

MESTRADO
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NAS PRÁTICAS DE
ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO DE CASO**

HELENA MATOS DE AZEVEDO

OUTUBRO - 2022

MESTRADO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO DISSERTAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NAS PRÁTICAS DE
ECONOMIA CIRCULAR: ESTUDO DE CASO**

HELENA MATOS DE AZEVEDO

ORIENTAÇÃO:

PROFESSORA DOUTORA GRAÇA SILVA

OUTUBRO - 2022

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer à minha orientadora, à Professora Doutora Graça Silva pela disponibilidade durante todo o processo.

Agradeço também às empresas que contribuíram para as entrevistas, pela disponibilidade e colaboração para o desenvolvimento do estudo.

Um agradecimento especial ao meu namorado, família, amigos e colegas de trabalho por me terem apoiado e motivado, ao longo deste percurso.

RESUMO

Na última década, o interesse pelas temáticas da Indústria 4.0 e da Economia Circular tem aumentado, sobretudo devido ao agravamento de fenómenos ambientais e sociais que colocam uma pressão cada vez maior nos recursos do planeta.

A Economia Circular apesar de não ser um tema recente, surge como alternativa ao modelo dominante, o modelo económico linear, considerado insustentável. O modelo económico circular, procura reduzir o consumo, as emissões e a criação de desperdício significativamente, aumentar a vida útil dos produtos e serviços, e otimizar a energia. A Indústria 4.0 assinala o início da Quarta Revolução Industrial e o aparecimento destas novas tecnologias criam outras oportunidades.

Assim, esta dissertação tem como objetivo principal perceber como é que as empresas estão a utilizar as tecnologias da Indústria 4.0 para implementar práticas circulares e ainda, as motivações e barreiras encontradas por estas.

A análise dos resultados obtidos sugere as empresas estão a utilizar as tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas circulares para recolher e monitorizar dados, e para criar novos produtos.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Economia Circular; Práticas Circulares; Motivações; Barreiras.

ABSTRACT

In the last decade, interest in the themes of Industry 4.0 and Circular Economy has increased, mainly due to the worsening of environmental and social phenomena that put increasing pressure on the planet's resources.

Although the Circular Economy is not a recent theme, it emerges as an alternative to the dominant model, the linear economic model, considered unsustainable. The circular economic model seeks to significantly reduce consumption, emissions and waste generation, to increase the useful life of products and services, and to optimize energy. Industry 4.0 marks the beginning of the Fourth Industrial Revolution and the emergence of these new technologies creates new opportunities.

Thus, the main objective of this dissertation is to understand how companies are using Industry 4.0 technologies to implement circular practices and also the motivations and barriers encountered by them.

Analysis of the results suggests companies are using Industry 4.0 technologies in circular practices to collect and monitor data, and to create new products.

Key words: Industry 4.0; Circular Economy; Circular Practices; Motivations; Barriers.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
SIMBOLOGIA E NOTAÇÃO	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. <i>Economia Circular</i>	3
2.2. <i>Indústria 4.0</i>	4
2.3. <i>Utilização de Tecnologias da Indústria 4.0 nas Práticas Circulares</i>	8
2.4. <i>Motivações e Barreiras</i>	9
3. METODOLOGIA.....	12
3.1. <i>Método de Pesquisa</i>	12
3.2. <i>Estudo de Caso</i>	12
3.2.1. <i>A Bolseira</i>	13
3.2.2. <i>The Navigator Company</i>	13
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	15
4.1. <i>Bolseira</i>	15
4.2. <i>The Navigator Company</i>	17
4.3. <i>Discussão dos Resultados</i>	20
5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS FUTURAS	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
ANEXOS.....	29
<i>Anexo A - Guião Entrevista</i>	29

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização das empresas que participaram no estudo..... 13

SIMBOLOGIA E NOTAÇÃO

EC – Economia Circular

FSC – *Forest Stewardship Council*

I4.0 – Indústria 4.0

I&D – Investigação e Desenvolvimento

IdC – Internet das Coisas

PEFC – *Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes*

PRUA – Programa de Redução da Utilização de Água

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o interesse pelas temáticas da Indústria 4.0 (I4.0) e da Economia Circular (EC) tem aumentado, sobretudo devido ao agravamento de fenómenos como a poluição, a escassez de recursos naturais gerada pelo aumento exponencial da população mundial, que estão a causar uma pressão cada vez maior sobre o ecossistema global (Bag & Pretorius, 2022; Borghi, Moreschi & Gallo, 2020; Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016). Estas temáticas têm ganho um interesse progressivo, ganhando interesse por parte de decisores políticos, empresas e estudiosos por todo o mundo (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

A EC apesar de não ser um tema recente, surge como alternativa ao modelo dominante, o modelo económico linear que se baseia nas premissas *take, make and dispose*, considerado insustentável. O modelo económico circular, procura reduzir o consumo, as emissões e a criação de desperdício significativamente, aumentar a vida útil dos produtos e serviços, e otimizar a energia (Bag & Pretorius, 2022; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Jabbour *et al.*, 2020).

A I4.0 assinala o início da Quarta Revolução Industrial, marcada pela transformação digital e a introdução de Sistemas Ciberfísicos resultantes da fusão entre o mundo real e o mundo virtual. A aplicação destas tecnologias pode potenciar tremendas inovações e vantagem competitiva, através de melhorias na performance e na produtividade (Barreto, Amaral & Pereira, 2017; Ghadge *et al.*, 2020).

Recentemente, começaram a surgir na literatura estudos em que interligam estas duas temáticas, nomeadamente a influência da I4.0 no desenvolvimento de novos modelos de negócios baseados na circularidade e os potenciais benefícios resultantes da digitalização dos processos, principalmente em termos de estratégias inovadoras de gestão do ciclo de vida (Romero *et al.*, 2021; Rosa *et al.*, 2020).

A relevância do estudo assenta no facto da I4.0 ser ainda uma temática recente e ainda estar em desenvolvimento, assim como a sua associação com a temática da EC, sendo a literatura existente sobre estas duas temáticas ainda escassa, sobretudo no contexto português. Além disso, também contribui com evidências sobre como os

princípios da EC e da I4.0 são aplicados nas empresas, que também são escassas na literatura (Jabbour *et al.*, 2018; Laskurain-Iturbe & Uriarte-gallastegi, 2021).

A questão central da investigação é: Como é que as empresas estão a utilizar as tecnologias da Indústria I4.0 para implementar práticas circulares? E ainda, quais as motivações e barreiras encontradas pelas empresas?

Portanto, esta dissertação tem como objetivo principal perceber como as empresas estão a utilizar as tecnologias da I4.0 para implementar práticas circulares e ainda, as motivações e barreiras encontradas por estas.

