

iscte

INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Determinantes de Indústria 4.0: Mapeamento e Análise de Relações Causais

Inês Meno Serra

Mestrado em Gestão

Orientador:

Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira, Professor Associado c/Agregação
ISCTE Business School

Maio 2021

Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

**Determinantes de Indústria 4.0: Mapeamento e Análise de Relações
Causais**

Inês Meno Serra

Mestrado em Gestão

Orientador:

Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira, Professor Associado c/Agregação
ISCTE Business School

Maio 2021

AGRADECIMENTOS

“**N**ão tenhamos pressa. Mas não percamos tempo” (José Saramago).
A presente dissertação representa mais um capítulo concluído na minha vida e, por isso, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de certa forma, contribuíram para esta conquista.

Antes de mais, quero agradecer à minha família, em particular aos meus pais e irmã, os principais impulsionadores de tudo isto. Agradeço pelo apoio e força incondicional, por nunca desistirem de mim e tornarem possíveis os meus sonhos. Quero ainda agradecer de forma especial ao Paulo, pelo seu companheirismo de todas as horas, pelo carinho e pela confiança que me transmite de que sou capaz de realizar todas as minhas ambições.

Em segundo lugar, um especial agradecimento ao Professor Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira, meu orientador, por tornar esta dissertação concretizável, pelo acompanhamento e disponibilidade persistentes e, sobretudo, pela confiança depositada. Foi para mim um enorme privilégio ter a oportunidade de ter sido orientada por um profissional de tão elevado e reconhecido mérito académico. Agradeço, ainda, pela partilha de conhecimento que foi fundamental para a qualidade da informação contida nesta dissertação, assim como pelas palavras de incentivo e por nunca me ter deixado fraquejar.

Agradeço de uma forma muito carinhosa às minhas amigas, em particular à Constança Vaz Patto, Fabiana Vieira e Raquel Garcia, que percorreram comigo este percurso nestes últimos dois anos, partilhando conquistas.

Um agradecimento muito especial ao painel de decisores: Cristina Barros, Henrique Figueiredo, Isabel Moura Ramos, João Gomes, João Oliveira e Pedro Cilínio. O seu contributo foi inestimável e imprescindível à realização deste estudo. Agradeço a sua disponibilidade, esforço, partilha de valores e experiências. Deixo também uma palavra especial de apreço à Dra. Helena Gouveia, representante do Departamento de Inovação e Desenvolvimento do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), por se ter disponibilizado para a sessão de validação e pela sua partilha de conhecimentos.

A todos,
O meu Muito Obrigada!

DETERMINANTES DE INDÚSTRIA 4.0: MAPEAMENTO E ANÁLISE DE RELAÇÕES CAUSAIS

RESUMO

A Indústria 4.0 assume, atualmente, uma importância crescente, tornando-se condição fundamental na obtenção de vantagens competitivas. Esta nova era industrial revela-se promissora, na medida em que percebe a produção e a sua convergência com os avanços digitais, permitindo, deste modo, mitigar os principais desafios da produção industrial. Contudo, avaliar a maturidade das organizações no contexto da Indústria 4.0 é uma tarefa difícil e de grande complexidade, dada a diversidade de determinantes que lhe são inerentes. No sentido de ultrapassar esta dificuldade, e uma vez que a literatura sugere existirem limitações relativas à identificação e à análise de relações dinâmicas de causa-efeito entre os determinantes de Indústria 4.0 nos modelos de avaliação existentes, parece evidente a necessidade de criar um modelo de análise que consiga colmatar estas limitações. Como tal, a presente dissertação propõe um modelo que recorre ao uso integrado de técnicas de mapeamento cognitivo, suportadas pela abordagem *JOintly Understanding Reflecting and NEgotiating strategY* (JOURNEY) *Making*, com a técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), de modo a obter um modelo mais transparente e uma análise dinâmica das relações de causa-efeito entre os determinantes de Indústria 4.0. A implementação da abordagem proposta envolveu duas sessões de trabalho com um painel de especialistas, assim como uma última sessão com uma representante do Departamento de Inovação e Desenvolvimento do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), visando a validação dos resultados e a formulação de algumas recomendações. As vantagens e as limitações decorrentes deste estudo são também objeto de análise e de discussão.

Palavras-Chave: Apoio à Tomada de Decisão; DEMATEL; Indústria 4.0; JOURNEY *Making*; Mapas Cognitivos; Modelos de Maturidade.

