



Lisbon School
of Economics
& Management
Universidade de Lisboa

**MESTRADO EM
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO**

**TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E PRÁTICAS DA
ECONOMIA CIRCULAR EM EMPRESAS DE
MANUFATURA EM PORTUGAL**

BÁRBARA SOFIA COELHO SALDANHA DA SILVA

OUTUBRO 2023



Lisbon School
of Economics
& Management
Universidade de Lisboa

MESTRADO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO DISSERTAÇÃO

**TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E PRÁTICAS DA
ECONOMIA CIRCULAR EM EMPRESAS DE
MANUFATURA EM PORTUGAL**

BÁRBARA SOFIA COELHO SALDANHA DA SILVA

ORIENTAÇÃO:

PROFESSORA DOUTORA GRAÇA MIRANDA SILVA

OUTUBRO 2023

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Graça Miranda Silva pelo apoio com que acolheu este tema e cujo contributo foi fundamental para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos os participantes deste estudo, cujo contributo permitiu uma maior compreensão e conhecimento relativamente a um tema que tanto me entusiasma e que tem na sua essência uma importância enorme.

À minha mãe por ser sempre um apoio incondicional na minha vida.

Aos meus avós e restante família por estarem sempre presentes nos momentos mais importantes.

Ao João, por me incentivar e apoiar ao longo de todo o meu percurso e por estar sempre comigo.

Aos meus amigos de sempre por serem um exemplo e por partilharmos sempre as conquistas uns dos outros.

E por último, aos amigos que Lisboa me deu por cada palavra de incentivo.

O meu sincero obrigada a todos os que me apoiaram neste capítulo da minha vida.

Resumo

O século XX trouxe para o quadro atual da economia, enquanto ciência que gere recursos escassos para necessidades crescentes, o imperativo de implementar a Economia Circular enquanto modelo alternativo mais eficaz ao procurar reduzir o consumo de recursos, os resíduos e as emissões de gases com efeito de estufa e ao mesmo tempo atingir os objetivos de um desenvolvimento sustentável nos seus três pilares (Económico, Ambiental e Social). Contributo muito importante e sinérgico nestes objetivos surge a Indústria 4.0, em 2011, que nos aportou técnicas e tecnologias digitais, fruto da I&D, capaz de permitir um maior controlo, em tempo real, de todo o processo produtivo, em si, bem como a sua coordenação ao longo de toda a cadeia de abastecimento. Esta dissertação tem como objetivo investigar como é que o modelo de EC e as tecnologias I 4.0 estão a ser adotadas pela indústria de manufatura em Portugal, quais os aspetos e resultados mais positivos (Promotores), bem como os mais negativos (Inibidores), num quadro mais geral da sustentabilidade. Foi dado uma particular atenção ao papel facilitador das tecnologias I4.0 na implementação da circularidade.

Com recurso ao Estudo de Caso, baseado em entrevistas semiestruturadas, procurou-se contribuir para o debate académico desta temática e de algum modo poder influenciar os tomadores de decisão na adoção de I4.0 com o objetivo de acelerar a transição circular.

Os resultados obtidos permitiram concluir que as empresas analisadas utilizam mais do que uma tecnologia da Indústria 4.0, como a *Internet of Things*, *Big Data Analytics* e Robótica e que a sua utilização está a conduzir a práticas circulares dentro das indústrias, como por exemplo a redução de desperdício, redução do consumo energético e de água e seleção de fornecedores segundo critérios ambientais.

Atualmente existe um destaque para a consciencialização sobre as práticas sustentáveis e o reflexo que as mesmas podem acrescentar às empresas nos seus processos produtivos em toda a sua cadeia de valor.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Economia Circular; Desenvolvimento Sustentável; Sustentabilidade; Promotores; Inibidores.

Abstract

The 20th century brought to the current economic situation, as science generates scarce resources for growing needs, the imperative of implementing a Circular Economy as a more effective alternative model when seeking to reduce resource consumption, waste and greenhouse gas emissions and at the same time achieve the objectives of sustainable development in its three pillars (Economic, Environmental and Social). A very important and synergistic contribution to these objectives that emerged for Industry 4.0, in 2011, which provided us with digital techniques and technologies, the result of R&D, capable of allowing greater control, in real-time, of the entire production process itself, as well as their cooperation throughout the entire supply chain. This dissertation aims to investigate how the CE model and I4.0 technologies are being adopted by the production industry in Portugal, the most positive aspects and results (Promoters), as well as the most negative (Inhibitors), in a broader framework of sustainability. Special attention was paid to the facilitating role of I4.0 technologies in implementing circularity.

Using the Case Study, based on semi-structured interviews, we intend to contribute to the academic debate on this topic and in some way be able to influence decision-makers in the adoption of I4.0 with the aim of accelerating the circular transition.

The results obtained allowed us to conclude that companies demonstrated that they use more than one Industry 4.0 technology, such as the Internet of Things, Big Data Analytics and Robotics and that their use is leading to circular practices within industries, such as reduction of waste, reduction of energy and water consumption and selection of suppliers according to environmental criteria.

Currently there is an emphasis on raising awareness about sustainable practices and the reflection that they can require from companies in their production processes throughout their value chain.

Key words: Industry 4.0; Economy Circular; Sustainable development; Sustainability; Promoters; Inhibitors.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice	4
Índice de figuras	5
Índice de tabelas	5
Lista de acrónimos	6
1. Introdução	7
2. Revisão da literatura	9
2.1 Economia Circular	9
2.2 Indústria 4.0	13
2.3 Indústria 4.0, Economia Circular e Sustentabilidade	17
2.4 Motivações (Promotores) e Barreiras (Inibidores) da adoção de práticas da EC e I4.0 na Indústria	19
3. Metodologia	22
3.1 Amostragem e Recolha de Dados	23
3.1.1 Corticeira Amorim SGPS, S.A.	24
3.1.2 Delta Cafés	27
3.1.3 Jerónimo Martins SGPS, SA.	29
4. Apresentação e análise de resultados	31
4.1 Apresentação dos resultados	31
4.1.1 Economia circular	31
4.1.2 Tecnologias da indústria 4.0 e economia circular	37
4.1.3 Motivações e barreiras	39
4.2 Análise dos resultados	42
5. Conclusões e recomendações	44
5.1 Principais conclusões	44
5.2 Limitações do estudo e propostas futuras	47
Referências bibliográficas	48
Anexos	57

Índice de figuras

Figura 1: Objetivos da Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A alinhados com os ODS	25
Figura 2: Áreas de atuação e os compromissos com os ODS da Delta Cafés	28

Índice de tabelas

Tabela 1: Caracterização das entrevistas	23
Tabela 2: Caracterização da empresa colaboradora Corticeira Amorim SGPS, S.A.	27
Tabela 3: Caracterização da empresa colaboradora Delta Cafés.	29
Tabela 4: Gestão de resíduos apresentados pela Jerónimo Martins com referência a 31 de dezembro 2022	30
Tabela 5: Caracterização da empresa colaboradora Jerónimo Martins SGPS, SA.	31

Lista de acrónimos

EC – Economia Circular

I4.0 – Indústria 4.0

I&D – Investigação e Desenvolvimento

SDG – Objetivos Desenvolvimento Sustentável

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

UNEP – *United Nations Environment Programme*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

COP – Conferência das Partes

CE – Comissão Europeia

BDA – *Big Data Analytics*

IoT – *Internet of Things*

IA – Inteligência Artificial

CC – *Cloud Computing*

RA – Realidade Aumentada

ML – *Machine Learning*

TBL – *Triple Bottom Line*

CYB – Cibersegurança

BCT – *Blockchain*

1. Introdução

O problema central da economia consiste em gerir recursos escassos para necessidades crescentes. Segundo a *World Population Prospects* (United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022) a população mundial, já atingiu 7 mil milhões de habitantes em 2022 e deverá chegar aos 9,7 mil milhões de habitantes em 2050. A nível global, a quantidade de materiais extraídos duplicou desde 2010, atingindo aproximadamente 72 Gigatoneladas (Gt) e prevê-se que atinja as 100 Gt em 2030 (OECD, 2015). Em termos de desperdícios, a adoção de modelos de economia circular (EC) mostra-se, a este respeito, muito mais favorável do que qualquer prática linear, particularmente em países semidesenvolvidos ou subdesenvolvidos que continuam a gerar muitos resíduos, quer de origem doméstica quer industriais, que acabam por terminar em aterros a céu aberto.

Os problemas ambientais decorrentes da economia linear, como a poluição, as alterações climáticas, que conduziram a uma verdadeira emergência planetária, e a escassez de recursos apontam já no sentido de implementar a EC ao nível global a fim de serem atingidos os objetivos do Programa das Nações Unidas para o Ambiente e da Sustentabilidade.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SDGs) parecem ser mais viáveis combinando as práticas circulares com a Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, que assenta em tecnologias digitais, com ligação sem fios, a utilização de sensores que permitem a recolha e processamento de informação, ligando tudo a todos os envolvidos no processo produtivo, compilando dados para análise, que permitem visualizar, em tempo real, todo o sistema de negócios.

Através da combinação sinérgica entre a EC e as tecnologias I4.0 tem-se vindo a ganhar terreno em todos os sectores da economia, com particular destaque para a indústria de manufatura.

Nesta era de globalização e de industrialização massiva, as práticas económicas de toda a cadeia de abastecimento terão de centrar a sua atenção na mitigação dos problemas decorrentes do seu negócio a nível económico, ambiental e social. Deste modo, será possível criar desenvolvimento nas presentes gerações sem comprometer que as futuras gerações possam satisfazer as suas necessidades tendo em conta a escassez e rápida delapidação dos recursos naturais. Este desiderato tem colocado as organizações sob pressão no sentido de alterarem o seu modelo de produção, nomeadamente na criação e adoção de modelos de produção mais limpos, menos poluidores e, conseqüentemente, mais amigos do ambiente. Tal necessidade encontra-se contemplada nos programas económicos e ambientais (UN, OCDE, CE, IPCC, etc.) nas diferentes legislações nacionais e internacionais, nos acordos decorrentes da COP21 e 27, entre outros.

Contudo, e não menos importante, convém referir que a consciencialização desta necessidade chegou já aos próprios consumidores. Com efeito, segundo um recente estudo elaborado pela (Deloitte, 2022), *The Deloitte Global 2022 Gen Z and Millennial Survey*, 64% dos inquiridos da Geração Z afirmam estar dispostos a pagar mais para adquirir produtos sustentáveis e mais de metade exige que as organizações ajam mais pelo clima e pelo ambiente. Não nos poderemos esquecer que estas gerações constituirão, em breve, uma parte significativa das bases de dados de Clientes e do poder de decisão das comunidades.

Este trabalho encontra-se estruturado de forma sequenciada, começando por a introdução que visa apresentar a necessidade dos tópicos abordados neste trabalho.

A questão de investigação do presente trabalho visa perceber como é que as empresas do sector industrial estão a implementar práticas de EC e a adotar tecnologias I4.0 na sua atividade. Para responder a esta questão foram definidos os seguintes objectivos:

- Perceber como é que as empresas estão a utilizar a tecnologias da indústria 4.0 para suportar a adoção de práticas de Economia Circular;
- Perceber quais os resultados positivos obtidos (Promotores) com a adoção de tecnologias e práticas circulares;
- Quais as principais barreiras (Inibidores) à adoção de tecnologias e práticas

circulares;

- Perceber o papel sinérgico resultante da combinação da EC e I4.0.

Segue-se a revisão literária que irá apresentar estes tópicos ao detalhe, nomeadamente a Economia Circular, I4.0 e Sustentabilidade, seguindo-se a metodologia aplicada, com o intuito de apresentar as empresas-alvo de análise, bem como a sua influência nestes temas. Numa tentativa de responder a estas questões, este estudo adota uma metodologia qualitativa com base na análise de entrevistas semiestruturadas, conduzidas junto de empresas do setor de manufatura portuguesas. Da qual seguir-se-á o capítulo das análises que explicitarão os resultados obtidos face ao processo desenvolvido.

Por fim, esta dissertação ficará concluída com a apresentação dos resultados e conclusão, bem como algumas limitações encontradas ao longo do estudo e sugestões para abordagens e investigações futuras.

2. Revisão da literatura

2.1 *Economia Circular*

Vários investigadores e gestores atribuem a criação do conceito de EC aos economistas ambientais Peace & Turner (1990) no seu livro *Economics of Natural Resources and the Environment*, livro este onde foi utilizado pela primeira vez o termo e em que propõem um modelo económico tendo em conta o equilíbrio dos materiais e energia, inspirado na 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica, (Andersen, 2007; De los Rios & Charnley, 2017; Cruz Rios & Grau, 2020; Nascimento, *et al.*, 2019; Su, *et al.*, 2013). Contudo, Peace & Turner (1990) basearam-se na abordagem de Boulding (1966), - *Economics of the Coming Earth* – que descreve o planeta Terra como um sistema fechado e circular com capacidade limitada e no qual se considera que deve existir uma situação de equilíbrio entre a economia e o ambiente, (Ghisellini, *et al.*, 2016; Su, *et al.*, 2013).