Para responder aos objetivos definidos, foi desenvolvido um guião de entrevista e selecionadas empresas com base nas características de possuírem práticas de EC e utilizarem tecnologias da I4.0. Neste estudo participam duas empresas portuguesas, sendo estas A Bolseira, uma empresa de média dimensão e a *The Navigator Company*, uma empresa de grande dimensão.

A estrutura desta dissertação é composta por 5 capítulos. Primeiramente, são introduzidas as temáticas de investigação, os principais objetivos, as questões de investigação e a relevância do estudo. No segundo capítulo, é feito um enquadramento teórico através da revisão de literatura, onde são referidos os conceitos de EC e de I4.0 e as suas práticas, a utilização de tecnologias da I4.0 nas práticas circulares e as principais barreiras e motivações. O terceiro capítulo, aborda em detalhe os estudos de caso das empresas A Bolseira e *The Navigator Company* e no quarto capítulo, são apresentados e analisados os resultados da pesquisa exploratória realizada. Por último, no quinto capítulo, são apresentadas as principais conclusões do estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Economia Circular

A Economia Circular (EC) não é uma temática recente, no entanto, nas últimas décadas obteve maior relevância, sobretudo devido ao agravamento de fenómenos como o aumento da população mundial e o conseqüente aumento da pressão sobre os recursos naturais, a poluição causada pela produção e o consumo insustentáveis e conseqüentes efeitos adversos que afetam a sociedade e o ambiente (Bag & Pretorius, 2022; Borghi *et al.*, 2020; Ghisellini *et al.*, 2016). Segundo o World Population Prospects (2022), a população mundial poderá atingir 9,7 mil milhões até 2050. É necessário repensar os processos e modelos de produção de forma a diminuir o impacto ambiental e social.

Esta temática surge como alternativa ao modelo dominante, o modelo económico linear, baseado na utilização em larga escala da extração, utilização e eliminação de materiais – *take, make and dispose* – considerado insustentável, pois excede a capacidade de extração de recursos, absorção de resíduos e emissões do planeta. A EC propõe um caminho inovador para o desenvolvimento sustentável, promovendo a minimização do consumo de recursos, geração de resíduos e emissões, assegurando simultaneamente o desenvolvimento socioeconómico (Rajput & Singh, 2019b; Romero *et al.*, 2021).

Na literatura, vários autores atribuem a introdução do conceito de EC aos economistas ambientais Pearce e Turner (1990), pelo livro *Economics of Natural Resources and the Environment*, no qual foi utilizado pela primeira vez o termo *Circular Economy* e propõem um modelo económico, tendo como base o equilíbrio dos materiais inspirado nas primeira e segunda leis da termodinâmica (Andersen, 2007; Rios & Charnley, 2017; Geissdoerfer *et al.*, 2017; Lieder & Rashid, 2016; Nascimento *et al.*, 2019; Su *et al.*, 2013). No entanto, Pearce e Turner (1990) basearam-se no artigo de Boulding (1966), – *Economics of the Coming Spaceship Earth* –, também mencionado por vários autores por introduzir conceito de EC, que descreve que o planeta Terra é um

sistema fechado e circular com capacidade limitada e deve existir um equilíbrio entre a economia e o ambiente (Ghisellini *et al.*, 2016; Su *et al.*, 2013).

A definição de EC não é consensual na literatura, é considerada um conceito dinâmico e emergente, pois tem vindo a evoluir ao longo do tempo. Uma das definições mais mencionadas na literatura, é da Ellen MacArthur *Foundation* (2013), uma instituição de caridade líder mundial no posicionamento da EC na agenda dos decisores em todo o mundo, que define EC como “um sistema restaurativo ou regenerativo por intenção e por *design*”, cujo propósito é manter os produtos, os componentes e os materiais no seu máximo de utilidade e valor (Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017; Lieder & Rashid, 2016; Romero *et al.*, 2021). O conceito de Sustentabilidade aparece muitas vezes relacionado com o conceito de EC apesar de serem distintos, os objetivos de desenvolvimento sustentável estão alinhados com as estratégias empresariais, que estão integradas com os princípios da EC (Bag & Pretorius, 2022; Geissdoerfer *et al.*, 2017).

2.2. Indústria 4.0

As Revoluções Industriais trouxeram mudanças radicais na economia e na sociedade. Desde a Primeira Revolução em 1750, com o aparecimento os motores a vapor, à Segunda Revolução, com o aparecimento das linhas de montagem e da produção em massa utilizando eletricidade. Em 1970, regista-se a Terceira Revolução Industrial com a automação digital da produção, marcada pelo surgimento da eletrónica e tecnologias de informação e comunicação (Barreto *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0 (I4.0) marca o início da Quarta Revolução Industrial, marcada pelo desenvolvimento e integração das tecnologias de informação e comunicação nos processos empresariais, através da transformação digital e introdução de Sistemas Ciberfísicos, resultantes da fusão entre o mundo real e o mundo virtual. São várias as tecnologias com um papel crucial na digitalização da cadeia de abastecimento, incluindo tecnologias como Internet das Coisas (IdC), Realidade Aumentada, Impressão 3D, *Big Data and Analytics*, Computação em Nuvem, Simulação, Robótica e Cibersegurança (Bag

& Pretorius, 2022; Bai *et al.*, 2020; Barreto *et al.*, 2017; Li & Yang, 2017; Romero *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2014; Ghadge *et al.*, 2020).

Estas tecnologias servem de base para uma compreensão mais ampla e implementação do conceito I4.0:

- Internet das Coisas (IdC):

Definido por Kevin Ashton, também conhecido por *Internet of Things* é um sistema que transfere produtos, serviços, processos, atividades ou dados de tarefas em tempo real, apoiando assim uma gestão dinâmica da informação (Romero *et al.*, 2021). De acordo com Kang *et al.* (2016), é um sistema computacional que recolhe e troca dados adquiridos a partir de dispositivos eletrónicos, como a identificação por sensores ou códigos de barras (Xu *et al.*, 2014).

- Realidade Aumentada:

A Realidade Aumentada ou Realidade Virtual é uma ferramenta que permite às pessoas aceder a espaços virtuais interativos, baseados na realidade, que utiliza as capacidades de visualização gerada por computador, som e outros efeitos, permitindo melhorar a experiência do mundo real através da recolha de dados (Bai *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021).

- Impressão 3D:

Também conhecida por *Additive Manufacturing* é um processo inovador de produção de objetos num modelo tridimensional (3D) através da união de camadas, diretamente a partir de vários materiais (plásticos, metais, materiais compósitos) sem necessidade de moldes, permitindo uma maior eficiência na utilização dos recursos e dos materiais, maior flexibilidade e a possibilidade de personalização (Kang *et al.*, 2016; Kellens *et al.*, 2017; Petrovic *et al.*, 2011).