DETERMINANTS OF INDUSTRY 4.0: MAPPING AND ANALYSIS OF CAUSE-AND-EFFECT RELATIONSHIPS

ABSTRACT

Increasing attention has been paid to Industry 4.0 as a prerequisite for achieving competitive advantages. However, measuring organizational maturity in the context of Industry 4.0 is a difficult and highly complex endeavor, given the diversity of the associated determinants. Several authors have proposed different approaches to Industry 4.0, but these approaches still exhibit limitations, particularly regarding the identification and analysis of dynamic cause-and-effect relationships among determinants. This study sought to create an analysis system for determinants of Industry 4.0 by combining cognitive mapping and the *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) technique, providing a more transparent model and a dynamic analysis of cause-effect relationship among variables. The development of the proposed analysis system involved group meetings with a panel of experts on the topic, as well as a final validation session with a senior representative of the Portuguese Institute of Welding and Quality, aiming to validate the results obtained. The advantages and limitations of the proposed framework are also discussed.

Keywords: Cognitive Maps; Decision Support; DEMATEL; Industry 4.0; JOURNEY Making; Maturity Models.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Temos vindo a assistir, na última década, a uma transformação do nosso quotidiano através do surgimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), onde tudo se encontra interligado a uma rede mundial: a Internet. Esta tendência é também visível na produção industrial, onde surgem desafios, nomeadamente no que diz respeito à mudança constante das necessidades dos consumidores, à redução dos ciclos de vida dos produtos e à elevada customização dos mesmos, aliada à forte concorrência global existente. Estes atuais desafios apenas podem ser superados através de processos de produção automáticos, ágeis, inteligentes e flexíveis, que possam ser reconfigurados e regulados rapidamente. É neste sentido que o termo *Indústria 4.0* se torna público em 2011, usado com o propósito de descrever a ampla integração das TIC nos sistemas de produção industrial. De facto, a Indústria 4.0 é ainda uma área de investigação relativamente recente, pelo que há espaço para a investigação, quer ao nível das organizações, quer da política pública. Este novo estágio de maturidade industrial tem como base a conectividade proporcionada pela *Internet of Things* (IoT) e o uso das diversas TIC, nomeadamente: *big data & analytics*, *cloud computing*, *cybersecurity*, robôs autónomos, realidade aumentada, simulação, impressão 3D e integração horizontal e vertical de sistemas. Com efeito, as tecnologias da IoT, combinadas com o ecossistema de produção, permitem a criação de dispositivos inteligentes, conhecidos como *Cyber-Physical Systems* (CPS). Esta nova era industrial revela-se promissora, na medida em que perfecciona a produção e a sua convergência com os avanços digitais, a fim de obter uma produção máxima usando o mínimo de recursos e, deste modo, permitindo processos de produção mais flexíveis e a análise de grandes quantidades de dados, em tempo real, melhorando a tomada de decisões estratégicas e operacionais que, simultaneamente, mitigam riscos. Contudo, as organizações, ao entrarem neste processo transformativo, enfrentam desafios consideráveis no que diz respeito às tecnologias emergentes da Indústria 4.0 (*i.e.*, determinantes de Indústria 4.0). Deste modo, o aumento da complexidade cria uma incerteza relativamente à maturidade no contexto da Indústria 4.0. À luz desta problemática, o desenvolvimento e a utilização de ferramentas que permitam a análise da maturidade no contexto da Indústria 4.0 emerge como uma solução promissora. Como tal, surgem na literatura algumas propostas relacionadas com a avaliação da maturidade. Todavia, estas apresentam ainda limitações,

em particular, no que respeita à identificação e à análise de relações dinâmicas de causa-efeito entre os determinantes de Indústria 4.0. Neste sentido, e com o intuito de ultrapassar estas limitações, o principal objetivo desta dissertação passa pela conceção de um modelo de análise de determinantes de Indústria 4.0, que permita às organizações perceberem quais os critérios que devem priorizar aquando da sua implementação na Indústria 4.0. A presente dissertação recorre à abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), caracterizada por uma base epistemológica construtivista e que permite a associação de elementos objetivos e subjetivos na resolução de problemas complexos. Para o efeito, recorrer-se-á, numa primeira fase – *fase de estruturação* – a técnicas de mapeamento cognitivo segundo a abordagem *JOintly Understanding, Reflecting and NEgotiating* (JOUNERY) *Making*, através das quais será possível definir e estruturar o problema em análise. Posteriormente, numa segunda fase – fase de avaliação – será aplicada a técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), de forma a conseguir analisar as relações dinâmicas de causalidade entre os critérios de avaliação. A aplicação das metodologias escolhidas exigiu a realização de duas sessões de trabalho *online* – devido à pandemia COVID-19 – com um painel de decisores especialistas na temática. A primeira sessão iniciou-se com uma breve contextualização das metodologias, seguida da apresentação de uma *trigger question*, no sentido de obter critérios que, com recurso à “técnica dos *post-its*”, foram registados, organizados por áreas de interesse e ordenados por grau de importância. Os resultados desta sessão foram posteriormente traduzidos num mapa cognitivo de grupo, permitindo a identificação de seis *clusters*, nomeadamente: *Contexto Tecnológico, Recursos Humanos, Contexto Financeiro, Gestão & Liderança, Envolve*nte e *Contexto Político-Legal*. Na segunda sessão, começou-se por facultar o mapa aos decisores, tendo-lhes sido solicitado que se pronunciassem sobre eventuais ajustes a realizar. De seguida, aplicaram-se técnicas nominais de grupo e *multi-voting* para descobrir quais os determinantes-chave dentro de cada *cluster*. Com este processo, formaram-se as matrizes necessárias para analisar as relações dinâmicas de causalidade entre as variáveis com recurso à técnica DEMATEL. Por fim, foi realizada uma sessão de consolidação com uma representante do Departamento de Inovação e Desenvolvimento do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), que não participou nas sessões anteriores, com o propósito de consolidar e validar o modelo construído de forma imparcial. O *feedback* obtido permitiu salientar os principais contributos do modelo e afirmar o seu potencial de aplicação prática na análise de determinantes de Indústria 4.0.

