



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO**  
**GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**DISSERTAÇÃO**

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR E TECNOLOGIAS  
DIGITAIS ADOTADAS NAS EMPRESAS DA INDÚSTRIA  
TRANSFORMADORA PORTUGUESA**

**JOANA FILIPA FERNANDES BORGES GODINHO**

**OUTUBRO – 2022**



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO**  
**GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**DISSERTAÇÃO**

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR E TECNOLOGIAS  
DIGITAIS ADOTADAS NAS EMPRESAS DA INDÚSTRIA  
TRANSFORMADORA PORTUGUESA**

**JOANA FILIPA FERNANDES BORGES GODINHO**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSORA DOUTORA GRAÇA MARIA DE OLIVEIRA MIRANDA  
SILVA**

**OUTUBRO - 2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Graça Silva por todo o acompanhamento, disponibilidade e dedicação prestada, por me ter transmitido todo o conhecimento necessário à realização deste trabalho e por todas as sugestões que me permitiram ultrapassar os diferentes desafios que foram aparecendo ao longo desta dissertação.

Quero agradecer à minha família e amigos que demonstraram um apoio incansável e sempre acreditaram em mim. Por toda a motivação que me deram e toda a paciência que tiveram durante este percurso e por estarem sempre presentes ao longo desta etapa da minha vida.

Agradeço também aos amigos que conheci graças a este mestrado e que nunca me deixaram sentir sozinha, apoiando-me em todos os momentos do meu percurso académico.

Por fim, quero agradecer a todos aqueles que contribuíram para a realização desta dissertação, nomeadamente a Informa D&B, que me deram acesso a dados essenciais para este estudo e a todas as empresas que disponibilizaram o seu precioso tempo para responder ao meu questionário, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

Atualmente, a economia circular é um conceito emergente e a sua relevância passa pelo papel que tem na contribuição para uma atividade mais sustentável por parte das empresas industriais. O seu principal objetivo é a eliminação de resíduos através do design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas. A economia circular tem vindo a ganhar atenção devido à urgência de mitigar as mudanças climáticas, à competitividade e aos regulamentos ambientais e é considerada como um meio para alcançar a sustentabilidade. Além disso, as organizações estão a melhorar o seu desempenho de negócios através de tecnologias digitais. No entanto, a literatura está pouco desenvolvida quanto à relação entre as práticas de economia circular e as tecnologias digitais utilizadas para o desenvolvimento das mesmas.

A presente dissertação pretende estudar a implementação das práticas de economia circular e das tecnologias digitais nas empresas da indústria transformadora portuguesa. O modelo conceptual proposto foi testado utilizando 188 respostas recolhidas através de um questionário online feito às empresas da indústria transformadora portuguesa.

Os resultados obtidos mostraram que a orientação digital afeta positivamente a adoção das tecnologias da indústria 4.0 (I4). A adoção de tecnologias I4 não tem influência direta no desempenho sustentável, no entanto, existe um efeito mediador entre estas duas variáveis que reside nas práticas de economia circular. Concluiu-se também que a adoção de tecnologias I4 tem um impacto positivo na adoção de práticas de economia circular e, por fim, a orientação *closed-loop* mostrou também afetar positivamente a adoção de práticas de economia circular.

**Palavras-chave:** Economia Circular; Sustentabilidade, Tecnologias I4; Orientação Estratégica; Indústria Transformadora

## ABSTRACT

Nowadays, the circular economy is an emerging concept and its relevance resides in the role it plays to contribute to a more sustainable activity by industrial companies. The main goal is the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems and company models. The circular economy has been gaining attention due to the urgency of mitigating climate change, competitiveness and environmental regulations and is considered as a way to achieve sustainability. In addition, organizations are improving their business performance through digital technologies. However, the literature is poorly developed regarding the relationship between environmental management practices and the digital technologies used for the implementation of this practices.

This dissertation aims to study the implementation of environmental management practices and digital technologies in the Portuguese manufacturing companies. The proposed conceptual model will test the effect of digital orientation on I4 technologies, as well as the impact of these technologies on sustainable performance. It also intends to analyze the influence of I4 technologies on the adoption of circular practices and the impact of circular economy practices on the relationship between I4 technologies and sustainable performance. Finally, the effect of closed-loop orientation on the adoption of circular practices is studied. This model was tested using 188 responses collected through an online questionnaire sent to Portuguese manufacturing companies.

The results obtained showed that digital orientation positively affects the adoption of I4 technologies. The adoption of I4 technologies has no direct influence on sustainable performance, however, there is a mediating effect between these two variables that resides in circular economy practices. It was also concluded that the adoption of I4 technologies has a positive impact on the adoption of circular economy practices and, finally, the closed-loop orientation was also shown to positively affect the adoption of circular economy practices.

**Keywords:** Circular Economy; Sustainability, I4 Technologies; Strategic Orientation; Manufacturing Industry

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>v</b>
<b>SIMBOLOGIA E ACRÓNIMOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. <i>Economia Circular</i> .....	4
2.2. <i>Práticas de Economia Circular</i> .....	6
2.3. <i>Desempenho Sustentável</i> .....	8
2.4. <i>Tecnologias Digitais</i> .....	10
2.5. <i>Orientações Estratégicas</i> .....	12
2.6. <i>Hipóteses de Investigação e Modelo Conceptual</i> .....	13
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
3.1. <i>População-alvo e Seleção da Amostra</i> .....	21
3.2. <i>Questionário</i> .....	22
3.2.1. <i>Construção, envio e acompanhamento do questionário</i> .....	23
3.3. <i>Definição e operacionalização das variáveis do modelo</i> .....	24
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
4.1. <i>Caracterização da amostra</i> .....	27
4.1.1. <i>Caracterização das Empresas</i> .....	27
4.1.2. <i>Caracterização dos Inquiridos</i> .....	30
4.2. <i>Estimação do modelo</i> .....	31
4.2.1 <i>Modelo de Medida</i> .....	32
4.2.2. <i>Modelo Estrutural</i> .....	34
.....	37
<b>5. CONCLUSÃO, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS FUTURAS</b> .....	<b>39</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>42</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>63</b>
<i>Anexo A - Figuras</i> .....	63
<i>Anexo B - Corpo do e-mail do convite para a participação no questionário</i> .....	65
<i>Anexo C - Corpo do e-mail do 1º lembrete</i> .....	65
<i>Anexo D - Escalas de Medida</i> .....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Modelo conceptual proposto .....	20
<b>Figura 2</b> - Modelo empírico .....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I</b> – Número dos colaboradores das empresas inquiridas a tempo integral em 2021 .....	27
<b>Tabela II</b> - Volume de negócios das empresas inquiridas em 2021 .....	28
<b>Tabela III</b> - Maturidade das empresas inquiridas .....	28
<b>Tabela IV</b> - Valor total das vendas exportadas pelas empresas inquiridas em 2021 .....	29
<b>Tabela V</b> - Situação atual da empresa relativamente às normas ISO 9001 e ISO 14001 .....	29
<b>Tabela VI</b> - Habilitações literárias dos inquiridos .....	30
<b>Tabela VII</b> - Função atual exercida pelos inquiridos .....	31
<b>Tabela VIII</b> - Experiência na função atual exercida pelos inquiridos .....	31
<b>Tabela IX</b> – Matriz de Correlação.....	34
<b>Tabela X</b> – Relevância preditiva dos construtos .....	35
<b>Tabela XI</b> – Coeficientes estimados e estatística T para as hipóteses testadas .....	36

## SIMBOLOGIA E ACRÓNIMOS

AVE – *Average Variance Extracted* (Variância Média Extraída)

BCT – *Blockchain Terminal*

BDA – *Big Data Analytics*

CAE - Classificação Portuguesa das Atividades Económicas

CMB – *Common Method Bias*

CPS – Sistemas Ciber-físicos

CR – *Composite Reliability*

EC – Economia Circular

EMAS – *Eco-management and Audit Scheme* (Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria)

GSCM – Gestão da Cadeia de Abastecimento Verde

I4 – Indústria 4.0

IA – Inteligência Artificial

IoT – *Internet of Things*

ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

OE – Orientação Estratégica

PLS - *Partial Least Squares* (Mínimos Quadrados Parciais)

RFID – Identificação por Radiofrequência

SEM – *Structural Equation Modeling* (Modelos de Equações Quadradas)

SPSS - *Statistical Package for the Social Sciences* (Programa de Estatística para as Ciências Sociais)

TBL – *Triple Bottom Line*

TI – Tecnologia de Informação

VIF - *Variance Inflation Factor* (Fator de Inflação da Variância)



## 1. INTRODUÇÃO

A economia mundial tem sido construída com base num modelo linear de negócios, baseado em extrair, transformar, produzir, utilizar e descartar (e, às vezes, reciclar ou incinerar) (Braungart *et al.*, 2003). No entanto, este modelo começa a estar ameaçado, devido à disponibilidade limitada de recursos naturais. Isto porque a forma e a velocidade com que usamos os recursos naturais são insustentáveis (Spangenberg *et al.*, 2010). Ao longo da última década, uma atenção crescente tem sido dada em todo o mundo ao novo conceito e modelo de desenvolvimento: a economia circular (EC), que tem como objetivo fornecer uma melhor alternativa ao modelo de desenvolvimento económico dominante, denominado “take, make and dispose” (Julianelli *et al.*, 2020). As organizações começaram a adotar a EC e práticas de fabricação sustentável para mitigar os riscos ecológicos que levam à redução da geração de resíduos e uso eficiente de recursos (Moktadir *et al.*, 2018).

A EC é definida como “um sistema industrial restaurador ou regenerativo por intenção e *design*, que substitui o conceito de “fim de vida” pela restauração, evolui para a utilização de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização, e tem como objetivo a eliminação de resíduos através do *design* superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas” (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.07).

O desenvolvimento sustentável consiste no “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

A tecnologia digital está-se a tornar cada vez mais importante para alcançar os objetivos de negócios e os seus efeitos abrangentes resultaram na reestruturação radical das indústrias (Haefner *et al.*, 2021). O foco das tecnologias inovadoras é abordar a questão dos recursos escassos e melhorar a produtividade, oferecendo assim uma solução para economizar o uso de recursos limitados e encontrar matérias-primas substitutas (Fatorachian & Kazemi, 2018). Embora exista um consenso geral sobre as tecnologias I4 como facilitadoras da EC, a literatura carece de clareza sobre como estas tecnologias favorecem a transição para a EC (Lieder & Rashid, 2016; Lopes de Sousa Jabbour *et al.*, 2018). A literatura carece de investigações conceituais e empíricas sobre as ligações entre tecnologias I4 e práticas de EC. Neste estudo, as tecnologias I4 e as práticas de EC são

conceituadas como as capacidades dinâmicas da organização de forma a perceber a relação entre as mesmas e é estudado o seu efeito combinado no desempenho sustentável da organização. A orientação digital é o posicionamento estratégico deliberado de uma empresa para aproveitar as oportunidades apresentadas por essas tecnologias digitais emergentes (Quinton *et al.*, 2018).

Além disso, a pesquisa empírica sobre os antecedentes estratégicos da implementação da EC continua escassa. Chan *et al.* (2012) e Kirchoff *et al.* (2016) estão entre os primeiros a analisar os efeitos das orientações ambientais estratégicas nas práticas relacionadas à EC. Esta pesquisa concentrou-se no impacto das orientações estratégicas gerais - como orientação para o mercado – nas estratégias e práticas ambientais (por exemplo, Chen *et al.*, 2015). O presente estudo foca-se numa abordagem estratégica mais concreta—orientação *closed-loop*—para promover a implementação da prática de EC. De acordo com Liu e Chang (2017), a orientação *closed-loop* refere-se à crença da empresa em possibilitar a reciclagem e a remanufatura dos materiais utilizados na sua produção, bem como a reciclagem dos resíduos do processo produtivo.

O objetivo geral do presente estudo é identificar quais as práticas de economia circular e as tecnologias adotadas pelas empresas da indústria transformadora portuguesa. Os objetivos específicos deste trabalho são: i) avaliar o efeito da orientação digital relativamente às tecnologias I4; ii) avaliar a influência da adoção das tecnologias I4 no desempenho sustentável; iii) avaliar a influência da adoção das tecnologias I4 na adoção de práticas de economia circular; iv) avaliar o efeito mediador das práticas de economia circular na relação entre as tecnologias I4 e o desempenho sustentável; v) avaliar o impacto da orientação *closed-loop* na adoção de práticas de economia circular.

De forma a dar resposta aos objetivos deste estudo, a metodologia utilizada foi um estudo quantitativo, através da aplicação de um inquérito por questionário com preenchimento *online*. Este questionário foi enviado às organizações inseridas na indústria transformadora portuguesa, selecionadas a partir de uma base de dados fornecida pela empresa Informa D&B.

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma breve introdução do estudo, uma contextualização do tema central, são descritos os objetivos desta investigação e mencionadas as contribuições para a literatura. O segundo capítulo consiste numa revisão de literatura do tópico a ser investigado e encontra-se dividido em 6 subcapítulos onde são abordados os conceitos de

economia circular, práticas de economia circular, desempenho sustentável, tecnologias digitais e orientações estratégicas. Por fim, é apresentado o modelo conceptual e as hipóteses de investigação propostas. No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de investigação e encontra-se dividido em três partes. Na primeira parte é descrita a amostra utilizada e como foi obtida, de seguida foram apresentados os procedimentos para a elaboração, envio e acompanhamento do questionário; e na última parte é apresentada uma descrição detalhada das variáveis utilizadas no modelo conceptual. O quarto capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados e está dividido em duas partes: a caracterização da amostra e a estimação do modelo em estudo. Por último, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do estudo, as suas principais limitações e propostas para futuras investigações.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Economia Circular

A economia circular (EC) tem como objetivo substituir o modelo linear de produção e consumo que segue o fluxo “*take-make-dispose*” praticado pela sociedade desde a revolução industrial (Julianelli *et al.*, 2020). Este modelo consiste em extrair os *inputs* para serem transformados em bens de consumo e, posteriormente, serem descartados (Esposito *et al.*, 2017). Assim, deve ser substituído por um modelo circular baseado em materiais e produtos reutilizados, reciclados ou separados (Lahti *et al.*, 2018).

Atualmente, este conceito ganhou força devido à urgência de mitigar as mudanças climáticas (Korhonen *et al.*, 2018). É impulsionado principalmente por fundadores de políticas, como a UE, órgãos de desenvolvimento de negócios, como a Ellen MacArthur Foundation (Ellen MacArthur Foundation, 2013) e países individuais, como a China (Su *et al.*, 2013) ou Suécia (Milios & Matsumoto, 2019), que o incorporaram na sua política industrial. É também promovido pelo Parlamento Europeu (European Parliament, 2020; United Nations, 2020).

A EC é essencialmente uma mudança ambiental em resposta à necessidade global de uma economia ecológica (Lahti *et al.*, 2018). Este conceito é frequentemente visto como um meio para alcançar a sustentabilidade (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Sendo um modelo económico baseado nos princípios de regeneração e restauração, a EC é uma alternativa viável para conceber o desenvolvimento sustentável (Julianelli *et al.*, 2020).

As origens do conceito de economia circular começam em meados da década de 1960 (Murray *et al.*, 2017) quando a ideia de economia de Boulding como um sistema circular é vista como um pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade da vida humana na Terra (um sistema fechado com praticamente nenhuma troca de matéria com o ambiente externo). Pearce e Turner (1990) concordaram que a economia linear tradicional sem reciclagem de elementos não pode ser sustentável e, conseqüentemente, deve ser substituída por um sistema circular. O arquiteto suíço Walter R. Stahel é autor da primeira publicação onde é referida a definição do circuito fechado da economia que é hoje conhecida como economia circular, descrevendo o impacto de uma economia fechada em termos de eficiência de recursos, prevenção de resíduos, criação de emprego e o papel da inovação, ao defender a extensão de vida útil dos bens – reutilização,

reparação, renovação e reciclagem – e como eles se aplicam a economias industrializadas (Stahel, 1984, 2010).

Mais recentemente surgiu a Ellen MacArthur Foundation, uma organização sem fins lucrativos que estuda e estimula a adoção da EC e define este conceito como “um sistema industrial restaurador ou regenerativo por intenção e *design*, que substitui o conceito de “fim de vida” pela restauração, evolui para a utilização de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização, e tem como objetivo a eliminação de resíduos através do *design* superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas” (Ellen MacArthur Foundation, 2013, p.07). Esta definição de Ellen MacArthur Foundation (2013) é a mais reconhecida na literatura, segundo Geisendorf e Pietrulla (2018), Geissdoerfer *et al.* (2017) e Kirchherr *et al.* (2017), sendo a mais citada e completa. Por esse motivo, será a definição usada neste estudo. Esta organização afirma que o desperdício não existe, sendo os produtos projetados e otimizados para um ciclo de desmontagem e reutilização. Tem como princípio a circularidade que introduz uma diferenciação estrita entre componentes consumíveis - ingredientes biológicos ou “nutrientes” que são não tóxicos e possivelmente benéficos, e componentes duráveis - feitos de nutrientes técnicos impróprios para a biosfera, de um produto. Estes são projetados desde o início para a reutilização. A EMF (2013) destaca que a transição para uma EC envolve uma mudança sistémica que procura não apenas reduzir os impactos da economia linear, mas também construir resiliência de longo prazo, gerar economia e oportunidades de negócio e, ao mesmo tempo, conseguir benefícios ambientais e sociais. Os esforços de EC devem incorporar uma perspetiva sistémica (micro, meso e macro) e contribuir para a sustentabilidade ambiental, económica e social (Kirchherr *et al.*, 2017).

Por outro lado, a EC envolve uma mudança sistémica em empresas, indústrias e economias por meio de mudanças radicais nos valores sociais, normas e comportamentos (Chizaryfard *et al.*, 2021). De acordo com Kirchherr *et al.* (2018), as barreiras culturais, especialmente a falta de interesse e consciência dos consumidores e culturas de empresas hesitantes, constituem os obstáculos mais significativos para as empresas avançarem em direção à EC.

## 2.2. Práticas de Economia Circular

A implementação efetiva da EC é resultado do quão bem as várias práticas de EC são executadas nos diferentes níveis - micro, meso e macro (Geng & Doberstein 2008; Yuan *et al.*, 2006). No nível micro, as práticas de EC visam implementar a estratégia de EC no nível organizacional (empresa única). As práticas de EC no nível meso usam simbiose industrial para obter benefícios económicos e ambientais mútuos. Nesse nível, as práticas de EC visam desenvolver parques eco-industriais e reunir indústrias para partilhar e utilizar os recursos disponíveis de forma eficaz e eficiente (Côté & Cohen-Rosenthal, 1998). No nível macro, as práticas de EC vão mais além e fazem um esforço para entender como os recursos físicos e materiais podem ser geridos e utilizados de forma eficaz e eficiente a nível regional ou nacional (Murray *et al.*, 2017). O presente estudo trata das práticas de EC no nível micro, ou seja, as práticas implementadas pelas organizações da indústria transformadora portuguesa.

