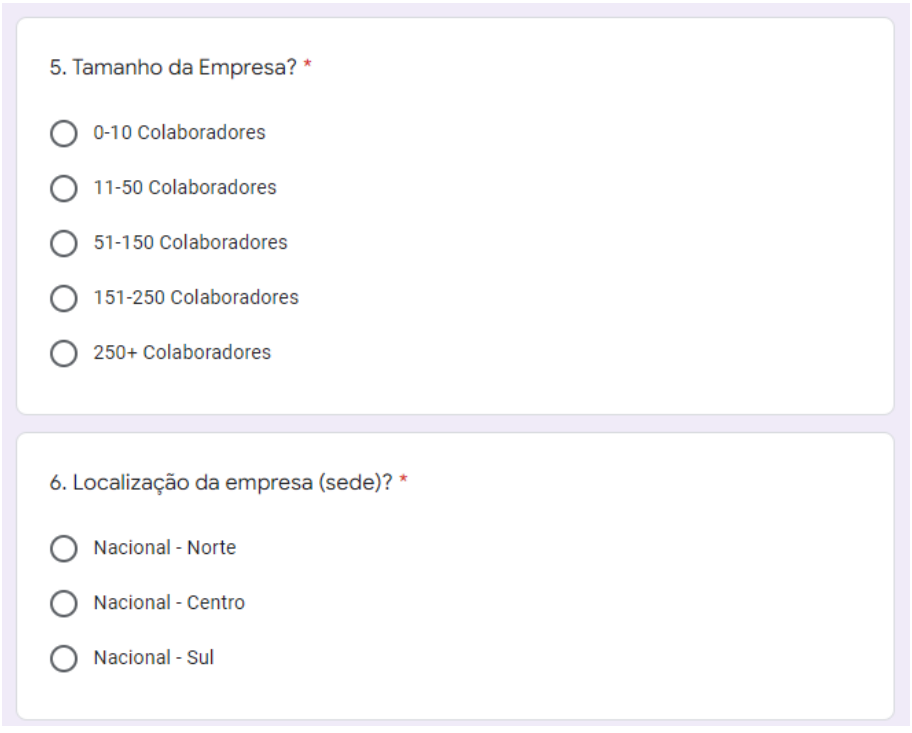
II - Caraterização da Empresa

3. Ano de constituição da empresa? *

A sua resposta

4. Tipo de Empresa? *

- [ ] Empreiteiro Geral
- [ ] Fabricantes
- [ ] Fiscalização
- [ ] Fornecedor
- [ ] Gabinete de Arquitetura
- [ ] Gabinete de Projeto
- [ ] Promotores/Dono de Obra
- [ ] Subempreiteiro
- [ ] Outra:



5. Tamanho da Empresa? *

- ◯ 0-10 Colaboradores
- ◯ 11-50 Colaboradores
- ◯ 51-150 Colaboradores
- ◯ 151-250 Colaboradores
- ◯ 250+ Colaboradores

6. Localização da empresa (sede)? *

- ◯ Nacional - Norte
- ◯ Nacional - Centro
- ◯ Nacional - Sul

7. Zona de Atuação Principal? *

- [ ] Nacional - Norte
- [ ] Nacional - Centro
- [ ] Nacional - Sul
- [ ] África
- [ ] América do Sul
- [ ] América do Norte
- [ ] Ásia
- [ ] Europa