Recordemos as ditas leis que estão na base teórica do modelo criado:

A 1ª Lei - Princípio da Conservação de Energia que nos diz que num sistema fechado a energia permanece constante, podendo não ser destruída ou criada, mas apenas transformada. Assim a energia não transformada em trabalho dissipa-se sobre a forma de calor, sendo perdida para o meio.

A 2ª Lei – Afirma-nos que a energia dissipada sobre a forma de calor não pode ser convertida noutra forma de energia, daí que esta lei seja chamada também de Lei da Entropia por medir a desordem criada num sistema pela energia dissipada.

Com base na desordem crescente criada pelos modelos de economia linear, baseados em larga escala na extração, utilização e eliminação após uso dos recursos, a Economia Circular surgiu como um modelo alternativo para obviar à degradação ambiental e ao esgotamento de recursos. Surge assim como 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, 2019; Romero, *et al.*, 2021).

Apesar dos antecedentes históricos, ainda não se chegou a uma definição única de EC Kirchherr, *et al.* (2018) e este conceito tem sido considerado dinâmico e emergente, alvo de várias formulações, que será revisitado de seguida.

No entanto, no quadro teórico são comuns e têm sido apontados como basilares na definição de EC os seguintes princípios: minimização de inputs de matérias-primas e de *outputs* de resíduos; manutenção do valor dos recursos durante todo o processo transformador; reintegração dos produtos no sistema quando atingem o final-de-vida, (Kalmykova, *et al.*, 2018). Aos princípios teóricos (3R) de reduzir, reutilizar e reciclar juntaram-se ainda o *eco design* e eco inovação, Jesus, *et al.* (2018) e a educação (De los Rios & Charnley, 2017).

A evolução conceptual admite o polimorfismo:

1) A EC é um modelo que conserva o valor acrescentado dos produtos durante o máximo tempo possível e diminui os resíduos. Conserva os recursos dentro da economia quando o produto chega ao fim-de-vida, de forma que estes possam ainda ser usados na produção de novo e assim criar valor acrescentado (Comissão Europeia, 2014).

2) A EC é um sistema restaurativo ou regenerativo por intenção e por design, que visa conservar os produtos, os seus componentes e materiais, em termos de utilidade e valor durante toda a sua vida através de ciclos tecnológicos e biológicos (Webster, 2015).

3) Modelo de produção e consumo de bens através de ciclos fechados de fluxo de materiais que tornam internos, recursos externos ambientais ligados à extração de matérias-primas e à geração de resíduos (Sauvé, *et al.*, 2016). Aquilo que se depreende desta definição, é que uma vez incorporados no processo produtivo as matérias-primas e os resíduos seguirão em ciclos sucessivos de reaproveitamento.

4) A EC é um sistema regenerativo no qual os *inputs* de recursos, a produção de resíduos, as emissões e as perdas energéticas são minimizados através de ciclos de fluxo fechados. Isto pode ser alcançado através de design de longa duração, manutenção, reparação, reuso, refabrico, remodelação e reciclagem (Geissdoerfer, *et al.*, 2017).

5) A EC é um modelo económico em que o planeamento, a extração de recursos, a produção e reprodução, são desenhados e geridos de modo que todos os processos e *outputs* permitam maximizar o funcionamento dos ecossistemas e o bem-estar humano (Murray, *et al.*, 2015).

6) A EC descreve um sistema económico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de “fim-de-vida” aumentando a reutilização alternativa, a reciclagem, a recuperação de materiais na produção/distribuição e nos processos de consumo, a diferentes níveis operacionais: ao micronível (produtos, consumidores, companhias); a nível intermédio (parques eco industriais); e a nível macro (cidades,

regiões, nacional e internacional), com vista ao objetivo de desenvolvimento sustentável em termos de qualidade ambiental, prosperidade económica, justiça social para as atuais gerações e para as vindouras (Kirchherr, *et al.*, 2017).

7) A EC é uma iniciativa de desenvolvimento sustentável com o objetivo de reduzir os sistemas de produção e consumo linear de materiais e energia através da criação de ciclos de fluxo de materiais, fluxos de energia renováveis e o seu aproveitamento em “cascata”.

A EC cria ciclos de valorização dos materiais, promovendo a sua reciclagem e desenvolvendo sistemas que aumentam a cooperação de produtores, consumidores e outros parceiros sociais, envolvendo-os no desenvolvimento sustentável (Korhonen, *et al.*, 2018).

Qualquer que seja a abordagem podemos depreender que estes ciclos de aproveitamento visam sobretudo a poupança de recursos materiais e energéticos, bem como a diminuição de resíduos e desperdícios, (Webster, 2015).

Segundo o modelo operacional de EC publicado no “*Journal of Cleaner Production*” proposto por Suárez-Eiroa, *et al.* (2019), todo o processo se basearia em sete princípios fundamentais que regem o seu desempenho:

- Princípio Um: Ajustar os *inputs* à taxa de regeneração do sistema;
- Princípio Dois: Ajustar os *outputs* à taxa de absorção do sistema (quer para resíduos biodegradáveis quer tecnológicos);
- Princípio Três: Fechar ou dar forma de ciclo ao sistema;
- Princípio Quatro: Manter o valor dos recursos dentro do sistema;
- Princípio Cinco: Reduzir ao máximo o tamanho do sistema;
- Princípio Seis: Criar o design para o sistema;
- Princípio Sete: Educar para a EC.

Contudo a implementação efetiva da EC depende dos resultados obtidos na execução das práticas circulares a três níveis, i.e., micro, meso e macro (Yuan, *et al.*, 2008).

No micronível as práticas circulares visam implementar a estratégia EC dentro de uma só empresa ou organização. Estão, neste caso, a adoção de modelos de produção limpos, o ecodesign, os consumos/compras “verdes”, a reciclagem e a reutilização (Ghisellini, *et al.*, 2016; Su, *et al.*, 2013; Liu, *et al.*, 2018).

No nível meso encontram-se as práticas de cooperação entre empresas e organizações (caso das simbioses) com o objetivo de obter benefícios ambientais e económicos. Exemplo disto será a criação de parques eco industriais de empresas que, através da ação conjunta, partilham e utilizam os recursos disponíveis de um modo efetivo e eficiente (Cote & Hal, 1995; Côté & Cohen-Rosenthal, 1998).

A nível macro as práticas EC alargam as suas fronteiras e visam os esforços desenvolvidos no sentido de entender como os recursos naturais podem ser utilizados eficientemente a nível regional, nacional ou até internacional (Murray, *et al.*, 2015).

Estas práticas circulares estão sistematizadas detalhadamente no estudo de (Neri, *et al.*, 2023) que servirá de referência a entrevistas semiestruturadas desenvolvidas neste estudo de caso servindo de referência e constando em anexo.

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 foi lançada pelo governo alemão, em 2011, como parte de uma estratégia da alta-tecnologia para fazer face aos novos desafios económicos e assegurar a competitividade da indústria de manufatura (Kagermann, *et al.*, 2013). Esta marca o início da 4ª Revolução Industrial caracterizada pelo desenvolvimento e integração das novas tecnologias de informação e comunicação nos processos empresariais. Assim, a existência de desenvolvimentos tecnológicos, como a troca de dados ao longo de toda a cadeia de abastecimento referente aos fornecedores, consumidores e aos próprios

produtos, está intimamente ligada à *Internet of Things* que permitiu a fusão entre o mundo real e virtual.

Esta fusão realizou-se através da digitalização de toda a cadeia de abastecimento recorrendo a sistemas ciberfísicos que incluem tecnologias como a *Big Data Analytics*, a IoT, *Cloud Computing*, a Realidade Aumentada, a Impressão 3D, a Simulação, a Automação Robótica, os Sensores, a Cibersegurança e outras tecnologias digitais e tecnologias capazes de promover a Sustentabilidade ao tornar os processos de fabrico inteligentes. A este respeito Daú, *et al.* (2019) afirma que a 4ª Revolução Industrial é integradora ao trazer circularidade ao processo e contribui para atingir os SDGs.

Apesar da definição de Indústria 4.0 não parecer consensual na até então literatura, apresentamos a sugerida por Carvalho, *et al.* (2018) que descreve a I4.0 como um conjunto de tecnologias e instrumentos digitais utilizáveis em tarefas em rede, que são modulares, mas que virtualmente ligados entre si podem responder às necessidades internas e externas em tempo real.

As principais tecnologias digitais da Indústria 4.0 propostas por (Rüßmann, *et al.* (2015) e descritas por Cagno, *et al.* (2021) são apresentadas de seguida. No entanto, esta listagem pode sofrer adaptações de estudo para estudo e por vezes são genericamente referidas.

IoT – A *Internet of Things* permite a ligação, a interação e a troca de informação entre pessoas e/ou objetos. É um sistema que transfere dados sobre produtos, serviços, actividades, processos ou tarefas ou dados de tarefas em tempo real, apoiando assim a gestão dinâmica da informação, considerando-a como 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). Para De los Rios & Charnley (2017) a IoT permite aumentar a inteligência digital e para Alcayaga, *et al.* (2019) altera os modelos de negócios e tem potencial contributivo para as práticas de EC. Atualmente, muitas empresas adotam a IoT para melhorar a eficácia operacional (Tarifa-Fernández, *et al.*, 2019). A adoção desta tecnologia pode reduzir custos, reduzir resíduos, e alocar

recursos não necessários a outras produções. É aplicável na melhoria da generalidade dos produtos, gerando menos detritos, poupando na cadeia de abastecimento, aumentando os pedidos e a satisfação dos clientes. Além disso tem contribuído na transição para a EC e está presente em todos os produtos ditos inteligentes (Alcayaga, *et al.*, 2019; Jabbour, *et al.*, 2019; Bressanelli, *et al.*, 2018).

Big Data Analytics (BDA) – É uma tecnologia digital que permite registar, armazenar, gerir, processar e analisar grande volume de dados. O acesso a estas bases de dados gigantescas permite às organizações melhorar a eficiência dos processos, a flexibilidade, a agilidade e a personalização dos produtos. São importantes para abordar as decisões de gestão, mesmo em termos de oferta e procura.

Cloud Computing (CC) – É uma tecnologia digital que permite o armazenamento de dados provenientes de vários sistemas e equipamentos sem ocupar espaço físico local, que podem ser acedidos através da Internet, por motores de busca e processamento localizados em servidores remotos em tempo real.

Realidade Aumentada (RA) – Ou realidade virtual (RV) é uma tecnologia digital que permite às pessoas aceder a espaços virtuais interativos baseados na realidade, recorrendo às capacidades visuais e de som geradas pelo computador, bem como a outros efeitos, permitindo melhorar a experiência do mundo real através da recolha de dados.

Simulação (SIM) – Tecnologia digital que visa o desenvolvimento de modelos baseados na realidade a partir de dados recolhidos e processados por sistemas de BDA e CC, de forma a criar vários cenários possíveis que podem orientar a tomada de decisões (Romero, *et al.*, 2021).

Impressão 3D ou Additive manufacturing (AM) – Processo de produção de objetos tridimensionais por deposição adicional de camadas de vários materiais (compósitos, metálicos, plásticos) sem necessidade de recorrer a moldes, permitindo maior eficiência na utilização de recursos, maior flexibilidade e possibilidade de personalização (Kang, *et al.*, 2016).

Robótica (ROBs) – É uma tecnologia utilizada em muitas atividades económicas, incluindo a industrial, que permite replicar as ações humanas utilizando a inteligência artificial. Esta é definida como a capacidade que um sistema tem de interpretar dados externos corretamente, aprendendo com esses dados, sendo capaz de utilizar essa aprendizagem para atingir objetivos específicos e executar tarefas que exigem adaptação flexível (Kaplan & Haenlein, 2019). Implicitamente a IA está ligada à *machine learning* sendo esta a capacidade um sistema perceber dados por reconhecimento de voz, áudio, imagem ou controlar, mover e manipular objetos com base na informação aprendida, quer seja um *robot* ou outro objeto a ele ligado. Os robots têm a capacidade de interagir uns com os outros em separado e em conjunto com os operadores, (Romero, *et al.*, 2021).

Cibersegurança (CYB) - Métodos preventivos utilizados para proteger a informação das organizações de ser roubada, comprometida ou atacada (Bai & Sarkis, 2020; Ghadge, *et al.*, 2019).