A EC refere-se à transformação do processo de produção tradicional em abordagem circular que promove o conceito de reciclagem e reutilização (Khan *et al.*, 2021). Trata-se de uma abordagem regenerativa que visa controlar vários ciclos de energia e produção, minimizando, assim, vários problemas, como fuga de energia, desperdício de recursos e emissões nocivas (Geissdoerfer *et al.*, 2017). O sistema de produção baseado em EC garante a máxima funcionalidade de materiais e produtos. Desta forma, as práticas de EC aumentam particularmente a utilização efetiva de recursos que, essencialmente, aumentam o desempenho operacional da empresa (Sehnm *et al.*, 2019).

O desenvolvimento de práticas de EC exige que as empresas integrem critérios ecológicos, incluindo redução, reciclagem, reutilização e substituição de materiais nas suas atividades de gestão e cadeias de abastecimento (Botezat *et al.*, 2018; Masi *et al.*, 2017).

Zhu *et al.* (2013) argumentam que essas práticas podem ser agrupadas em gestão ambiental interna, *ecodesign*, gestão e recuperação de ativos corporativos, compras ecológicas e cooperação com os clientes. Estas são as categorias utilizadas neste estudo uma vez que se encontram em todas as etapas do ciclo de vida do produto e estão presentes em vários estudos (Green *et al.*, 2012; Khan & Qianli, 2017; Zhu & Sarkis, 2004; Zhu *et al.*, 2013).

A gestão ambiental interna é um dos principais métodos utilizados para caracterizar os esforços ambientais corporativos (Melnyk *et al.*, 2003; Sayre, 2014). Este método descreve processos e procedimentos que incorporam fatores ambientais, como formações ambientais especiais para trabalhadores ou sistemas internos de avaliação de desempenho (Zhu *et al.*, 2011). Além disso, apoia os objetivos ambientais intraorganizacionais e é fundamental para melhorar o desempenho ecológico de uma empresa (Melnyk *et al.*, 2003). As atividades incluídas na gestão ambiental interna estão relacionadas com a noção de prevenção da poluição dentro da visão baseada em recursos naturais. Alguns exemplos desta prática são o controle de poluição, minimização de resíduos, formação de funcionários, planeamento de metas e relatórios da alta administração (Melnyk *et al.*, 2003; Sarkis *et al.*, 2010).

O *ecodesign* descreve os processos de *design* do produto relativamente ao impacto ambiental, sendo, portanto, uma estratégia promissora para alcançar a ecoeficiência (Aoe, 2007). Além deste benefício, as práticas de *ecodesign* oferecem às empresas a oportunidade de fornecer aos mercados produtos diferenciados – por exemplo, com maior durabilidade ou reciclabilidade (Dalhammar, 2016) – e atender às necessidades específicas dos consumidores. Deste modo, o *ecodesign* exige que os produtores projetem produtos que reduzam o consumo de energia e materiais, que facilitem a reciclagem, reutilização e recuperação de componentes e materiais e, ao mesmo tempo, reduzam ou evitem o uso de materiais tóxicos e nocivos nos processos de fabricação (Zhu *et al.*, 2008).

A gestão e recuperação de ativos corporativos (*investment recovery*) refere-se à capacidade de revender e reutilizar materiais usados (Zhu *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2011). Do ponto de vista da empresa, é importante para fechar o ciclo e para capturar valor dentro da cadeia de abastecimento (Zhu *et al.*, 2011). Isso exige que as empresas pensem estrategicamente sobre como obter o maior valor de materiais e produtos (Zhu *et al.*, 2008). Deste modo, é uma meta importante a ser alcançada dentro da EC (Lieder & Rashid, 2016).

As compras ecológicas dão ênfase à aquisição verde e sustentável de materiais e componentes (Zhu *et al.*, 2007). Consiste na escolha e aquisição de produtos ou serviços que ajudem a reduzir de forma eficaz os efeitos ambientais adversos no decorrer do seu ciclo de vida (Preuss, 2001). Nesta prática são especificados os requisitos ambientais para os produtos solicitados aos fornecedores e existe uma colaboração com os mesmos de

forma a atingir os objetivos ambientais (Zsidisin & Hendrick, 1998). O papel do comprador é fundamental na transição para uma economia circular (Bals *et al.*, 2018; Ghisellini *et al.*, 2016). A compra é o elo de ligação entre os fornecedores e os processos de produção ou serviço da organização. Porém, existem vários fatores que tornam desafiadora a transição para a compra ecológica, nomeadamente a complexidade da organização, as múltiplas partes interessadas que estão envolvidas no processo de compra, a flexibilidade necessária para trabalhar em rede e a inovação necessária para criar novos produtos circulares (De Angelis *et al.*, 2018; Genovese *et al.*, 2017).

A cooperação com os clientes tem como objetivo a diminuição do custo total e do tempo de entrega, de forma a melhorar a satisfação dos clientes (Zhu *et al.*, 2013). Ao nível ambiental, exige um trabalho com os próprios clientes para que seja possível projetar produtos ambientalmente sustentáveis, como por exemplo, as embalagens verdes e processos de produção mais limpos, sendo este tipo de cooperação também importante para o *ecodesign* (Zhu *et al.*, 2008).

### 2.3. Desempenho Sustentável

O debate da sustentabilidade assume um papel central na reflexão sobre as dimensões do desenvolvimento e possíveis quadros de gestão emergentes na procura de organizações sustentáveis de classe mundial (Dubey *et al.*, 2017). Como resultado, surgiu uma nova estratégia de desenvolvimento, que incorpora aspetos políticos, económicos, sociais, tecnológicos e ambientais. Segundo McCormick *et al.* (2016), esse novo paradigma de gestão para o desenvolvimento sustentável exige ajustes significativos nos atuais sistemas de produção, organização da sociedade humana e exploração de recursos naturais que são necessários à vida humana e de outros seres vivos. É necessário modificar o lado humano da gestão da sustentabilidade que inclui comportamentos, culturas e interesses (Mebratu, 1998), de forma a integrar a sustentabilidade na estratégia da empresa e fazer com que os gestores adotem atitudes que se traduzam em ações voltadas para a sustentabilidade comercial da empresa (Renwick *et al.*, 2016).

O desenvolvimento sustentável é definido no Relatório Brundtland da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987) como “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Este conceito desempenha



um papel importante nos negócios e cadeias de abastecimento do século XXI. No contexto empresarial, um negócio sustentável é definido como “a organização que gera lucro para os seus acionistas enquanto protege o meio ambiente e melhora a vida daqueles com quem interage” (Savitz & Weber 2006, p.2).

Não existe uma definição consensual sobre o que significa ser sustentável. A noção de *triple bottom line* (TBL), que trata de resultados positivos nas dimensões económica, social e ambiental – sendo esta última a marca do primeiro uso do termo desenvolvimento sustentável – é atualmente predominante na literatura (Elkington, 1997). A sustentabilidade económica é um conceito com o qual a maioria das pessoas está familiarizada. Este conceito destaca várias medidas de produtividade e retorno sobre os ativos da empresa e pressupõe ter uma estratégia comercial que promova a geração de receita para auxiliar a empresa (Schulz & Flanigan, 2016). Foi operacionalizado como custos de produção ou fabricação no nível da fábrica (por exemplo, Cruz & Wakolbinger, 2008). A noção de sustentabilidade ambiental e social, por outro lado, nem sempre é óbvia. A sustentabilidade ambiental refere-se à utilização dos recursos naturais de uma forma que não prejudique o meio ambiente (Bai *et al.*, 2020). Os principais objetivos da sustentabilidade ambiental são usar os recursos de forma eficiente, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e manter o impacto ecológico em um nível mínimo (Braccini & Margherita, 2018). Ao nível da fábrica está relacionada com o uso de energia e outros recursos, bem como à pegada que as empresas deixam como resultado das suas atividades. Redução de resíduos, redução de poluição, eficiência energética, redução de emissões, diminuição do consumo de produtos perigosos/nocivos/tóxicos, diminuição da frequência de acidentes ambientais são alguns exemplos de sustentabilidade ambiental (Gimenez *et al.*, 2012). Já a sustentabilidade social lida com as práticas comerciais éticas da organização, refletindo a equidade no local de trabalho, o desenvolvimento do capital humano e o envolvimento da comunidade (Shdifat *et al.*, 2021). Esta última representa a comunicação entre a sociedade e a empresa lidando com compromisso social, relações entre empregador e empregados, salários justos e serviços de saúde (Alhaddi, 2015).

As empresas devem ser capazes de inovar e empregar novas tecnologias para evitar a poluição e outras questões sustentáveis, a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável de longo prazo (Bhupendra & Sangle, 2015). A combinação de vários recursos para responder às mudanças ambientais pode ser considerada um exemplo de capacidades organizacionais que criam uma vantagem competitiva baseada no meio

ambiente. Aprendizagem organizacional, desenvolvimento de conexões, visão partilhada, integração multifuncional e deteção/resposta tecnológica são capacidades importantes numa estratégia ambientalmente amigável (Aragón-Correa & Rubio-López, 2007; Leonidou *et al.*, 2015).

## 2.4. Tecnologias Digitais

“*Digitalization*” é muitas vezes utilizado de forma intercambiável com “*digitization*”. Ambos os conceitos estão relacionados, mas diferem em vários aspetos. O primeiro refere-se à forma como muitos domínios da vida social são reestruturados em torno da comunicação digital e das infraestruturas de mídia (Brennen & Kreiss, 2016). O segundo conceito trata-se de uma conversão de informações analógicas em formas digitais (Gbadegeshin, 2019). Neste estudo iremos utilizar o primeiro termo como referência.

Na era da digitalização, as organizações estão a melhorar o seu desempenho de negócios utilizando tecnologias digitais. Assim, as tecnologias digitais permitem que as empresas de produtos e serviços escolham, projetem e forneçam novos produtos e serviços inteligentes conectados que melhoram a sua vantagem competitiva (Porter & Heppelmann, 2014).

A digitalização dos processos de fabricação, principalmente através do uso de *big data* e análise preditiva, leva as empresas a melhorarem a previsão da procura, aumentarem a utilização de ativos e otimizarem os recursos no processo de fabricação (Vendrell-Herrero *et al.*, 2017). A *big data* desempenha um papel importante para facilitar a aquisição de informações desejadas e a tomada de decisão eficaz por meio da acumulação de conjuntos de dados (Čábelková *et al.*, 2021). Deste modo, o uso das novas tecnologias digitais, como *blockchain* (BDA), está a melhorar a colaboração entre as partes interessadas e a ajudar a rastrear o fluxo de bens e serviços através das fronteiras, o que garante confiança entre as empresas. A inteligência artificial (IA) é outra tecnologia digital que está a melhorar os processos repetitivos na cadeia de abastecimento, como compras, faturação e alguns aspetos do atendimento ao cliente (Gölzer & Fritzsche, 2017).

A era da digitalização deve-se à Indústria 4.0, em que cada operação e função é digital (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). A Indústria 4.0. trata-se de uma iniciativa

estratégica alemã que representa a quarta revolução industrial, que começou no início do século XXI. Esta está a evoluir exponencialmente e diferencia-se da anterior – a terceira revolução, baseada em TICs (tecnologias de informação) e automação – devido à sua velocidade, alcance e impacto nos sistemas (Schwab, 2016). A quarta revolução industrial é um processo de aprendizagem caracterizado pela fusão de tecnologias digitais e a interação entre as esferas física, digital e biológica e está a revolucionar as cadeias de valor das empresas (North *et al.*, 2019). A Indústria 4.0 consiste, assim, numa transformação global da indústria manufatureira pela introdução da digitalização e da Internet, bem como o surgimento e difusão das tecnologias digitais existentes, aumentando a conectividade ao longo das cadeias de valor e a integração de ativos físicos em ecossistemas digitais (Parida *et al.*, 2019; Rüßmann *et al.*, 2015). Este conceito foi desenvolvido com o objetivo de criar fábricas inteligentes usando tecnologias de fusão, como análise de *big data*, internet das coisas (IoT), impressão 3D, realidade aumentada, computação em nuvem e sistemas robóticos para desenvolver sistemas ciber-físicos que impulsionam o desempenho TBL das organizações (Kamble *et al.*, 2018). Com a utilização das tecnologias da indústria 4.0, o produto pode ser monitorizado ao longo do seu ciclo de vida, o que pode ajudar na perceção de padrões de consumo, geração de resíduos, necessidade de manutenção e fim de vida do produto (de Man & Strandhagen, 2017; Lopes de Sousa Jabbour *et al.*, 2018).

As tecnologias 4.0 procuram superar os desafios contemporâneos tais como a competição global, mercados e procura voláteis, maior customização por meio de comunicação, informação e inteligência, e superar a diminuição da inovação e dos ciclos de vida dos produtos (Kiel *et al.*, 2020). A implementação destas tecnologias tem como benefícios o facto de reduzir os custos do produto, melhorar os prazos de entrega, a qualidade do produto e oferecer outros benefícios associados ao uso de tecnologias (Bibby & Dehe, 2018).

As tecnologias I4 como IoT, computação em nuvem e sistemas ciber-físicos (CPS) estão a ganhar aceitação nas organizações industriais à medida que estão mais perto de uma economia circular sustentável (Kusi-Sarpong *et al.*, 2021). Os produtos autónomos estão a ser transformados em produtos inteligentes com o uso destas tecnologias. Esses produtos inteligentes podem ser monitorados quanto ao uso, condições de trabalho e localização em tempo real (Pagoropoulos *et al.*, 2017). As informações sobre os produtos inteligentes podem ajudar as empresas a atualizar o *firmware* do

produto, reduzindo assim os riscos de obsolescência, melhorando a vida útil do produto, possibilitando a EC (Pialot *et al.*, 2017). As tecnologias de IoT e identificação por radiofrequência (RFID) desempenham um papel significativo na rastreabilidade de produtos e peças de reposição (Franco, 2017), contribuindo assim para os objetivos de EC (Nobre & Tavares, 2017). A *blockchain*, que ajuda a obter *insights* significativos a partir dos dados recolhidos em tempo real, pode apoiar o avanço da EC ao oferecer informações significativas necessárias para o processo de tomada de decisão orientado para a sustentabilidade (Jabbour *et al.*, 2019).

No entanto, as tecnologias 4.0 também trazem muitos desafios e limitações para a sociedade. Por exemplo, redução de empregos, problemas de segurança da informação, complexidade de dados, resíduos eletrônicos e baixa qualidade (Rojko, 2017).

## 2.5. Orientações Estratégicas

A visão baseada em recursos naturais foi introduzida por Hart (1995) e estende a noção mais geral da visão baseada em recursos. Esta prevê que recursos valiosos, raros, imperfeitamente imitáveis e insubstituíveis geram uma vantagem competitiva sustentada para as empresas (Barney, 1991). De acordo com esta visão, a gestão do produto é um aspeto crucial na construção da vantagem competitiva de longo prazo (Hart, 1995). Como resultado, os investigadores começaram a identificar os fatores que levam à formação de práticas empresariais subjacentes (Ciliberto *et al.*, 2021; Colucci & Vecchi, 2021). Vários autores enfatizam o efeito de orientações estratégicas, definidas como "a filosofia da empresa de como fazer negócios por meio de um conjunto profundamente estabelecido de valores e crenças que direciona o esforço da empresa para alcançar um desempenho superior (Gatignon & Xuereb, 1997) citado por Zhou *et al.*, 2005 (pp. 44-45). Deste modo, a orientação estratégica (OE) de uma organização influencia as suas crenças empresariais e direciona as suas atividades (Gatignon & Xuereb, 1997; Zhou *et al.*, 2005), existindo vários tipos de OE (Theodosiou *et al.*, 2012).

A orientação estratégica em direção à digitalização, também conhecida como orientação digital, é um subconjunto de orientação tecnológica, que é definido como o objetivo de uma empresa de compreender e usar a tecnologia para responder às mudanças no ambiente (Khin & Ho, 2018). Segundo Kindermann *et al.* (2021), a orientação digital fornece uma direção estratégica às empresas para promover e implementar metas

específicas de digitalização, bem como selecionar atividades de digitalização relevantes. Este tipo de orientação é, portanto, crucial porque requer monitoramento constante das novas tecnologias digitais e as suas diversas aplicações; também incentiva o desenvolvimento de novas formas de criação de valor com essas tecnologias que se adequem às necessidades e expectativas dos clientes, além de antecipar impactos futuros (Burchardt & Maisch, 2019). Desta forma, é formado um ambiente na empresa que fomenta a experimentação com tecnologias digitais, permitindo que as empresas implementem facilmente soluções digitais diferenciadas ou adicionem novos componentes digitais às suas ofertas atuais de produtos e serviços (Vial, 2021).

Outra orientação estratégica importante é a orientação *closed-loop*, que inclui uma visão holística do ciclo de vida de materiais e produtos de uma empresa e a sua reciclabilidade (Guide & van Wassenhove, 2009; Zhu *et al.*, 2008). De acordo com Liu e Chang (2017), este tipo de orientação refere-se à crença da empresa em possibilitar a reciclagem e a remanufatura dos materiais utilizados na sua produção, bem como a reciclagem dos resíduos do processo produtivo. A literatura sugere que as iniciativas de redução e reciclagem de resíduos são aquelas que têm “o melhor potencial direto” para tornar o uso de materiais mais eficiente e obter redução de custos, limitando a compra de matérias-primas e reduzindo o custo do descarte de resíduos, melhorando assim o desempenho ambiental e económico (Bowen *et al.*, 2006). No entanto, a orientação *closed-loop* também levará as empresas a projetar e desenvolver produtos usando materiais não perigosos a um preço mais alto, a fim de minimizar o descarte de resíduos (EPA, 2000). Além disso, esta orientação exige que as empresas aumentem os seus investimentos em tecnologias avançadas. Porém, a longo prazo, este investimento inicial trará grandes benefícios para as empresas orientadas para o *closed-loop* (Liu & Chang, 2017).

## 2.6. Hipóteses de Investigação e Modelo Conceptual

Segundo Kindermann *et al.* (2021), a orientação digital é uma orientação estratégica das empresas que atende às mudanças induzidas pela tecnologia digital. Esta orientação mudará a lógica competitiva tradicional para estimular processos distintos e inovadores e alinhamento de gestão e organizacional. Khuntia *et al.* (2021) afirma que a orientação digital com uma direção estratégica e futurista alimentará e implementará as

iniciativas de digitalização subsequentes. Como resultado, a orientação digital criará valor além do que é visto como os retornos imediatos dos investimentos digitais (Kohli & Melville, 2018) e direcionará para um alcance e grau de abertura sem precedentes, impulsionado por processos generativos e imprevisíveis e dependentes das possibilidades específicas das tecnologias digitais (Nambisan *et al.*, 2019).