ÍNDICE GERAL

Principais Abreviaturas Utilizadas	xv
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Principais Objetivos	2
1.3. Princípios Epistemológicos e Metodologia de Base	3
1.4. Estrutura do Documento	4
1.5. Resultados Esperados	5
Capítulo 2 – Revisão da Literatura	7
2.1. Indústria 4.0: Enquadramento e Conceitos Basilares	7
2.2. Determinantes de Indústria 4.0	11
2.3. Métodos de Análise: Alguns Contributos e Limitações	16
2.4. Limitações Metodológicas Gerais	25
<i>Sinopse do Capítulo 2</i>	27
Capítulo 3 – Metodologia e Fontes	29
3.1. A Abordagem JOURNEY Making	29
3.1.1. <i>Problem Structuring Methods</i> e JOURNEY Making	31
3.1.2. Mapeamento Cognitivo: Princípios Orientadores	36
3.1.3. Contributos para a Análise de Determinantes de Indústria 4.0	39
3.2. O Método DEMATEL	41
3.2.1. Enquadramento e Formulação	42
3.2.2. Vantagens e Limitações	46
3.2.3. Contributos para a Análise de Determinantes de Indústria 4.0	48
<i>Sinopse do Capítulo 3</i>	50
Capítulo 4 – Aplicação e Análise de Resultados	51
4.1. Estrutura Cognitiva de Grupo e Mapeamento de relações Causais	51
4.2. Análise DEMATEL de Determinantes de Indústria 4.0	57
4.3. Consolidação do estudo, Limitações e Recomendações	82

<i>Sinopse do Capítulo 4</i>	85
Capítulo 5 – Conclusão	86
5.1. Principais Resultados e Limitações do Estudo	86
5.2. Reflexões Teórico-Práticas	88
5.3. Linhas de Investigação Futura	90
 Bibliografia	 91
Apêndices	101

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

FIGURAS

Figura 1: <i>Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Companies</i>	16
Figura 2: Indústria 4.0 como Conexão entre os Mundos Físico e Virtual	17
Figura 3: Etapas para o Sucesso Digital	19
Figura 4: <i>The JOURNEY of Strategy Making and Delivery</i>	35
Figura 5: Exemplo de um Mapa Cognitivo	39
Figura 6: Processo do Método DEMATEL	43
Figura 7: Momentos Registrados Durante a Primeira Sessão de Grupo	54
Figura 8: Mapa Cognitivo Coletivo	56
Figura 9: Momentos Registrados Durante a Segunda Sessão de Grupo	58
Figura 10: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Clusters</i>	63
Figura 11: Quatro Quadrantes do Diagrama de Relação de Causa-Efeito	64
Figura 12: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Contexto Tecnológico</i>	67
Figura 13: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Recursos Humanos</i>	70
Figura 14: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Contexto Financeiro</i>	73
Figura 15: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Gestão & Liderança</i>	76
Figura 16: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Envolvente</i>	78
Figura 17: DEMATEL <i>Cause-Effect Diagram – Contexto Político-Legal</i>	81
Figura 18: Momentos Registrados Durante a Sessão de Consolidação	82

TABELAS

Tabela 1: Visão Geral do <i>The Connected Enterprise Maturity Model</i>	20
Tabela 2: Visão Geral do SIMMI 4.0	21
Tabela 3: Modelos de Maturidade da Indústria 4.0: Contributos e Limitações	23
Tabela 4: Métodos de Estruturação de Problemas Complexos	32
Tabela 5: Descrição das Fases do Processo JOURNEY	34
Tabela 6: <i>Clusters</i> – Identificados na Primeira Sessão de Grupo	58
Tabela 7: Matriz Inicial – <i>Clusters</i>	59
Tabela 8: Matriz Inicial Normalizada (D) – <i>Clusters</i>	60
Tabela 9: Matriz Identidade (I) – <i>Clusters</i>	60