Blockchain (BCT) – É um sistema de registo de informação seguro, difícil ou impossível de ser alterada, pirateada ou falsificada. É na essência uma plataforma de transações registadas e partilhadas em toda a rede de computadores que a ela têm acesso. No fundo garantem a transparência do sistema. Um banco de dados blockchain armazena em tempo real com total partilha de informação entre todos os intervenientes em rede, permitindo monitorizar pedidos, pagamentos, compras e outros dados. Estas tecnologias estão na base da criação da *Bitcoin* e outras moedas digitais, trabalha com dados encriptados (Nakamoto, 2008).

As tecnologias da I4.0 vieram trazer inúmeras aplicações e vantagens competitivas para as organizações, ao melhorar a performance e a produtividade por monitorizar e controlar: os diferentes parâmetros dos processos produtivos em tempo real; o estado da produção; o consumo energético; os fluxos de matéria e gastos de energia; as ligações entre clientes e os produtos disponíveis; a escolha dos fornecedores, as orientações do mercado e as exigências dos consumidores.

2.3 Indústria 4.0, Economia Circular e Sustentabilidade

A relação entre os conceitos EC e I4.0 tem ganho interesse crescente por parte dos decisores políticos, das empresas e dos investigadores de todo o mundo (*Geissdoerfer, et al., 2017*). Com efeito têm sido dois dos temas alvo de maior atenção por parte da investigação ligada à indústria (*Suárez-Eiroa, et al., 2019; Rüßmann, et al., 2015*). Contudo, ainda existem poucos estudos que analisam esta relação (*Romero, et al., 2021; D’Adamo, et al., 2017*). Mais, existe ainda uma grande distância entre a teoria e a prática (*Gorissen, et al., 2016*).

A EC visa sobretudo reduzir o consumo, as emissões e a criação de desperdícios, aumentar a vida útil dos produtos e serviços e otimizar a energia (*Jabbour, 2020*). A EC é um sistema industrial que é restaurativo ou regenerativo por intenção e design, que visa substituir o conceito de “fim-de-vida” por reutilização, restauração e reciclagem. Para além disso, procura um modelo energético renovável, elimina o uso de matérias-primas tóxicas e procura a redução dos desperdícios ou lixos, através da criação de um design de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócio (*Ellen Macarthur Foundation, 2013*). As barreiras à EC podem ser ultrapassadas com a adoção de tecnologias I4.0. A I4.0 surge como uma tecnologia emergente para alcançar a eficiência e precisão necessárias à EC, (*Romero, et al., 2021*).

Neste sentido, a combinação da I4.0 com a EC parece ter um papel sinérgico, uma vez que esta gera uma enorme quantidade de dados (de desperdícios, subprodutos, matérias-primas e consumos energéticos, entre outros) durante o processo produtivo ou na própria cadeia de abastecimento que será digitalmente monitorizada e processada em tempo-real. A I4.0 torna a cadeia mais dinâmica e eficiente (*Rajput & Singh, 2019*).

Niehoff & Beier (2018) referem, no entanto, a necessidade de a I4.0 ser ela própria analisada e avaliada do ponto de vista da sustentabilidade, pois a mesma leva a um aumento do consumo de recursos, a fim de fornecer soluções para os problemas ambientais e industriais. *Gilchrist (2016)* refere ainda a necessidade de ter em conta esta perspetiva, pois permite às empresas combinar qualidade e competitividade geral em

soluções ambientais.

Rosa, *et al.* (2019) afirma que “uma empresa que pretenda mudar de um modelo económico linear para um modelo circular, não pode evitar as tecnologias 4.0 dentro da sua cadeia de valor”. Só assim poderá ser feita uma gestão eficaz do ciclo de vida dos produtos, da eficiência dos recursos, da reutilização, da reciclagem, da remanufactura e da gestão da cadeia de abastecimento.

Estudos, ainda escassos, apontam no sentido das tecnologias da I4.0 terem trazido um impacto positivo na redução do consumo dos *inputs*, na redução dos desperdícios e na redução das emissões. Entre estas técnicas e tecnologias, aquelas que parecem adaptar-se melhor com a EC são a impressão 3D (que permite poupar de 20 a 85% no consumo de recursos materiais), a Robótica, a *Big Data Analytics* e a IoT, que emergem como as mais promissoras tecnologias da I4.0 capazes de suportar a implementação de práticas de EC (Neri, *et al.*, 2023).

Rosa, *et al.* (2019), abordando o tema, relacionou as práticas circulares e as tecnologias da I4.0, onde demonstrou a existência de um conjunto de relações:

Do ponto de vista da I4.0:

- É possível confirmar que as tecnologias da I4.0 podem ter um efeito positivo na gestão do ciclo de vida dos produtos;
- Não foi possível estabelecer este efeito no caso da BDA;
- Este efeito varia de tecnologia para tecnologia da I4.0;
- AM está relacionada com a reciclagem de produtos e materiais;
- CPS (*Cyber-Physical Systems*) alavancam o desenvolvimento de serviços inovativos, particularmente no caso das aplicações de manutenção;
- SIM está relacionada com uma melhor gestão de redes complexas da cadeia de abastecimento ou na remanufactura de produtos complexos;
- O papel da BDA e IoT não apresenta resultados muito claros mas podem afectar a EC de diferentes formas.

Centrando a observação nos itens ligados à EC:

- É mais fácil identificar que técnica ou tecnologia da I4.0 se encaixa melhor com o item EC respetivo;
- AM, BDA e IoT foram considerados os melhores facilitadores da implementação da EC;
- CPS permitem melhorar as estratégias de gestão do ciclo de vida dos produtos;
- AM permite novas formas de reutilização e de processos de reciclagem;
- IoT e BDA, quando aplicadas juntas, melhoram a exploração de matérias-primas naturais;
- SIM, BDA e IoT apoiam o desenvolvimento de modelos de EC e quando combinados com os sistemas ciber-físicos o desenvolvimento de novos serviços;
- SIM e IoT encaixam melhor, na melhoria da gestão das complexas cadeias de abastecimento.

A análise sistemática da relação entre as tecnologias da I4.0 e a EC tem sido abordada de diferentes perspetivas (qualitativas, quantitativas e mistas) e conduzido a resultados ainda pouco decisivos, carecendo de mais investigação.

É neste contexto que centraremos este TFM.

2.4 Motivações (Promotores) e Barreiras (Inibidores) da adoção de práticas da EC e I4.0 na Indústria

O principal promotor da adoção de práticas circulares e I4.0 nos processos industriais parece ser o facto de aparecerem ligadas ao termo Sustentabilidade (Bag & Pretorius, 2022).

Muitos autores sugerem que práticas EC, I4.0, produção sustentável e consumo sustentável visam atingir vários dos objectivos SDG. Rajput & Singh (2019) no seu estudo, reconhecem uma profunda ligação entre a I4.0 e a EC, sendo que tecnologias de

IA conduzem esta ligação.

Bag & Pretorius (2020); Machado, *et al.* (2020); Jabbour, *et al.* (2019) e muitos outros autores também versam esta temática numa tentativa de correlacionar I4.0, EC e Sustentabilidade.

Os objetivos do desenvolvimento sustentável (SDGs) foram delineados pelas Nações Unidas em 2015 (United Nations General Assembly, 2015) e consistem em 17 objetivos principais, que visam atingir o bem-estar mundial a nível do *triple bottom line*: económico, ambiental e social (Programme United Nations Environment, 2015).

Estão contemplados nestes objetivos 169 sub-itens associados, tais como: a gestão dos desperdícios, a gestão dos recursos, a poluição da água, a gestão energética, o melhoramento dos solos, a erradicação da fome e da pobreza, o respeito pela condição e direitos humanos, o emprego, entre outros. Schroeder, *et al.*, (2018) estudou a ligação entre a EC e esses objetivos do desenvolvimento sustentável.

Os resultados do estudo mostram uma relação direta entre as práticas circulares e 21 dos sub-itens associados aos SDG e uma contribuição indireta com outros 28 sub-itens incorporados nos SDG, embora ressalvem a necessidade de mais estudos.

A produção sustentável pode ser definida como a criação de bens e serviços usando processos e sistemas não poluidores, conservativos de energia e recursos naturais, economicamente viáveis, seguros e saudáveis para os trabalhadores, comunidades e consumidores segundo o *Lowell Center for Sustainable Production*. Também Brundtland & Ofstad (1994) definiram a produção e o consumo sustentável como o uso de serviços e produtos relacionados, capazes de responder às necessidades básicas, trazendo uma melhor qualidade de vida, minimizando o uso de recursos naturais, a libertação de tóxicos, bem como as emissões de poluentes e desperdícios após o ciclo de vida dos produtos, de forma a garantir as necessidades das gerações futuras.

A criação de novos modelos de negócio, com novas ofertas de valor para uma maior competitividade, no campo estratégico é referido na literatura como uma das motivações para a adoção de modelos circulares digitais. No campo operacional, a

combinação circular digital aporta maior eficiência, a redução de custos, a melhoria de qualidade, a celeridade no processo produtivo e uma melhor gestão de stocks e de transportes. Em termos sociais, está presente a melhoria da satisfação dos trabalhadores por redução de tarefas repetitivas e monótonas. Do ponto de vista ambiental, encontram-se a poupança de recursos e a redução do impacto ambiental negativo.

Alguns estudos empíricos concluem que a relação positiva da transição circular digital é superior para as grandes empresas em comparação com a adoção do modelo pelas PMEs, devido à visão temporal estratégica, tendo em conta o tempo de retorno de resultados (longo prazo *vs* curto/médio, respetivamente) (Khan, *et al.*, 2021).

No entanto, a literatura identifica também aspetos negativos e barreiras à implementação do modelo circular digital, entre estas estão: os elevados custos iniciais de instalação; a complexidade das cadeias de abastecimento; a dificuldade de cooperação entre empresas (dificultando a simbiose empresarial); a informação inadequada sobre a conceção dos produtos e dos processos de fabrico; e, o tempo de paragem para a conversão industrial (Su, *et al.*, 2013; Liakos, *et al.*, 2019).

Jabbour, *et al.* (2018) refere ainda como barreiras à digitalização e á adoção de práticas circulares a falta de coordenação entre as várias áreas organizacionais, preocupações com a cibersegurança, a falta de formação dos colaboradores, a fiabilidade da interconectividade entre máquinas, a integridade dos dados relacionados com a manutenção e/ou informação disponível.

Sobre esta relação entre as tecnologias I4.0, a EC e a interface entre ambos, a sua adoção e os seus efeitos, os estudos são ainda escassos e insuficientes (Khan, *et al.*, 2021).

Como se viu, são referidos aspetos motivadores, os designados Promotores, bem como os aspetos negativos e barreiras, denominados de Inibidores.

3. Metodologia

Tendo por base a revisão da literatura apresentada na secção anterior, pretende-se neste capítulo, apresentar as estratégias e opções metodológicas seguidas neste estudo.

Assim sendo, tem-se como principal objetivo perceber como é que as empresas estão a utilizar e a combinar as tecnologias da indústria 4.0 com a implementação de práticas circulares, bem como determinar quais são as principais motivações/promotores e as barreiras/inibidores.

São, por enquanto, apresentados estudos com informação pouco detalhada e por isso, optou-se por uma metodologia qualitativa, mais especificamente o estudo de alguns casos, cuja análise poderá contribuir para um melhor entendimento da forma de adoção de práticas EC, tecnologias I4.0, bem como a ligação entre estas. Para o efeito foram conduzidas entrevistas semi-estruturadas tendo por base o guião apresentado em anexo.

Tal recurso a entrevistas semiestruturadas constitui um método apropriado de complementar o conhecimento existente quando a literatura empírica relacionada se mostra muito fragmentada (Neri, *et al.*, 2023; Kallio, *et al.*, 2016). Aliás, entrevistas semiestruturadas são o método correto para abordar preliminarmente e iluminar tópicos de investigação específicos, pois geram de imediato a livre discussão (Cotta, *et al.*, 2022; Negri, *et al.*, 2022; DiCicco-Bloom & Crabtree, 2006). A análise documental foi também utilizada na recolha de dados.

As entrevistas foram realizadas junto de uma pequena amostra de empresas que pertencem ao sector industrial, especificamente de manufatura em Portugal (Corticeira Amorim SGPS, S.A., Delta Cafés, e Jerónimo Martins SGPS, SA.). Um dos critérios para a escolha das empresas foi o facto de as mesmas serem membros do *Business Council for Sustainable Development* (BCSD). Assim, assume-se que estas empresas assumiram compromisso ativo com a transição para a Sustentabilidade. Outro critério de seleção, é as empresas apresentarem os respetivos Relatórios de Sustentabilidade no seu site, permitindo a recolha de mais informação através da análise dos mesmos.