De acordo com Yousaf *et al.* (2021), a orientação digital influencia positivamente a inovação digital sustentável. A orientação digital adequa-se aos negócios num ambiente em mudança, garantindo que as empresas sobrevivem adotando os métodos mais recentes e inovadores (De Lomana *et al.*, 2019). De modo a alcançar a vantagem competitiva, diferenciando o negócio dos concorrentes, as empresas estão focadas em gerir a inovação digital usando a orientação digital (Kiron *et al.*, 2016). Deste modo, a orientação digital é um meio para analisar o papel das capacidades digitais e dos recursos internos, o que resulta numa compreensão aprofundada do potencial de inovação digital (Brenner, 2018). As organizações mais suscetíveis a alcançar uma inovação digital sustentável e transformação digital são as que apresentam uma alta orientação para a otimização, interação com o cliente e utilização das tecnologias digitais (Bican & Brem, 2020). As empresas orientadas para o digital estão dispostas a suportar os custos e os riscos implícitos para alcançar as metas de inovação digital sustentável e apoiar a transformação do processo de inovação tradicional em inovação digital (Al-Emran *et al.*, 2018).

Eller *et al.* (2020) afirma que existe uma relação positiva entre a estratégia digital e a digitalização. Uma estratégia digital envolve a transformação de produtos e serviços através de tecnologias digitais numa perspetiva centrada no negócio (Matt *et al.*, 2015). Esta estratégia reconhece os recursos digitais como um todo (Bharadwaj *et al.*, 2013), criando e cumprindo expectativas dentro da organização para adquirir novos recursos (Fisher *et al.*, 2016). A adoção de tecnologias digitais permite a existência de uma organização mais ampla, transcende as fronteiras tradicionais das empresas existentes e exige uma estratégia para coordenar toda a transformação para atingir os objetivos traçados (Matt *et al.*, 2015).

Dado isto, propõe-se a seguinte hipótese:

**H1:** A orientação digital afeta positivamente a adoção de tecnologias I4.

A digitalização nas indústrias está a acelerar a produção, lucratividade e melhoria de produtividade, redução de erros e otimização dos impactos ambientais. Assim, um

benefício muito significativo da digitalização é a sustentabilidade (Hourneaux *et al.*, 2018). A adoção de aspetos de EC e sustentabilidade auxilia as indústrias a atingirem a estratégia corporativa. Deste modo, a sustentabilidade e o desempenho empresarial da EC estão interligados para oferecer um crescimento sustentável (Tajbakhsh & Hassini, 2015).

Além disso, a indústria 4.0 contribui para o cumprimento dos objetivos de sustentabilidade, orientando as organizações fabris para uma nova área de crescimento e desenvolvimento. Cada técnica e estratégia da I4 contém os aspetos da sustentabilidade e envolve os processos produtivos. As tecnologias I4 baseiam-se nos princípios de um sistema de manufatura em rede que estão virtualmente conectados às redes, sendo modulares e podem responder às exigências internas e externas em tempo real (Carvalho *et al.*, 2018).

Kamble e Gunasekaran (2021) afirmam que as tecnologias I4 têm uma influência positiva no desempenho sustentável. As melhorias sustentáveis no desempenho podem traduzir-se na forma de aumento da lucratividade, melhorias na utilização de recursos e redução da geração de resíduos (Tseng *et al.*, 2018).

Segundo Stock e Seliger (2016), os potenciais das tecnologias da indústria 4.0 incluem contribuições ou limitações substanciais para o desenvolvimento organizacional e social sustentável. Considerando a dimensão económica, resulta em tempos de set-up reduzidos, prazos de entrega mais curtos, custos de mão de obra e materiais reduzidos, maior flexibilidade de produção, maior produtividade e personalização aprimorada (Dalenogare *et al.*, 2018; Rüßmann *et al.*, 2015). Do ponto de vista ecológico, as tecnologias 4.0 podem reduzir o consumo de energia e recursos por meio de deteção e análise de dados em processos de produção e cadeia de abastecimento (Shrouf *et al.*, 2014). Para dimensões de sustentabilidade social, sistemas de produção inteligentes e autónomos podem apoiar a saúde e segurança dos funcionários, assumindo tarefas monótonas e repetitivas; resultando em maior satisfação e motivação dos funcionários (Müller *et al.*, 2018). Assim, as tecnologias I4 são identificadas como tendo um forte potencial para cumprir os requisitos de sustentabilidade, contribuindo para a criação de valor industrial e produção sustentável, levando a um melhor desempenho organizacional (Kiel *et al.* 2020; Stock & Seliger 2016; Müller *et al.*, 2018).

Jayashree *et al.* (2022) propõe uma relação significativa entre as três dimensões da sustentabilidade (económica, social e ambiental) e a adoção de tecnologias I4. A

adoção de tecnologias da Indústria 4.0 diminuirá o custo de produção por meio do uso eficiente de recursos.

De acordo com o referido anteriormente, propõe-se a seguinte hipótese:

**H2:** A adoção de tecnologias I4 tem uma influência positiva no desempenho sustentável.

Um crescente corpo de literatura afirma que existe uma associação positiva entre as tecnologias digitais e a EC (Chauhan *et al.*, 2022; Ajwani-Ramchandani *et al.*, 2021; Ingemarsdotter *et al.*, 2019). Segundo Bag *et al.* (2021) e Ma *et al.* (2020), a adoção de tecnologias de digitalização está positivamente ligada ao desenvolvimento de capacidades de EC. Com a aplicação dessas tecnologias, os produtos podem ser coordenados nos ciclos de vida e organizados entre as fábricas (Çetin *et al.*, 2021). Além disso, a enorme quantidade de dados gerados nas organizações aliada a diversas tecnologias de ponta pode auxiliar na transição sistemática para a EC (Kristoffersen *et al.*, 2020).

A combinação de várias tecnologias I4, como análise de dados, mineração de dados, Internet das Coisas (IoT) e sistemas ciberfísicos proporcionou oportunidades significativas para obter valor industrial sustentável e EC (Antikainen *et al.*, 2018). Além disso, as tecnologias digitais como *blockchain* e inteligência artificial melhoram a transparência e a rastreabilidade ao longo da vida de um produto (Fogarassy & Finger, 2020). Desta forma, Kamble e Gunasekaran (2021) concluíram que uma implementação bem-sucedida das tecnologias 4.0 resulta em práticas de EC eficientes.

Lopes de Sousa Jabbour *et al.* (2018) afirmam que as práticas de EC numa organização podem ser aprimoradas usando tecnologias I4. Adicionalmente, a recolha de dados e a partilha de informações suportam as tecnologias I4 na integração de cadeias de valor (de Man & Strandhagen 2017; Stock & Seliger 2016).

O estudo de Umar *et al.* (2021) mostra o impacto significativo e positivo das tecnologias 4.0. nas práticas verdes e sustentáveis. De acordo com este autor, a literatura existente fundamenta a importância das tecnologias 4.0 na implementação de práticas verdes para minimizar as adversidades ambientais. Por exemplo, o uso da IoT pode facilitar a gestão da cadeia de abastecimento verde (GSCM), reduzindo significativamente as emissões nocivas e melhorando a otimização do tempo de resposta e a disponibilidade de recursos (Mastos *et al.*, 2020). Recentemente, Karupiah *et al.*



(2021) indicou que a falta de tecnologias modernas é um dos inibidores mais influentes na implementação de práticas de economia circular. Da mesma forma, a aplicação das tecnologias I4 também ajuda a reduzir o desperdício de produção e aumentar a eficiência do consumo de recursos. Estas tecnologias podem também fortalecer a capacidade de gerir informações para facilitar estratégias ecologicamente corretas (Khan *et al.*, 2020).

Khan *et al.* (2021) refere o impacto positivo da tecnologia *blockchain* (BCT) nas principais práticas de EC. A BCT tem potencial para facilitar as práticas de EC e lidar com diferentes barreiras na transição para EC (Wang *et al.*, 2020). Por exemplo, diferentes recursos da BCT, como automação, confiabilidade e transparência, podem facilitar efetivamente as estratégias de EC. Além disso, o recurso *blockchain* também pode apoiar a implementação de iniciativas de reciclagem e melhorar o desempenho da circularidade (Kouhizadeh *et al.*, 2020).

Trujillo-Gallego *et al.* (2022) concluíram que as tecnologias digitais têm um efeito positivo e direto nas práticas operacionais de GSCM. Os benefícios das tecnologias digitais da indústria 4.0 na implementação da cadeia de abastecimento verde e na sustentabilidade ambiental foram reconhecidos na literatura (Dubey *et al.*, 2019; Sarkis *et al.*, 2020). No processo de fabricação, as tecnologias digitais permitem a integração e comunicação entre os sistemas de produção, aumentando a flexibilidade e eficiência do processo, o que pode ajudar a responder rapidamente às mudanças da procura, facilitar a fabricação de produtos personalizados e garantir a qualidade (Li *et al.*, 2020; Sarkis *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2021). Além disso, podem regular parâmetros ambientais, como consumo de recursos, toxicidade, resíduos, emissões de gases de efeito estufa e eficiência energética, em tempo real, por meio da otimização automática dos processos de fabricação (de Sousa Jabbour *et al.*, 2018; Qin *et al.*, 2021).

Dado isto, propõe-se a seguinte hipótese:

**H3:** A adoção de tecnologias I4 têm uma influência positiva na adoção de práticas de economia circular.

A economia circular é vista como um modelo de negócios que deve levar a um desenvolvimento mais sustentável e uma sociedade harmoniosa (Zhijun & Nailing, 2007). O desenvolvimento sustentável requer consideração equilibrada e simultânea dos aspetos económicos, ambientais, tecnológicos e sociais de uma economia, setor ou processo industrial investigado, bem como da interação entre todos esses aspetos (Ren *et al.*, 2013).

A EC contribui positivamente para conciliar todos os elementos, graças à sua lógica subjacente, principalmente enraizada em aspetos ambientais e políticos (Birat, 2015), bem como económicos e empresariais (EMF, 2012). Deste modo, Geissdoerfer *et al.* (2017) identificou a EC como um dos pré-requisitos para a sustentabilidade. As práticas de EC têm um impacto positivo no TBL, contribuindo para a sustentabilidade das organizações e desacelerando os ciclos de recursos (Hobson *et al.*, 2018). A implementação de práticas de EC também oferece benefícios económicos para as organizações, facilitando a gestão adequada de resíduos, conservação de recursos e utilização eficiente de finanças (Mangla *et al.*, 2018). O sistema de fabricação tradicional é a principal razão por trás da degradação ambiental (Bag & Pretorius, 2020). Assim, a adoção de técnicas ecológicas na forma de práticas de EC pode reduzir significativamente os resíduos e as emissões nocivas que ajudam as organizações a alcançar um desempenho sustentável (Konietzko *et al.*, 2020). Os princípios de EC apoiam as organizações a superar os desafios da cadeia de abastecimento e transformá-los em cadeias de abastecimento circulares (De Angelis *et al.*, 2018). As práticas de EC e práticas de fabricação sustentáveis estão a ser cada vez mais adotadas por organizações de manufatura para mitigar os riscos ambientais (Moktadir *et al.*, 2018). Desta forma, Lahti *et al.* (2018) sugerem que organizações com EC e modelos de negócios sustentáveis terão uma vantagem em relação aos seus concorrentes e um enorme potencial que pode levar a lucros de longo prazo e competitividade de mercado.

As tecnologias I4 são encontradas para impulsionar a implantação de EC, que juntas têm um enorme potencial para otimizar as metas de desempenho sustentável, como o consumo reduzido de recursos e taxas de emissão de gases (Tseng *et al.* 2018). Wang *et al.* (2018) afirmam que existe uma necessidade urgente de promover a EC baseada no ciclo de vida, melhorando os esforços de fabricação dentro da fábrica. Segundo Lieder e Rashid (2016), as tecnologias de informação (TI) nas indústrias manufatureiras estão desenvolvidas o suficiente para suportar a implementação da EC. Espera-se que a combinação do sistema ciberfísico, análise de *big data*, IoT e estruturas de negócios inovadoras promova a EC e o ambiente de criação de valor industrial sustentável (Antikainen *et al.*, 2018; Bressanelli *et al.* 2018).

Face ao exposto são propostas as seguintes hipóteses:

**H4:** As práticas de economia circular mediam a relação entre as tecnologias I4 e o desempenho sustentável.

No seu estudo Schmidt *et al.* (2021) concluíram que a orientação *closed-loop* tem um efeito positivo significativo na adoção de várias práticas de EC, nomeadamente gestão ambiental interna, *ecodesign* e gestão e recuperação de ativos corporativos.

A gestão ambiental interna, segundo Zhu *et al.* (2011), compreende tarefas como implementar sistemas de gestão que possam medir aspetos ambientais, fornecer relatórios ambientais e trabalhar de forma interfuncional em questões ambientais. Deste modo, a implementação de atividades operacionais de gestão ambiental interna deve ser conduzida pela orientação *closed-loop* de uma empresa. Além disso, as empresas de *closed-loop* devem projetar produtos com baixas emissões de fabricação, bem como baixo consumo de recursos e energia durante o uso do cliente, a fim de oferecer produtos com baixo impacto ambiental. Esses produtos também devem ser altamente recicláveis e remanufaturados (Dangelico *et al.*, 2017). Assim, estas empresas adotam uma abordagem holística do ciclo de vida (Defee *et al.*, 2009). O seu objetivo é melhorar a reciclabilidade e a remanufatura dos seus produtos, além de implementar métodos operacionais ecologicamente corretos (Liu & Chang, 2017). Desta forma, a disposição interna de contribuir com recursos e agir de forma moralmente correta provou ser um impulsionador daecoinovação e do *ecodesign* (Salo *et al.*, 2020), implicando que a orientação *closed-loop* tem um impacto benéfico no *ecodesign*. Por outro lado, espera-se que as empresas com uma orientação *closed-loop* desenvolvam capacidades que lhes permitam fechar os ciclos de recursos que não estão imediatamente relacionados aos seus produtos (Defee *et al.*, 2009). Nesse contexto, a gestão e recuperação de ativos corporativos é importante, pois é vista como uma alternativa para descarte de sobras e materiais em excesso (Zsidisin & Hendrick, 1998).

Além disso, Liu e Chang (2017) concluíram também que existe um impacto positivo da orientação *closed-loop* na implementação de práticas de economia circular. Defee *et al.* (2009) afirmam que as organizações que possuem uma orientação *closed-loop* da cadeia de abastecimento serão mais propensas a desenvolver uma capacidade de cadeia de abastecimento de *closed-loop*. Roerich *et al.* (2014) argumentam que um compromisso de longo prazo com a gestão sustentável da cadeia de abastecimento pode ajudar a construir as capacidades necessárias para a implementação de iniciativas sustentáveis. Neste contexto, o termo capacidade refere-se a processos e rotinas que representam a maneira como a empresa opera no seu ambiente competitivo. Aplicando um ponto de vista baseado em recursos GSCM, uma empresa orientada para *closed-loop*

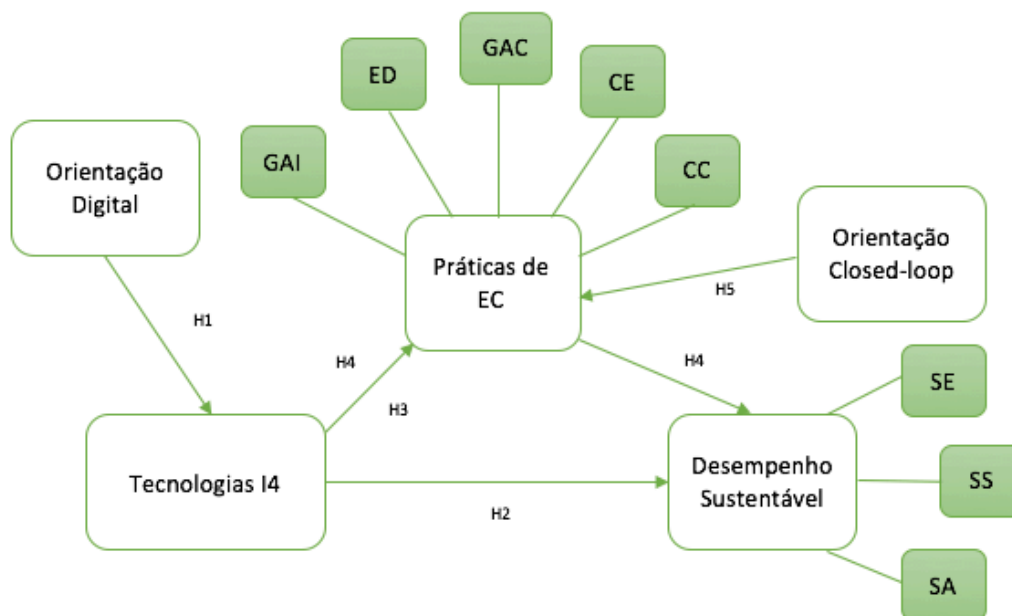
estará mais inclinada a direcionar os seus recursos para desenvolver uma capacidade de GSCM para alcançar uma vantagem competitiva. A empresa irá institucionalizar processos e rotinas centrados na efetiva recuperação ou reciclagem de materiais/componentes/produtos com o objetivo de alcançar a maximização da recuperação de materiais em termos do fecho de todo o ciclo da cadeia de abastecimento desde a compra inicial de materiais até a reentrada de materiais reciclados. Ao apoiar, por exemplo, as compras ecológicas, a empresa poderá ter uma cooperação mais próxima com os seus fornecedores e clientes.

Face ao referido anteriormente, formula-se a seguinte hipótese:

**H5:** A orientação *closed-loop* afeta positivamente a adoção de práticas de economia circular.

A figura 1 apresenta o modelo conceptual, assim como as respetivas hipóteses de investigação, propostas para este estudo.

**Figura 1** - Modelo conceptual proposto



**Fonte:** Elaboração própria

**Legenda:** GAI – Gestão ambiental interna; ED – Ecodesign; GAC – Gestão e recuperação de ativos corporativos; CE – Compras ecológicas; CC – Cooperação com

os clientes; SE – Sustentabilidade económica; SS – Sustentabilidade social; SA – Sustentabilidade ambiental

### 3. METODOLOGIA

A abordagem adotada foi um estudo quantitativo, caracterizado por examinar relações entre variáveis e utilizar dados quantitativo. A metodologia segue uma abordagem dedutiva e confirmatória (Saunders *et al.*, 2009). O método de pesquisa quantitativo permite correlacionar variáveis, testar teorias e hipóteses e ainda fazer previsões sustentadas dos fenómenos a estudar (Ryan, 2006). As hipóteses a testar são propostas com base em literatura existente e, de seguida, foi elaborada uma recolha de dados demográficos e factuais, através de um questionário. Posteriormente, foram formadas conclusões para a população-alvo, através da informação obtida pelo questionário, o que permitiu comprovar as relações entre as variáveis estudadas.