- *Big Data and Analytics*:

É o conjunto de ferramentas tecnológicas criadas com o objetivo de capturar, armazenar, gerir, processar e analisar grandes volumes de dados, que as ferramentas tradicionais já não possuem capacidade suficiente (Bai *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021). Estes dados ajudam as organizações melhorar a eficiência e o desempenho dos processos, aumentam a flexibilidade, a agilidade e permitem maior personalização dos produtos (Ghadge *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021).

- **Computação em Nuvem:**

A Computação em Nuvem ou *Cloud Computing* é uma infraestrutura digital que permite o armazenamento de dados através de vários sistemas ou equipamentos com acesso através da Internet a motores informáticos de processamento, localizados em servidores remotos que podem ser consultados em tempo real (Ghadge *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021).

- **Simulação:**

A Simulação é uma tecnologia utilizada que visa o desenvolvimento de modelos baseados na realidade, a partir de dados recolhidos e processados por sistemas de *Big Data* e *Cloud*, de forma a permitir a análise de vários cenários possíveis e orientar a tomada de decisões (Ferreira, Armellini & Santa-Eulalia, 2020; Romero *et al.*, 2021; Zhong *et al.*, 2017).

- **Robótica:**

A Robótica ou Automação Robótica é uma tecnologia utilizada em várias áreas incluindo a manufatura para replicar ações humanas através de inteligência artificial. Os robôs têm a capacidade de interagirem uns com os outros, executar as tarefas em segurança em conjunto com os operadores (Ferreira *et al.*, 2020; Ghadge *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021).

- **Cibersegurança:**

Com a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 numa escala mais alargada, há um provável aumento das ameaças. A Cibersegurança refere-se aos métodos preventivos utilizados para proteger a informação das organizações de ser roubada, comprometida ou atacada. (Bai *et al.*, 2020; Ghadge *et al.*, 2019).

A aplicação destas tecnologias pode potenciar tremendas inovações e vantagem competitiva, através de melhorias na performance e na produtividade, com a monitorização e controlo em tempo real de parâmetros de produção importantes como o estado da produção, o consumo de energia, os fluxos de materiais, as encomendas de clientes ou os dados dos fornecedores. Além disso, estas tecnologias também facilitam as relações e a comunicação com os clientes resultante da conectividade entre clientes e produtos, permitindo às organizações desenvolver produtos que satisfaçam as

necessidades reais dos clientes (Ghadge *et al.*, 2020; Shrouf, Ordieres & Miragliotta, 2014).

A I4.0 é um conceito recente, a primeira referência surgiu em 2011 durante um evento em Hannover, no âmbito de uma iniciativa do governo alemão com o objetivo de estimular a competitividade industrial do país (Barreto *et al.*, 2017; Roblek *et al.*, 2016). Desde este momento, várias empresas começaram a desenvolver soluções em conformidade com o conceito de I4.0. Muitos governos também apoiaram o desenvolvimento destas soluções, sendo esta iniciativa também replicada por outros países, como o caso da China que chamaram *Made in China 2025* que tem o objetivo de transformar as empresas tradicionais de manufatura através da adoção das novas tecnologias digitais e o caso da França, com as iniciativas *Nouvelle France Industrielle* e *Industrie Du Futur* focadas na reindustrialização das empresas líderes francesas, através da adoção de novas tecnologias e na mudança dos modelos empresariais (Kumar *et al.*, 2020; Li & Yang, 2017; Mosconi, 2015; Qin, Liu & Grosvenor, 2016; Roblek *et al.*, 2016).

Sendo a I4.0 uma temática recente, ainda não existe uma definição consensual na literatura, uma vez que é um tema que ainda está em evolução e ainda há tecnologias a emergir (Ojra, 2019). Roblek *et al.* (2016) afirma que “é a transformação da Internet da indústria digital” e segundo Kumar *et al.*, (2020), define I4.0 como sendo um "termo genérico utilizado para sistemas de manufatura altamente complexos e automatizados, serviços e processos empresariais em que os dispositivos estão conscientes de si próprios, comunicam entre si e com os seres humanos, além disso, podem ser acedidos remotamente, e são capazes de tomar ações corretivas ou decisões adequadas instantaneamente de acordo com a situação com o uso de inteligência artificial, experiência prévia e dados disponíveis na rede e na nuvem". Por outro lado, a I4.0 é um conceito que se refere a um vasto número de tecnologias que ainda estão a emergir, e cuja definição ainda está em construção, desta forma, segundo Lasi *et al.* (2014) e Rosa *et al.* (2020), a definição deste conceito não é possível, pois a maior parte das definições considera as tecnologias associadas ao conceito.

2.3. Utilização de Tecnologias da Indústria 4.0 nas Práticas Circulares

A EC e I4.0 são, sem dúvida, dois dos conceitos mais debatidos nas últimas décadas na indústria. Estes conceitos surgiram de forma independente, no entanto, só agora é que se encontra literatura de forma mais abundante, que avalia a relação entre estes dois conceitos (Romero *et al.*, 2021; Rosa *et al.*, 2020). Estes conceitos têm ganho um interesse progressivo, sendo evidente o crescente interesse por parte de decisores políticos, empresas e estudiosos por todo o mundo (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

O modelo económico circular procura reduzir o consumo, as emissões e a criação de desperdício significativamente, aumentar a vida útil dos produtos e serviços, e otimizar a energia (Bag & Pretorius, 2022; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Jabbour *et al.*, 2020). O surgimento de novas tecnologias de fabrico mais avançadas cria oportunidades (Romero *et al.*, 2021)

Segundo Bag e Pretorius (2022), existem poucos estudos relevantes que ligam a I4.0 à EC. Além disso, Kamble *et al.* (2018), numa análise de 85 artigos sobre tecnologias da I4.0, observaram que apenas 18% tinham em conta uma perspetiva relacionada com a sustentabilidade e em relação à EC ainda menor. A maioria dos estudos sobre a influência das tecnologias da I4.0 na CE abordaram o assunto de uma forma geral e muito poucos compararam o impacto de cada tecnologia individualmente.