Tendo como base as entrevistas realizadas ao gestor de produção ou responsável de sustentabilidade das empresas analisadas, nos Relatórios de Sustentabilidade de todas as empresas apresentadas neste estudo, no Relatório de Declaração Ambiental da Delta Cafés, no Relatório e Contas Anual da Jerónimo Martins SGPS, SA. e no Relatório Anual de Contas Consolidado da Corticeira Amorim SGPS, S.A. foi efetuada uma análise na procura de informação que sustente algumas das respostas às questões colocadas.

3.1 Amostragem e Recolha de Dados

As empresas-alvo do presente estudo são: Corticeira Amorim SGPS, S.A., Delta Cafés e Jerónimo Martins SGPS, SA., cuja descrição e caracterização se encontra de seguida. Importa referir que todas as entrevistas decorreram no ano de 2023.

Caracterização das entrevistas							
Nome da Empresa	Entrevistado	Cargo desempenhado na empresa	Tempo de permanência no cargo desempenhado	Ano do Relatório de Sustentabilidade disponibilizado	Data da realização da entrevista	Duração da entrevista	Local da entrevista
Corticeira Amorim SGPS, S.A. Amorim Cork Composites	A	Coordenador da área de Sustentabilidade	1 ano e 9 meses	2022	18/09/2023	1h e 25m	MS Teams
Delta Cafés Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda.	B	Gestor de Produção	11 meses	2018	11/09/2023	1h e 11m	MS Teams
Jerónimo Martins SGPS, SA. Cozinha de Odivelas	C	Gestor de Produção	3 anos e 4 meses	2021	14/09/2023	1h e 16m	MS Teams

Tabela 1: Caracterização das entrevistas

Fonte: Elaboração própria

A tabela 1 caracteriza as entrevistas realizadas às empresas que vão constituir este estudo de caso, que apresenta detalhadamente o cargo desempenhado na empresa pelo entrevistado, assim como o tempo de permanência face ao cargo que desempenha, a data da realização da entrevista, a duração e local e também, o ano dos Relatórios de Sustentabilidade mais recentes disponibilizados.

Face aos contactos efetuados para a realização das entrevistas todas elas foram remetidas para unidades de negócio específicas das empresas.

A entrevista realizada à Corticeira Amorim, S.G.P.S. foi direccionada para a unidade de compósitos aglomerados, designada *Amorim Cork Composites* por apresentar uma maior aplicabilidade nas práticas de EC juntamente com as tecnologias da I4.0.

A entrevista efetuada à Delta Cafés foi canalizada para a *Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda.*, por ser a unidade onde é produzido o café e por isso, existe um

maior conhecimento nos processos ligados às práticas circulares e utilização das tecnologias I4.0.

Por fim, a entrevista feita à Jerónimo Martins SGPS, SA. foi realizada junto da unidade *Cozinha de Odivelas*, onde existe todo o processo produtivo de comida pré confeccionada e confeccionada e onde os processos realizados diariamente assentam em práticas circulares bem como na ligação entre as tecnologias da I4.0.

Importa referir que a amostra estudada é muito reduzida dado que a maioria das empresas seleccionadas rejeitou o convite para participar no estudo.

Ainda assim, o painel de empresas apresentado mostrou total compreensão e agrado em contribuir para a realização deste estudo de caso.

3.1.1 Corticeira Amorim SGPS, S.A.

A presente empresa foi criada em 1870 e é hoje uma das maiores e mais empreendedoras multinacionais portuguesas, tendo centrado o seu negócio na cortiça. Apresenta-se como líder mundial nesse setor, que procura progredir por caminhos sustentáveis e de diversificação.

Conta com mais de 30 000 clientes industriais em mais de 100 países e nos mais variados setores: aeroespacial, automóvel, construção, desporto, energia, arquitetura e design, vinhos e calçado. Atualmente, o Grupo Amorim integra 3 unidades agroflorestais, 10 unidades industriais de preparação de cortiça, 20 unidades industriais e 63 empresas de distribuição.

De acordo com o Relatório Anual de Contas Consolidado de 2022, a empresa Corticeira Amorim tem como principal esteio da atividade, a colocação em prática dos princípios da economia circular e consideram ainda que a combinação dos desperdícios das diversas indústrias com a cortiça pode originar novos produtos, soluções ou até implementações práticas. Desta forma, esta empresa tem-se focado nas seguintes ações:

- Aplicar um processo de produção integrado que aproveita todos os subprodutos de cortiça;

- Reduzir a geração de resíduos e promover a sua valorização;
- Prolongar a vida útil dos materiais através de simbioses industriais;
- Reciclar produtos de cortiça no fim do ciclo de vida.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Corticeira Amorim, S.G.P.S, de 2022, a empresa tem em prática atualmente o reaproveitamento de cortiça a 100%; detém 89% de taxa de valorização dos resíduos não cortiça; concentra 88% de materiais sustentáveis (renováveis e reciclados) e 82% de materiais renováveis; tem programas de reciclagem de cortiça em 5 continentes (incluindo projeto *Green Cork* em Portugal, o projeto *Ecobouchon* em França, programa *ETICO* em Itália) e apresenta 1 052 toneladas de cortiça reciclada (equivalente a 234 milhões de rolhas de cortiça).

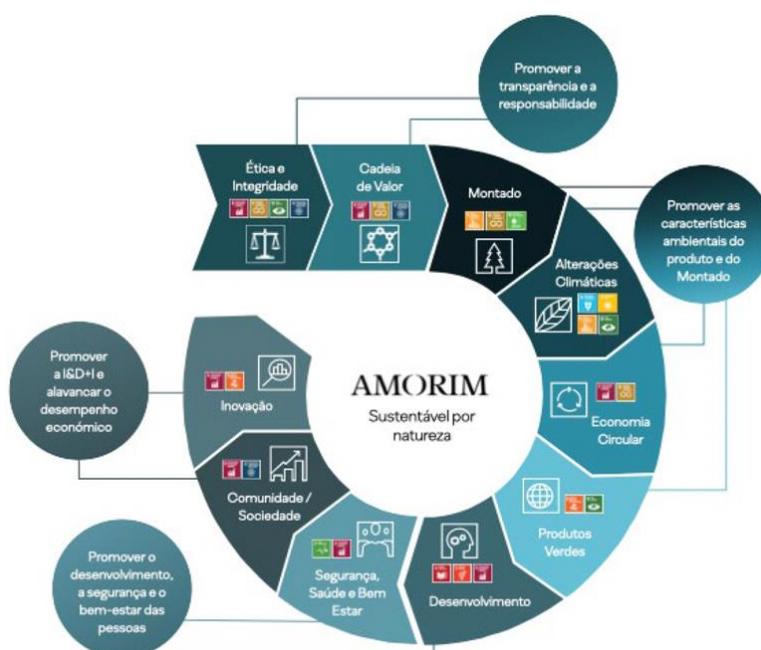


Figura 1: Objetivos da Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A alinhados com os ODS
Fonte: Relatório de Sustentabilidade de 2022 da Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A

Não obstante desta continua procura de melhoria e inovação, a empresa Corticeira Amorim foi galardoada nos Prémios de Sustentabilidade da revista “*World Finance*”, distinguida pelo quarto ano consecutivo em 2022, na categoria *Wine Products Industry*.

Estes prémios visam distinguir as empresas que apresentam o seu compromisso com a redução das emissões em toda a cadeia de valor, tendo sido reconhecida pela “*promoção do montado, da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas; pelo fomento,*

suporte e investimento em Investigação & Desenvolvimento + Inovação, e pela implementação dos melhores princípios, modelos e práticas da economia circular”.

De acordo com o Relatório Anual de Contas Consolidado de 2022 da Corticeira Amorim SGPS, S.A., a *Amorim Cork* também encara a sustentabilidade como um dos pontos fortes da sua atividade e do compromisso que apresenta com as gerações futuras.

Foi a primeira empresa de produção de rolhas do mundo que publicou uma avaliação do ciclo de vida do produto, tendo sido revista por entidades especializadas independentes, assim como a única empresa de rolhas de cortiça a ter publicado quinze estudos de avaliação ligado ao tema da pegada de carbono dos seus produtos e também a primeira empresa de cortiça no mundo a obter a certificação oficial do *Forest Stewardship Council*.

Relativamente aos produtos verdes ligados à produção da Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A, podemos verificar que segundo o Relatório Anual de Contas Consolidado de 2022:

De 50% de vendas consolidadas com estudos de análise de ciclo de vida e pegadas de carbono:

- As rolhas foram a 1ª alternativa para clientes que querem melhor qualidade e contribuir para a redução das alterações climáticas;
- Os pavimentos e revestimentos são 100% com certificação da qualidade do ar interior e contribuem para certificações de construção sustentável;
- Nos aglomerados compósitos mais de 500 aplicações desenvolvidas para vários setores de atividade tendo a inovação e a economia circular no seu topo;
- Os produtos dos isolamentos contêm 0% de aditivos pelo que são simultaneamente 100% naturais, recicláveis, reutilizáveis e de grande longevidade sem perda de características.

Caracterização da empresa colaboradora			
Nome da Empresa	Setor de Atividade	Volume de Negócios (Ano 2022)	Número de colaboradores (Ano 2022)
Corticeira Amorim SGPS, S.A.	Transformadora de Cortiça	1 021 400 000 €	4 999

Tabela 2: Caracterização da empresa colaboradora Corticeira Amorim SGPS, S.A.

Fonte: Elaboração própria; Informação disponibilizada no decorrer da entrevista.

3.1.2 Delta Cafés

A empresa Delta Cafés foi criada em 1961 por Rui Nabeiro, recentemente falecido, na região de Campo Maior, especializada na torra e comercialização de cafés.

Atualmente constitui um grupo internacional, o Grupo Nabeiro, que tem presença em 40 países e conta com 25 empresas organizadas por áreas estratégicas de negócios: alimentação, bebidas, indústria, serviços, imobiliário, restauração e hotelaria.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Delta Cafés de 2018, trata-se de um grupo empresarial com forte compromisso de sustentabilidade e respeito ambiental envolvido em vários projetos e parcerias de negócios circulares, todos eles tendo como pano de fundo o café.

Desta forma, a empresa Delta Cafés, apresenta um Sistema de Gestão Ambiental que permite à própria e ao Grupo: Minimizar os Riscos Ambientais; Aproveitar as sinergias entre negócios; Formação e Competências, com a sensibilização ambiental aos colaboradores; entre outras.



Figura 2: Áreas de atuação e os compromissos com os ODS da Delta Cafés
Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2018 da Delta Cafés

Segundo o Relatório mais recente de Sustentabilidade da Delta Cafés, a Economia Circular apresenta como principal compromisso, a Promoção e *eco-design* e a circularidade das matérias. Para tal, recorrem a estratégias de valorização das cápsulas Delta Q, através de um programa de reciclagem; bem como a valorização do ambiente e das pessoas, apoiando financeiramente a instituição “Abraço” por cada cápsula reciclada; e a valorização da utilização de materiais mais sustentáveis.

Em 2009, a empresa Delta Cafés apresentou um projeto de âmbito pedagógico às escolas portuguesas, tendo sido reconhecida por esse mesmo projeto em 2013 pela União Europeia, considerando-o como inovador no “*Entrepreneurship Education – A Guide for Educators*”, com o objetivo de desafiar outros estabelecimentos de ensino a adotá-lo. Em 2014, recebeu um reconhecimento pelo seu caráter inovador na Europa, reconhecendo este mesmo projeto como um dos vinte projetos mais inspiradores pela OCDE.

Segundo a Declaração Ambiental 2021 da Delta Cafés, em 2007 a Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda, obteve a Certificação do Sistema de Gestão Ambiental (ISO 14001:2004). Possui a verificação de acordo com os requisitos do Sistema Comunitário de Eco-Gestão e Auditoria EMAS desde 2009, promovido pela Comissão Europeia que é aplicável a todas as organizações interessadas na redução e

mitigação o seu impacto ambiental.

E ainda, em 2021 a Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda obteve a certificação 3R⁶ que lhe foi atribuída pela “Ponto Verde Serviços” que garante que a organização implementou práticas ambientalmente responsáveis na gestão de resíduos, gerando a otimização dos procedimentos de deposição seletiva, maximizando a quantidade enviada para reciclagem e que garante a adequação do destino final dos mesmos.

Caracterização da empresa colaboradora			
Nome da Empresa	Setor de Atividade	Volume de Negócios (Ano 2022)	Número de colaboradores (Ano 2022)
Delta Cafés	Alimentação	460 000 000 €	3 800

Tabela 3: Caracterização da empresa colaboradora Delta Cafés.

Fonte: Elaboração própria; Informação disponibilizada no decorrer da entrevista.