Este capítulo encontra-se dividido em três partes e pretende descrever as decisões metodológicas tomadas no processo de investigação, assim como os procedimentos e técnicas aplicados que serviram de guia para a elaboração deste estudo. Na primeira parte, é descrita a amostra utilizada e como foi obtida; de seguida serão apresentados os procedimentos para a elaboração, envio e acompanhamento do questionário; e na última parte é apresentada uma descrição detalhada das variáveis utilizadas no modelo conceptual.

#### 3.1. População-alvo e Seleção da Amostra

A população-alvo deste estudo é constituída por empresas da indústria transformadora portuguesa a exercer atividade em 2022. A indústria transformadora inclui todas as atividades económicas que envolvem a produção de bens de consumo, de bens intermédios e de investimento. A seleção desta indústria teve como principal motivo o seu importante papel para o crescimento económico da maioria dos países (Abdul-Rashid *et al.*, 2017), que tem um elevado impacto ambiental, existindo assim uma crescente necessidade de adoção de iniciativas ambientais eficazes (Masri & Jaaron, 2017). As atividades de produção têm um impacto ambiental negativo uma vez que geram grandes quantidades de resíduos, exploram em demasia recursos naturais e têm um

consumo de energia excessivo (Abdul-Rashid *et al.*, 2017). Esta indústria foi forçada, mais do que qualquer outro setor, a repensar a forma de gerir as suas operações e processos para responder às regulamentações ambientais governamentais e ao crescimento da procura dos clientes por produtos e serviços ambientalmente sustentáveis (Garza-Reyes, 2015). Desta forma, torna-se importante explorar oportunidades como a adoção de práticas de gestão ambiental nesta indústria. Por outro lado, o conceito de indústria 4.0 possui uma arquitetura tecnológica muito complexa nas empresas transformadoras (Lee *et al.*, 2015), sendo uma das principais preocupações nesta nova era industrial. Logo, a implementação efetiva das tecnologias 4.0 ainda é objeto de pesquisa (Lee *et al.*, 2015; Dalenogare *et al.*, 2018). Deste modo, é relevante perceber a forma como essas tecnologias são adotadas nas empresas da indústria transformadora.

A amostra do presente trabalho foi obtida através de uma base de dados concebida pela Informa D&B, que continha a distribuição das entidades ativas na CAE C. Na base de dados estavam listadas 9258 empresas da indústria transformadora portuguesa, com mais de 10 empregados e que possuíam *e-mail* ativo.

Os dados disponibilizados a respeito de cada empresa incluíam identificador único, email, CAE principal, descritivo da CAE, número de colaboradores em 2022, data de constituição e volume de negócios em 2022. A base de dados não tinha empresas duplicadas, pelo que, não foi necessário efetuar a eliminação de nenhuma. O questionário elaborado foi enviado para todas as empresas indicadas na base de dados.

De forma a perceber o nível de conhecimento relativamente às variáveis em estudo que os respondentes possuíam, tendo em conta o conteúdo das questões apresentadas no questionário, foi-lhes solicitado que indicassem o número de anos em que se encontra integrado na empresa, a posição que ocupavam atualmente dentro da empresa e o número de anos a exercer essa função.

### 3.2. Questionário

O questionário é uma das ferramentas mais utilizadas como instrumento de recolha de dados uma vez que, em estudos transversais e de natureza explicativa, como é o caso do presente estudo, permitem mais facilmente a recolha de um elevado número de dados de uma população (Saunders *et al.*, 2009). Em estudos empíricos idênticos já realizados, relacionados com práticas de economia circular e tecnologias digitais, a

utilização de questionários como instrumento de recolha de dados é uma prática comum (e.g. Kamble & Gunasekaran; Schmidt *et al.*, 2021; Arias-Pérez & Vélez-Jaramillo, 2022; Zhu *et al.*, 2013).

Para o presente estudo, foi elaborado um questionário online, com recurso ao programa *LimeSurvey* ([www.limesurvey.org](http://www.limesurvey.org)), e o mesmo foi enviado por *e-mail*, através de um *link*, a todas as empresas que constavam na base de dados.

O questionário foi desenvolvido após a realização de uma revisão de literatura de forma a perceber como têm sido medidas e definidas as variáveis utilizadas no modelo conceptual, quais são as dimensões onde se enquadram e quais os vários indicadores utilizados para as medir. Deste modo, o questionário foi baseado em escalas previamente testadas na literatura (Churchill, 1979). Segundo este autor, devem ser utilizadas escalas multi-item em todas as variáveis latentes de forma reduzir o erro de medida e a aumentar a fiabilidade.

O questionário é constituído maioritariamente por questões de resposta fechada. No decorrer do questionário foi utilizada uma linguagem clara e de simples compreensão, com o intuito de ser acessível a todos os participantes do estudo (Barnett, 1991).

O questionário foi estruturado e dividido em 6 secções:

- Secção 1 – Caracterização da Empresa
- Secção 2 – Práticas de Gestão Ambiental
- Secção 3 – Adoção de Tecnologias
- Secção 4 – Orientações Estratégicas
- Secção 5 – Desempenho Sustentável
- Secção 6 – Caracterização do Inquirido

### *3.2.1. Construção, envio e acompanhamento do questionário*

O questionário esteve ativo desde o dia 23 de junho de 2022 até ao dia 02 de agosto de 2022. O *e-mail* elaborado com o convite para a participação no questionário continha uma explicação clara do propósito e os objetivos do estudo em causa, o público-alvo, duração do preenchimento do mesmo (15 min) e o link de acesso ao questionário. A confidencialidade e anonimato das respostas também foram asseguradas. O *e-mail* em questão pode ser observado no Anexo B.

Após o envio do primeiro convite foram enviados mais 3 *e-mails* lembretes (*follow ups*), com o intuito de lembrar os inquiridos de responder ao questionário, de modo a aumentar a taxa de resposta, estando descrito o corpo do primeiro lembrete no Anexo C. Conforme as empresas iam respondendo ao questionário, estas eram retiradas automaticamente da lista de envio dos lembretes, assim como aquelas que solicitavam ser retiradas da base de dados.

Durante o período em que o questionário esteve ativo, foram registadas 188 respostas no total, o que corresponde a uma taxa de resposta de 2,03% (188/9258). Foram removidas 33 empresas da base de dados, o que diminuiu a dimensão da amostra para 9225, o que leva a uma taxa de resposta efetiva de 2,04% (188/9225). A remoção das empresas da base de dados deu-se por diversos motivos, tais como: *e-mails* que se encontravam inativos (9 *e-mails*), falta de interesse ou possibilidade de participar no questionário (13 *e-mails*), empresas que não se enquadravam na população-alvo (5 *e-mails*) e empresas que se encontravam de férias (6 *e-mails*). Deste modo, a amostra final é de 188 empresas e a taxa de resposta efetiva final é de 2,04%.

De modo a evitar o *Common Method Bias* (CMB) foram adotadas algumas medidas, tais como: a confidencialidade dos respondentes; a utilização de itens de medida simples e específicos para que exista uma melhor compreensão; o facto de não ser dado a conhecer aos respondentes as relações entre as variáveis estudadas no modelo; a confidencialidade dos respondentes e a colocação das variáveis independentes antes das variáveis dependentes (Podsakoff *et al.*, 2003).

### 3.3. Definição e operacionalização das variáveis do modelo

Com o intuito de medir os itens que integram as variáveis latentes utilizadas no modelo proposto (práticas de economia circular/gestão ambiental, tecnologias I4, orientação digital, orientação *closed-loop* e desempenho sustentável), foram utilizadas escalas multi-item previamente testadas na literatura.

Para medir as práticas de economia circular, foi solicitado aos inquiridos que indicassem, numa escala de medida tipo Likert de 5 pontos, o grau de implementação de cada prática nas suas empresas (1 = “Não implementada” a 5 = “Implementada com sucesso”). Para a medição das tecnologias I4, da orientação digital e da orientação *closed-loop*, foi solicitado aos inquiridos que indicassem, numa escala de medida tipo Likert de



5 pontos, o grau de concordância com as afirmações referentes a cada uma das variáveis (1 = Discordo Totalmente a 5 = Concordo Totalmente). Para medir o desempenho sustentável, foi solicitado aos inquiridos que indicassem, numa escala tipo Likert de 5 pontos, como avaliam a significância das melhorias obtidas devido à implementação de práticas de gestão ambiental pela sua empresa e da adoção de tecnologias digitais, relativamente a cada item (1 = “Nada significativa” a 5 = “Muito significativa”). As escalas de medida utilizadas para a medição de cada variável latente, bem como as fontes de onde foram adaptadas, são apresentadas no Anexo D.

- **Práticas de Economia Circular**

No presente estudo, a variável latente “práticas de economia circular” foi operacionalizada como um fator de segunda ordem, composto por 5 fatores de primeira ordem conforme os estudos de Schmidt *et al.* (2021) e Zhu *et al.* (2013). Assim, as práticas de economia circular foram agrupadas em cinco categorias, nomeadamente: a gestão ambiental interna, o *ecodesign*, a recuperação do investimento, as compras ecológicas e a cooperação com os clientes a nível ambiental. As práticas de gestão ambiental interna foram medidas por 10 itens adaptados de Schmidt *et al.* (2021) e consiste na capacidade de uma organização escolher e adotar uma estratégia interna sustentável. A variável referente ao *ecodesign* foi medida por 4 itens adaptados de Schmidt *et al.* (2021) e refere-se à utilização de processos de design do produto com menor impacto ambiental. A recuperação do investimento traduz-se na capacidade de revender e reutilizar materiais usados, dando uma nova vida aos produtos que não estão a ser utilizados nas empresas, e foi medido por 6 itens adaptados de Schmidt *et al.* (2021). A variável referente às compras ecológicas consiste na escolha e aquisição de produtos ou serviços que permitam reduzir de forma eficaz os efeitos ambientais adversos no decorrer do seu ciclo de vida, sendo medida por 9 itens adaptados de Zhu *et al.* (2013). Por fim, a cooperação com os clientes a nível ambiental foi medida por 7 itens adaptados de Zhu *et al.* (2013) e trata-se de um trabalho coletivo com os próprios clientes de forma a ser possível criar produtos ambientalmente sustentáveis.

- **Tecnologias I4**

As tecnologias I4 foram medidas por 15 itens adaptados de Kamble e Gunasekaran (2021) e Zekhnini *et al.* (2021) e permitem que as empresas criem novos produtos e serviços inteligentes que levem à sua vantagem competitiva.

- **Orientação Digital**

A variável “orientação digital” foi medida por 7 itens adaptados de Arias-Pérez e Vélez-Jaramillo (2022) e consiste em desenvolver uma visão clara sobre como as novas tecnologias digitais contribuem para o valor do negócio.

- **Orientação *Closed-loop***

A orientação *closed-loop* consiste na “orientação estratégica para a reciclabilidade de materiais/componentes/produtos durante todo o ciclo da cadeia de abastecimento” (Liu & Chang, 2017, p.07). Esta variável foi medida por 12 itens adaptados de Schmidt *et al.* (2021).

- **Desempenho Sustentável**

Neste estudo, a variável latente “desempenho sustentável” foi operacionalizada como um fator de segunda ordem, composto por 3 fatores de primeira ordem, conforme o estudo de Kamble e Gunasekaran (2021), sendo eles: sustentabilidade económica (8 itens), sustentabilidade social (6 itens) e sustentabilidade ambiental (7 itens). Todos os itens utilizados para a medição de cada uma das práticas (fatores de primeira ordem) foram adaptados do estudo de Kamble e Gunasekaran (2021). A sustentabilidade económica concentra-se na obtenção de lucros e retorno de ativos para a empresa (Schulz & Flanigan, 2016). A sustentabilidade social visa o avanço da humanidade e da sociedade (Kiel *et al.*, 2020), existindo uma ligação entre a empresa e a sua contribuição para a comunidade no geral. Por último, a sustentabilidade ambiental esforça-se para preservar os recursos naturais (Bai *et al.*, 2020) e o objetivo geral deve ser identificar e executar planos que sejam sustentáveis para todas as partes interessadas, criando uma vantagem competitiva (Schulz & Flanigan, 2016).

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise dos dados empíricos obtidos no estudo e divide-se em duas partes. Na primeira parte, é apresentada uma análise descritiva das variáveis, efetuada através do programa estatístico SPSS 26 (*Statistical Package for the Social Sciences*). Na segunda parte, são apresentados os resultados obtidos da avaliação efetuada ao modelo de medida e ao modelo estrutural, elaborada recorrendo ao programa SmartPLS 3.0.

### 4.1. Caracterização da amostra

#### 4.1.1. Caracterização das Empresas

A amostra deste estudo é constituída por 188 empresas da indústria transformadora portuguesa que, relativamente ao setor de atividade em que se inserem, pertencem à secção C (indústrias transformadoras), conforme a Classificação Portuguesa de Atividades Económicas (CAE). O setor predominante corresponde à Indústria das Bebidas (CAE 11), com um peso de 64%. Em segundo lugar encontra-se a Indústria do Tabaco (CAE 12), representada por 22,6% e de seguida está posicionada a Indústria Alimentar (CAE 10), com um total de respostas de 8,1%.

Quanto ao número de colaboradores da empresa a tempo integral no ano 2021 (ver Tabela I), a maior percentagem encontra-se em empresas que têm entre 11 a 50 colaboradores (64%) e as empresas que têm entre 51 e 250 colaboradores também apresentam uma representatividade significativa de 22,6%.

**Tabela I** – Número dos colaboradores das empresas inquiridas a tempo integral em 2021

	Frequência	Percentagem
1-10 colaboradores	15	8,1%
11-50 colaboradores	119	64%
51-250 colaboradores	42	22,6%
251-1000 colaboradores	9	4,8%
>1000 colaboradores	1	0,5%
Total	186	100,0%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

Relativamente ao volume de negócios da empresa no ano 2021 (ver Tabela II), 45,5% das empresas apresentaram um valor inferior a 2 milhões de euros, seguida de uma percentagem um pouco inferior de 34,8% de empresas que apresentaram valores entre os 2 e 10 milhões de euros. De notar que as empresas que tiveram um volume de negócios superior a 50 milhões de euros têm uma representação de apenas 3,9%.

**Tabela II** - Volume de negócios das empresas inquiridas em 2021

	<b>Frequência</b>	<b>Percentagem</b>
Menos de 2 milhões de euros	81	45,5%
Entre 2 a 10 milhões de euros	62	34,8%
Entre 10 a 50 milhões de euros	28	15,7%
Mais de 50 milhões de euros	7	3,9%
Total	178	100%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

No que respeita à maturidade das empresas (ver tabela III), 1,6% existem há menos de 5 anos; 28,8% têm entre 6 e 20 anos; 56,5% foram criadas há mais de 21 anos e as restantes foram fundadas há mais de 60 anos.

**Tabela III** - Maturidade das empresas inquiridas

	<b>Frequência</b>	<b>Percentagem</b>
Até 5 anos	3	1,6%
Entre 6 e 20 anos	53	28,8%
Entre 21 e 60 anos	104	56,5%
Mais de 60 anos	24	13,0%
Total	184	100,0%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

Relativamente à nacionalidade das empresas, verificou-se que 92,9% correspondem a empresas nacionais e 7,1% dizem respeito a multinacionais. Do total de empresas inquiridas 75,7% está atualmente envolvida na atividade de exportação e as restantes não estão. Das empresas que efetuam exportações, isto acontece, em média, há 23,9 anos com um desvio padrão de 16,4 anos.

Quanto ao valor total das vendas exportadas pelas empresas inquiridas no ano 2021 (ver tabela IV), 27,6% registaram um valor igual ou superior a 20% das vendas

exportadas. De seguida verificam-se os valores de 15,3% e 14,7% que correspondem, respetivamente, a entre 21% a 40% e 0% de vendas exportadas pelas empresas em estudo.

**Tabela IV** - Valor total das vendas exportadas pelas empresas inquiridas em 2021

	<b>Frequência</b>	<b>Percentagem</b>
0	25	14,7%
≤ 20%	47	27,6%
21% a 40%	26	15,3%
41% a 60%	11	6,5%
61% a 80%	15	8,8%
> 80%	46	27,1%
<b>Total</b>	<b>170</b>	<b>100,0%</b>

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

No que diz respeito à atual situação das empresas em estudo face à implementação de certificações, foi pedido aos inquiridos que indicassem a situação da sua empresa relativamente à implementação das normas ISO 9001 e ISO 14001. Relativamente à implementação da norma ISO 9001 (ver Tabela V), os resultados mostram que esta foi implementada com sucesso em 50,3% das empresas e 2,3% estão a implementá-la. Quanto à implementação da norma ISO 14001, apenas 20,7% das empresas apresentam uma implementação com sucesso e 1,2% estão em processo de a implementar. Das empresas certificadas pela ISO 9001, estas têm, em média, a norma implementada há 11,3 anos com um desvio padrão de 7,5 anos, enquanto que a ISO 14001 encontra-se em funcionamento, em média, há 9,3 anos, com um desvio padrão de 6,9 anos. Os resultados obtidos mostram que o número de empresas certificadas pela ISO 9001 é consideravelmente superior ao número de empresas certificadas pela ISO 14001, na amostra utilizada para este estudo. Além disso, pode-se verificar que, em média, a norma ISO 9001 foi implementada há mais tempo do que a norma ISO 14001.

**Tabela V** - Situação atual da empresa relativamente às normas ISO 9001 e ISO 14001

	<b>ISO 9001</b>	<b>ISO 14001</b>
Não está a ser considerada a sua implementação	25,7%	45,1%
A considerar no futuro	16,6%	28,7%
A planear a sua implementação	5,1%	4,3%

Em implementação	2,3%	1,2%
Implementada com sucesso	50,3%	20,7%
Total	100,0%	100,0%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

Também foi pedido aos inquiridos que indicassem se a sua empresa possui outro sistema de gestão ambiental, como por exemplo EMAS (Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria) e os resultados mostram que em 90,8% das empresas em estudo isso não acontece. Das empresas que possuem outro sistema de gestão ambiental (9,2%), essa norma encontra-se implementada, em média, há 11,9 anos com um desvio padrão de 7,1 anos.

#### 4.1.2. Caracterização dos Inquiridos

A amostra deste estudo é constituída por 54,5% de inquiridos do género feminino e 44,9% do género masculino, sendo que os restantes preferiram não dizer. As faixas etárias com maior expressividade são dos 45 aos 54 anos (34,1%) e dos 35 aos 44 anos (29,1%). Em relação às habilitações literárias, como está refletido na tabela VI, a licenciatura é o grau académico com uma percentagem mais significativa de 56,9% e, de seguida, verifica-se que 21,5% dos inquiridos têm apenas o ensino secundário finalizado até ao momento.