As Barreiras à EC podem ser ultrapassadas com a adoção de tecnologias da I4.0 (Nascimento *et al.*, 2019; Stock & Seliger, 2016). A I4.0 surge como uma tecnologia emergente para alcançar eficiência e precisão, e a possibilidade de ultrapassar barreiras tecnológicas e alcançar a EC (Rios & Charnley, 2017; Rajput & Singh, 2019a; Romero *et al.*, 2021). Esta abordagem da EC gera uma enorme quantidade de dados (relativamente ao desperdício, subproduto e matéria-prima) e requer digitalização na cadeia de abastecimento para monitorizar e aceder à informação em tempo real. Neste sentido, a I4.0 fornece inovação chave para as operações sustentáveis e torna a cadeia mais dinâmica e eficiente (Rajput & Singh, 2019a).

Niehoff e Beier (2018) destacam a capacidade das tecnologias da Indústria 4.0 para transformar profundamente a indústria e acrescentam que é necessário que esta transformação seja monitorizada do ponto de vista da sustentabilidade, a fim de

fornecer soluções para os problemas ambientais na indústria. Gilchrist (2016) argumenta também que é necessário ter em conta esta perspetiva, pois permite às empresas combinar qualidade e competitividade geral com soluções ambientais.

Stock e Seliger (2016) dão o exemplo da impressão 3D que será cada vez mais utilizada em processos de criação de valor, uma vez que os custos de produção desses equipamentos têm vindo a diminuir nos últimos anos, aumentando simultaneamente em termos de velocidade e precisão. Laskurain-Iturbe e Uriarte-gallastegi (2021), adicionam que a redução do consumo dos materiais, utilizando esta tecnologia pode variar entre 20% e 85%, pois dependendo do design, o material é aplicado por camadas ou por injeção.

Outros autores, Rosa *et al.* (2020), afirmam que “Uma empresa que pretenda mudar de um modelo económico linear para um modelo circular, não pode evitar considerar as tecnologias da I4.0 dentro da sua cadeia de valor”. No artigo são ainda enumeradas várias áreas onde se verificam a aplicação destas tecnologias como a transformação digital, gestão do ciclo de vida, eficiência dos recursos, reutilização, reciclagem, remanufactura, modelos de negócio circular e gestão da cadeia de abastecimento.

No estudo realizado pelos autores Laskurain-Iturbe e Uriarte-gallastegi (2021), no qual é analisado o impacto das tecnologias da I4.0 nas práticas de EC (Redução do consumo dos inputs, Reutilização, Recuperação, Reciclagem e Redução de desperdício e emissões), as práticas onde se verificou um impacto mais positivo das tecnologias da I4.0 foram na Redução do consumo dos inputs e na Redução de desperdício e emissões, e as tecnologias que se destacaram foram a Impressão 3D, Robótica e a *Big Data and Analytics*.

2.4. Motivações e Barreiras

Nesta secção são apresentadas as diferentes perspetivas de motivações e barreiras presentes na literatura, para a EC e a I4.0.

Na literatura as principais motivações a adotar práticas circulares são a associação positiva deste termo à sustentabilidade (Bag & Pretorius, 2022), por pressões dos

concorrentes, dos clientes e da comunidade local (Jia *et al.*, 2020). No entanto, existem várias barreiras que impedem a implementação e o crescimento da EC, sendo estas: os elevados custos iniciais de instalação, complexidade da cadeia de abastecimento, não cooperação entre empresas, informação inadequada para a conceção de produtos e do processo de fabrico, concessões de qualidade, longos prazos para a desmontagem e elevados custos envolvidos nesses processos (Jaeger & Upadhyay, 2020).

Relativamente às motivações e barreiras na I4.0, Müller *et al.* (2018) afirmam que estes estudos são ainda são reduzidos. Assim, os autores dividem as motivações e barreiras por categorias começando pelas motivações relacionadas com estratégia (novos modelos de negócio e novas ofertas de valor para uma maior competitividade), operações (aumento da eficiência, redução de custos, melhoria na qualidade, aumento na velocidade, e melhor gestão da carga e redução dos *stocks*), ambiente e pessoas (redução de tarefas monótonas e repetitivas e redução do impacto ambiental). As barreiras, encontram-se divididas por competitividade e viabilidade futura (modelos de negócio existentes em perigo, perda de flexibilidade, normalização, transparência), Organização e produção adequadas (elevados esforços de implementação relativos, por exemplo, a custos e padronização), qualificação e aceitação dos empregados (medo e preocupação dos empregados devido às mudanças, falta conhecimento). Nos resultados do estudo relativos às motivações, os autores enfatizam ainda a existência de uma relação positiva superior para as empresas de grande dimensão em comparação às Pequenas e Médias Empresas (PME's), uma vez que as primeiras possuem uma visão estratégica orientada para o longo prazo, enquanto que as segundas se concentram frequentemente em atividades de curto ou médio prazo relacionadas mais com as operações.

Rosa *et al.* (2020) defende que apesar de EC e I4.0 serem conceitos independentes, estes possuem pontos em comum. Stock & Seliger (2016) enumera várias categorias referentes a oportunidades de manufatura sustentável divididas em perspetivas micro e macro, dando exemplos para cada categoria. Ao nível macro temos os modelos de negócio e as redes de criação de valor, e ao nível micro os equipamentos, o papel do homem, a empresa, o processo e o produto. No estudo de Jabbour *et al.* (2018), apresentam as seguintes barreiras, a coordenação de ações entre diferentes áreas organizacionais, preocupações com a cibersegurança, falta de formação dos

colaboradores, a fiabilidade da conectividade entre máquinas, integridade dos dados relacionados com a manutenção, e/ou a informação disponível.

3. METODOLOGIA

3.1. Método de Pesquisa

O presente capítulo apresenta em detalhe, a metodologia e os métodos utilizados neste estudo.

Por se tratar de um tema exploratório, as questões de pesquisa que sustentam o estudo foram respondidas através de uma metodologia qualitativa, recorrendo ao método de estudo de caso, uma estratégia de investigação que tem vindo a ganhar reputação e procura compreender, explorar ou descrever acontecimentos reais em contextos complexos, envolvendo simultaneamente diversos fatores (Dooley, 2002; Yin, 2009).

Assim, para este estudo foram realizadas duas entrevistas semiestruturadas a responsáveis de duas empresas, de forma a aprofundar os conhecimentos sobre as práticas de Economia Circular (EC) utilizadas nas empresas, como estas estão a utilizar as tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) nas práticas circulares e as motivações e barreiras encontradas pelas empresas.

3.2. Estudo de Caso

A recolha de dados para o presente estudo foi efetuada através de entrevistas semiestruturadas a representantes das empresas com o objetivo de recolher a informação necessária de forma a responder às questões presentes no estudo.

Assim, foram contactadas por email várias empresas com modelos de negócio relevantes para o estudo, tendo como critério utilizarem tecnologias da I4.0 e práticas de EC. Por fim, duas empresas aceitaram participar no estudo, representado na tabela abaixo. As entrevistas foram efetuadas via Microsoft Teams, utilizando o guião no Anexo A, e tiveram uma duração aproximada de 30 minutos.