3.1.3 Jerónimo Martins SGPS, SA.

O grupo Jerónimo Martins, é um grupo internacional com sede em Portugal, fundado em 1792, com presença nos setores de Distribuição Alimentar e Retalho Especializado. O core da atividade é a distribuição alimentar, representando 98% do negócio consolidado. Detém nomes como a *Biedronka* na Polónia, Pingo Doce e Recheio em Portugal (sendo este último no comércio por grosso), *Ara* na Colômbia, dos quais todos estão presentes neste setor. Para além deste segmento, o grupo detém ainda as marcas *Hussel* e *Hebe*, na Polónia, presentes no retalho especializado, e a marca *Jerónimo* na área da cafetaria. Ao todo compreende 5 350 lojas espalhadas ao longo de 10 000 Km entre a Colômbia, Portugal e Polónia.

Segundo o Relatório de Sustentabilidade da Jerónimo Martins SGPS, SA. de 2021, na vertente da Economia Circular, é possível verificar que o Grupo Jerónimo Martins se encontra ativo na prevenção, minimização e valorização dos resíduos gerados pelas operações do Grupo e na procura da sensibilização do tópico para com os consumidores.

Desta forma, será possível poupar e preservar os recursos naturais que seriam frequentemente utilizados para as mesmas produções.

Gestão de resíduos apresentados pela Jerónimo Martins		
Resíduos encaminhados para valorização	Toneladas de fruta e legumes "feios" integrados na cadeia de valor	Ecopontos nas lojas do Grupo
85,50%	31 185	10 543

Tabela 4: Gestão de resíduos apresentados pela Jerónimo Martins com referência a 31 de dezembro 2022

Fonte: Elaboração própria adaptado do site da Jerónimo Martins, (<https://www.jeronimomartins.com/pt/responsabilidade/respeitar-o-ambiente/gestao-de-residuos/>)

Além disso, o grupo Jerónimo Martins tem diversos reconhecimentos na vertente sustentável, do qual será destaque a distinção obtida na categoria da Economia Circular, com reconhecimento para a estratégia integrada de combate ao desperdício alimentar do Prémio Nacional de Sustentabilidade. Em 2021, o projeto Juliana venceu na categoria “Comunicação de Sustentabilidade” e a logística do Pingo Doce venceu em “Descarbonização”. Esta iniciativa é promovida pelo Jornal de Negócios, em parceria com a consultora *Deloitte*, contando ainda com o alto patrocínio do Presidente da República Portuguesa.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade de 2021, a Jerónimo Martins SGPS, SA. apresentou algumas certificações relativas ao combate da poluição por plástico, nomeadamente:

- No Pingo Doce, a produção de talheres em madeira, palhinhas em papel, copos e pratos de feitos com fibras florestais com certificação FSC® e isentos de plástico;
- No Recheio, existem copos de marca própria “Amanhecer” feitos com fibras florestais com certificação FSC® e isentos de plástico;

Desde o ano de 2017 que o Grupo Jerónimo Martins SGPS não disponibiliza sacos de plásticos de forma gratuita nas caixas de pagamento.

Os sacos disponíveis na *Biedronka* e no Pingo Doce têm certificação *Blue Angel*⁹⁰ e são constituídos por 85% de plástico reciclado pós-consumo, o que permite evitar a

utilização de cerca de 6 500 toneladas de plástico virgem no ano de 2021.

Caracterização da empresa colaboradora			
Nome da Empresa	Setor de Atividade	Volume de Negócios (Ano 2022)	Número de colaboradores (Ano 2022)
Jerónimo Martins SGPS, SA.	Retalho	25 385 000 €	131 094

Tabela 5: Caracterização da empresa colaboradora Jerónimo Martins SGPS, SA.
Fonte: Elaboração própria; Informação disponibilizada no decorrer da entrevista.

4. Apresentação e análise de resultados

4.1 Apresentação dos resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos neste estudo, realizado através de entrevistas semi-estruturadas, apoiadas num guião (cf. anexo), a unidades de negócio das empresas seleccionadas.

Os resultados apresentados iniciam-se com uma abordagem relativamente às práticas de EC de acordo com a realidade da empresa, depois como estas estão a utilizar as tecnologias da I4.0 na implementação das práticas circulares e por fim, quais as motivações e barreiras.

4.1.1 Economia circular

A Corticeira Amorim SGPS, S.A., especificamente a unidade de aglomerados compósito designada de *Amorim Cork Composites* possui um modelo de negócio orientado para a sustentabilidade e práticas de EC que estão inteiramente associadas ao processo de reutilização de desperdícios de outras unidades pertencentes ao Grupo. Segundo o entrevistado a economia circular na empresa pode ser definida sendo “(...) como um processo circular desde a matéria-prima ao produto final, que surgiu com a indústria rolheira em que era reaproveitado o desperdício que nela existia mas actualmente o desperdício existente em todas as unidades do Grupo é recolhido para ser reaproveitado noutros processos de produção (...)” (Entrevistado A). O entrevistado

referiu também que o desperdício é “(...) nomeadamente utilizado para satisfazer a indústria aeroespacial, indústria energética, indústria automóvel, entre outras” (Entrevistado A).

As práticas internas relacionadas com o uso de recursos e eficiência tem uma aplicabilidade relevante em todo o processo produtivo. Entre estas práticas, estão as mencionadas pelo entrevistado A, “(...) a redução do consumo energético, redução da emissão de gases poluentes, redução de desperdício e design e planeamento de produtos que sejam duráveis que minimizem o uso de recursos, que sejam reutilizáveis, recicláveis e possibilitem a recuperação de materiais”.

O entrevistado A, também referiu que a empresa tem vindo a incluir fatores ambientais nos seus sistemas de avaliação interna e formação a todos os colaboradores, assim como procurar conhecimento e informação junto de clientes, para que possa melhorar a qualidade da sua oferta no que diz respeito a produtos mais ecológicos.

Um dos fatores primordiais para o Grupo é “(...) escolher fornecedores que tenham certificações ambientais, criação de cadeias que sejam eco-industriais e ainda reutilização de energia e água através da cadeira de valor (...)” (Entrevistado A), pois garante o suporte ao longo de toda a cadeia de valor da empresa.

Outras das práticas implementada há mais de 3 anos na empresa são as práticas relacionadas com o conhecimento externo à empresa, pois segundo o entrevistado A “Existe uma troca constante de informação e conhecimento entre fornecedores e clientes e o processo de rotulagem ecológico com informação a clientes (...)”.

Importa referir que existe um grande foco em garantir que “(...) o modelo de negócio é centrado na reutilização, remodelação e remanufatura, assim como a utilização de material reciclado no processo produtivo.” (Entrevistado A). Este ponto mostra que a empresa está focada em prolongar o tempo de vida dos produtos e manter os mesmos no sistema durante mais tempo.

Segundo o entrevistado A, toda a estratégia do Grupo alinhado com a utilização das práticas circulares apresentadas no decorrer da entrevista “(...) permitem reduzir a emissão de poluentes e garantem uma maior eficiência em todo o seu processo produtivo, reduzindo o impacto ambiental”.

O Grupo Nabeiro há mais de 60 anos que está dedicado em construir um modelo de negócio sustentado na justiça ambiental, social e económico na sua cadeia de valor.

O entrevistado B de acordo com a realidade da empresa define EC como, “A Economia Circular é um tema com bastante importância para a Delta Cafés | Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda., pois garante um uso sustentável de matéria-prima e os resíduos que são valorizados para outro fim. Os desafios ambientais e sociais são uma parte importante da envolvente empresarial e uma alavanca de melhoria contínua.

São desenvolvidos trabalhos com fornecedores certificados, envio de resíduos para empresas que garantem a sua reciclagem e valorização de novo como matéria-prima.”.

Um dos exemplos da adoção da EC apresentado no decorrer da entrevista e presente no Relatório de Sustentabilidade da Delta Cafés de 2018 é a iniciativa "Nam", que consiste na utilização das borras do café para produzir cogumelos orgânicos que posteriormente são vendidos a restaurantes. Adicionalmente, os restos destes cogumelos são utilizados para fertilizantes para cultivo de frutas e legumes, promovendo assim a economia circular em duas frentes.

A implementação das suas práticas circulares estão sobretudo assentes em práticas internas relacionadas com o uso de recursos e eficiência que são implementados na empresa há mais de 3 anos, nomeadamente “a redução do consumo de água e matérias-primas, a redução do consumo energético, a redução do consumo de recursos, utilizar fontes de energias renováveis e uma redução na emissão de poluentes e dos desperdícios” (Entrevistado B).

Também apresentam um elevado foco e implementam há mais de 3 anos, “gestão e cultura circular, formação dos trabalhadores, inclusão de fatores ambientais no sistema

de avaliação interna” (Entrevistado B), pelo que demonstra relevância nas práticas internas que estão relacionadas com o conhecimento, formação e cultura empresarial.

Conforme apresentado no Relatório de Declaração Ambiental 2021, o Grupo apresenta medidas e ações descritivas que visam a implementação das mesmas, apresentando uma auto-avaliação dos resultados face às metas pretendidas. Algumas dessas medidas passam pela utilização responsável dos recursos provenientes dos ecossistemas, nomeadamente da água, do solo, das florestas, biodiversidade e do ar. Adicionalmente, o Grupo promove iniciativas e ações ambientais para a comunidade e, também, iniciativas internas.

É de extrema importância segundo o entrevistado B a “troca de informação e conhecimento com os fornecedores, uma selecção de fornecedores segundo critérios ambientais e também a criação de cadeias eco-industriais”, o que demonstra a aplicabilidade de práticas circulares associadas à colaboração com *stakeholders* e também o suporte ao longo da cadeia de valor.

Para o Grupo Nabeiro o objectivo primordial da economia circular é “evitar a geração da pegada ambiental, tomando como ponto de partida o reaproveitamento, que pode ser de energia, consumos e matérias-primas, entre outros elementos que possam produzir efeito prejudicial no impacto ambiental” (Entrevistado B).

A Jerónimo Martins SGPS, SA. tem apostado fortemente na implementação de práticas circulares no seu processo produtivo e a definição de economia circular para a empresa é definida como “a implementação de práticas circulares é essencial para alcançar a economia circular” (Entrevistado C).

As práticas circulares são aplicadas, por exemplo, nas unidades de produção de comida, como é o caso da Cozinha de Odivelas onde é produzida toda a comida pré-confeccionada e confeccionada, que posteriormente é distribuída nos diversos estabelecimentos do Grupo. Esta área de negócio tem um grande foco na diminuição de desperdício.

A Cozinha de Odivelas aplica de forma diária práticas relacionadas com a partilha de conhecimento com os clientes e fornecedores, que ajudam a implementação das práticas circulares. Segundo o entrevistado C, é importante “(...) a escolha de fornecedores que estejam em linha com a estratégia do Grupo a nível ambiental, troca de informação e conhecimento, tanto com clientes como com os fornecedores e rotulamento ecológico com informação a clientes”.

A Jerónimo Martins tem atualmente contratos com duas empresas (a CHEP e a Euro Pool System) que fazem o transporte de comida da unidade Cozinha de Odivelas para os estabelecimentos do Grupo. Segundo o entrevistado a comida é transportada “(...) em caixas alugadas desmontáveis que se transformam em paletes e que acompanham todo o processo de um produto desde o ponto de final da sua confeção até chegar à loja. Posteriormente, estas empresas fazem a lavagem e contagem das caixas utilizadas no final do processo de distribuição e voltam a entregar na Cozinha de Odivelas para que o processo se possa repetir. Segundo o entrevistado este processo evitou a utilização de mais de 9 mil toneladas de embalagens descartáveis em 2022 no processo de distribuição de comida” (Entrevistado C), permite assim, reduzir os custos em embalagens que são descartáveis no processo de distribuição e reduzir a emissão de poluentes.

De acordo com o Relatório e Contas Anual 2021 – versão ESEF, o Grupo Jerónimo Martins apresenta a preocupação existente com a procura de soluções no que toca ao uso das embalagens reutilizáveis nas diversas áreas de atuação do grupo, quer nas áreas perecíveis, bem como nos produtos das padarias ou no transporte das frutas e legumes, água engarrafa ou leite. Adicionalmente, promove vendas a granel para os produtos alimentares, permitindo assim o uso desnecessário de embalagens descartáveis.

Para além da reciclagem que é feita de forma habitual também existe o reaproveitamento dos resíduos que sobram aquando da confeção da comida “(...) os subprodutos são congelados e guardados para que possam ser vendidos para outras indústrias que utilizam para produzir rações para animais, gomas de açúcar (...)”, desta forma conseguem um melhor retorno financeiro, permitindo aumentar as margens e lucro e diminuir o desperdício.