**Tabela VI** - Habilitações literárias dos inquiridos

	Frequência	Percentagem
Ensino básico/primário	4	2,2%
Ensino secundário	39	21,5%
Licenciatura	103	56,9%
Mestrado	33	18,2%
Doutoramento	2	1,1%
Total	181	100%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

No que respeita ao cargo ocupado atualmente dentro da empresa, 30,2% identificaram-se como gerente; 21,4% possuíam o cargo de diretor da qualidade e exerciam a função de administrador 17,5%. As restantes funções desempenhadas pelos inquiridos estão apresentadas na tabela VII.

**Tabela VII** - Função atual exercida pelos inquiridos

	<b>Frequência</b>	<b>Percentagem</b>
Diretor da Qualidade	27	21,4%
Gestor Ambiental	4	3,2%
Diretor de Produção e/ou Operações	18	14,3%
Diretor Geral (ou CEO)	17	13,5%
Administrador	22	17,5%
Gerente	38	30,2%
Total	126	100%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

Em média, os inquiridos trabalham na respetiva empresa há 14,9 anos, com um desvio padrão de 12,3 anos. A tabela VIII representa o número de anos que os inquiridos exercem as atuais funções, sendo que 54% exercem a mesma função há mais de 11 anos.

**Tabela VIII** - Experiência na função atual exercida pelos inquiridos

	<b>Frequência</b>	<b>Percentagem</b>
≤ 1 ano	7	4,0%
2-5 anos	34	19,3%
5-10 anos	40	22,7%
<sup>3</sup> 11 anos	95	54,0%
Total	176	100,0%

**Fonte:** Elaboração própria com recurso aos outputs do SPSS

#### 4.2. *Estimação do modelo*

Para testar o modelo conceptual proposto no estudo, foram utilizadas equações estruturais (SEM – *Structural Equation Modeling*) uma vez que permite incorporar variáveis não observáveis (variáveis latentes) medidas indiretamente por variáveis indicadoras. Para estimar os parâmetros de um modelo de equações estruturais, os métodos mais usados são os baseados na covariância e os baseados na variância (Henseler *et al.*, 2016). No presente estudo, foi utilizado a PLS (*Partial Least Squares*) que é uma metodologia baseada na variância, tendo sido, para tal, utilizado o programa SmartPLS 3.0 (Ringle *et al.*, 2015). É uma metodologia utilizada principalmente para desenvolver teorias de investigação exploratória, com o objetivo de explicar a variância nas variáveis dependentes do modelo. A escolha da mesma prende-se com o facto de permitir trabalhar

com variáveis que seguem distribuições não normais, fornecer estimativas de modelos muito robustas e permitir trabalhar com amostras pequenas (Hair *et al.*, 2012). Além disso, é uma técnica utilizada na análise de modelos que possuem fatores de segunda ordem, como acontece neste estudo, onde as práticas de economia circular e o desempenho sustentável são fatores de segunda ordem (Chin *et al.*, 2003).

A análise e interpretação do modelo empírico foi efetuada em duas fases, de modo a garantir que as medidas dos construtos utilizadas no presente estudo são fiáveis e válidas antes de serem tiradas conclusões. Primeiramente, é feita uma avaliação do modelo de medida, que analisa as relações entre os indicadores de uma determinada variável e as respectivas variáveis latentes. De seguida, foi analisado o modelo estrutural cuja análise centra-se na relação entre as variáveis endógenas e as outras variáveis latentes do modelo (Hulland, 1999; Henseler *et al.*, 2009).

#### 4.2.1 Modelo de Medida

O modelo de medida é avaliado estimando-se os seguintes parâmetros: a fiabilidade individual dos itens, a fiabilidade dos construtos, a validade convergente e a validade discriminante (Hulland, 1999; Hair *et al.* 2012). No presente estudo, os indicadores utilizados para medir cada variável latente do modelo foram obtidos após purificação das escalas de medida.

A fiabilidade individual dos itens é avaliada através da análise dos pesos (*loadings*) de cada um dos itens da variável latente correspondente. Segundo Hulland (1999), os *loadings* devem ser superiores ou iguais a 0,7 para serem aceites, o que significa que a variável latente explica pelo menos 50% da variância de cada variável observada. No Anexo D pode-se verificar que os *loadings* de todos os indicadores apresentam valores próximos ou superiores a 0,7. É importante notar que todos os pesos dos indicadores são estatisticamente significativos para  $p < 0,001$ .

Para avaliar a fiabilidade dos construtos (ou fiabilidade da consistência interna) foram utilizadas duas medidas: a *Composite Reliability* (CR) e o *alpha de Cronbach* ( $\alpha$ ). Segundo Hair *et al.* (2012), o alpha de Cronbach é a medida mais comum de fiabilidade de consistência interna. Esta fornece uma estimativa da fiabilidade com base nas intercorrelações dos indicadores e assume que todos os indicadores são igualmente confiáveis. No entanto, o alpha de Cronbach tende a fornecer uma severa subestimação



da fiabilidade da consistência interna das variáveis latentes em modelos de PLS, logo é mais apropriado aplicar também uma medida diferente, a CR. Esta medida assume que os indicadores possuem cargas diferentes, e podem ser interpretados da mesma forma que o alpha de Cronbach (Henseler *et al.*, 2009). Os valores de ambas as medidas devem ser iguais ou superiores a 0,7 (Nunnally, 1978). Tanto os valores da CR como do *alpha de Cronbach* são superiores a 0,7 em todos os construtos, como é possível observar no Anexo D. A CR variou entre 0,898 e 0,983 para as variáveis “Recuperação do Investimento” e “Sustentabilidade Social”, respetivamente. O alpha de Cronbach apresentou como valor mínimo 0,864 que corresponde à variável “Recuperação do Investimento” e como valor máximo 0,982 referente à variável “Desempenho Sustentável”. Deste modo, foi verificada a fiabilidade de todas as variáveis latentes.

A validade convergente dos construtos significa que um conjunto de indicadores representa um mesmo construto subjacente, o que pode ser demonstrado pela sua unidimensionalidade (Henseler *et al.*, 2009). A validade convergente é avaliada pela métrica AVE (*Average Variance Extracted*) (Fornell & Larcker, 1981), que corresponde à variância média extraída e mede a percentagem da variância total dos indicadores que é explicada pela variável latente, utilizando o rácio da soma total dos indicadores que é explicada pela variável latente. Para ser aceitável, a AVE deve ser, no mínimo, 0,5 (Fornell & Larcker, 1981). Tal como está apresentado no Anexo D, a AVE foi calculada para todas as variáveis latentes e fatores de segunda ordem, verificando-se que todos os valores obtidos são superiores a 0,5, onde o valor mínimo foi de 0,596 referente à variável “Recuperação do Investimento” e o valor máximo foi de 0,904 pertencente à variável “Sustentabilidade Social”. Isto garante a existência de validade convergente.

Por fim, a validade discriminante é um conceito bastante complementar: dois conceitos conceitualmente diferentes devem apresentar diferença suficiente (ou seja, espera-se que o conjunto de indicadores não seja unidimensional) (Henseler *et al.*, 2009). A validade discriminante analisa a correlação entre os indicadores de uma determinada variável e os indicadores correspondentes às outras variáveis. Para avaliar este parâmetro foi usado o critério de Fornell-Larcker (proposto por Fornell & Larcker, 1981). Este afirma que uma variável latente partilha mais variância com os seus indicadores do que com qualquer outra variável latente. Assim, a raiz quadrada da AVE de cada variável latente deve ser superior às correlações existentes entre essa variável e as restantes variáveis latentes utilizadas no modelo. Através da Tabela IX pode-se confirmar que a

validade discriminante foi comprovada, uma vez que os valores da raiz quadrada da AVE de cada variável latente (valores na diagonal da matriz de correlação) são superiores aos das correlações entre essa variável e as restantes (valores fora da diagonal da matriz de correlações, nas respetivas linhas e colunas).

**Tabela IX** – Matriz de Correlação

	OD	SA	SE	SS	DS	TI4	CC	CE	ED	GAI	RI	OCL	PC
OD	<b>0,91</b>												
SA	0,51	<b>0,90</b>											
SE	0,48	0,77	<b>0,91</b>										
SS	0,58	0,82	0,84	<b>0,95</b>									
DS	0,56	0,92*	0,939*	0,945*	<b>0,93</b>								
TI4	0,51	0,25	0,27	0,34	0,31	<b>0,82</b>							
CC	0,50	0,56	0,49	0,52	0,56	0,41	<b>0,88</b>						
CE	0,50	0,58	0,44	0,53	0,55	0,48	0,82	<b>0,85</b>					
ED	0,49	0,49	0,39	0,43	0,47	0,38	0,73	0,67	<b>0,90</b>				
GAI	0,50	0,61	0,50	0,59	0,60	0,44	0,76	0,81	0,69	<b>0,85</b>			
RI	0,36	0,49	0,44	0,46	0,50	0,37	0,60	0,55	0,56	0,62	<b>0,77</b>		
OCL	0,64	0,64	0,53	0,63	0,64	0,41	0,58	0,56	0,53	0,62	0,45	<b>0,79</b>	
PC	0,55	0,64	0,53	0,59	0,62	0,48	0,91**	0,92**	0,81**	0,93**	0,72**	0,64	<b>0,86</b>

**Nota:** \*Fatores de primeira ordem do fator de segunda ordem desempenho sustentável; \*\*Fatores de primeira ordem da variável de segunda ordem práticas circulares.

**Fonte:** Elaboração Própria

**Legenda:** OD – Orientação digital; SA – Sustentabilidade ambiental; SE – Sustentabilidade económica; SS – Sustentabilidade ambiental; DS – Desempenho sustentável; TI4 – Tecnologias I4; CC – Cooperação com os clientes; CE – Compras ecológicas; ED – *Ecodesign*; GAI – Gestão ambiental interna; RI – Recuperação do investimento; OCL – Orientação *closed-loop*; PC – Práticas circulares

#### 4.2.2. Modelo Estrutural

A avaliação do modelo estrutural refere-se à análise das relações entre as variáveis endógenas e as outras variáveis latentes do modelo (Hulland, 1999). No presente estudo, esta avaliação foi realizada através dos seguintes parâmetros: i) o poder explicativo de cada variável endógena, através da variância explicada ( $R^2$ ); ii) o poder preditivo do

modelo, através dos valores de  $Q^2$  de Stone-Geisser; iii) a existência de multicolinearidade das variáveis independentes, através do fator de inflação da variância (VIF - *Variance Inflation Factor*) e iv) a intensidade e significância estatística dos coeficientes estruturais ( $\beta$ ) de cada hipótese em estudo.

Para avaliar o poder explicativo do modelo estrutural, foi utilizada a variância explicada ( $R^2$ ) de todas as variáveis endógenas, que avalia a qualidade do modelo e permite compreender quanto é que cada variável endógena é explicada pelas outras variáveis (Hair *et al.*, 2012). Segundo Falk e Miller (1992), os valores de  $R^2$  devem ser iguais ou superiores a 10%. Neste estudo, o valor mínimo obtido de  $R^2$  foi de 25,6%, correspondente à variável “Tecnologias I4” e o valor máximo foi de 47,1% referente à variável “Práticas Circulares”, o que comprova o facto de todos os valores de  $R^2$  obtidos serem superiores a 10%. Isto mostra que o modelo apresenta um bom poder explicativo.

De modo a avaliar a relevância preditiva do modelo, foi estimado o índice de Stone-Geisser ( $Q^2$ ) (Geisser, 1974) para todas as variáveis endógenas. Este valor de  $Q^2$  é estimado através do procedimento *blindfolding* não paramétrico (Tenenhaus *et al.*, 2005). Segundo Chin (1998), os valores de  $Q^2$  devem ser superiores a 0 para que exista relevância preditiva do modelo. Na tabela X, é possível verificar que todos os valores de  $Q^2$  são superiores a 0, garantindo o poder preditivo do modelo.

**Tabela X** – Relevância preditiva dos construtos

Construtos	$Q^2$
Desempenho sustentável	0,283
Tecnologias I4	0,166
Práticas circulares	0,256

**Fonte:** Elaboração própria

Para avaliar a existência de multicolinearidade das variáveis independentes do modelo, foram calculados os fatores de inflação da variância (VIF). Os valores dos VIF obtidos variaram entre 1 e 1,302, ficando abaixo do valor crítico indicativo de 5 (Hair *et al.*, 2012). Pode-se concluir, então, que não existem problemas de multicolinearidade no modelo.

Para testar a significância estatística dos coeficientes estruturais ( $\beta$ ) e dos pesos (*loadings*) dos indicadores, foi utilizado o método não paramétrico *bootstrapping*

(amostragem com reposição) (Chin, 1998) com 5000 subamostras, como sugerido por Hair *et al.* (2012). *Bootstrap* é o processo de extrair um grande número de reamostragens com substituição da amostra original e, em seguida, estimar os parâmetros do modelo para cada reamostragem de *bootstrap*. O erro padrão de uma estimativa é inferido a partir do desvio padrão das estimativas *bootstrap* (Henseler *et al.*, 2016). Na tabela XI, são apresentadas as estimativas dos parâmetros e os valores da estatística T, para cada um dos coeficientes, onde é possível verificar que das 6 hipóteses propostas 5 foram suportadas. Os valores da estatística T para cada *loading* são também apresentados no Anexo D.

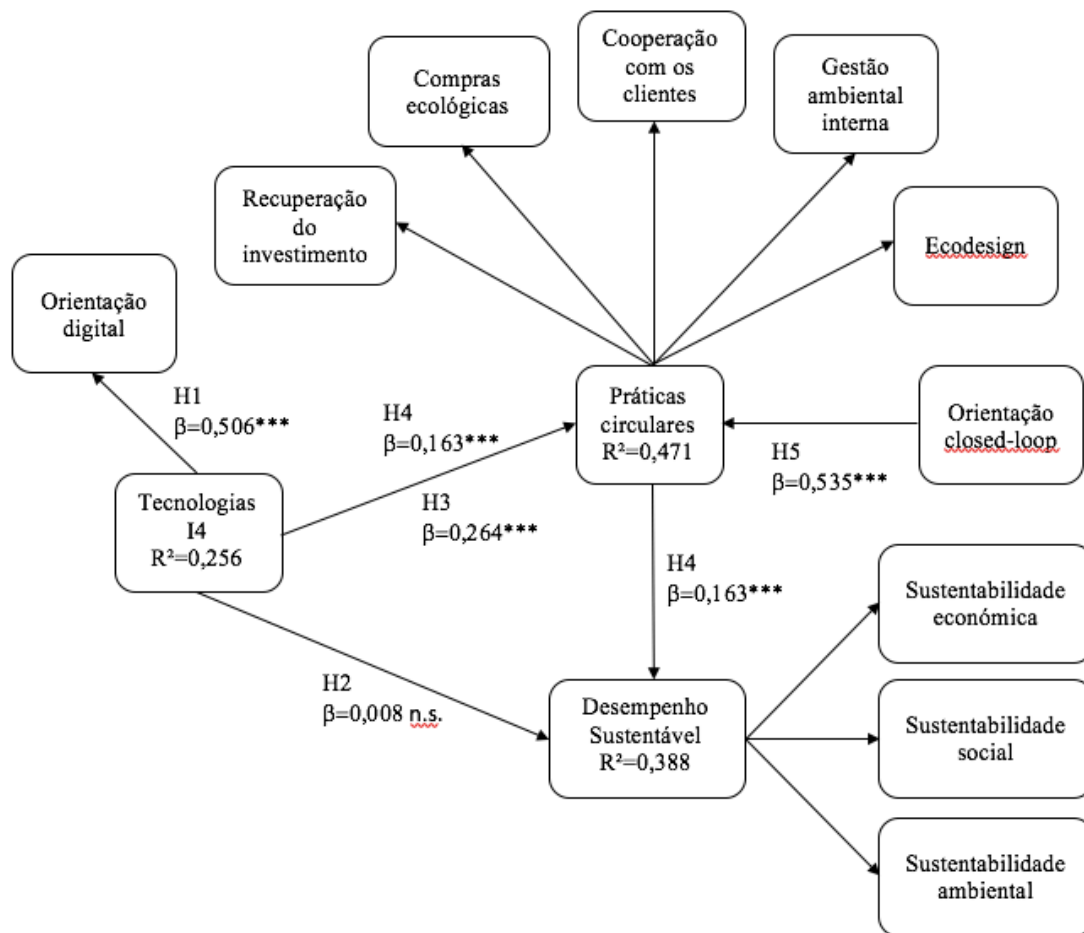
**Tabela XI** – Coeficientes estimados e estatística T para as hipóteses testadas

<b>Efeitos diretos</b>	<b>b</b>	<b>T-value</b>	<b>Hipótese suportada</b>
<b>H1:</b> Orientação digital -> Tecnologias I4	0,506	11,96***	Sim
<b>H2:</b> Tecnologias I4 -> Desempenho sustentável	0,008	0,127 n.s.	Não
<b>H3:</b> Tecnologias I4 -> Práticas circulares	0,264	5,083***	Sim
<b>H5:</b> Orientação <i>closed-loop</i> -> Práticas circulares	0,535	8,933***	Sim
<b>Efeitos indiretos</b>			
<b>H4:</b> Tecnologias I4 -> Práticas circulares -> Desempenho sustentável	0,163	4,825***	Sim

**Fonte:** Elaboração Própria

**Legenda:** \*\*\* significa significativo para  $p < 0,001$ ; n.s. significa “não significativo”

Figura 2 - Modelo empírico



Fonte: Elaboração própria

Nota: \*\*\* significa significativo para  $p < 0,001$ ; n.s. significa “não significativo”

A hipótese H1 estabelece uma relação positiva entre a orientação digital e a adoção de tecnologias I4. Esta hipótese foi suportada com ( $\beta = 0,506$ ;  $p < 0,001$ ) o que confirma que esta orientação digital é um dos determinantes que influenciam as empresas a adotar as tecnologias da indústria 4.0.

A hipótese H2, que propõe que a adoção de tecnologias I4 influenciam positivamente o desempenho sustentável, não foi suportada com ( $\beta = 0,008$ ; n.s.). No

entanto, na literatura existente existem estudos onde se verificou a existência de uma relação positiva entre estas duas variáveis, nomeadamente o de Kamble e Gunasekaran (2021) e o de Stock e Seliger (2016). No estudo feito por Jayashree *et al.* (2022) também se verificou uma relação significativa entre as três dimensões da sustentabilidade (económica, social e ambiental), que constituem o desempenho sustentável, e a adoção de tecnologias I4.