Tabela 1: Caracterização das empresas que participaram no estudo; Fonte: Elaboração própria

Nome da empresa	Cargo da(s) pessoa(s) entrevistada(s)	Sector de atividade	Colaboradores (2021)	Volume de negócios (2021)
A Bolseira, S.A.	<i>Manager</i>	Fabricação de embalagens e recipientes	60	€ 10 Milhões
The Navigator Company, S.A.	Direção de Ambiente (Entrevistado 1) e Direção de Transformação Digital (Entrevistado 2)	Indústria de base florestal	3.150	€ 1.596 Milhões

3.2.1. A Bolseira

A Bolseira - Embalagens, S.A. é uma empresa portuguesa de média dimensão, sediada em Aveiro. Foi fundada em 1997 por 3 irmãos, Carlos, José e Helena Tribuna atual *Manager*, dando asas a um sonho e projeto de vida. A empresa fabrica e vende sobretudo para o segmento B2B (armazéns e grossistas de média e grande dimensão), embalagens de pequeno porte de papel *kraft* e papel em bobine, com a possibilidade de ser personalizado para várias aplicações diferentes, nomeadamente padarias, charcutarias, farmácias, entre outros (*Site A Bolseira, 2022*).

Esta é uma empresa dinâmica e que procura investir em inovação, através da aquisição de máquinas modernas, como forma de manter os seus elevados padrões de qualidade e a satisfação do cliente. Uma das ambições da Bolseira é ser líder na produção de papéis de baixa gramagem na Península Ibérica (*Site A Bolseira, 2022*).

3.2.2. The Navigator Company

A *The Navigator Company, S.A.*, é uma multinacional portuguesa de grande dimensão, com produção integrada de floresta, pasta, papel, *tissue*, soluções sustentáveis de *packaging* e produção de bioenergia. Atualmente, a empresa possui sede em Setúbal, quatro complexos industriais em Setúbal, Cacia, Figueira da Foz e Vila Velha de Rodão, e três viveiros florestais certificados pelos sistemas internacionais (FSC – *Forest Stewardship Council* e o PEFC – *Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes*) na Caniceira, Ferreira e Espirra que representam uma vasta área, cerca de 1,2% de Portugal Continental. Integrado com os viveiros, a *Navigator* possui ainda, um centro de investigação florestal RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e

Papel –, um dos maiores institutos privados a nível europeu e do mundo centrado na I&D da floresta de eucalipto e produtos provenientes desta fonte. É também a terceira maior exportadora em Portugal, sendo responsável por gerar o maior Valor Acrescentado Nacional, representando aproximadamente 1% do PIB nacional, cerca de 3% das exportações nacionais de bens, e mais de 30 mil empregos diretos, indiretos e induzidos (Site *The Navigator Company*, 2022).

A *Navigator* é líder europeu na produção de papéis finos de impressão e escrita não revestidos (UWF) e sexto a nível mundial, e o maior produtor europeu de pasta branqueada de eucalipto BEKP (*Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*) e quinto a nível mundial. Também ocupa um lugar de destaque na produção de energia renovável, através de biomassa, resultante de subprodutos e resíduos da matéria-prima utilizada no processo produtivo, sendo produtora de mais de 35% da energia total de biomassa gerada em Portugal, o que representa 4% da energia total (Site *The Navigator Company*, 2022).

Em 2021, a *The Navigator Company* lançou 2 novos produtos *tissue* para o mercado, o segmento de casa que comercializa papel higiénico, lenços e rolo de cozinha; Também foi lançada uma linha de produtos de *packaging*, através da nova marca gKRAFT, com o objetivo de agilizar a transição do uso do plástico para a utilização de fibras naturais, sustentáveis, recicláveis e biodegradáveis, reforçando assim, o compromisso da empresa com a sustentabilidade e com a preservação do ambiente (Site *The Navigator Company*, 2022; Sustainability Report *The Navigator Company*, 2021).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos estudos de caso, através de entrevistas semiestruturadas. Os resultados são apresentados por empresa, e depois de acordo com as questões de investigação, na primeira secção são abordadas as práticas de EC presentes nas empresas e como estas estão a utilizar as tecnologias da I4.0 na implementação das práticas circulares e na secção seguinte, as motivações e barreiras encontradas pelas empresas.

4.1. Bolseira

- Economia Circular

A Bolseira possui um grande foco na sustentabilidade e nos últimos 5 anos a empresa tem apostado de forma consistente na sua eficiência com o objetivo de reduzir custos e o seu impacto ambiental.

Ao nível das certificações de gestão ambiental, a Bolseira possui a certificação 14001, sendo já a sua segunda renovação. Outras certificações a mencionar são a certificação PEFC obtida em 2016, as matérias-primas utilizadas no processo produtivo são provenientes de florestas certificadas e geridas de forma sustentável; possui a certificação *OK COMPOST INDUSTRIAL* e *OK COMPOST HOME*, neste momento apenas para o saco genérico de fruta, mas a empresa pretende obter esta certificação para o resto dos produtos. Recentemente, recebeu o selo PME SUSTENTABILIDADE 2021 que reconhece o mérito das PME nacionais que assumem um compromisso com o desenvolvimento sustentável. Estas certificações são uma mais-valia para a empresa, afirmando a entrevistada que “(...) atualmente os clientes valorizam cada vez mais e procuram fornecedores com determinadas certificações.”.

Existe uma constante preocupação em criar embalagens mais sustentáveis, que originem menos lixo e possam ser totalmente recicladas ou reutilizadas. A aposta na qualidade do papel de baixa gramagem, confere uma maior resistência e permite poupar vários quilos de papel. Segundo a entrevistada, a empresa tenta ao máximo “(...)

reduzir o desperdício (...) e estender ao máximo a vida útil dos produtos gerados.”, sendo o desperdício gerado da produção, cerca de 2% a 3%. Parte desse desperdício, dá origem a um produto que depois é comercializado pela empresa, são as farripas geradas a partir de bobines, muito utilizadas no *e-commerce* para enchimento das embalagens. O desperdício que não é aproveitado, é vendido a outros fornecedores que lhe possam dar uma segunda vida, gerando assim, valor adicional.

À medida que a capacidade produtiva aumenta, os custos em energia também aumentam, assim, a Bolseira procura reduzir a sua dependência energética apostando em painéis solares, como forma de reduzir a fatura e o seu impacto ambiental, indo já no seu terceiro investimento. Além disso, alinhado com esta estratégia, também tem apostado em equipamentos e máquinas mais eficientes e recentemente renovou a sua frota de veículos, optando por soluções elétricas.