Adicionalmente, está disponível no Relatório e Contas Anual 2021 – versão ESEF o compromisso que existe para a redução do desperdício alimentar que é gerado nas diversas atividades do Grupo, alinhado com as metas definidas nos ODS de Consumo e Produção Responsável.

Atualmente, todos os centros de distribuição e cozinhas do Grupo Jerónimo Martins em Portugal Continental têm a certificação ambiental ISO 14001:2015.

Devido às práticas internas relacionadas com o uso de recursos e eficiência nas atividades das cozinhas do Pingo Doce, foi atribuído esta distinção “(...) desde 2019, altura em que foi implementado o sistema de gestão ambiental e até ao final do ano 2022, as cozinhas evitaram a emissão de mais de 330 toneladas de CO₂, assim como o consumo de mais de 1 milhão de kWh de eletricidade, e de mais de 16 mil m³ de água. Foram ainda, recicladas mais de 1,2 mil toneladas de resíduos” (Entrevistado C). Além destas medidas a Cozinha de Odivelas ainda se destacou por “(...) a retirada das tampas das sopas unidoses e das sobremesas, permitiu poupar mais de 320 toneladas de plástico por ano” (Entrevistado C).

Durante a entrevista o entrevistado C também referiu que, através desta certificação foi criada a equipa EEPEO (Equipa de Engenharia de Processos e Excelência Operacional), orientada para a melhoria de processos e embalagens de matérias-primas, com o objetivo de reduzir a energia e material de embalagem, de forma a estar alinhada com o cumprimento das metas ambientais, permitindo oportunidades de melhoria contínua e a transformação dos processos em eco-processos.

As práticas externas com o objetivo de prolongar o ciclo de vida dos produtos e materiais também são aplicadas há mais de 3 anos na empresa, tendo o entrevistado C referido “Centramos o modelo de negócio na reutilização e remodelação e utilizamos material reciclado na produção”.

4.1.2 Tecnologias da indústria 4.0 e economia circular

A Corticeira Amorim SGPS, S.A. | *Amorim Cork Composites* utiliza algumas tecnologias designadas neste estudo por tecnologias da Indústria 4.0 como por exemplo, o a *Big Data Analytics* que permite a monitorização dos processos decorrentes na empresa em tempo real e também permite que a organização melhore toda a sua eficiência.

A tecnologia *Cloud Computing* é também considerada essencial para garantir o acesso a bases de dados com grandes volumes de informação. Segundo o entrevistado A esta tecnologia “(...) torna a informação mais acessível e facilita a análise de dados, o que contribui para uma melhor tomada de decisão a nível de eficiência na utilização de recursos e redução de custos”.

Encontra-se disponível, na missão apresentada no Relatório Anual de Contas Consolidado de 2022 do Grupo Corticeira Amorim, a necessidade de conjugar o conhecimento a inovação e a tecnologia para a promoção de um equilíbrio sustentável, que permita gerar valor acrescentado ao Grupo em harmonia com o planeta.

Grande parte da produção é automatizada através da adoção da Robótica, que é utilizada, por exemplo, para a produção de pavimentos que são gerados com os desperdícios recolhidos noutras unidades.

Os benefícios económicos, sociais e ambientais associados às práticas circulares referidas neste estudo juntamente com a adoção das tecnologias da I4.0 anteriormente mencionadas, são bastante evidentes, é notória a “(...) redução de custos de produção, aumento de lucro, diminuição de custos que não estão intrinsecamente ligados à produção, melhoria nas condições de trabalho, redução no consumo energético e na emissão de gases, redução dos custos de inventário, melhoria da segurança do local de trabalho e melhoria das condições ambientais da firma (...)” (Entrevistado A).

Também no Relatório Anual de Contas Consolidado de 2022 do Grupo, reconhecem que os processos transformados da Corticeira Amorim acarretam impactos

ambientais, mas visam igualmente mitigar os mesmos através da sua política energética, ambiental e da biodiversidade. Estas políticas têm peso em toda a cadeia de valor, desde a produção, à transformação até ao final de vida do produto.

Segundo o entrevistado A, a empresa reconhece os benefícios da adoção destas tecnologias e planeia futuramente um investimento mais acentuado, nomeadamente em sistemas de deteção de erros e avarias, com o objetivo de reduzir ainda mais o desperdício.

A Delta Cafés | Novadelta - Comércio e Indústria de Cafés, Lda., atualmente possui algumas tecnologias da Indústria 4.0 e potenciam a sua utilização, como a *Internet of Things*, *Big Data Analytics*, *Cloud Computing* e *Cibersegurança*, com o intuito de tornar toda a informação mais acessível e sobretudo a monitorização e análise de dados, contribuindo para a tomada de decisões ao nível da eficiência e redução de custos.

Com o investimento em equipamentos com uma tecnologia mais avançada, como a Robótica uma grande parte da produção está automatizada.

Segundo o entrevistado B, o Grupo Nabeiro “reconhece e valoriza cada vez mais a importância da redução do desperdício no seu processo produtivo através da adoção destas tecnologias e demonstra a sua vontade em investir futuramente em máquinas mais eficientes e modernas.”

A Jerónimo Martins SGPS, SA. | Cozinha de Odivelas demonstra a importância da implementação das tecnologias da I4.0 aliadas com as práticas circulares. O entrevistado C referiu que a IoT tem uma importância acentuada pois “(...) identifica erros ou falhas mecânicas que possam existir nas máquinas que são utilizadas na Cozinha. Além disso é enviado para a balança através de sistemas informáticos a informação que é suposto sair nas etiquetas de cada produto”.

Sobre a *Big Data Analytic* e *Cloud Computing* são ferramentas usadas há bastante tempo e que atualmente potenciam a sua utilização pois tornam-se cruciais para a gestão e monitorização de informação na empresa e têm a capacidade de apresentar resultados da produção atuais com mais clareza e acessível a todos, “(...) conseguimos ter menos

desperdício e otimizar a nossa produção” (Entrevistado C).

A Cozinha de Odivelas tem também sistemas de Robótica que facilita o trabalho desempenhado pelos colaboradores e segundo o entrevistado C “(...) o embalamento é realizado por *robbots* que desempenham um papel fundamental na apresentação dos produtos e as sopas são colocadas em embalagens através de tubagens existentes na fábrica após a sua confeção”, o que reduz o desperdício de forma significativa.

O Grupo apresenta no Relatório e Contas Anual 2021 – versão ESEF, as práticas que implementa com recurso ao uso de tecnologia mais sustentável, que visa melhorar o serviço existente de entregas nas lojas.

No decorrer da entrevista foi também referido a existência de um Laboratório dentro do Grupo designado “Atelier dos Sabores” que permite testar os produtos antes de serem confeccionados em grande escala para garantir que a produção é viável, se apresenta boa qualidade e se aguenta determinadas temperaturas a que será exposta.

4.1.3 Motivações e barreiras

A Corticeira Amorim SGPS, S.A. | Amorim Cork Composites, defende que “apesar de ser um investimento elevado na implementação das tecnologias da I4.0, as motivações presentes na empresa são claras” (Entrevistado A) e acrescenta que existem objectivos corporativos que incentivam a adoção de EC, como “(...) o reaproveitamento de resíduos da unidade como de todas as outras inseridas na empresa (...)” (Entrevistado A), permite que sejam usados materiais reutilizados ao invés dos materiais virgens.

Outra motivação mencionada pelo entrevistado A prende-se pelo facto dos produtos produzidos nesta unidade não serem 100% feitos de cortiça, o que permite que não exista escassez de matéria-prima e consequentemente ter uma distribuição mais homogénea deste material por vários produtos, por esse motivo permite a integração de material reciclado na sua produção.

Assim, a escolha destes materiais reciclados reduz de forma significativa a emissão gases poluentes e a pegada de carbono bem como os custos associados.

Outro benefício referido no decorrer da entrevista com o entrevistado A foi a adoção da *Big Data Analytics* permitindo que a empresa possa ter “(...) um planeamento seguro e uma previsão dos ganhos gerados futuramente a médio e longo prazo.”

Como barreiras relativamente às praticas circulares e tecnologias da industria 4.0, o entrevistado A afirmou que “(...) a gestão da mudança é um tema muito desafiante (...)”, porque existe uma necessidade adaptação dos colaboradores e formação quando é implementada uma nova tecnologia e nem sempre é aceite com muita facilidade(...)” e acrescentou que “a compatibilidade de produtos reciclados com a cortiça nem sempre é fácil e por isso é necessário uma análise prévia de todos os materiais que temos de escolher e que sejam da mesma forma o mais ecológicos possível” (Entrevistado A).

Para a Delta Cafés a adoção de tecnologias da I4.0 em práticas circulares, é vista como uma oportunidade de inovação e desenvolvimento e reporta para uma “consciência ambiental que permite um crescimento com os clientes e que traz benefícios ambientais para toda a comunidade” (entrevistado B), sobretudo por os consumidores estarem cada vez mais exigentes relativamente aos impactos ambientais e sociais causados pelas empresas, tendo a premissa que estas possuam os mesmos valores e reforçando o prestígio e imagem da mesma.

A utilização da IoT, BDA e Robótica também possibilita “(...) uma crescente competitividade por melhoria de eficiência e produtividade nos processos de fabrico e de cadeia de negócio” (Entrevistado B) assim como “(...) aumento do lucro, diminuição nos custos de produção e melhorias nas condições ambientais do Grupo” (Entrevistado B).

Como barreiras às práticas circulares e a utilização de tecnologias da I4.0, foram identificadas “(...) requisitos da segurança alimentar (...)” (Entrevistado B), relativamente a determinados critérios que têm de ser cumpridos e que nem sempre são compatíveis com práticas mais sustentáveis e também “(...) os custos elevados associados

à implementação de novas tecnologias” (Entrevistado B).

A Jerónimo Martins SGPS, SA. | Cozinha de Odivelas apresenta ao nível de motivações os benefícios ambientais que a aplicabilidade de práticas circulares juntamente com as utilizações de tecnologias da I4.0 permite “a redução na produção de resíduos líquidos, uma diminuição da emissão de gases, redução no consumo energético e a melhoria das condições ambientais da empresa” (Entrevistado C).

Outra das motivações mencionadas pelo entrevistado C foi “(...) as práticas circulares que aplicamos trazem um reconhecimento muito grande para todo o Grupo e é um tema bastante relevante sobretudo na imagem e mensagem que passamos para os nossos clientes”.

Além disso, os benefícios sociais e económicos também são visíveis porque permite-lhes terem “reduções de custos de produção, de tratamento de desperdício e de inventario, assim como permite a melhoria nas condições de trabalho e das reclamações por parte dos clientes” (Entrevistado C).

Como principais barreiras na implementação das tecnologias da I4.0, como a IoT e BDA, foi referido pelo entrevistado C que “(...) as tecnologias que permitem trabalhar os dados para beneficiar o processo produtivo apresentam custos bastante elevados (...)”.

A gestão de mudança e adaptação em equipas muito exaustivas à implementação de tecnologias da I4.0 torna-se desafiador, e o entrevistado C afirmou que “(...) é necessário existir formações contantes para que as equipas consigam acompanhar a evolução dos processos porque a curva de aprendizagem não é imediata. Nem sempre são receptíveis a esta mudança sobretudo quando são colaboradores que trabalham há muito tempo na empresa e estão habituados a desempenhar a sua função de uma determinada forma, ainda que seja para melhorar a qualidade nas condições de trabalho”.

4.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir:

- ✓ Todas as empresas alvo de estudo têm preocupações de Sustentabilidade, o que não admira uma vez que a amostra base proveio da BCSD e a esta só podem pertencer membros que centram a sua atividade no respeito pelos três pilares da TBL;
- ✓ Todas as empresas adotaram e adotam práticas da EC e tecnologias I4.0 nos seus processos produtivos e modelo de negócio;
- ✓ Existe diferenciação entre empresas na utilização e valorização de determinadas práticas circulares em detrimento de outras e na adoção das diferentes tecnologias da I4.0;
- ✓ Todas as empresas reconhecem a importância das tecnologias da I4.0 e já implementaram algumas;
- ✓ Foram, no entanto, consensuais ao considerarem como mais relevantes a IoT, BDA e Robótica como decisivas ou tendo papel significativo na implementação de processos produtivos mais eficientes e na transição circular;
- ✓ Também fazem pouco recurso as técnicas de Realidade Aumentada (RA) e Simulação (SIM).