A.2.3 Estratégia

III - Estratégia

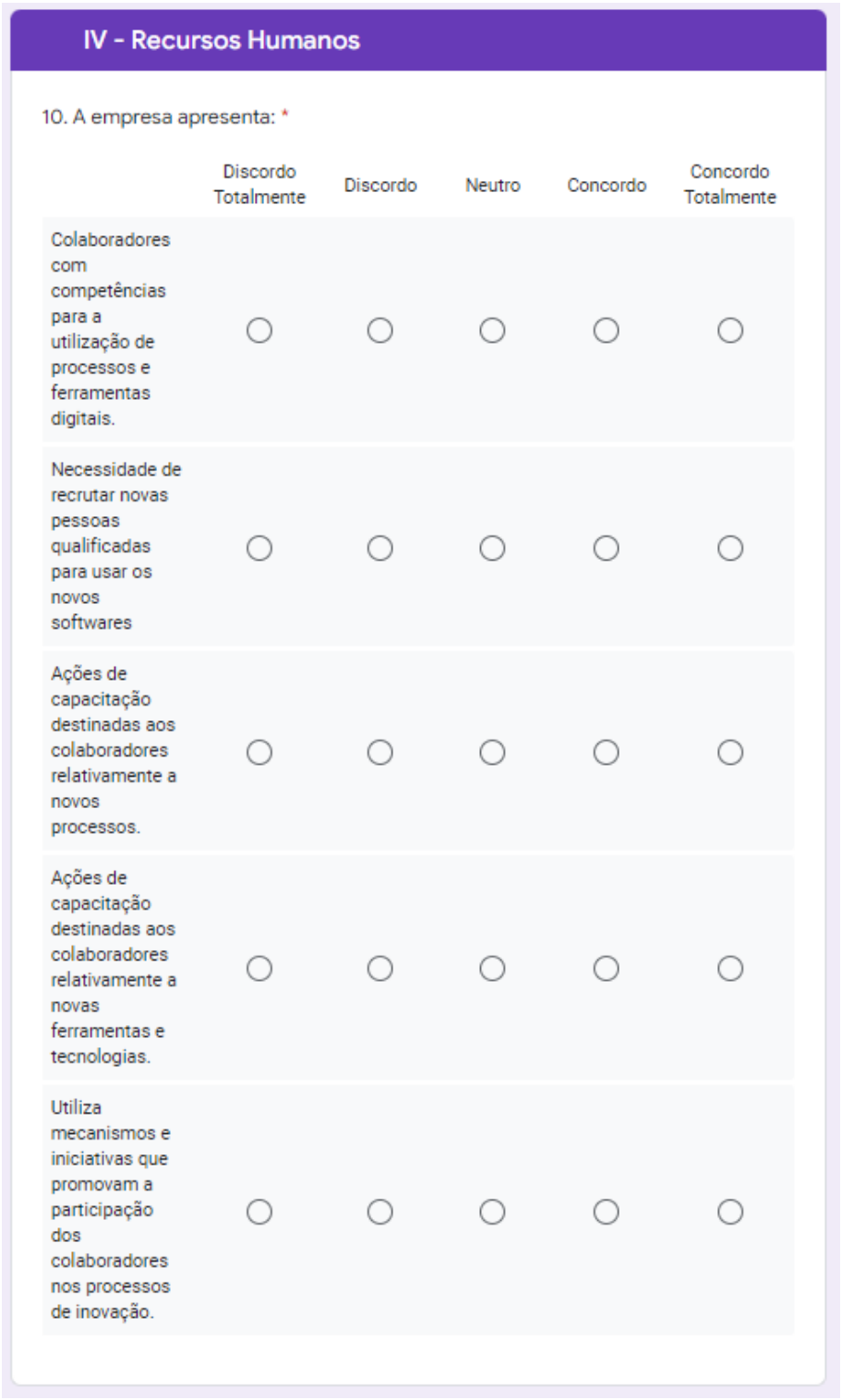
8. A digitalização: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
Recebe importância na empresa.	○	○	○	○	○
É um elemento central para a estratégia futura.	○	○	○	○	○
Ocorre devido aos requisitos dos clientes.	○	○	○	○	○
Ocorre devido aos requisitos de normalização.	○	○	○	○	○
É impulsionada pela administração.	○	○	○	○	○
É maioritariamente impulsionada pelos colaboradores.	○	○	○	○	○

9. O investimento em tecnologia: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente	Não Aplicável
Está presente na empresa.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Exige contratação de pessoas para se poder investir.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Facilita a comunicação interna.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Apoia o Back Office (Ex. Recursos Humanos, Logística, etc.)	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Aumenta a produtividade do fabrico.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Aumenta a produtividade da montagem e construção.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Dá maior controlo na gestão de obra.	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Facilita a avaliação do desempenho e da qualidade.	◯	◯	◯	◯	◯	◯