- Utilização de Tecnologias da Indústria 4.0 nas Práticas Circulares

A Bolseira atualmente possui algumas tecnologias da Indústria 4.0, tendo apostado inicialmente na digitalização, tornando a informação mais acessível a todos, mas também a possibilidade de monitorizar e analisar dados, contribuindo para a tomada de decisões ao nível da eficiência e redução de custos.

Com a aquisição de máquinas mais eficientes e modernas, grande parte da produção está automatizada, utilizam sensores em partes do processo produtivo e possuem ferramentas de recolha e análise de dados, no entanto, este último ainda não está implementado na sua totalidade, pois faz parte de um investimento que será implementado no próximo ano.

A empresa valoriza e reconhece os benefícios da adoção destas tecnologias e planeia investir mais no futuro, nomeadamente em sistemas de deteção erros e avarias, e sensores, de forma a reduzir ainda mais o desperdício.

- Motivações e Barreiras

Apesar do investimento inicial nestas tecnologias da Indústria 4.0 ser elevado, a entrevistada afirma que “(...) a empresa deve fazer um planeamento, de forma a antever os ganhos gerados no futuro, a médio e longo prazo.”, ou seja, a Bolseira iniciou este

investimento há 5 anos e só agora é que está “(...) a começar a colher os benefícios (...)” (Helena Tribuna, *Manager*), assim como a redução nos custos e no impacto ambiental, estando muito satisfeita e ambiciona investir mais na sua eficiência ao nível das matérias-primas, da produção e energia.

A formação é vista como uma barreira, nem todos os colaboradores estão abertos a estas novas tecnologias, no entanto, “(...) a nível administrativo é mais fácil a implementação deste género de mudanças.” (Helena Tribuna, *Manager*).

A empresa pensa que neste momento existem apoios suficientes do Estado, no entanto as empresas, por vezes não possuem capacidade a nível financeiro para apostar nestas inovações, ou possuem pouco conhecimento sobre estas tecnologias e os seus potenciais benefícios, dando o exemplo da dificuldade em encontrar fornecedores com os mesmos valores e certificações, um detalhe cada vez mais valorizado pela Bolseira e pelos clientes.

4.2. *The Navigator Company*

- Economia Circular

A *The Navigator Company* possui um modelo de negócio orientado para a sustentabilidade e as práticas de EC estão intrinsecamente associadas ao processo produtivo de pasta, papel e energia, sendo um “(...) processo circular desde a matéria-prima ao produto final (...)” (Entrevistado 1).

Ao nível das certificações de gestão ambiental, a *Navigator* possui a ISO 14001. Os viveiros florestais da empresa, são certificados pelos sistemas internacionais o FSC e o PEFC. Segundo o entrevistado, “(...) são certificações que demonstram o compromisso da empresa pela proteção do meio ambiente e valoriza a reputação da empresa junto dos *stakeholders*.” (Entrevistado 1).

A empresa, atualmente, reutiliza e recicla as águas utilizadas no processo produtivo, devolvendo mais de 80% das águas utilizadas ao ambiente depois de tratada. Além da reutilização das águas, a *Navigator* também investe em energias renováveis, como a biomassa e a energia solar, como forma de reduzir a sua dependência energética e o seu impacto carbónico, tendo assumido o compromisso de reduzir 86% das emissões

diretas de CO₂ dos complexos industriais até 2035 e que 80% da energia primária consumida seja de origem renovável até 2030.

Cerca de 90% das matérias-primas utilizadas são de origem renovável, “(...) a madeira utilizada na produção de pasta é proveniente dos nossos viveiros florestais certificados e geridos de forma responsável.” (Entrevistado 1). O desperdício gerado no processo produtivo, primeiramente é valorizado internamente, por exemplo, “(...) o papel que não esteja de acordo com as especificações necessárias de qualidade é desintegrado, misturado com água e volta a ser reintroduzido no processo.”, segundo o entrevistado 1. Caso não seja possível, a empresa procura encontrar parcerias externas, através da simbiose industrial com a colaboração com outros setores.

- Utilização de Tecnologias da Indústria 4.0 nas Práticas Circulares

A *Navigator* desde cedo se apercebeu das vantagens de apostar na I&D e na inovação em conjunto com o centro de investigação florestal RAIZ e parcerias com universidades. Dada a relevância das tecnologias da I4.0 para a empresa, em 2021 foi criada Direção de Tecnologia Digital, que atua de forma transversal nas várias áreas operacionais da empresa, focando-se nos temas relacionados com a Indústria 4.0 e a transformação digital, que participa nesta parte da entrevista.

A empresa utiliza várias das tecnologias mencionadas neste estudo, como a *Big Data and Analytics*, uma das primeiras tecnologias da I4.0 a ser implementada na empresa em 2014 que permite a monitorização de todo o negócio em tempo real; o investimento em máquinas e equipamentos modernos possibilitam a automatização de todo o processo de produção de pasta e papel, exigindo muito pouca intervenção; a robótica utilizada por meio de braços robóticos que efetuam no embalamento dos rolos de papel destinados a empresas gráficas em segundos; a utilização de Realidade Aumentada nas formações dos colaboradores para motivar e tornar as formações mais dinâmicas, entre outras.

Segundo o entrevistado 2, a *Big Data and Analytics* possui uma enorme importância na monitorização de dados, de forma a gerir as operações de forma mais eficiente graças à monitorização do desempenho da produção com o objetivo de “(...) otimizar o consumo de matérias, potenciando menor desperdício e maior

reaproveitamento dos materiais.”. Através da implementação do PRUA (Programa de Redução da Utilização de Água), a empresa minimiza a utilização deste recurso e maximiza o volume deste devolvido ao ambiente depois de tratado. Também têm sido adotadas soluções que ambicionam um consumo e um desempenho mais eficientes da energia, a partir da implementação do Programa de Eficiência Energética.

A empresa ainda possui várias iniciativas que visam o aumento de produtividade na floresta, através de drones com sensores que possibilitam a recolha de dados como o mapeamento de espécies florestais, pragas, doenças e recolha de outros dados, facilitando a tomada de decisões de gestão florestal.

Outro exemplo, é o projeto de Biocompósitos que resulta numa mistura de fibras naturais e bioplásticos proveniente de resíduos de biomassa, resultantes da exploração da floresta e da produção de pasta de papel, que é capaz de criar todo o tipo de produtos que atualmente são produzidos com plástico, por meio de máquinas de impressão 3D e de injeção.