Do ponto de vista das práticas EC:

- ✓ Todas as empresas adotaram práticas que visam o uso de recursos e a eficiência dos consumos com o objetivo de reduzir a produção de detritos e poluentes, o consumo de matérias-primas, os gastos energéticos e consumo de água, promovendo a reciclagem, nos casos aplicáveis e recorrendo a práticas ambientais relativas aos clientes e fornecedores com o objetivo de preservar a longevidade dos produtos e materiais, mantendo o seu potencial ao longo de toda a cadeia de valor;
- ✓ As empresas visadas promovem práticas internas relacionadas com o conhecimento, informação, formação e cultura empresarial, incluindo factores ambientais no seu sistema de avaliação interna;
- ✓ Também, todas elas, valorizam a troca de informação com os *stakeholders* e procuram seleccionar parceiros negociais com as mesmas preocupações de sustentabilidade;

✓ Também, todas as três empresas, procuram desenvolver um mercado mais ecológico sobretudo nas matérias-primas que utilizam no seu processo produtivo promovendo a sua cultura e incentivando os clientes para esse mercado.

Foram referidos como principais motivações do uso combinado da I4.0 na implementação da EC:

✓ Permitir uma melhor gestão ao longo de toda a cadeia de abastecimento com base no intercâmbio da informação digital;

✓ Eficiência na tomada de decisão dos recursos e processos existentes ao longo da cadeia o que, adicionalmente, permite beneficiar da eficiência e a produtividade ao longo de toda a cadeia de negócio;

✓ Permite aplicar a redução na produção de resíduos sólidos e líquidos, a redução de gases, particularmente os nocivos, a redução da pegada ecológica, e conseqüentemente levar a uma redução no consumo energético e melhorar das condições ambientais da empresa;

✓ Monitorização em tempo real dos processos, bem como a facilidade e clareza na deteção de falhas e erros que possam surgir;

✓ Acessibilidade a um grande volume de informação existente nos processos empresariais;

✓ A automação existente nos procedimentos permite uma maior agilidade na cadeia, o que resulta na redução de desperdícios e na otimização da produção, conseqüentemente gera uma redução de custos não intrinsecamente ligados à produção e o aumento de lucros, podendo mesmo alargar-se até ao melhoramento da saúde laboral.

Foram referidos como principais barreiras da adoção de I4.0 e implementação das EC:

✓ Elevados custos associados à implementação de novas tecnologias e á sua constante atualização;

✓ Dificuldades em gerir a motivação e adaptação das equipas de trabalho obrigando a recorrer à formação contínua dos colaboradores, nem sempre recetivos à transformação;

✓ Dificuldades em compatibilizar algumas tecnologias com alguns protocolos de segurança nos locais de fabrico.

5. Conclusões e recomendações

5.1 Principais conclusões

Os Objetivos Desenvolvimento Sustentável e a Agenda 2030 definem as prioridades para o desenvolvimento global. As empresas sentem a necessidade de mudar os seus produtos e processos para estarem alinhadas com estes objetivos. O aparecimento acelerado de novas tecnologias digitais criou também nas empresas uma necessidade de mudança.

Os estudos realizados que procuram compreender como é que as tecnologias da indústria 4.0 suportam a adoção de práticas de economia circular são ainda muitos escassos na literatura.

Tendo em conta este facto, torna-se imprescindível compreender a relação existente entre a adoção da EC e implementação de tecnologias digitais.

Assim, o presente trabalho procurou responder aos seguintes objetivos que permitem responder à questão de investigação:

- 1. Como é que as empresas estão a utilizar a tecnologias da indústria 4.0 para suportar a adoção de práticas de Economia Circular;*
- 2. Perceber quais os resultados positivos obtidos (Promotores) com a adoção de tecnologias da I4.0 e práticas circulares;*
- 3. Quais as principais barreiras (Inibidores) à adoção de tecnologias da I4.0 e práticas circulares;*
- 4. Perceber o papel sinérgico resultante da combinação da EC e I4.0.*

Relativamente ao primeiro objetivo da questão de investigação, verificou-se através dos resultados obtidos que todas as empresas utilizam mais do que uma tecnologia da Indústria 4.0 no seu processo produtivo e que a sua utilização facilita a adoção de práticas circulares.

Em virtude da necessidade constante de monitorizar e aceder a informações em tempo real surge, como complemento às práticas circular, a Indústria 4.0 que permite a obtenção de uma cadeia mais dinâmica e eficiente (Rajput & Singh, 2019).

Uma das tecnologias da Indústria 4.0 referida pelas três empresas foi a IoT, pois apresenta um papel fundamental na promoção da Economia Circular (Rosa *et al.*, 2020), pois permite a monitorização e recolha de dados de forma mais eficiente. É fundamental para a redução de desperdício e para um aumento da reciclagem durante todo o processo produtivo e apresenta um enorme conhecimento sobre os equipamentos usados, sobretudo no que diz respeito à disponibilidade e condições.

A BDA citada entre os entrevistados, que evidencia o seu papel fundamental na análise de grandes volumes de dados e na monitorização de inúmeras variáveis o que demonstra ser relevante sobretudo na tomada de decisões da gestão de topo de modo a obterem uma gestão mais eficiente dos recursos e reduzir custos.

As tecnologias da indústria 4.0 identificadas e comuns às empresas analisadas foram a IoT e a BDA, que emergem como sendo as mais promissoras na implementação das práticas de EC (Neri, *et al.*, 2023).

Outra das tecnologias da Indústria 4.0 mencionada foi a Robótica. Esta tecnologia permite tornar a mão-de-obra mais eficiente e uma redução significativa no desperdício, sobretudo em processos de embalagem como referido pela Jerónimo Martins SGPS, SA. | Cozinha de Odivelas.

Em resposta ao segundo objetivo de investigação, os resultados do estudo revelam que todas as empresas identificam resultados positivos (Promotores) com a adoção das tecnologias da indústria 4.0 e práticas de EC: objetivos corporativos e uma estratégia alinhada como compromisso da empresa, maior eficiência no processo produtivo, gestão de recursos com mais qualidade e, portanto, redução de custos à empresa, maior consciência ambiental e por fim, centralização do modelo de negócio na reutilização.

Também, Brundtland & Ofstad (1994) definiram a produção e o consumo

sustentável como o uso de serviços e produtos relacionados, capazes de responder às necessidades básicas, minimizando o uso de recursos naturais, as emissões de poluentes e desperdícios após o ciclo de vida dos produtos.

Quanto ao terceiro objetivo de investigação, os resultados do estudo revelam que todas as empresas identificam como principais barreiras (Inibidores) com a adoção das tecnologias da indústria 4.0 e práticas circulares: custos elevados na implementação das tecnologias I4.0 e gestão de mudança dentro da empresa por parte dos colaboradores.

A literatura identifica também aspetos negativos e barreiras à implementação do modelo circular digital, entre estas estão: os elevados custos iniciais de instalação e a complexidade das cadeias de abastecimento (Su, *et al.*, 2013; Liakos, *et al.*, 2019).

Por fim, em resposta ao quarto objetivo da questão de investigação permitiu-se concluir que a combinação entre a EC e I4.0 apresenta um contributo bastante positivo.

Foi possível recolher junto dos entrevistados que existem bastantes benefícios económicos, sociais e ambientais comuns a todas as empresas:

✓ A nível de benefícios económicos é possível uma redução de tempo de produção, de custos operacionais, aumento de lucro e conseqüentemente um aumento do volume de negócios;

✓ Relativamente aos benefícios sociais existe uma grande melhoria nas condições de trabalho, atividades desenvolvidas pelos trabalhadores com maior valor acrescentado, melhoria na segurança dos trabalhadores e redução nas reclamações por parte os clientes;

✓ Por último, os benefícios ambientais garantem uma redução no consumo de água e de energia em todo o processo produtivo, diminuição da emissão de CO₂, redução de desperdício e utilização de material reciclado.

Conforme é elucidado por Khan, *et al.* (2021), esta constante transformação das tecnologias serve de lubrificante à produção eficiente, permite uma maior flexibilização da produção e beneficia de uma produtividade geral amigável do ambiente.

Este estudo contribui para a literatura e para a gestão na medida em permite compreender de que modo é que as empresas utilizam as tecnologias da Indústria 4.0 para suportar as práticas circulares; bem como para perceber os benefícios e barreiras

referentes à adoção de tecnologias I4.0.

5.2 Limitações do estudo e propostas futuras

As principais limitações encontradas prendem-se pelo facto de terem sido analisadas apenas três empresas, embora relevantes na indústria portuguesa. No entanto, é importante referir que os resultados e as conclusões retiradas, não podem ser generalizadas ou consideradas representativas do tecido industrial português, por consequência do reduzido tamanho da amostra e por não incluir PME's que representam grande parte das empresas de manufatura em Portugal.

Ainda assim, os resultados e conclusões retiradas deste estudo de caso podem ser um ponto de partida para posteriores trabalhos, sendo o campo de amostragem mais alargado em termos formais e em quantidade, para que possam permitir uma melhor caracterização do setor industrial português no que diz respeito à temática versada, bem como abordar o tema da correlação que possa existir entre tecnologias digitais I4.0 e práticas circulares.

Referências bibliográficas

- Alcayaga, A., Wiener, M. & Hansen, E. G., 2019. Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review. *Journal of Cleaner Production*, Volume 221, pp. 622-634.
- Alcayaga, A., Wiener, M. & Hansen, E. G., 2019. Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1, 622-634.
- Andersen, M., 2007. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, Volume 2, pp. 133-140.
- Arai, K., Kapoor, S. & Bhatia, R., 2018. Revisiting Industry 4.0: A New Definition. , *Intelligent Computing Advances in Intelligent Systems and Computing*, Volume 858, pp. 1156-1162.
- Bag, S. & Pretorius, J., 2022. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, 30(4), pp. 864-898.
- Bag, S. & Pretorius, J. H., 2020. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and Circular Economy: Proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, pp. 30(4), pp. 864–898.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G. & Sarkis, J., 2020. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, Volume 229.
- Bai, C. & Sarkis, J., 2020. A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 58(7), pp. 2142-2162.
- Bai, C. & Sarkis, J., 2020. A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 58(7), pp. 2142-2162.
- Bai, C., Sarkis, J., Ying, F. & Dou, Y., 2020. Sustainable supply chain flexibility and its relationship to circular economy target performance. *international journal of production research*, 58(19), p. 5893–5910.
- Barreto, L., Amaral, A. & Pereira, T., 2017. Industry 4.0 implications in logistics: an

- overview. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, pp. 1245-1252.
- Boulding, K., 1966. The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Jarrett, H., Ed., Environmental Quality in a Growing Economy, Resources for the Future/Johns Hopkins University Press*, pp. 3-14.
- Bressanelli, G., Perona, M. & Saccani, N., 2018. Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: A Literature Review and a multiple case study. *International Journal of Production Research*, pp. 57(23), pp. 7395–7422.
- Brundtland, G. & Ofstad, S., 1994. *Symposium: Sustainable consumption 19 - 20 January 1994, Oslo, Norway*. Oslo: Ministry of Environment, 1994.
- Cagno, E. et al., 2021. The role of digital technologies in operationalizing the circular economy transition: A systematic literature review.. *Applied Sciences*, pp. 11(8), 3328.
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E. & Gerolamo, M., 2018. Manufacturing in the Fourth Industrial Revolution: A positive prospect in sustainable manufacturing.. *Procedia Manufacturing*, pp. 21, 671–678.
- Comissão Europeia, 2014. Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe.
- Côté, R. & Cohen-Rosenthal, E., 1998. Designing Eco-Industrial Parks: A Synthesis of Some Experiences. *Journal of Cleaner Production*, pp. 6, 181-188.
- Cote, R. & Hal, J., 1995. Industrial Parks as Ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, pp. 3, 41-46.
- Cotta, D., Klink, L., Alten, T. & Al Madhoun, B., 2022. How do supply chain managers perceive the relationship between resilience and sustainability practices? an exploratory study. *Business Strategy and the Environment*, pp. 32(6), 3737–3751.
- Cruz Rios, F. & Grau, D., 2020. Circular Economy in the Built Environment: Designing, Deconstructing, and Leasing Reusable Products. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, p. 338–343.
- D’Adamo, I., Miliacca, M. & Rosa, P., 2017. Economic Feasibility for Recycling of Waste Crystalline Silicon Photovoltaic Modules. *International Journal of Photoenergy*, p. 6.
- Daú, G., Scavarda, A., Scavarda, L. F. & Portugal, V. J. T., 2019. The Healthcare Sustainable Supply Chain 4.0: The Circular Economy Transition Conceptual