A.2.4 Recursos Humanos



IV - Recursos Humanos

10. A empresa apresenta: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
Colaboradores com competências para a utilização de processos e ferramentas digitais.	○	○	○	○	○
Necessidade de recrutar novas pessoas qualificadas para usar os novos softwares	○	○	○	○	○
Ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novos processos.	○	○	○	○	○
Ações de capacitação destinadas aos colaboradores relativamente a novas ferramentas e tecnologias.	○	○	○	○	○
Utiliza mecanismos e iniciativas que promovam a participação dos colaboradores nos processos de inovação.	○	○	○	○	○

11. Os colaboradores têm: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
Autonomia para trabalhar em horário flexível.	◯	◯	◯	◯	◯
Autonomia para exercer teletrabalho.	◯	◯	◯	◯	◯
Acesso a processos digitais para exercer a sua atividade.	◯	◯	◯	◯	◯
Acesso a ferramentas necessárias para trabalhar à distância.	◯	◯	◯	◯	◯

A.2.5 Organização



V - Organização

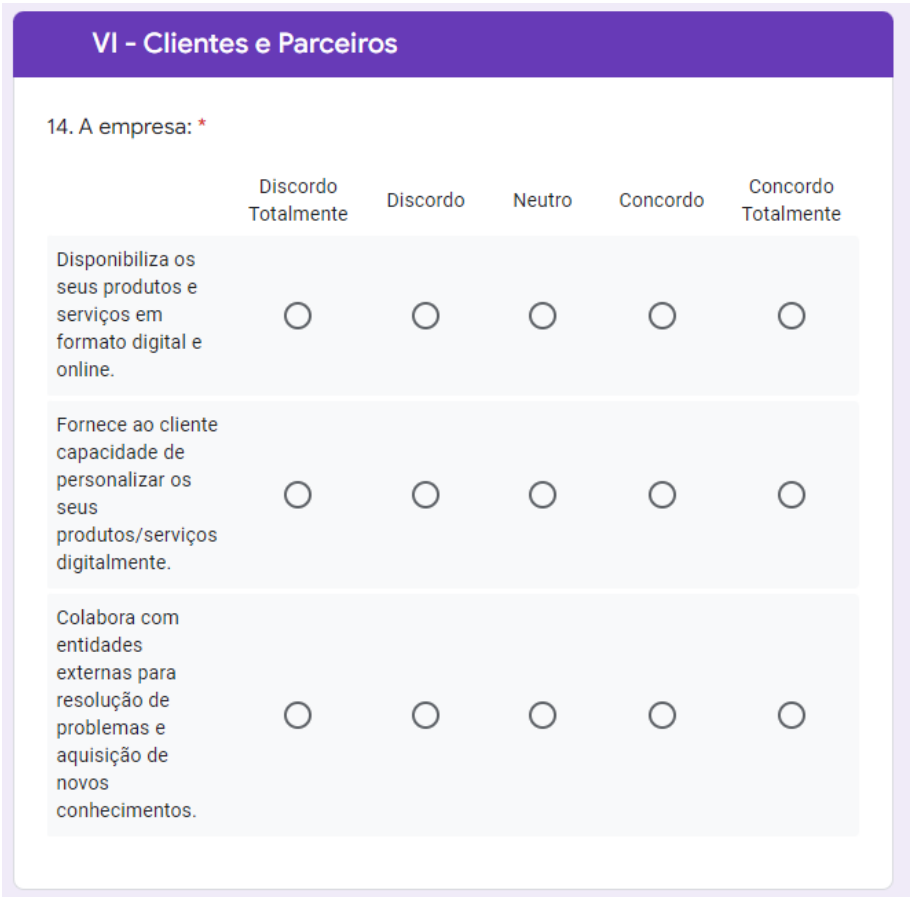
12. Os processos de tomada de decisão: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
Baseiam-se na experiência.	○	○	○	○	○
Baseiam-se em dados recolhidos (data-driven).	○	○	○	○	○
São suportados por hardware e software capaz de recolher, tratar e analisar dados relativos às operações, de forma autónoma e periódica.	○	○	○	○	○

13. A partilha e gestão da informação: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
É realizada maioritariamente em papel mas com armazenamento do conteúdo em formato digital.	○	○	○	○	○
Ocorre maioritariamente em formato digital.	○	○	○	○	○
É realizada com recurso a uma plataforma digital destinada ao efeito.	○	○	○	○	○