- Motivações e Barreiras

A adoção de tecnologias da I4.0 em práticas circulares, é vista como uma oportunidade de inovação e possibilitando o “(...) aumento de competitividade por melhoria de eficiência e produtividade em várias etapas do nosso processo de fabrico e de cadeia de negócio.” (Entrevistado 2).

Os consumidores são cada vez mais exigentes relativamente aos impactos ambientais e sociais causados pelas empresas, e valorizam cada vez mais empresas possuam as mesmas preocupações e valores, reforçando o prestígio da empresa.

Como barreiras, o entrevistado 2 enumerou a “(...) gestão da mudança (...)”, relativamente à necessidade adaptação dos colaboradores e formação, quando é implementada uma nova tecnologia; e ainda a “adaptação da infraestrutura de suporte para a adoção de uma nova tecnologia, o aumento da carga dos recursos existentes e os ciberataques.”.

4.3. Discussão dos Resultados

Nesta secção, são discutidos os resultados apresentados anteriormente relativos à presença de práticas de EC nas empresas e como estas estão a utilizar as tecnologias da I4.0 na implementação das práticas circulares, e as motivações e barreiras encontradas pelas empresas. De seguida, os resultados obtidos pelos dois estudos de caso serão comparados.

Relativamente à EC nas duas empresas, de uma forma geral, nas entrevistas ambas possuem modelos de negócio tendo como base a sustentabilidade, possuindo em comum práticas relacionadas com as energias renováveis, através da aposta dos painéis solares e a da biomassa para a *Navigator*, a utilização de matérias-primas renováveis provenientes de florestas certificadas, preocupação pela redução do desperdício e a maximização de utilidade dos materiais. Quanto às certificações de gestão ambiental, ambas as empresas possuem a 14001 e também certificações florestais.

No que diz respeito à utilização de tecnologias da I4.0 nas práticas circulares, nas entrevistas foi possível perceber a importância das tecnologias *Big Data and Analytics* para a monitorização e análise dos dados, de forma a poderem tomar decisões sobre eficiência, otimização de recursos, redução do desperdício entre outros. A Bolseira encontra-se numa fase mais inicial, com o objetivo de melhorar a sua eficiência e reduzir custos ao nível da produção e geração de energia, através dos painéis solares, apostou na digitalização de toda a cadeia de forma a poder monitorizar e aceder à informação em tempo real. Já a *The Navigator Company* desde cedo adotou estas tecnologias que têm uma enorme importância para a empresa, principalmente atingir metas de eficiência, como no caso do projeto PRUA. A utilização de tecnologias de IdC para gestão florestal, através de Drones com Sensores que recolhem dados. Outro exemplo dado na entrevista, é o dos Biocompósitos, em que são utilizadas tecnologias como a Impressão 3D e injeção para a criação de objetos equiparáveis aos que são feitos com plástico.

Relativamente às motivações e barreiras enumeradas pelas empresas, estas estão de acordo com a literatura (Bag & Pretorius, 2022; Jaeger & Upadhyay, 2020; Jia *et al.*, 2020). A Bolseira refere o investimento inicial elevado como uma motivação e barreira,

pois nem todas as empresas têm capacidade, no entanto com planeamento, os benefícios a médio e longo prazo compensam; a formação é vista como uma barreira, pois nem todos os colaboradores são abertos à mudança; a empresa considera os incentivos do estado suficientes e motivadores; por fim, considera como barreira a falta de fornecedores com determinados valores e certificações, tem alguma dificuldade em encontrar.

A *Navigator* refere como fatores motivadores os benefícios da adoção destas tecnologias como os ganhos em eficiência e competitividade e também na redução de custos; como fator motivador os clientes que valorizam a empresa por se preocupar e possuir um papel ativo na sustentabilidade; como barreiras enumerou gestão da mudança, adaptação da infraestrutura de suporte para a adoção de uma nova tecnologia, o aumento da carga dos recursos existentes e os ciberataques.

5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS FUTURAS

O presente estudo teve como objetivo perceber como as empresas estão a utilizar as tecnologias da I4.0 para implementar práticas circulares e ainda, as motivações e barreiras encontradas por estas.

No que diz respeito à primeira questão de investigação, verificou-se através da informação recolhida, que as tecnologias da I4.0 utilizadas pelas empresas nas práticas circulares são *Big Data and Analytics*, a Internet das Coisas, através de um drone e de sensores, e a Impressão 3D. Estas tecnologias estão a ser utilizadas nas práticas circulares sobretudo para monitorização e recolha de dados, e para produção de um novo produto.

A *Big Data and Analytics* é fundamental para analisar grandes volumes de dados, principalmente quando aplicada a práticas circulares, normalmente é necessário monitorizar o processo de forma a acompanhar a evolução. Relativamente às empresas entrevistadas, ambas utilizam esta tecnologia como forma de obterem dados para a tomada de decisões, obter mais eficiência ou reduzir custos.

A IdC, segundo Kang *et al.* (2016), é um sistema computacional que recolhe e troca dados adquiridos a partir de dispositivos eletrónicos, no exemplo dado da *Navigator*, são utilizados o drone e os sensores que recolhem dados essenciais para a gestão da floresta.

Quanto à Impressão 3D, é um processo inovador de produção de objetos num modelo tridimensional (3D) através da união de camadas em que podem ser utilizados vários materiais (Kang *et al.*, 2016; Kellens *et al.*, 2017; Petrovic *et al.*, 2011). No exemplo dado da *Navigator*, é gerado um material a partir de uma mistura de fibras naturais e bioplásticos proveniente de resíduos de biomassa, resultantes da exploração da floresta e da produção de pasta de papel, o Biocompósito, que permite produzir diversos produtos equiparáveis ao plástico que provêm de uma fonte renovável.

Relativamente à segunda questão de investigação, as motivações e barreiras enumeradas pelas empresas, estas estão de acordo com a literatura (Bag e Pretorius, 2022; Jaeger e Upadhyay, 2020; Jia *et al.*, 2020). Ambas as empresas referem como fatores motivadores os benefícios da implementação destas tecnologias no longo prazo

referindo os ganhos de eficiência e a redução de custos. Também referem que os clientes cada vez valorizam empresas comprometidas com a sustentabilidade, sendo assim uma motivação na adoção de certificações e de práticas circulares. Como barreiras, ambas as empresas mencionam a adaptação dos colaboradores à mudança, na implementação de novos processos e novas tecnologias.

Os resultados obtidos através dos estudos de caso, permitiu concluir que as empresas que foram entrevistadas estão a utilizar as tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas circulares para recolher e monitorizar dados, e para criar novos produtos. Além disso, os resultados do estudo também contribuem para as empresas que tenham curiosidade em implementar estas tecnologias nas práticas circulares, através dos exemplos referidos.