- Framework with the Corporate Social Responsibility Mirror. *Sustainability*, 11(12).
- De los Rios, I. C. & Charnley, F. J., 2017. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*, Volume 160, pp. 109-122.
- Deloitte, 2022. *The Deloitte Global 2022 Gen Z and Millennial Survey*. [Online] Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/human-capital/at-gen-z-millennial-survey-2022.pdf>
- DiCicco-Bloom, B. & Crabtree, B. F., 2006. The qualitative research interview. *Medical Education*, pp. Volume 40, Issue 4 .
- Elia, V., Gnoni, M. G. & Tornese, F., 2017. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), pp. 2741-2751.
- Ellen Macarthur Foundation, 2013. *Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Ferreira, W. d. P., Armellini, F. & Santa-Eulalia, L. A. D., 2020. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 149.
- Foundation, Ellen Macarthur, 2013. *Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. & Hultink, E. J., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, Volume 143, pp. 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), pp. 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),

pp. 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*, Volume 114, pp. 11-32.
- Gilchrist, A., 2016. *Industry 4.0 : the industrial internet of things*. s.l.:Apress, Berkeley, CA.
- Gorissen, L., Vrancken, K. & Manshoven, S., 2016. Transition thinking and business model innovation—towards a transformative business model and new role for the reuse centers of Limburg, Belgium. *Sustainability*, pp. 8(2), p. 112.
- Jabbour, A. B. L. S., Jabbour, C. & Godinho Filho, M. e. a., 2018. Industry 4.0 and the circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for Sustainable Operations. *Annals of Operations Research*, 270(1-2), p. 273–286.
- Jabbour, A. B. L. S. et al., 2019. Circular economy business models and operations management. *Journal of Cleaner Production*, pp. 235, 1525-1539.
- Jabbour, J. C. e. a., 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*, Volume 66.
- Jaeger, B. & Upadhyay, A., 2020. Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry. *Journal of Enterprise Information Management*, 33 (3), pp. 729-745.
- Jesus, A., Antunes, P., Santos, R. & Mendonça, S., 2018. Eco-innovation in the transition to a circular economy: An analytical literature review. *Journal of Cleaner Production*, Volume 172, pp. 2999-3018.
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J., 2013. Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industrie 4.0. *Working Group, Acatech— National Academy of Science and Engineering*, p. 678.
- Kallio, H., Pietilä, A., Johnson, M. & Kangasniemi, M., 2016. Systematic methodological review: Developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing*, pp. 72(12), 2954–2965.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M. & Rosado, L., 2018. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources*,

- Conservation and Recycling*, Volume 135, pp. 190-201.
- Kang, H. S. et al., 2016. Smart manufacturing: Past research, present findings, and Future Directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), pp. 111-128.
- Kang, J. et al., 2016. Modulation of tissue repair by regeneration enhancer elements.. *Nature*, 532(7598), pp. 201-6.
- Kaplan, A. & Haenlein, M., 2019. Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), pp. 15-25.
- Kellens, K. et al., 2017. Environmental Dimensions of Additive Manufacturing: Mapping Application Domains and Their Environmental Implications. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 1, pp. S1-S265.
- Kellens, K. et al., 2017. Environmental Impact of Additive Manufacturing Processes: Does AM Contribute to a More Sustainable Way of Part Manufacturing?. *Procedia CIRP*, Volume 61, pp. 582-587.
- Khan, S. A. R., Razzaq, A., Yu, Z. & Miller, S., 2021. Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), pp. 4001-4014.
- Kirchherr, J. et al., 2018. Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, Volume 150, pp. 264-272.
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 127, pp. 221-232.
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 127, pp. 221-232.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A. & Birkie, S. E., 2018. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, Volume 175, pp. 544-552.
- Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B. & Uriarte-Gallastegi, N., 2021. Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, Volume 321.

- Liakos, N. et al., 2019. Understanding circular economy awareness and practices in manufacturing firms. *Journal of Enterprise Information Management*, pp. Vol. 32 No. 4, pp. 563-584.
- 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 of Conferences*, Volume 100.
- Liu, J., Feng, Y., Zhu, Q. & Sarkis, J., 2018. Green Supply Chain Management and the circular economy.. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, pp. 48(8), 794–817.
- Machado, C., Winroth, M. & Ribeiro da Silva, E., 2020. Sustainable Manufacturing in industry 4.0: An emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, pp. 58(5), pp. 1462–1484.
- Mazur-Wierzbicka, E., 2021. Circular economy: advancement of European Union countries. *Environ Sci Eur*, 33(111).
- Mosconi, F., 2015. *The New European Industrial Policy*. 1st Edition ed. London: Global Competitiveness and the Manufacturing Renaissance.
- 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*, 10(1).
- Murray, A., Skene, K. & Haynes, K., 2015. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), p. 369–380.
- Nakamoto, S., 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic.
- Nascimento, D. et al., 2019. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. 30(3), pp. 607-627.
- Negri, M., Cagno, E. & Colicchia, C., 2022. Building Sustainable and Resilient Supply Chains: A framework and empirical evidence on trade-offs and synergies in implementation of practices. *Production Planning & Control*, p. 1–24.
- Neri, A. et al., 2023. What digital-enabled dynamic capabilities support the circular economy? A multiple case study approach. *Business Strategy and the Environment*.

- 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), pp. 360-374.
- OECD, 2015. *Material Resources, Productivity and the Environment*. Paris: OECD Green Growth Studies, OECD Publishing.
- OECD, 2017. Policy Coherence for Sustainable Development 2017: Eradicating Poverty and Promoting Prosperity. *OECD Publishing, Paris*.
- Peace, D. W. & Turner, R. K., 1990. *Economics of natural resources and the environment*. s.l.:The Johns Hopkins University Press.
- Petrovic, V. et al., 2011. Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), pp. 1061-1079.
- Programme United Nations Environment, 2015. Our Planet. *United Nations Environment Programme (UNEP)*.
- Programme United Nations Environment, 2016. *SDGs, ecosystem approach and African Ocean Governance*. [Online] Available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/11102>
- Programme, United Nations Environment, 2011. *Global Outlook on SCP Policies: Taking Action Together [Preview of main report]*. [Online] Available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/25922>.
- Qin, J., Liu, Y. & Grosvenor, R., 2016. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, Volume 52, pp. 173-178.
- Rajput, S. & Singh, S., 2019. Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. *Benchmarking: An International Journal*, 28(5), p. 1717–1739.
- Rajput, S. & Singh, S. P., 2019. Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, Volume 49, pp. 98-113.
- Roblek, V., Meško, M. & Krapež, A., 2016. A Complex View of Industry 4.0. *SAGE journals*, 6(2).
- Romero, C. et al., 2021. Synergy between Circular Economy and Industry 4.0: A Literature Review.. *Sustainability*, 13(4331).
- Rosa, P. et al., 2019. Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: A systematic literature review.. *International Journal of Production Research*, pp.

- 58(6), 1662–1687.
- Rüßmann, M. et al., 2015. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Boston Consulting Group*, pp. 9, 54-89.
- Sakai, S.-i., Yoshida, H. & Hirai, Y., 2011. International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management volume*, Volume 13, pp. 86-102.
- Sauvé, S., Bernard, S. & Sloan, P., 2016. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, Volume 17, pp. 48-56.
- Schroeder, P., Anggraeni, K. & Weber, U., 2018. The relevance of circular economy practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), p. 77–95.
- Schroeder, P., Anggraeni, K. & Weber, U., 2018. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*.
- Shahbaz, M., Awan, U. & Sroufe, R., 2021. Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), pp. 2038-2060.
- Shrouf, F., Meré, 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*, pp. 697-701.
- Stock, T. & Seliger, G., 2016. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, Volume 40, pp. 536-541.
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E. & Méndez, G., 2021. Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative: Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience. *Journal of Cleaner Production*, Volume 322.
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G. & Soto-Oñate, D., 2019. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, Volume 214, pp. 952-961.
- 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*,

- March, Volume 42, p. 215–227.
- Tarifa-Fernández, J., Sánchez-Pérez, A. M. & Cruz-Rambaud, S., 2019. Internet of Things and Their Coming Perspectives: A Real Options Approach. *Sustainability*, 11(11).
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022. World Population Prospects 2022: Summary of Results. Volume 3.
- United Nations Environment Programme (2016). SDGs, ecosystem approach and African Ocean Governance. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/11102>., s.d. [Online].
- United Nations General Assembly, 2015. *Transforming our world : The 2030 agenda for sustainable development*. s.l.:s.n.
- Varela, L. et al., 2019. Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *Sustainability*, 11(1439).
- Wang, S. et al., 2016. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, Volume 101, pp. 158-168.
- Webster, K., 2015. *The circular economy: A wealth of flows*.. Cowes, United Kingdom: Ellen Macarthur Foundation Publishing.
- Xu, L. D., He, W. & Li, S., 2014. Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), pp. 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), pp. 2941-2962.
- Yuan, Z., Bi, J. & Moriguchi, Y., 2008. The Circular Economy: A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*.
- 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), pp. 616-630.

Anexos

1. Guião de Entrevista

Bom dia/ Boa tarde,

O meu nome é Bárbara Silva e estou neste momento a recolher dados para o meu Trabalho Final de Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial no Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa.

A recolha de dados realizar-se-á através de entrevistas semi-estruturadas a empresas do sector industrial, especificamente de manufatura em Portugal, que sejam membros do *Business Council for Sustainable Development* (BCSD) (<https://bcspportugal.org/membros/>) e que apresentem relatórios de sustentabilidade disponíveis no site.

Esta entrevista consiste em questões de resposta aberta às quais peço que responda de acordo com a sua opinião. Não existem respostas certas ou erradas, apenas nos interessa a sua perspetiva baseada na sua experiência na empresa.

Agradeço, desde já, a sua disponibilidade para participar nesta entrevista e antes de começarmos gostaria de lhe pedir se é possível gravar, com o único propósito de mais tarde poder ouvir a gravação e retirar mais informação da mesma.

Nome da Empresa:

Sector de Atividade:

Volume Negócios (Ano 2022):

Nº de Trabalhadores:

Nome, cargo e formação académica do entrevistado:

Tempo de permanência no cargo desempenhado:

ECONOMIA CIRCULAR

Antes de iniciar a entrevista vou ler uma definição de economia circular que irei adotar no meu TFM.

- Um modelo que conserva o valor acrescentado dos produtos durante o máximo tempo possível e diminui os respetivos resíduos. Assim, conserva os recursos dentro da economia quando o produto chega ao fim-de-vida, de forma a que estes possam ainda ser usados na produção de novo e assim criar valor acrescentado (Comissão Europeia, 2014).

Peço que responda às seguintes questões:

- A) Como define a economia circular dentro da sua empresa tendo em conta a realidade da sua empresa?
- B) Quais as práticas de economia circular adotadas pela sua empresa?
- C) Como avalia o grau de implementação dessas práticas numa escala de:
- 1- Estamos a avaliar a sua implementação;
 - 2- Estamos a implementar atualmente;
 - 3- Implementámos há menos de 3 anos;
 - 4- Implementámos há mais de 3 anos.
- D) Quais as principais razões que levaram a empresa a adotar práticas de economia circular?
- E) Quais os principais benefícios resultantes da sua adoção?
- F) Quais as principais dificuldades encontradas na sua implementação?

INDÚSTRIA 4.0

Antes de lhe colocar questões referentes às tecnologias adotadas pela sua empresa, vou ler uma definição de Indústria I4.0 que irei adotar no meu TFM.

- Não existindo uma definição consensual, propomos aceitar a seguinte: conjunto de tecnologias e instrumentos digitais utilizáveis em tarefas em rede, que são modulares, mas que virtualmente ligados entre si podem responder às necessidades internas e externas em tempo real (Carvalho, et al., 2018).

Peço que responda às seguintes questões:

- G) Quais as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pela sua empresa? Como avalia o grau de adoção destas numa escala:

- 1- Estamos atualmente a avaliar a sua adoção;
- 2- Estamos atualmente a adotar;
- 3- Estamos a começar a utilizá-las;
- 4- Estamos a potenciar a sua utilização.

H) Quais as principais dificuldades que encontraram na adoção das tecnologias I4.0?

I) Quais os principais resultados alcançados com a sua adoção das tecnologias I4.0 em conjunto com as práticas de EC?

Gostaria que me indicasse, em que medida considera que as tecnologias adotadas pela sua empresa em combinação com práticas EC contribuiu ou não para os mesmos.

Se sim, como e quais as tecnologias I4.0?

J) As tecnologias I4.0 que utiliza estão a apoiar a implementação de práticas de economia circular? Em caso afirmativo, que tipo de apoio/suporte estas oferecem?

- 1- Sem qualquer suporte ou suporte muito limitado sobre a prática EC;
- 2- Algum suporte sem conduzir a alterações e /ou resultados práticos sobre a prática EC;
- 3- Suporte significativo mas não decisivo na pratica circular implementada ou nos resultados práticos da sua adoção;
- 4- Suporte decisivo ou "pivotal" para a implementação e/ou resultados práticos da prática circular adotada.