A.2.6 Clientes e Parceiros



VI - Clientes e Parceiros

14. A empresa: *

	Discordo Totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Totalmente
Disponibiliza os seus produtos e serviços em formato digital e online.	○	○	○	○	○
Fornece ao cliente capacidade de personalizar os seus produtos/serviços digitalmente.	○	○	○	○	○
Colabora com entidades externas para resolução de problemas e aquisição de novos conhecimentos.	○	○	○	○	○

A.2.7 Tecnologia

VII - Tecnologia

15. Qual ou quais as tecnologias utilizadas para as atividades da empresa na aquisição de dados? *

- [ ] Fotogrametria
- [ ] Internet of Things (IoT)
- [ ] Laser Scannig
- [ ] Sensores
- [ ] Nenhuma das anteriores

16. Qual ou quais as tecnologias utilizadas para as atividades da empresa na automatização de processos? *

- [ ] Construção Modular
- [ ] Drones
- [ ] Impressão 3D
- [ ] Robótica
- [ ] Nenhuma das anteriores

17. Qual ou quais as tecnologias utilizadas para as atividades da empresa na análise de dados e informação digital? *

- [ ] BIM
- [ ] Digital Twins
- [ ] Inteligência Artificial
- [ ] Realidade Virtual/ Realidade Aumentada
- [ ] Nenhuma das anteriores

18. Qual o nível de adoção? *

	Não Iniciado	Experimental	Alguns Casos	Iniciado Ativamente	Totalmente Integrado
Fotogrametria	○	○	○	○	○
Internet of Things	○	○	○	○	○
Laser Scanning	○	○	○	○	○
Sensores	○	○	○	○	○
Construção Modular	○	○	○	○	○
Drones	○	○	○	○	○
Impressão 3D	○	○	○	○	○
Robótica	○	○	○	○	○
BIM	○	○	○	○	○
Digital Twin	○	○	○	○	○
Inteligência Artificial	○	○	○	○	○
Realidade Aumentada/Realidade Virtual	○	○	○	○	○

19. Quais as barreiras que impedem a adoção das seguintes tecnologias? *

	Falta de interoperabilidade entre tecnologias.	Falta de conhecimento sobre o ROI (Retorno Sobre o Investimento).	Dificuldade em adaptar processos existentes.	Falta de conhecimento e/ou compreensão da tecnologia.
Fotogrametria	☐	☐	☐	☐
Internet of Things	☐	☐	☐	☐
Laser Scanning	☐	☐	☐	☐
Sensores	☐	☐	☐	☐
Construção Modular	☐	☐	☐	☐
Drones	☐	☐	☐	☐
Impressão 3D	☐	☐	☐	☐
Robótica	☐	☐	☐	☐
BIM	☐	☐	☐	☐
Digital Twin	☐	☐	☐	☐
Inteligência Artificial	☐	☐	☐	☐
Realidade Aumentada/Realidade Virtual	☐	☐	☐	☐

19. Quais as barreiras que impedem a adoção das seguintes tecnologias? *

	Falta de Recursos Humanos qualificados.	Falta de capacidade de equipamentos e softwares.	Custo de equipamento e softwares.	Falta de normas.	Disponiblidade tecnológica.
Fotogrametria	☐	☐	☐	☐	☐
Internet of Things	☐	☐	☐	☐	☐
Laser Scanning	☐	☐	☐	☐	☐
Sensores	☐	☐	☐	☐	☐
Construção Modular	☐	☐	☐	☐	☐
Drones	☐	☐	☐	☐	☐
Impressão 3D	☐	☐	☐	☐	☐
Robótica	☐	☐	☐	☐	☐
BIM	☐	☐	☐	☐	☐
Digital Twin	☐	☐	☐	☐	☐
Inteligência Artificial	☐	☐	☐	☐	☐
Realidade Aumentada/Realidade Virtual	☐	☐	☐	☐	☐

A.2.8 Agradecimentos

VIII - Agradecimento Final

Obrigado pela sua resposta. Se pretender ter acesso ao resultado do estudo, por favor indique o seu e-mail.

Nome / e-mail

A sua resposta