O facto de apenas terem sido entrevistadas duas empresas é uma limitação no estudo, pois não é representativo. No entanto, as evidências retiradas poderão ser um ponto de partida para uma análise futura mais aprofundada da implementação das temáticas da I4.0 e da Economia Circular nas empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A *Bolseira* (2022). Disponível em: <https://www.abolseira.com/> (Acesso em: 15/09/2022).

Andersen, M. S. (2007). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science* (Vol. 2, Issue 1, pp. 133–140).

Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2022). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, 30(4), 864–898.

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4 . 0 technologies assessment : A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776.

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252.

Borghini, A. Del, Moreschi, L. & Gallo, M. (2020). Circular economy approach to reduce water-energy-food nexus. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 13, pp. 23–28). Elsevier B.V.

Boulding, K. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: Jarrett H, editor. In *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.

Dooley, L. (2002). Case Study Research and Theory Building. *Advances in Developing Human Resources*, 4(3), 335–354.

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy - Economic and Business Rationale for an Accelerated transition. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition> (Acesso em: 2022/09/30)

Ferreira, W. P., Armellini, F., & Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers and Industrial Engineering*, 149(106868).

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Jan, E. (2017). The Circular Economy e A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.

Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology*

Management, 31(4), 669–686.

Ghadge, A., Weiß, M., Caldwell, N. D., & Wilding, R. (2019). Managing cyber risk in supply chains : a review and research agenda. *Supply Chain Management*, 25(2), 223–240.

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.

Gilchrist, A. (2016). *Smart Factories* (Apress, Be).

Jabbour, A. B. L. S., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270, 273–286.

Jabbour, C. J. C., Fiorini, P. C., Wong, C. W. Y., Jugend, D., Jabbour, A. B. L. S., Seles, B. M. R. P., Pinheiro, M. A. P., & Silva, H. M. R. (2020). First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. *Resources Policy*, 66.

Jaeger, B., & Upadhyay, A. (2020). Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry. *Journal of Enterprise Information Management*, 33(4), 729–745.

Jia, F., Yin, S., Chen, L., & Chen, X. (2020). The Circular Economy in the Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review Abstract. *Journal of Cleaner Production*.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4 . 0 framework : A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425.

Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart Manufacturing : Past Research , Present Findings , and Future Directions. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING-GREEN TECHNOLOGY*, 3(1), 111–128.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.

Kellens, K., Baumers, M., Gutowski, T. G., Flanagan, W., Lifset, R., & Duflou, J. R. (2017). Environmental Dimensions of Additive Manufacturing: Mapping Application Domains and Their Environmental Implications. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 49–68.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.

Laskurain-Iturbe, I. & Uriarte-gallastegi, N. (2021). Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321(128944).

Li, J., & Yang, H. (2017). A Research on Development of Construction Industrialization Based on BIM Technology under the Background of Industry 4.0. *MATEC Web Conf.*, 100, 02046.

Mosconi, F. (2015). *The New European Industrial Policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance* (Routledge).

Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1).

Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *In Journal of Manufacturing Technology Management* (30, 3, 607–627).

Niehoff, S., & Beier, G. (2018). Industrie 4.0 and a sustainable development : a short study on the perception and expectations of experts in Germany. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 12(3), 360–374.

Ojra, A. (2019). Revisiting industry 4.0: A new definition. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 858, 1156–1162.

Pearce, D., & Turner, R. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. London: Harvester Wheatsheaf.

Petrovic, V., Gonzalez, J. V. H., Ferrando, O. J., Gordillo, J. D., Puchades, J. R. B., & Griñan, L. P. (2011). Additive layered manufacturing : sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), 1061–1079.

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing

for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2019a). Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. *Benchmarking*, 28(5), 1717–1739.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2019b). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98–113.

Rios, I. C., & Charnley, F. J. S. (2017). Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*, 160, 109–122.

Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2).

Romero, C. A. T., Castro, D. F., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., & Vargas, M. A. (2021). Synergy between circular economy and industry 4.0: A literature review. *Sustainability*, 13(8), 1–18.

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662–1687.

Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2014, 697–701.

Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227.

The Navigator Company (2022). Disponível em: <http://www.thenavigatorcompany.com/>. (Acesso em: 22/09/2022).

Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541.

The Navigator Company (2021). *Sustainability Report 2021 - A Bioindustry on the Right Side of the Future*. Disponível em: http://thenavigatorcompany.com/external/relatorio-de-contas-2021/docs/navigator_rs_2021_versao_interativa.pdf. (Acesso em: 22/09/2022).

World Population Prospects 2022: Summary of Results. (2022). Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2022-summary-results>

(Acesso em: 27/07/2022).

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10, Issue 4, 2233–2243.

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0 : state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962.

Yin, R. (2009). Case study research: Design and methods (4th edition). *Thousand Oaks, CA: Sage*.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0 : A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630.

ANEXOS

Anexo A - Guião Entrevista

Esta entrevista insere-se no âmbito da recolha de dados para o Trabalho Final de Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial no Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa.

O estudo tem como objetivo principal perceber como é que as empresas estão a utilizar as tecnologias da Indústria 4.0 para implementar práticas circulares e quais as motivações e barreiras relacionadas com a adoção das mesmas.

Nome e cargo da pessoa entrevistada:

Nome da empresa:

Sector de atividade:

Nº de funcionários:

Volume de negócios (2021):

Economia Circular

1. Já ouviu falar do conceito de Economia Circular?
2. A sua empresa possui alguma certificação de gestão ambiental (por exemplo, ISO 14001)? Que razões levaram a obtê-la?
3. Quais as principais práticas de Economia Circular adotadas pela empresa? Quais as razões que levaram a sua empresa a adotar as mesmas? Quais os principais desafios/dificuldades sentidos na adoção destas práticas?
4. Quais os principais benefícios resultantes da adoção de práticas circulares na sua empresa?

Indústria 4.0 e a sua utilização para implementar práticas circulares

5. Já ouviu falar do conceito de Indústria 4.0?
6. Quais as tecnologias da Indústria 4.0 (por exemplo: realidade aumentada, internet das coisas, computação em nuvem, big data, inteligência artificial, etc) adotadas pela sua empresa?

7. Quais os principais fatores que motivaram a empresa a adotar cada uma destas tecnologias?
8. Como é que as tecnologias da Indústria 4.0 mencionadas anteriormente, estão a ser utilizadas pela empresa para suportar a implementação de práticas circulares?
9. Algumas destas tecnologias foram adotadas apenas com o intuito de suportar as práticas de Economia Circular?
10. Quais os principais desafios/dificuldades sentidos na adoção de tecnologias da Indústria 4.0? Como ultrapassaram?