Tabela 10: Matriz $(I - D)$ – Clusters	60
Tabela 11: Matriz $(I - D)^{-1}$ – Clusters	61
Tabela 12: Matriz Final – Clusters	62
Tabela 13: R e C dos Clusters	62
Tabela 14: Critérios Selecionados dentro do Cluster Contexto Tecnológico	65
Tabela 15: Matriz Inicial – Contexto Tecnológico	66
Tabela 16: Matriz Final – Contexto Tecnológico	67
Tabela 17: Critérios Selecionados dentro do Cluster Recursos Humanos	68
Tabela 18: Matriz Inicial – Recursos Humanos	69
Tabela 19: Matriz Final – Recursos Humanos	70
Tabela 20: Critérios Selecionados dentro do Cluster Contexto Financeiro	71
Tabela 21: Matriz Inicial – Contexto Financeiro	72
Tabela 22: Matriz Final – Contexto Financeiro	72
Tabela 23: Critérios Selecionados dentro do Cluster Gestão & Liderança	74
Tabela 24: Matriz Inicial – Gestão & Liderança	74
Tabela 25: Matriz Final – Gestão & Liderança	75
Tabela 26: Critérios Selecionados dentro do Cluster Envolvente	77
Tabela 27: Matriz Inicial – Envolvente	77
Tabela 28: Matriz Final – Envolvente	78
Tabela 29: Critérios Selecionados dentro do Cluster Contexto Político-Legal	79
Tabela 30: Matriz Inicial – Contexto Político-Legal	80
Tabela 31: Matriz Final – Contexto Político-Legal	80

PRINCIPAIS ABREVIATURAS UTILIZADAS

CPS	– <i>Cyber-Physical Systems</i>
DEMATEL	– <i>DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory</i>
IoT	– <i>Internet of Things</i>
JOURNEY	– <i>JOintly Understanding, Reflecting and NEgotiating strategY</i>
MCDA	– <i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
OR	– <i>Operational Research</i>
PMEs	– Pequenas e Médias Empresas
PSMs	– <i>Problem Structuring Methods</i>
SC	– Subcritério
SODA	– <i>Strategic Options Development and Analysis</i>
TIC	– Tecnologias de Informação e Comunicação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo faz referência à introdução da presente dissertação. Deste modo, será realizado um breve enquadramento do tema, seguido dos seus objetivos principais, assim como da apresentação dos princípios epistemológicos e da metodologia que serviram de base à criação do sistema de análise. Por fim, será ainda apresentada a estrutura do documento e os principais resultados esperados do estudo.

1.1. Enquadramento do Tema

Na última década, assistimos a uma transformação do nosso quotidiano através do surgimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), onde tudo se encontra interligado a uma rede mundial: a Internet. Esta tendência é também notória ao nível da produção industrial, a qual, na Alemanha, é denominada pela quarta revolução industrial (*i.e.*, Indústria 4.0). (Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015).

A Indústria 4.0 tem como base a conectividade proporcionada pela *Internet of Things* (IoT) e o uso de diversas TIC, nomeadamente: (1) *big data & analytics*; (2) *cloud computing*; (3) *cybersecurity*; (4) robôs autónomos; (5) realidade aumentada; (6) simulação; (7) impressão 3D (*additive manufacturing*); e (8) integração horizontal e vertical do sistema. Estas tecnologias da IoT, combinadas com todo o ecossistema de produção, permitem a criação de dispositivos inteligentes (*i.e.*, *Cyber-Physical Systems* (CPS)) (Weyer *et al.*, 2015). Esta lógica assenta na base do surgimento das *smart factories* as quais se caracterizam por esta integração dos sistemas cibernéticos e físicos e pela consequente criação de um ambiente onde os fatores relevantes da indústria são capazes de se conectar entre si digitalmente, trocando informações que permitirão um controlo de ações de forma autónoma e independente (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016; Sony, 2018).

Esta nova era industrial revela-se promissora, na medida em que percebe a produção e a sua convergência com os avanços digitais, de modo a obter uma produção máxima usando o mínimo dos recursos e permitindo, deste modo, processos de produção

mais flexíveis e a análise de grandes quantidades de dados, em tempo real, melhorando a tomada de decisões estratégicas e operacionais (Sony & Naik, 2020; Dalenogare, Benitez, Ayala, & Frank, 2020). Contudo, as organizações, ao entrarem neste processo transformativo, enfrentam desafios consideráveis no que diz respeito às tecnologias emergentes da Indústria 4.0 (*i.e.*, os determinantes de indústria 4.0). Deste modo, o aumento da complexidade a todos os níveis empresariais cria uma certa incerteza sobre os recursos e sobre as capacidades da própria organização, existindo, deste modo, também uma incerteza sobre a sua maturidade no contexto da Indústria 4.0 (Schumacher, Erol, & Sihm, 2016).