Relativamente à hipótese H3, esta pressupõe que a adoção de tecnologias I4 tem uma influência positiva na adoção de práticas de economia circular. Esta hipótese foi suportada ( $\beta = 0,264$ ;  $p < 0,001$ ). Este resultado vai de encontro a uma grande parte da literatura que sustenta a associação positiva entre as tecnologias I4 e a economia circular (e.g., Chauhan *et al.*, 2022; Ajwani-Ramchandani *et al.*, 2021). Também no estudo de Kamble e Gunasekaran (2021) concluiu-se que uma implementação das tecnologias I4 que tenha sucesso leva a práticas de economia circular eficientes, enquanto que o estudo de Lopes de Sousa Jabbour *et al.* (2018) afirma que as práticas de economia circular numa organização podem ser aprimoradas usando tecnologias I4. O estudo de Umar *et al.* (2021) mostra ainda o impacto significativo e positivo das tecnologias I4 nas práticas verdes e sustentáveis. Este realça a importância das tecnologias I4 na implementação de práticas verdes para minimizar as adversidades ambientais.

No que diz respeito à hipótese H4, esta postula o efeito mediador das práticas circulares na relação entre as tecnologias I4 e o desempenho sustentável, sendo que esta foi suportada dado que o efeito indireto se mostrou significativo com ( $\beta = 0,163$ ;  $p < 0,001$ ). Assim, os resultados obtidos no presente estudo indicam que as práticas de economia circular mediam a relação entre as tecnologias I4 e desempenho sustentável e vêm corroborar o estudo de Kamble e Gunasekaran (2021) que chegou à mesma conclusão.

Por último, a hipótese H5, que estabelece uma relação positiva entre a orientação *closed-loop* e a adoção de práticas circulares, concluiu-se que a mesma foi suportada com ( $\beta = 0,535$ ;  $p < 0,001$ ), o que indica que a orientação *closed-loop* contribui positivamente para a adoção de práticas circulares por parte das empresas. Os estudos de Schmidt *et al.* (2021) e Liu e Chang (2017) estão de acordo com o resultado obtido no presente estudo. O primeiro conclui que a orientação *closed-loop* tem um efeito positivo significativo na adoção de várias práticas de economia circular, nomeadamente gestão ambiental interna, *ecodesign* e gestão e recuperação de ativos corporativos. O estudo de Liu e Chang (2017)

também verificou que existe um impacto positivo da orientação *closed-loop* na implementação de práticas de economia circular.

## **5. CONCLUSÃO, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS FUTURAS**

O presente estudo tinha como principal objetivo perceber o impacto das práticas de economia circular e das tecnologias I4 adotadas no contexto das empresas da indústria transformadora portuguesa. Deste modo, analisou-se o efeito da orientação digital nas tecnologias I4, assim como o impacto da adoção das tecnologias I4 no desempenho sustentável. Foi ainda estudada a influência da adoção das tecnologias I4 na adoção de práticas de economia circular. O estudo mostrou também o impacto das práticas de economia circular na relação entre as tecnologias I4 e o desempenho sustentável. Por fim, percebeu-se o efeito da orientação *closed-loop* na adoção de práticas de economia circular.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, no contexto da indústria transformadora portuguesa, a orientação digital afeta positivamente a adoção de tecnologias I4. Além disso, percebeu-se que adoção de tecnologias I4 não tem um efeito direto no desempenho sustentável, no entanto, existe um efeito mediador das práticas de economia circular na relação entre estas duas variáveis. O estudo revelou também que a adoção de tecnologias I4 tem um impacto positivo na adoção de práticas de economia circular. Quanto à orientação *closed-loop*, esta afeta positivamente a adoção de práticas de economia circular.

Os resultados e conclusões obtidas do presente estudo contribuem para a gestão, na medida em que refletem o impacto positivo que a adoção de práticas de economia circular tem nas organizações desta indústria e fornecem uma perceção sobre as empresas que iniciaram ou implementaram as tecnologias I4 e refletem um desempenho sustentável significativo.

Relativamente à orientação digital, é demonstrado neste estudo que esta tem um impacto significativo e positivo na adoção de tecnologias I4, tal como se verifica na literatura existente. As organizações precisam de desenvolver uma estratégia digital com indicadores-chave de desempenho concretos e ações para monitorar a adoção destas tecnologias. Dito isto, as empresas precisam de construir cuidadosamente uma identidade

digital para estabelecer normas e valores futuros e promover a troca de conhecimento entre os indivíduos (Bouncken & Barwinski, 2021).

Este estudo revelou que as tecnologias I4 não afetam diretamente o desempenho sustentável, no entanto, os resultados obtidos mostram que existe a presença de práticas de economia circular como uma variável mediadora entre as tecnologias I4 e o desempenho sustentável. A mediação implica uma condição em que as práticas de economia circular servem como uma terceira variável (mediadora), que é influenciada pelas tecnologias I4 e causa, assim, o desempenho sustentável. As organizações devem reconhecer o papel das tecnologias I4 como facilitadores da EC, o que, por sua vez, levará a melhorias de desempenho sustentáveis. As tecnologias I4 fornecem um propósito e impulso para a implementação da estratégia de EC. A título de exemplo, a estratégia de EC envolve decisões sobre reciclagem, remanufatura e recolha de peças, o que requer uma recolha e análise de dados sobre o uso e condição das peças. As tecnologias I4, que são uma inovação de tecnologia de comunicação de informação orientada por dados, podem apoiar a estratégia de EC fornecendo dados de grande dimensão utilizando a análise de *big data*, IoT e outros sistemas. Portanto, as empresas são obrigadas a garantir que os objetivos de implementação das tecnologias I4 estejam alinhados com os objetivos das práticas de EC. Assim, recomenda-se que a estratégia de implementação de tecnologias I4 seja baseada nos objetivos de EC e desempenho sustentável que a organização deseja alcançar (Kamble & Gunasekaran, 2021).

Em relação ao impacto das tecnologias I4 na adoção de práticas de economia circular, este estudo mostra que a adoção destas tecnologias afeta positiva e significativamente as práticas de economia circular. Os resultados obtidos refletem o benefício potencial das tecnologias I4 de influenciar as práticas de EC, motivando assim as organizações a implementar estas tecnologias. A literatura em geral reconhece a importância das tecnologias digitais como principais facilitadores da EC (Chauhan *et al.*, 2019; Kristoffersen *et al.*, 2020). No entanto, é necessária uma nova perspetiva sobre a aplicação específica de tecnologias digitais para ser possível a adaptação das práticas de EC. Este estudo destaca várias tecnologias relevantes para este tema, como por exemplo IA, *blockchain*, *big data*. Estas tecnologias contribuem para melhorar a transparência e ajudar a criar um ecossistema propício à EC.

No estudo, também foi possível verificar que a orientação *closed-loop* afeta positivamente a adoção de práticas de economia circular. Embora o desenvolvimento de



orientações organizacionais e estratégicas possa ser um desafio, as empresas são capazes de direcionar os seus gerentes para promover as abordagens estratégicas de orientação *closed-loop* dentro de sua organização. Para possuir uma orientação *closed-loop*, os gerentes devem assumir um compromisso claro de priorizar a maximização da reciclagem de materiais/componentes/produtos em fim de vida. Além disso, os gerentes devem construir a orientação *closed-loop* e adotar as práticas de EC a partir de uma visão de longo prazo. Tanto a orientação *closed-loop* como as práticas de EC podem incorrer num aumento dos custos de investimento, operacionais e de formação, que por sua vez resultam em perdas económicas já que é necessário um compromisso e investimento substanciais a curto prazo (Roehrich *et al.*, 2014). No entanto, os gestores não devem considerar a gestão sustentável como um investimento caro, mas como uma forma de melhorar o desempenho dos seus negócios e melhorar os lucros no médio e longo prazo, conforme sugerido por Amann *et al.* (2014). Isto porque existe um *trade-off* entre investimentos atuais e retornos de longo prazo na forma de participação de mercado e retenção de clientes (Roehrich *et al.*, 2014), que fará com que investir recursos para construir uma orientação *closed-loop* e apoiar as práticas de EC agora valerá a pena no futuro.

Relativamente às limitações do presente estudo, a primeira reside no facto de apenas terem sido estudadas empresas da indústria transformadora portuguesa, sendo sugerido em estudos futuros incluir também empresas de outros países uma vez que o facto de colocar o foco apenas numa indústria e num país pode limitar a generalização dos resultados e não ser facilmente transferíveis para outros países e setores (Wong *et al.*, 2011). Outra limitação seria o facto de a amostra ter sido reduzida (188 empresas). Além disso, a maioria das empresas da amostra pertencerem apenas a quatro setores diferentes também constitui uma limitação já que dificulta a generalização dos resultados. O facto de haver apenas um respondente por empresas é também considerado uma limitação devido a originar uma perspetiva enviesada da empresa (Boyer & Pagell, 2000) ou por requerer um maior controlo em relação CMB (Chang *et al.*, 2010). Outra limitação encontrada foi o facto de ser um estudo não longitudinal, pois pode ocorrer alterações de comportamento nas empresas ao longo do tempo e a causalidade não deve ser estabelecida sem dados longitudinais (Dubey *et al.*, 2015). As tecnologias I4 é um termo unificado que inclui diferentes aplicações de tecnologias, como BDA, IoT e sistemas

robóticos e neste estudo é usado como um termo generalizado, o que também pode constituir uma limitação.

Para futuras investigações seria interessante alargar este estudo a outras indústrias, sem ser a indústria transformadora, assim como a outros países e comparar os resultados entre os diferentes setores uma vez que as práticas de EC podem ser diferentes de setor para setor. Sugere-se também fazer o mesmo estudo, mas alargando o questionário a mais do que uma pessoa por empresa, de modo a reduzir o CMB. Outra oportunidade de investigação interessante seria realizar um estudo de caso que analisasse os temas abordados nesta dissertação de modo a que os dados sejam reconhecidos ao longo de um determinado período de tempo, e assim, obter dados longitudinais de modo a estabelecer relações de causalidade mais fiáveis (Dubey *et al.*, 2015). Adicionalmente seria interessante fazer estudos específicos de aplicação de cada uma das diferentes tecnologias I4 abordadas nesta dissertação. Por fim, sugere-se que os estudos futuros incluam empresas de ecoparques específicos ou regiões industriais com o objetivo de desenvolver diferentes perspetivas sobre as práticas de EC, uma vez que estas práticas consideradas no presente estudo estão apenas no nível organizacional.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Rashid, S. H., Sakundarini, N., Ghazilla, R. A. & Thurasamy, R. (2017). The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance: empirical evidence from Malaysia. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), 182-204.
- Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., de Oliveira, R. T., Jha, S., Ramchandani, A., & Schuricht, L. (2021). Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125139.
- Al-Emran, M., Mezhyuev, V., & Kamaludin, A. (2018). Technology Acceptance Model in M-learning context: A systematic review. *Computers & Education*, 125, 389-412.

Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899-919.

Amann, M., Roehrich, J. K., Eßig, M., & Harland, C. (2014). Driving sustainable supply chain management in the public sector: The importance of public procurement in the European Union. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia Cirp*, 73, 45-49.

Aoe, T. (2007). Eco-efficiency and ecodesign in electrical and electronic products. *Journal of Cleaner Production*, 15(15), 1406-1414.

Aragón-Correa, J. A., & Rubio-López, E. A. (2007). Proactive corporate environmental strategies: myths and misunderstandings. *Long Range Planning*, 40(3), 357-381.

Arias-Pérez, J., & Vélez-Jaramillo, J. (2022). Ignoring the three-way interaction of digital orientation, Not-invented-here syndrome and employee's artificial intelligence awareness in digital innovation performance: A recipe for failure. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121305.

Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2020). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*.

Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120420.

Bals, L., Laine, J., & Mugurusi, G. (2018). Evolving Purchasing and Supply Organizations: A contingency model for structural alternatives. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 24(1), 41-58.

- Barnett, V. (1991). *Sample Survey Principles and Methods*, 2a Ed. New York: Oxford University Press.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Bernon, M., Tjahjono, B., & Ripanti, E. F. (2018). Aligning retail reverse logistics practice with circular economy values: an exploratory framework. *Production Planning & Control*, 29(6), 483-497.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. V. (2013). Digital business strategy: toward a next generation of insights. *MIS quarterly*, 471-482.
- Bhupendra, K. V., & Sangle, S. (2015). What drives successful implementation of pollution prevention and cleaner technology strategy? The role of innovative capability. *Journal of Environmental Management*, 155, 184-192.
- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- Bican, P. M., & Brem, A. (2020). Digital business model, digital transformation, digital entrepreneurship: Is there a sustainable “digital”? *Sustainability*, 12(13), 5239.
- Birat, J. P. (2015). Life-cycle assessment, resource efficiency and recycling. *Metallurgical Research & Technology*, 112(2), 206.
- Botezat, E. A., Dodescu, A. O., Văduva, S., & Fotea, S. L. (2018). An exploration of circular economy practices and performance among Romanian producers. *Sustainability*, 10(9), 3191.
- Bouncken, R., & Barwinski, R. (2021). Shared digital identity and rich knowledge ties in global 3D printing—A drizzle in the clouds?. *Global Strategy Journal*, 11(1), 81-108.

- Bowen, F., Cousins, P., Lamming, R., & Faruk, A. (2006). Horses for courses: explaining the gap between the theory and practice of green supply. In *Greening the Supply Chain* (pp. 151-172). Springer, London.
- Boyer, K. K., & Pagell M. (2000). Measurement issues in empirical research: improving measures of operations strategy and advanced manufacturing technology. *Journal of Operations Management*, 18(3), 361–374.
- Braungart, M, McDonough, W., Anastas, P.T., & Zimmerman, J. B. (2003). Applying the principles engineering of green cradle-to-cradle design. *Environmental Science and Technology*, 434-441.
- Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. *The international encyclopedia of communication theory and philosophy*, 1-11.
- Brenner, B. (2018). Transformative sustainable business models in the light of the digital imperative—A global business economics perspective. *Sustainability*, 10(12), 4428.
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability*, 10(3), 639.
- Burchardt, C., & Maisch, B. (2019). Digitalization needs a cultural change—examples of applying Agility and Open Innovation to drive the digital transformation. *Procedia Cirp*, 84, 112-117.
- Čábelková, I., Strielkowski, W., Streimikiene, D., Cavallaro, F., & Streimikis, J. (2021). The social acceptance of nuclear fusion for decision making towards carbon free circular economy: Evidence from Czech Republic. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120477.
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671-678.

- Çetin, S., De Wolf, C., & Bocken, N. (2021). Circular digital built environment: An emerging framework. *Sustainability*, 13(11), 6348.
- Chan, R. Y., He, H., Chan, H. K., & Wang, W. Y. (2012). Environmental orientation and corporate performance: The mediation mechanism of green supply chain management and moderating effect of competitive intensity. *Industrial Marketing Management*, 41(4), 621-630.
- Chang, S., van Witteloostuijn, A. & Eden, L. (2010). From the editors: Common method variance in international business research. *Journal of International Business Studies*, 41(1), 178-184.
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508.
- Chen, Y., Tang, G., Jin, J., Li, J., & Paillé, P. (2015). Linking market orientation and environmental performance: The influence of environmental strategy, employee's environmental involvement, and environmental product quality. *Journal of Business Ethics*, 127(2), 479-500.
- Chin, W. W. (1998). The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling. In: G. A. Marcoulides (Eds.) *Modern Methods for Business Research*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 295–336.
- Chin, W.W., Marcolin, B.L. & Newsted, P.R. (2003). A partial least square latent variable modeling approach for measuring interaction effects: Results from a Monte Carlo simulation study and Electronic Mail Emotion/Adoption Study. *Information Systems Research*, 14 (2), 42-63.
- Chizaryfard, A., Trucco, P., & Nuur, C. (2021). The transformation to a circular economy: framing an evolutionary view. *Journal of Evolutionary Economics*, 31(2), 475-504.
- Churchill, G. A. (1979). A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs. *Journal of Marketing Research*, 16(1), 64.

- Ciliberto, C., Szopik-Depczyńska, K., Tarczyńska-Łuniewska, M., Ruggieri, A., & Ioppolo, G. (2021). Enabling the Circular Economy transition: A sustainable lean manufacturing recipe for Industry 4.0. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 3255-3272.
- Colucci, M., & Vecchi, A. (2021). Close the loop: Evidence on the implementation of the circular economy from the Italian fashion industry. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 856-873.
- Côté, R. P., & Cohen-Rosenthal, E. (1998). Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *Journal of Cleaner Production*, 6(3-4), 181-188.
- Cruz, J. M., & Wakolbinger, T. (2008). Multiperiod effects of corporate social responsibility on supply chain networks, transaction costs, emissions, and risk. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 61-74.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Dalhammar, C. (2016). Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 123, 155-166.
- Dangelico, R. M., Pujari, D., & Pontrandolfo, P. (2017). Green product innovation in manufacturing firms: A sustainability-oriented dynamic capability perspective. *Business Strategy and the Environment*, 26(4), 490-506.
- De Angelis, R., Howard, M., & Miemczyk, J. (2018). Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. *Production Planning & Control*, 29(6), 425-437.
- De Lomana, G. G., Strese, S., & Brinckmann, J. (2019). Adjusting to the digital age: the effects of TMT characteristics on the digital orientation of firms. *Acad Manag Proc*, 2019, 13589.

de Man, J. C., & Strandhagen, J. O. (2017). An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. *Procedia Cirp*, 63, 721-726.

de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18-25.

Defee, C. C., Esper, T., & Mollenkopf, D. (2009). Leveraging closed-loop orientation and leadership for environmental sustainability. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Dubey, R., Gunasekaran, A. & Ali, S. S. (2015). Exploring the relationship between leadership, operational practices, institutional pressures and environmental performance: A framework for green supply chain. *International Journal of Production Economics*, 160(1), 120-132.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., & Wamba, S. F. (2017). World class sustainable supply chain management: Critical review and further research directions. *The International Journal of Logistics Management*.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Luo, Z., Wamba, S. F., & Roubaud, D. (2019). Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability?. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 534-545.

Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*, 1a Ed. Stony Creek, CT: New Society Publishers.

Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the circular economy 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition* (Vol. 1, Issue 1). Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.