A avaliação da maturidade na Indústria 4.0 tem, nesse sentido, sido alvo de estudo em vários contextos e com recurso a diferentes abordagens e métodos. Embora os contributos para a temática sejam evidentes, subsistem limitações recorrentes, particularmente no que diz respeito à identificação e à análise de relações dinâmicas de causa-efeito entre os determinantes de Indústria 4.0. Na tentativa de confrontar estas limitações, opta-se, na presente dissertação, pela aplicação combinada da abordagem *JOintly Understanding Reflecting and NEgotiating strategY (JOURNEY) Making* com o método *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)*, no sentido de se proceder à identificação e à análise dos determinantes de Indústria 4.0, num modelo de análise que auxilie as organizações na sua tomada de decisão, nomeadamente na identificação dos determinantes que devem ser tidos em consideração aquando da sua implementação na Indústria 4.0.

1.2. Principais Objetivos

Tal como referido no ponto anterior, não obstante os benefícios da adaptação das organizações a esta nova era industrial, este processo transformativo suscita desafios ao nível dos determinantes da Indústria 4.0. Nesta lógica, e dado que a literatura carece de estudos empíricos que considerem a identificação e a análise dos determinantes aquando da medição da maturidade das organizações na Indústria 4.0, a presente dissertação visa explorar uma nova abordagem, no domínio do construtivismo, consistindo o seu principal objetivo na *criação de um modelo de análise de determinantes de Indústria 4.0, com recurso a técnicas de mapeamento cognitivo – segundo a abordagem JOURNEY Making – e ao método DEMATEL*. Neste sentido, é adotada em todo o processo uma

postura epistemológica construtivista, baseada numa lógica de aprendizagem contínua e orientada para o processo, com o propósito de identificar e analisar os determinantes que impulsionam a Indústria 4.0.

Inerentes ao objetivo principal, surgem também outros objetivos intermédios, nomeadamente: (1) análise dos atuais modelos de maturidade de Indústria 4.0; (2) identificação, validação, agrupamento e hierarquização dos determinantes de Indústria 4.0; (3) elaboração de um mapa cognitivo de grupo; (4) análise dinâmica de relações de causalidade entre os determinantes identificados; e (5) validação do modelo e dos resultados obtidos, incluindo o seu potencial de aplicabilidade prática.

Com o intuito de atingir estes objetivos de investigação, serão realizadas sessões com um grupo de especialistas sobre a temática em questão. Estas sessões permitirão a discussão e a organização dos determinantes em *clusters* a ter em conta na implementação da Indústria 4.0, visando a construção do sistema de análise apresentado no âmbito da presente dissertação. Por fim, este sistema de análise será validado por um elemento externo, para que seja possível a formulação de recomendações no âmbito da sua aplicação prática.

1.3. Princípios Epistemológicos e Metodologia de Base

Tendo como principal objetivo a criação de um modelo de análise de determinantes de Indústria 4.0, a presente dissertação conta com uma componente teórica, que visa o enquadramento da temática e da metodologia, assim como outra componente de natureza empírica, focada na construção do modelo e nos respetivos resultados. Deste modo, proceder-se-á, inicialmente, a uma revisão da literatura da temática em estudo, colhendo os principais conceitos teóricos, de forma a enquadrar o tema. De seguida, serão analisados alguns estudos relacionados, com o intuito de apurar as suas contribuições e limitações. Com base nas limitações identificadas na revisão da literatura, considerou-se apropriado adotar uma abordagem construtivista, de forma a conseguir estruturar este problema de decisão complexo e subjetivo. Assim sendo, recorreu-se a um *Problem Structuring Method* (PSM), mais concretamente à abordagem *JOURNEY Making* que, utilizada na estruturação de problemáticas subjetivas e complexas, faz do mapeamento cognitivo uma forma de representação do pensamento humano. Posteriormente, fez-se

uso do método DEMATEL, com o intuito de analisar as relações de causa-efeito entre os critérios incluídos no mapa cognitivo de grupo.

Relativamente à componente empírica, serão aplicadas as técnicas metodológicas acima descritas, com base na realização de duas sessões de trabalho com um painel de especialistas da área. Estas sessões são dedicadas à obtenção de *inputs* necessários à criação do modelo de análise. Por último, terá lugar uma sessão de consolidação com um elemento neutro às sessões anteriores, visando a validação do modelo criado e a análise da sua aplicabilidade em contexto real.

1.4. Estrutura do Documento

Fazem parte integrante desta dissertação a presente introdução (*Capítulo 1*), o corpo de texto (*Capítulo 2, 3 e 4*), a conclusão (*Capítulo 5*), as referências bibliográficas e um apêndice. Tendo por base a metodologia e os objetivos anteriormente estabelecidos, a presente dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- O *Capítulo 1* é dedicado à introdução geral da dissertação, de forma a deixar claro o propósito e as motivações subjacentes à sua elaboração, bem como uma síntese do respetivo conteúdo. Deste modo, o presente capítulo compreende um enquadramento inicial da temática em estudo, um levantamento do principal objetivo da dissertação, uma apresentação da base epistemológica e da metodologia adotada, seguida da estrutura e, por último, um levantamento dos resultados esperados;
- O *Capítulo 2* é destinado à revisão da literatura, com o intuito de contextualizar a problemática em estudo. Inicia-se com uma breve introdução à quarta revolução industrial (*i.e.*, Indústria 4.0), fazendo um levantamento dos seus principais determinantes e discutindo a sua pertinência na atualidade. De seguida, é feito um apanhado dos modelos de avaliação já existentes no contexto da Indústria 4.0, sendo analisados os seus contributos e limitações;
- O *Capítulo 3* exhibe o enquadramento metodológico que sustenta a aplicação empírica da presente dissertação, estando esta dividida em duas abordagens. A primeira (*i.e.*, *JOURNEY Making*) surge no âmbito da cognição humana e na estruturação de problemas de decisão complexos, onde estão incluídos os mapas cognitivos. No que concerne ao método DEMATEL, este permite a análise

dinâmica das relações de causa-efeito entre as variáveis do modelo, sendo apresentada a sua formulação de base e discutidos os seus contributos e limitações para o presente estudo;

- O *Capítulo 4* materializa a componente empírica do estudo e está dividida em três fases – *i.e.*, estruturação, avaliação e recomendações. Deste modo, este capítulo ilustra a aplicação das técnicas de mapeamento cognitivo e do método DEMATEL através de duas sessões de grupo com um painel de especialistas. Por fim, é apresentada uma sessão final de consolidação, dedicada à validação dos resultados e à formulação de recomendações;
- O *Capítulo 5* contempla as principais conclusões decorrentes deste estudo, sendo dada particular atenção aos resultados obtidos e às limitações do mesmo. É ainda feita uma síntese das principais reflexões teórico-práticas, bem como sugeridas linhas de investigação futura.

1.5. Resultados Esperados

Dado que o principal objetivo da presente dissertação assenta na criação de um sistema de análise de determinantes de Indústria 4.0, conta-se que, no final, seja possível a identificação dos principais critérios a ter em conta aquando do processo de adoção da Indústria 4.0. Dada a sua natureza construtivista, a presente dissertação é caracterizada pela troca de experiências e pela partilha de conhecimentos entre um painel de especialistas da área da Indústria 4.0, esperando-se, deste modo, que o sistema de análise resultante seja o mais realista, claro e completo possível. Com efeito, a combinação das técnicas de mapeamento cognitivo com o método DEMATEL irá fomentar o debate entre os elementos do painel de decisores em torno dos seus valores e pontos de vista relativamente à temática em estudo.

É esperado ainda que este estudo traga maior consistência e flexibilidade aos modelos atualmente existentes e que, através da abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), seja desenvolvido todo um processo de tomada de decisão com maior transparência e potencial de aplicabilidade, podendo servir de alicerce para futuras investigações. É igualmente pretendido que os resultados alcançados possam ser objeto de publicação numa revista internacional da especialidade, permitindo, desta forma, a divulgação desta abordagem no campo da investigação da Indústria 4.0.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Neste segundo capítulo da presente dissertação, procuraremos aprofundar os fundamentos e as abordagens existentes no âmbito da Indústria 4.0. Como tal, serão desenvolvidos os seguintes tópicos: (1) breve enquadramento da Indústria 4.0 e dos conceitos basilares referentes à quarta revolução industrial; (2) análise de determinantes de Indústria 4.0, assim como a sua associação; (3) identificação de metodologias já utilizadas por outros autores, bem como os respetivos contributos e limitações; e, por fim, (4) identificação das limitações gerais presentes nos métodos e práticas atuais. O desenvolvimento deste capítulo é essencial para enquadrar a necessidade da construção do sistema de análise a desenvolver no contexto deste estudo.

2.1. Indústria 4.0: Enquadramento e Conceitos Basilares

O mundo como hoje é conhecido e os seus processos de produção sofreram já quatro grandes transformações, às quais denominamos de revoluções industriais. A primeira revolução industrial refere-se à introdução das instalações de produção mecânica, a qual se intensificou ao longo de todo o séc. XIX. A partir da década de 1870, a eletrificação e a divisão do trabalho levaram à segunda revolução industrial. A “Revolução Digital” (*i.e.*, a terceira revolução industrial), ocorreu passados cem anos, quando a eletrónica avançada e a tecnologia de informação desenvolveram a automatização dos processos de produção (Drath & Horch, 2014; Hermann, Pentek, & Otto, 2016).