- Eller, R., Alford, P., Kallmünzer, A., & Peters, M. (2020). Antecedents, consequences, and challenges of small and medium-sized enterprise digitalization. *Journal of Business Research*, *112*, 119-127.
- EPA (Environmental Protection Agency) (2000). *The Lean and Green Supply Chain: A Practical Guide for Materials Managers and Supply Chain Managers to Reduce Costs and Improve Environmental Performance (EPA 742-R-00-001)*. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency.
- Esposito, M., Tse, T., & Soufani, K. (2017). Is the circular economy a new fast-expanding market?. *Thunderbird International Business Review*, *59*(1), 9-14.
- European Parliament. (2020). A European Green Deal. In *NEW CIRCULAR ECONOMY ACTION PLAN* (Issue December 2019). [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- Falk, R. F. & Miller, N. B. (1992). *A Primer for Soft Modelling*, 1a Ed. Akron, Ohio: University of Akron Press.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, *29*(8), 633-644.
- Fisher, G., Kotha, S., & Lahiri, A. (2016). Changing with the times: An integrated view of identity, legitimacy, and new venture life cycles. *Academy of Management Review*, *41*(3), 383-409.
- Fogarassy, C., & Finger, D. (2020). Theoretical and practical approaches of circular economy for business models and technological solutions. *Resources*, *9*(6), 76.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, *18*(1), 39. <https://doi.org/10.2307/3151312>

- Franco, M. A. (2017). Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents' struggles and challenges in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 168, 833-845.
- Garza-Reyes, J.A. (2015). Lean and green: A systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29.
- Gatignon, H., & Xuereb, J. M. (1997). Strategic orientation of the firm and new product performance. *Journal of Marketing Research*, 34(1), 77-90.
- Gbadegeshin, S. A. (2019). The effect of digitalization on the commercialization process of high-Technology companies in the life sciences industry. *Technology Innovation Management Review*, 9(1).
- Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771–782.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143(2017), 757–768.
- Geisser, S. (1974). A predictive approach to the random effect model. *Biometrika*, 61(1), 101-107.
- Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231-239.
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, 344-357.

- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11-32.
- Gimenez, C., Sierra, V., & Rodon, J. (2012). Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line. *International Journal of Production Economics*, *140*(1), 149-159.
- Gölzer, P., & Fritzsche, A. (2017). Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. *Production Planning & Control*, *28*(16), 1332-1343.
- Green, K.W. Jr, Zelbst, P.J., Meacham, J. & Bhadauria, V. (2012). Green supply chain management practices: impact on performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, *17* (3), 290-305.
- Guide Jr, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, *57*(1), 10-18.
- Haefner, N., Wincent, J., Parida, V., & Gassmann, O. (2021). Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 120392.
- Hair, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Mena, J. A. (2012). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *40*(3), 414-433.
- Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of management review*, *20*(4), 986-1014.
- Henseler, J., Hubona, G., & Ray, P. A. (2016). Using PLS path modeling in new technology research: updated guidelines. *Industrial management & data systems*.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. In *New challenges to international marketing*. Emerald Group Publishing Limited.

- Hobson, K., Lynch, N., Lilley, D., & Smalley, G. (2018). Systems of practice and the Circular Economy: Transforming mobile phone product service systems. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 147-157.
- Hourneaux Jr, F., da Silva Gabriel, M. L., & Gallardo-Vázquez, D. A. (2018). Triple bottom line and sustainable performance measurement in industrial companies. *Revista de Gestão*.
- Hulland, J. (1999). Use of Partial Least Squares (PLS) In Strategic Management Research: A Review of Four Recent Studies. *Strategic Management Journal*, 20 (2), 195- 204.
- Ingemarsdotter, E., Jamsin, E., Kortuem, G., & Balkenende, R. (2019). Circular strategies enabled by the internet of things—A framework and analysis of current practice. *Sustainability*, 11(20), 5689.
- Jabbour, C. J. C., de Sousa Jabbour, A. B. L., Sarkis, J., & Godinho Filho, M. (2019). Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 546-552.
- Jayashree, S., Reza, M. N. H., Malarvizhi, C. A. N., Gunasekaran, A., & Rauf, M. A. (2022). Testing an adoption model for Industry 4.0 and sustainability: A Malaysian scenario. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 313-330.
- Julianelli, V., Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., & Cruz, S. P. D. M. F. (2020). Interplay between reverse logistics and circular economy: critical success factors-based taxonomy and framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104784.
- Kamble, S. S., & Gunasekaran, A. (2021). Analysing the role of Industry 4.0 technologies and circular economy practices in improving sustainable performance in Indian manufacturing organisations. *Production Planning & Control*, 1-15.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425.

- Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., Ali, S. M., Jabbour, C. J. C., & Bhalaji, R. K. A. (2021). Inhibitors to circular economy practices in the leather industry using an integrated approach: Implications for sustainable development goals in emerging economies. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1554-1568.
- Khan, O., Daddi, T., & Iraldo, F. (2020). Microfoundations of dynamic capabilities: Insights from circular economy business cases. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), 1479-1493.
- Khan, S. A. R., & Qianli, D. (2017). Impact of green supply chain management practices on firms' performance: an empirical study from the perspective of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(20), 16829–16844.
- Khan, S. A. R., Zia-ul-haq, H. M., Umar, M., & Yu, Z. (2021). Digital technology and circular economy practices: An strategy to improve organizational performance. *Business Strategy & Development*, 4(4), 482-490.
- Khin, S., & Ho, T. C. (2018). Digital technology, digital capability and organizational performance: A mediating role of digital innovation. *International Journal of Innovation Science*.
- Khuntia, J., Ning, X., & Stacey, R. (2021). Digital Orientation of Health Systems in the Post-COVID-19 “New Normal” in the United States: Cross-sectional Survey. *Journal of Medical Internet Research*, 23(8), e30453.
- Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2020). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. In *Digital Disruptive Innovation* (pp. 231-270).
- Kindermann, B., Beutel, S., de Lomana, G. G., Strese, S., Bendig, D., & Brettel, M. (2021). Digital orientation: Conceptualization and operationalization of a new strategic orientation. *European Management Journal*, 39(5), 645-657.
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264-272.

- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- Kirchoff, J. F., Tate, W. L., & Mollenkopf, D. A. (2016). The impact of strategic organizational orientations on green supply chain management and firm performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Kiron, D., Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., & Buckley, N. (2016). Aligning the organization for its digital future. *MIT Sloan Management Review*, 58(1).
- Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. *Strategy & PwC*, 5-50.
- Kohli, R., & Melville, N. P. (2019). Digital innovation: A review and synthesis. *Information Systems Journal*, 29(1), 200-223.
- Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119942.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46.
- Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, 31(11-12), 950-966.
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241-261.
- Kumar, N., Kumar, G., & Singh, R. K. (2021). Big data analytics application for sustainable manufacturing operations: analysis of strategic factors. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(3), 965-989.

- Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., Khan, S. A., Chiappetta Jabbour, C. J., Rehman, S. T., & Kusi-Sarpong, H. (2021). Sustainable supplier selection based on industry 4.0 initiatives within the context of circular economy implementation in supply chain operations. *Production Planning & Control*, 1-21.
- Lahti, T., Wincent, J., & Parida, V. (2018). A definition and theoretical review of the circular economy, value creation, and sustainable business models: where are we now and where should research move in the future?. *Sustainability*, 10(8), 2799.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Leonidou, L. C., Leonidou, C. N., Fotiadis, T. A., & Aykol, B. (2015). Dynamic capabilities driving an eco-based advantage and performance in global hotel chains: The moderating effect of international strategy. *Tourism Management*, 50, 268-280.
- Li, Y., Dai, J., & Cui, L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, 229, 107777.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Liu, S., & Chang, Y. T. (2017). Manufacturers' closed-loop orientation for green supply chain management. *Sustainability*, 9(2), 222.
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1), 273-286.
- Ma, S., Zhang, Y., Liu, Y., Yang, H., Lv, J., & Ren, S. (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 274, 123155.

- Mangla, S. K., Luthra, S., Mishra, N., Singh, A., Rana, N. P., Dora, M., & Dwivedi, Y. (2018). Barriers to effective circular supply chain management in a developing country context. *Production Planning & Control*, 29(6), 551-569.
- Masi, D., Day, S., & Godsell, J. (2017). Supply chain configurations in the circular economy: A systematic literature review. *Sustainability*, 9(9), 1602.
- Masri, H. A. & Jaaron, A. A. M. (2017). Assessing green human resources management practices in Palestinian manufacturing context: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 143, 474-489.
- Mastos, T. D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinis, C., Gkortzis, D., ... & Tzovaras, D. (2020). Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122377.
- Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & information systems engineering*, 57(5), 339-343.
- McCormick, K., Neij, L., Mont, O., Ryan, C., Rodhe, H., & Orsato, R. (2016). Advancing sustainable solutions: an interdisciplinary and collaborative research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 123, 1-4.
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(6), 493-520.
- Melnyk, S. A., Sroufe, R. P., & Calantone, R. (2003). Assessing the impact of environmental management systems on corporate and environmental performance. *Journal of Operations Management*, 21(3), 329-351.
- Milios, L., & Matsumoto, M. (2019). Consumer perception of remanufactured automotive parts and policy implications for transitioning to a circular economy in Sweden. *Sustainability*, 11(22), 6264.



- Moktadir, M. A., Rahman, T., Rahman, M. H., Ali, S. M., & Paul, S. K. (2018). Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, *174*, 1366-1380.
- 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), 247.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, *140*(3), 369-380.
- Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, *48*(8), 103773.
- Nobre, G. C., & Tavares, E. (2017). Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study. *Scientometrics*, *111*(1), 463-492.
- North, K., Aramburu, N., Lorenzo, O., & Zubillaga, A. (2019). Digital maturity and growth of SMEs: a survey of firms in the Basque country (Spain). In *International Forum on Knowledge Assets Dynamics*.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory*, 2a Ed. New York: McGraw-Hill.
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C., & McAloone, T. C. (2017). The emergent role of digital technologies in the Circular Economy: A review. *Procedia CIRP*, *64*, 19-24.
- Parida, V., Sjödin, D., & Reim, W. (2019). Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: Past achievements and future promises. *Sustainability*, *11*(2), 391.
- Pearce, D., & Turner, R. (1990). *Economics of natural resources and the environment* (Johns Hopkins University Press (ed.)).

- Pialot, O., Millet, D., & Bisiaux, J. (2017). “Upgradable PSS”: Clarifying a new concept of sustainable consumption/production based on upgradability. *Journal of Cleaner Production*, 141, 538-550.
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y. & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88, 879-903.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64-88.
- Preuss, L. (2001). In dirty chains? Purchasing and greener manufacturing. *Journal of Business Ethics*, 34 (3/4), 345-59.
- Qin, X., Godil, D. I., Sarwat, S., Yu, Z., Khan, S. A. R., & Shujaat, S. (2021). Green practices in food supply chains: evidence from emerging economies. *Operations Management Research*, 1-14.
- Quinton, S., Canhoto, A., Molinillo, S., Pera, R., & Budhathoki, T. (2018). Conceptualising a digital orientation: antecedents of supporting SME performance in the digital economy. *Journal of Strategic Marketing*, 26(5), 427-439.
- Ren, J., Manzardo, A., Toniolo, S., & Scipioni, A. (2013). Sustainability of hydrogen supply chain. Part I: Identification of critical criteria and cause–effect analysis for enhancing the sustainability using DEMATEL. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(33), 14159-14171.
- Renwick, D. W., Jabbour, C. J., Muller-Camen, M., Redman, T., & Wilkinson, A. (2016). Contemporary developments in Green (environmental) HRM scholarship. *The International Journal of Human Resource Management*, 27(2), 114-128.
- Ringle, Christian M., Wende, Sven, & Becker, Jan-Michael. (2015). SmartPLS 3. Boenningstedt: SmartPLS. Retrieved from <https://www.smartpls.com>

- Roehrich, J. K., Grosvold, J., & Hoejmose, S. U. (2014). Reputational risks and sustainable supply chain management: Decision making under bounded rationality. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5).
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.
- Ryan, A. (2006). Post-positivist approaches to research. *Researching and Writing your Thesis: a guide for postgraduate students*, 12-26.
- Salo, H. H., Suikkanen, J., & Nissinen, A. (2020). Eco-innovation motivations and ecodesign tool implementation in companies in the Nordic textile and information technology sectors. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2654-2667.
- Sarkis, J., Gonzalez-Torre, P., & Adenso-Diaz, B. (2010). Stakeholder pressure and the adoption of environmental practices: The mediating effect of training. *Journal of Operations Management*, 28(2), 163-176.
- Sarkis, J., Kouhizadeh, M., & Zhu, Q. S. (2020). Digitalization and the greening of supply chains. *Industrial Management & Data Systems*.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students*. Pearson education.
- Savitz, A. W., & Weber K. (2006). *The Triple Bottom Line*. San Francisco, NC: Jossey-Bass.
- Sayre, D. A. (2014). *INSDE ISO 14000: The competitive advantage of environmental management*. CRC press.
- Schmidt, C. V. H., Kindermann, B., Behlau, C. F., & Flatten, T. C. (2021). Understanding the effect of market orientation on circular economy practices: The mediating role

- of closed-loop orientation in German SMEs. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4171-4187.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> [Acesso em: 15/05/2022].
- Sehnem, S., Pandolfi, A., & Gomes, C. (2019). Is sustainability a driver of the circular economy?. *Social Responsibility Journal*.
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014, December). 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. In *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 697-701). IEEE.
- Spangenberg, J. H., Fuad-Luke, A., Blincoe, K. (2010). Design for sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption. *Journal of Cleaner Production*, 18(15), 1485-1493.
- Stahel, W. R. (1984). The Product-Life Factor in Orr SG An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies, the Role of the Private Sector. *The Mitchell Prizes*.
- Stahel, W. R. (2010). Sustainability and the performance economy. In *The Performance Economy* (pp. 269-287). Palgrave Macmillan, London.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227.
- Tajbakhsh, A., & Hassini, E. (2015). Performance measurement of sustainable supply chains: a review and research questions. *International Journal of Productivity and Performance Management*.

- Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y. M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational statistics & data analysis*, 48(1), 159-205.
- Theodosiou, M., Kehagias, J., & Katsikea, E. (2012). Strategic orientations, marketing capabilities and firm performance: An empirical investigation in the context of frontline managers in service organizations. *Industrial Marketing Management*, 41(7), 1058-1070.
- Trujillo-Gallego, M., Sarache, W., & de Sousa Jabbour, A. B. L. (2022). Digital technologies and green human resource management: Capabilities for GSCM adoption and enhanced performance. *International Journal of Production Economics*, 108531.
- Tseng, M. L., Tan, R. R., Chiu, A. S., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis?. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146-147.
- Umar, M., Khan, S. A. R., Muhammad Zia-ul-haq, H., Yusliza, M. Y., & Farooq, K. (2021). The role of emerging technologies in implementing green practices to achieve sustainable operations. *The TQM Journal*.
- United Nations. (2020). *Ensuring sustainable consumption and production patterns*. <https://www.unep.org/explore-topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-12>
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., Parry, G., & Georgantzis, N. (2017). Servitization, digitization and supply chain interdependency. *Industrial Marketing Management*, 60, 69-81.
- Vial, G. (2021). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Managing Digital Transformation*, 13-66.
- Wang, B., Luo, W., Zhang, A., Tian, Z., & Li, Z. (2020). Blockchain-enabled circular supply chain management: A system architecture for fast fashion. *Computers in Industry*, 123, 103324.

- Wang, P., Kara, S., & Hauschild, M. Z. (2018). Role of manufacturing towards achieving circular economy: The steel case. *CIRP Annals*, 67(1), 21-24.
- Wong, C. Y., Boon-itt, S. & Wong, C. W. Y. (2011). The contingency effects of environmental uncertainty on the relationship between supply chain integration and operational performance. *Journal of Operations Management*, 29(6), 604-615.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*, 1<sup>a</sup> Ed. Oxford: Oxford University Press.
- Yousaf, Z., Radulescu, M., Sinisi, C. I., Serbanescu, L., & Păunescu, L. M. (2021). Towards sustainable digital innovation of SMEs from the developing countries in the context of the digital economy and frugal environment. *Sustainability*, 13(10), 5715.
- Yuan, Z., Bi, J., & Moriguichi, Y. (2006). The circular economy: A new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 4-8.
- Zekhnini, K., Cherrafi, A., Bouhaddou, I., Chaouni Benabdellah, A., & Bag, S. (2021). A model integrating lean and green practices for viable, sustainable, and digital supply chain performance. *International Journal of Production Research*, 1-27.
- Zhijun, F., & Nailing, Y. (2007). Putting a circular economy into practice in China. *Sustainability Science*, 2(1), 95-101.
- Zhou, K. Z., Yim, C. K., & Tse, D. K. (2005). The effects of strategic orientations on technology-and market-based breakthrough innovations. *Journal of Marketing*, 69(2), 42-60.
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2004). Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing. *International Journal of Operations Management*, 22 (3), 265- 289.

Zhu, Q., Geng, Y., & Lai, K. H. (2011). Environmental supply chain cooperation and its effect on the circular economy practice-performance relationship among Chinese manufacturers. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 405-419.

Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. (2007). Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry. *Journal Cleaner Production*, 15 (11/12), 1041-1052.

Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2013). Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external green supply chain management practices. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(2), 106-117.

Zhu, Q., Sarkis, J., Cordeiro, J. J., & Lai, K. H. (2008). Firm-level correlates of emergent green supply chain management practices in the Chinese context. *Omega*, 36(4), 577-591.

Zsidisin, G. A., & Hendrick, T. E. (1998). Purchasing's involvement in environmental issues: a multi-country perspective. *Industrial Management & Data Systems*.