Na última década, temos assistido a uma transformação do quotidiano através do surgimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), onde tudo se encontra interligado a uma rede mundial: a Internet. Esta tendência é também visível na produção industrial, a qual, na Alemanha, é denominada pela quarta revolução industrial (Weyer *et al.*, 2015). Desta forma, o termo *Indústria 4.0*, também reconhecido como “*Industrial Internet*” ou “*Digital Factory*”, representa a quarta revolução industrial (Geissbauer, Vedso, & Schrauf, 2016).

O termo Indústria 4.0 tornou-se público em 2011, como parte integrante da iniciativa do governo alemão, em conjunto com representantes da indústria e da academia, denominada *High-Tech Strategy 2020 for Germany* (Hermann *et al.*, 2016; Sony, 2018; Weyer *et al.*, 2015). Importa ter presente que, quando foi introduzido, este termo não se caracterizava apenas como um desenvolvimento tecnológico. Pretendia, também, ter uma forte conotação política, com o objetivo de destacar a Alemanha na sua posição de liderança no setor da engenharia de produção industrial (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). Segundo Kagermann *et al.* (2013), o termo Indústria 4.0 foi usado com o propósito de descrever a ampla integração das TIC nos sistemas de produção industrial. O mesmo termo faz referência ao seu potencial inovador que, por sua vez, tem vindo a acompanhar as três revoluções industriais.

Esta nova era da Indústria 4.0 é sinónimo de uma transformação das atuais fábricas em *smart factories*, as quais permitem superar os atuais desafios no que toca a uma mudança constante das necessidades dos consumidores (Sony & Naik, 2020). Em particular, permitem uma redução dos ciclos de vida dos produtos e uma forte customização dos mesmos (Weyer *et al.*, 2015). Estes atuais desafios apenas podem ser superados através de processos de produção automáticos, ágeis, inteligentes e flexíveis, que possam ser reconfigurados e regulados rapidamente, permitindo, assim, a diversidade dos produtos e, conseqüentemente, a satisfação da atual volátil procura (Gökalp, Şener, & Eren, 2017). Com efeito, este novo estágio de maturidade industrial (*i.e.*, a Indústria 4.0), tem como base a conectividade proporcionada pela *Internet of Things* (IoT) e o uso de diversas TIC (Dalenogare, Benitez, Ayala, & Frank, 2018). Estas tecnologias de IoT, combinadas com todo o ecossistema de produção, permitem a criação de dispositivos inteligentes, também conhecidos como *Cyber-Physical Systems* (CPS) (Weyer *et al.*, 2015). As principais tecnologias que permitem este novo paradigma da produção industrial têm como principal função a aplicação de tecnologia como *additive manufacturing*, robótica adaptativa e máquinas flexíveis (Dalenogare *et al.*, 2018), possibilitando, desta forma, o alcance dos requisitos ágeis e dinâmicos da produção e, claro, a melhoria da eficácia e da eficiência das empresas (Sony, 2018).

Esta evolução resulta, assim, no surgimento das *smart factories*, as quais se caracterizam pela integração dos sistemas cibernéticos e físicos e pela conseqüente criação de um ambiente onde os fatores relevantes da indústria (*i.e.*, equipamentos, máquinas, produtos e consumidores) são capazes de se conectar entre si digitalmente, trocando informações que permitirão um controlo de ações de forma autónoma e independente (Qin *et al.*, 2016; Sony, 2018). Neste sentido, é possível percecionar uma mudança significativa no paradigma da produção industrial (Gökalp, Sener, & Eren, 2017), através da criação deste ambiente ciber-físico (Sony & Naik,

2020). Reforçando esta ideia, Hermann *et al.* (2015 e 2016) assumem que a Indústria 4.0 é caracterizada por uma mudança de paradigma de processos de produção controlados centralmente para processos de produção descentralizados, acrescentando ainda que a quarta revolução industrial é potenciada pela comunicação entre pessoas, máquinas e recursos.

Poderia assumir-se que, devido ao elevado grau de automatização, a Indústria 4.0 resultaria numa interação menos humana ou mesmo numa produção com a sua ausência. Contudo, vários autores defendem que esta nova era industrial não reduzirá a presença humana, apenas requererá um novo e mais específico conjunto de capacidades para enfrentar os novos processos de produção automatizada (Weyer *et al.*, 2015). Rafael, Jaione, Cristina, & Ibon (2020: 2) reforçam esta ideia quando sugerem que a Indústria 4.0 “*describes the transition towards a heavily data-focused supply network with wide integration of information and communication technologies (ICTs) and increased automation, while keeping humans in the loop*”.