## ANEXOS

### Anexo A - Figuras

#### Anexo A.1. - Processo de economia circular

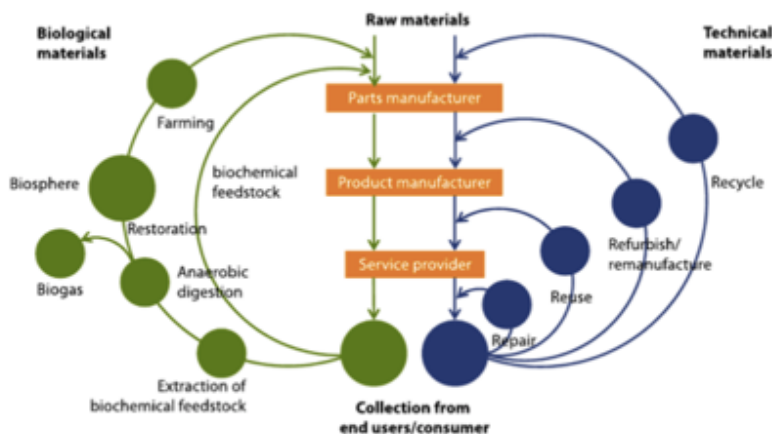
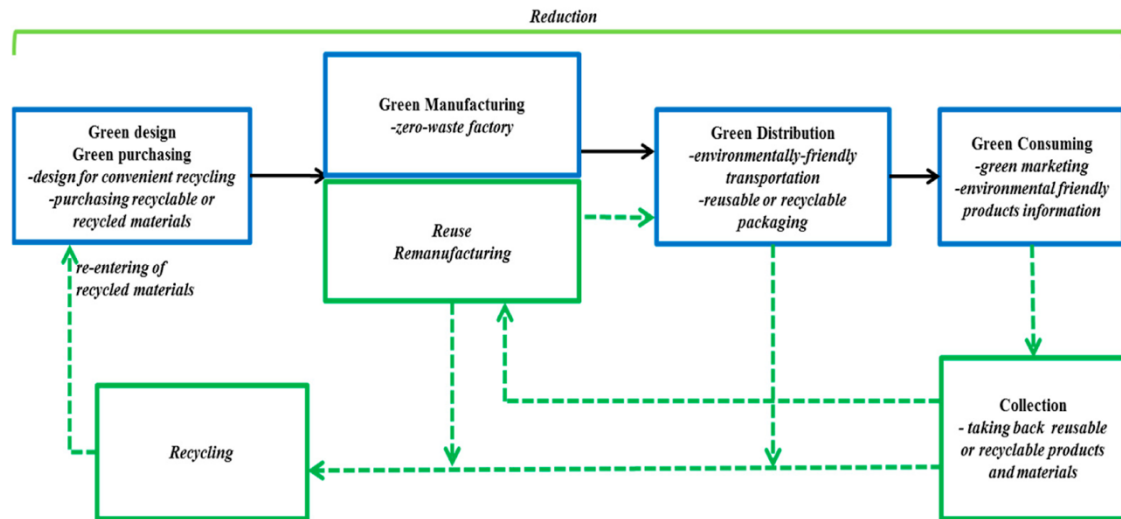


Figure 1 – Circular Economy (Adapted from EMF (2013))

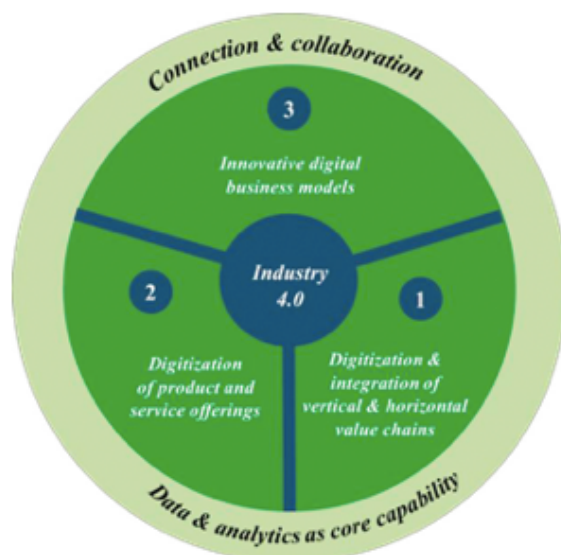
Fonte: Bernon *et al.* (2018)

**Anexo A.2. – Orientação *closed-loop* no contexto de GSCM**



Fonte: Liu & Chang (2017)

**Anexo A.3. - Componentes base da Indústria 4.0**



Fonte: Carvalho *et al.* (2018)



## **Anexo B - Corpo do e-mail do convite para a participação no questionário**

Exmo(a) Senhor(a),

O meu nome é Joana Godinho e encontro-me neste momento a realizar um projeto de investigação, no âmbito do Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial do ISEG – Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa. O projeto tem como objetivo perceber quais as práticas de gestão ambiental e as tecnologias adotadas pelas empresas da indústria transformadora portuguesa. Venho por este meio solicitar a sua contribuição, sendo esta fundamental para melhorar o conhecimento desta indústria e das atitudes das empresas sobre este tópico, através do preenchimento de um questionário, ao qual poderá aceder através do endereço abaixo.

{SURVEYURL}

Na resposta às perguntas do questionário, o que interessa é a sua experiência e/ou opinião, não existindo por isso, respostas certas ou erradas. Peço-lhe que nas suas respostas tenha como referência a empresa ou organização onde se encontra neste momento. **Toda a informação fornecida é estritamente confidencial.** Não será possível fazer a identificação pessoal das pessoas e empresas envolvidas neste estudo e os dados recolhidos serão utilizados unicamente para fins de tratamento estatístico e apresentados de forma agregada. O tempo estimado para o preenchimento do questionário é de 15 minutos.

Agradeço, desde já, a sua atenção e colaboração e coloco-me ao dispor para qualquer esclarecimento, através do seguinte e-mail: joanabg99@aln.iseg.ulisboa.pt ou através do meu contacto telefónico: 966797005.

Devido à nova Política de Proteção de Dados, por favor informe-me caso não queira receber lembretes para participar no inquérito, através de um dos meios já referidos.

Atentamente,

Joana Godinho

## **Anexo C - Corpo do e-mail do 1º lembrete**

Exmo(a) Senhor(a),

O meu nome é Joana Godinho e encontro-me neste momento a realizar uma investigação, no âmbito do Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial do ISEG - Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa, que tem como objetivo perceber quais as práticas de gestão ambiental e as tecnologias adotadas pelas empresas da indústria transformadora portuguesa.

Para levar a cabo a execução do objetivo acima enunciado gostaria de solicitar a sua preciosa colaboração, mediante resposta individual a um questionário. **Caso já tenha respondido a este e-mail peço, por favor, que o ignore.**

**Caso ainda não tenha respondido, peço-lhe por favor que o faça, pois até ao momento o número de respostas obtidas é muito reduzido, o que não me permite realizar uma análise de resultados rigorosa, por isso para mim seria extremamente importante obter a sua resposta.** Para poder preencher o referido questionário deverá aceder através do seguinte endereço:

{SURVEYURL}

Não existem respostas certas ou erradas, apenas a sua experiência e/ou opinião é importante. Peço-lhe que na resposta a estas questões assuma como referência a empresa ou organização onde se encontra atualmente.

**Toda a informação fornecida é estritamente confidencial.** Não será possível fazer a identificação pessoal das pessoas e empresas envolvidas neste estudo e os dados recolhidos serão utilizados unicamente para fins de tratamento estatístico e apresentados de forma agregada. O tempo estimado para o preenchimento do questionário é de 15 minutos.

Agradeço, desde já, a sua atenção e colaboração e coloco-me ao dispor para qualquer esclarecimento, através do seguinte e-mail: joanabg99@aln.iseg.ulisboa.pt ou através do meu contacto telefónico: 966797005.

Atentamente,

Joana Godinho

## Anexo D - Escalas de Medida

### Gestão ambiental interna

(AVE = 0,718; CR = 0,962;  $\alpha$  = 0,956)

Adaptado de Schmidt *et al.* (2021)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>GAI 1</b>	Cooperação entre os diversos departamentos com o intuito de promover melhorias ambientais.	0,823	27,544
<b>GAI 2</b>	Formação especial dos colaboradores sobre gestão ambiental.	0,883	46,863
<b>GAI 3</b>	Implementação da Gestão pela Qualidade Total incluindo questões ambientais.	0,837	25,671
<b>GAI 4</b>	Existência de programas de prevenção da poluição.	0,87	43,314
<b>GAI 5</b>	O sistema interno de avaliação de desempenho inclui indicadores ambientais.	0,861	35,456
<b>GAI 6</b>	Existência de relatórios ambientais para avaliação interna.	0,84	36,122
<b>GAI 7</b>	Compromisso da gestão de topo para a implementação de práticas de gestão ambiental incluindo práticas verdes ao longo de toda a cadeia de valor.	0,907	65,273
<b>GAI 8</b>	Compromisso da gestão intermédia para a implementação de práticas de gestão ambiental incluindo práticas verdes ao longo de toda a cadeia de valor.	0,892	56,219
<b>GAI 9</b>	Uso de tecnologias mais limpas de forma a poupar energia e água e a reduzir o desperdício.	0,788	23,492
<b>GAI 10</b>	Utilização de rótulos e embalagens ecológicas para os produtos.	0,76	21,299

### Ecodesign

(AVE = 0,816; CR = 0,946;  $\alpha$  = 0,925)

Adaptado de Schmidt *et al.* (2021)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>ED 1</b>	Design de produtos com o intuito de reduzir o consumo de materiais/energia.	0,882	35,301
<b>ED 2</b>	Design de produtos para que seja possível a sua reutilização, reciclagem e recuperação de materiais e/ou componentes.	0,901	47,13
<b>ED 3</b>	Design de produtos com o intuito de evitar/diminuir a utilização de produtos tóxicos/nocivos/perigosos.	0,926	69,481

<b>ED 4</b>	Design de processos com o intuito de minimizar o desperdício.	0,903	48,935
-------------	---	-------	--------

### Recuperação do investimento

(AVE = 0,596; CR = 0,898;  $\alpha$  = 0,864)

Adaptado de Schmidt *et al.* (2021)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>RI 1</b>	Retorno do investimento através da venda de inventários/materiais extra.	0,76	21,415
<b>RI 2</b>	Venda de materiais usados e sucata (produtos rejeitados por falta de qualidade).	0,73	15,884
<b>RI 3</b>	Venda de equipamento de capital em excesso.	0,828	36,105
<b>RI 4</b>	Recolha e reciclagem de materiais e/ou produtos no fim do seu ciclo de vida.	0,714	15,352
<b>RI 5</b>	Existência de um sistema de reciclagem para produtos usados e /ou produtos com defeito.	0,76	20,123
<b>RI 6</b>	Venda de equipamentos utilizados.	0,833	34,851

### Compras ecológicas

(AVE = 0,713; CR = 0,952;  $\alpha$  = 0,942)

Adaptado de Zhu *et al.* (2013)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>CE 1</b>	Indicação de especificações de design aos fornecedores de modo a que os itens comprados incluam requisitos ambientais.	0,843	34,861
<b>CE 2</b>	Cooperação com os fornecedores de forma a atingir os objetivos referentes à gestão ambiental.	0,847	32,431
<b>CE 3</b>	Realização de auditorias de gestão ambiental para verificar o cumprimento dos objetivos por parte dos fornecedores.	0,837	28,554
<b>CE 4</b>	Exigência de certificação ISO 14001 aos fornecedores.	0,778	21,48
<b>CE 5</b>	Avaliação das práticas de gestão ambiental adotadas pelos fornecedores de segundo nível (fornecedores dos fornecedores).	0,864	37,626
<b>CE 6</b>	Adoção do sistema de logística <i>just-in-time</i> .	*	*

<b>CE 7</b>	Seleção de fornecedores usando critérios ambientais.	0,9	59,08
<b>CE 8</b>	Cooperação com os fornecedores de forma a reduzir as embalagens utilizadas.	0,831	33,03
<b>CE 9</b>	Exigência aos fornecedores de embalagens amigas do ambiente (degradáveis e não perigosas).	0,852	33,922

### Cooperação com os clientes

(AVE = 0,777; CR = 0,954;  $\alpha$  = 0,942)

Adaptado de Zhu *et al.* (2013)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>CC 1</b>	Cooperação com os clientes para a implementação de práticas de design ecológico (eco-design).	0,891	36,032
<b>CC 2</b>	Cooperação com os clientes para a promoção de uma produção mais limpa.	0,912	55,08
<b>CC 3</b>	Cooperação com clientes para a utilização de embalagens ecológicas.	0,912	55,937
<b>CC 4</b>	Cooperação com os clientes para a utilização de menos energia no transporte de produtos.	0,894	42,969
<b>CC 5</b>	Cooperação com os clientes para recolha dos produtos/embalagens após utilização.	0,835	26,198
<b>CC 6</b>	Cooperação com clientes para implementação de um sistema de logística reversa.	0,841	28,2
<b>CC 7</b>	Adoção de outsourcing para atividades de logística (armazenagem, transporte, etc).	*	*

### Tecnologias I4

(AVE = 0,777; CR = 0,954;  $\alpha$  = 0,942)

Adaptado de Kamble e Gunasekaran (2021)

(Escala: 1- Não implementada a 5 - Implementada com sucesso)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>TI4 1</b>	Computação em nuvem (CC)	*	*
<b>TI4 2</b>	Análise de big data (BDA)	0,82	24,886
<b>TI4 3</b>	Internet of Things (IoT)	0,759	16,565
<b>TI4 4</b>	Manufatura aditiva (ADM)	0,78	17,445
<b>TI4 5</b>	Sistemas robóticos (RS)	*	*

<b>TI4 6</b>	Realidade aumentada (AR)	0,813	17,187
<b>TI4 7</b>	Sistemas ciberfísicos (CPS)	0,773	13,527
<b>TI4 8</b>	3D Printing	*	*
<b>TI4 9</b>	Artificial Intelligence (AI)	0,826	21,726
<b>TI4 10</b>	Blockchain (BCT)	0,838	20,78
<b>TI4 11</b>	Cybersecurity	*	*
<b>TI4 12</b>	Data mining	0,886	36,717
<b>TI4 13</b>	MAS (Multi-Agents System)	0,859	29,191
<b>TI4 14</b>	Machine learning	0,845	18,286
<b>TI4 15</b>	Radio frequency identification (RFID)	0,768	14,523

### Orientação digital

(AVE = 0,82; CR = 0,97;  $\alpha$  = 0,963)

Adaptado de Arias-Pérez e Vélez-Jaramillo (2022)

(Escala: 1- Discordo Totalmente a 5 – Concordo Totalmente)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>OD 1</b>	A empresa tem uma visão clara sobre como as novas tecnologias digitais (redes sociais, mobile, <i>analytics</i> , cloud computing) que contribuem para o valor do negócio.	0,851	31,151
<b>OD 2</b>	A empresa integra estratégia de negócios e estratégia digital.	0,898	54,924
<b>OD 3</b>	A empresa desenvolve capacidades para ajudar as áreas funcionais e a gestão em geral a compreender o valor dos investimentos em novas tecnologias digitais.	0,918	66,624
<b>OD 4</b>	A empresa mantém-se constantemente atualizada relativamente às novas inovações em tecnologia digital.	0,924	67,092
<b>OD 5</b>	A empresa é capaz e continua a experimentar novas tecnologias digitais conforme necessário.	0,894	48,24
<b>OD 6</b>	A empresa tem um clima favorável à experimentação de novas formas de utilizar tecnologias digitais.	0,902	48,654
<b>OD 7</b>	A empresa procura constantemente novas formas de aumentar a eficácia do uso da tecnologia digital.	0,951	132,741

### Orientação *closed-loop*

(AVE = 0,82; CR = 0,97;  $\alpha$  = 0,963)

Adaptado de Schmidt *et al.* (2021)

(Escala: 1- Discordo Totalmente a 5 – Concordo Totalmente)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>OD 1</b>	Na empresa, a taxa de recuperação de produtos em fim de vida é uma componente importante nas medidas de desempenho.	0,747	18,165
<b>OD 2</b>	Na empresa, a maximização da reciclagem de materiais é um importante objetivo a ser alcançado.	0,761	20,896
<b>OD 3</b>	A empresa considera a reciclabilidade como um importante indicador da qualidade do produto.	0,839	32,765
<b>OD 4</b>	A empresa valoriza a reciclabilidade quando está a desenvolver novos produtos, selecionar materiais, fabricar produtos e distribuir produtos.	0,872	42,294
<b>OD 5</b>	A empresa avalia os produtos tendo em conta o seu ciclo de vida incluindo as fases de compra de materiais, desenvolvimento do produto, produção e distribuição e reciclagem de produtos em fim de vida.	0,864	40,735
<b>OD 6</b>	A empresa investe em tecnologias (por exemplo, tecnologia de desmontagem e sistemas de limpeza) para o processamento de materiais usado.	0,736	17,625
<b>OD 7</b>	A empresa tem uma pessoa especialmente designada para gerir a recuperação de produtos em fim de vida.	*	*
<b>OD 8</b>	A empresa comunica informações sobre a reciclabilidade dos seus produtos em todas as unidades de negócios e áreas funcionais.	0,749	20,386
<b>OD 9</b>	A empresa possui informações e conhecimento relacionados com a reciclagem de materiais na nossa indústria.	0,772	19,909
<b>OD 10</b>	A empresa tem programas de formação sobre reciclagem para os funcionários.	0,701	16,695
<b>OD 11</b>	A gestão de topo da empresa enfatiza a importância da recuperação dos resíduos gerados pela empresa.	0,798	26,87
<b>OD 12</b>	A gestão de topo da empresa enfatiza a necessidade de evitar desperdícios sempre que possível.	*	*

### Sustentabilidade económica

(AVE = 0,83; CR = 0,975;  $\alpha$  = 0,971)

Adaptado de Kamble e Gunasekaran (2021)

(Escala: 1- Nada significativa a 5 – Muito significativa)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>SE 1</b>	Custos de produção mais baixos.	0,935	87,43
<b>SE 2</b>	Aumento do lucro.	0,919	59,892
<b>SE 3</b>	Redução dos custos de desenvolvimento de novos produtos.	0,917	58,145
<b>SE 4</b>	Redução do consumo de energia.	0,887	43,52
<b>SE 5</b>	Redução de custos de inventário.	0,913	52,509
<b>SE 6</b>	Redução dos custos de rejeição de produtos e retrabalho.	0,914	59,42
<b>SE 7</b>	Redução dos custos de compra de matéria-prima.	0,911	60,544
<b>SE 8</b>	Redução dos custos de tratamento de resíduos de produção.	0,893	41,652

### **Sustentabilidade social**

(AVE = 0,83; CR = 0,975;  $\alpha$  = 0,971)

Adaptado de Kamble e Gunasekaran (2021)

(Escala: 1- Nada significativa a 5 – Muito significativa)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>SS 1</b>	Melhoria das condições de trabalho.	0,961	114,335
<b>SS 2</b>	Melhoria da segurança no local de trabalho.	0,958	78,065
<b>SS 3</b>	Funcionários mais saudáveis.	0,954	94,58
<b>SS 4</b>	Melhoria das relações laborais.	0,963	128,789
<b>SS 5</b>	Diminuição do número de acidentes.	0,929	59,012
<b>SS 6</b>	Diminuição do número de reclamações de clientes.	0,939	77,51

### **Sustentabilidade ambiental**

(AVE = 0,83; CR = 0,975;  $\alpha$  = 0,971)

Adaptado de Kamble e Gunasekaran (2021)

(Escala: 1- Nada significativa a 5 – Muito significativa)

		<b>Loadings</b>	<b>T-value</b>
<b>SA 1</b>	Redução na quantidade de resíduos sólidos gerados.	0,907	46,531



<b>SA 2</b>	Redução na quantidade de resíduos líquidos gerados.	0,899	46,949
<b>SA 3</b>	Redução das emissões de gases.	0,919	63,487
<b>SA 4</b>	Redução do consumo de energia.	0,886	47,015
<b>SA 5</b>	Diminuição do consumo de materiais tóxicos/nocivos/perigosos.	0,887	38,671
<b>SA 6</b>	Melhoria da situação ambiental da empresa.	0,928	68,615
<b>SA 7</b>	Redução no consumo de água.	0,889	33,269

\* Estes itens foram excluídos durante a purificação das escalas por apresentarem um *loading* inferior a 0,7.