Na opinião de Bartodziej (2017) e Gilchrist (2016), a Indústria 4.0 influencia a estrutura da própria indústria, bem como a concorrência e a procura dos consumidores, uma vez que os modelos de negócio são reformulados, mediante a adoção de tecnologia de IoT e da digitalização das fábricas. Do ponto de vista do mercado, as TIC permitem às empresas oferecer novas soluções digitais aos seus consumidores (*e.g.*, serviços baseados na Internet incorporados nos produtos) (Dalenogare *et al.*, 2018). Também Tortorella e Fettermann (2018) salientam que as TIC permitem ainda uma produção em massa combinada com uma elevada customização, surgindo o conceito de *customização em massa*. Por outro lado, do ponto de vista operacional, as tecnologias digitais, como os CPS, são propostas para reduzir tempos de espera, custos de trabalho e de material e tempos de processamento, permitindo, desta forma, uma melhor produtividade dos processos de produção (Dalenogare *et al.*, 2018).

Como mencionado anteriormente, as soluções apresentadas pela Indústria 4.0 consideram um complexo sistema de tecnologias digitais, sistemas de informação e tecnologias de processamento, os quais exigem uma elevada interdependência de competências aliada a uma complementaridade tecnológica (Benitez, Ayala, & Frank, 2020). Nesse sentido, segundo Xu, Xu e Li (2018), tais soluções alteram as relações dentro da cadeia de abastecimento, de uma perspetiva baseada somente em transações para uma abordagem de “cocriação de valor”. Reforçando esta ideia, Rong, Hu, Lin, Shi e Guo (2015) defendem que, devido ao seu carácter distintivo, o qual implica interdependência e cocriação de valor, os ecossistemas da Indústria 4.0 apresentam uma configuração mais adequada ao desenvolvimento e ao fornecimento de tecnologia, ao invés da abordagem linear que a cadeia de abastecimento convencional

apresenta. Desta feita, as cadeias de abastecimento no contexto da Indústria 4.0 tendem a ser mais complexas e com mais participantes, cujas relações são também elas mais complexas.

Esta nova era industrial revela ser promissora, na medida em que perfecciona a produção e a sua convergência com os avanços do digital, a fim de obter uma produção máxima usando o mínimo de recursos (Sony & Naik, 2020). Também para Dalenogare *et al.* (2018), os benefícios apresentados pela Indústria 4.0 são bastante promissores para as empresas, dado que há um maior ganho no que toca à competitividade empresarial. Um dos motivos apresentados por Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber e Prote (2014) para este ganho prende-se com o facto de existir um aumento significativo da produtividade ao mesmo tempo que ocorre uma redução dos custos operacionais. Outro dos grandes benefícios desta nova era é o seu ambiente de trabalho inteligente, que permite reduzir situações prejudiciais aos operadores humanos. Ou seja, quando é passível que os objetos possuam uma comunicação digital e estejam integrados ao ambiente, é exequível então a criação de “*IoT-controlled safe areas*”, as quais permitem aumentar a segurança usando sistemas de gestão de armazenamento (Bag, Yadav, Wood, Dhamija, & Joshi, 2020). Por conseguinte, vários autores (*e.g.*, Kagermann *et al.*, 2013) defendem que a nova era industrial permite que as empresas tenham processos de produção mais flexíveis e que as mesmas possam analisar grandes quantidades de dados, em tempo real, melhorando assim a tomada de decisões estratégicas e operacionais (Dalenogare *et al.*, 2018).

Entre os vários benefícios proporcionados pela Indústria 4.0, Hofmann e Rüsç (2017) destacam os modelos de negócio lucrativos, o aumento da eficiência e da qualidade e, conseqüentemente, uma melhoria nas condições de trabalho. Frank, Dalenogare e Ayala (2019) reforçam esta ideia, salientando que, aquando a implementação da Indústria 4.0, as empresas obterão uma melhor flexibilidade, eficiência e eficácia operacionais. Todavia, Telukdarie, Buhulaiga, Bag, Grupta e Luo (2018) apontam que o grande impacto desta nova era industrial é a possibilidade das empresas acederem, em tempo real, a informações que, juntamente com a sua capacidade de produção, permitem atenuar os possíveis riscos da cadeia de abastecimento.

A Indústria 4.0 proporciona avanços nas tecnologias digitais, as quais alteram por completo toda a arquitetura convencional dos processos de produção (Telukdarie *et al.*, 2018). Contudo, apesar desta nova era industrial se apresentar tão promissora, manifestando benefícios bastante impactantes tanto para as empresas como para a sociedade em geral, há algumas desvantagens que devem ser tidas em conta. Neste sentido, a Indústria 4.0 apresenta-se como um desafio, na medida em que, sendo um conceito relativamente novo, muitas empresas não estão preparadas para o enfrentar, demonstrando possuir lacunas nas suas competências, restrições financeiras e/ou complexidades operacionais em projetos no contexto desta nova era

industrial (Bag, Gupta, & Kumar, 2021). No próximo ponto, serão explorados alguns determinantes na implementação da Indústria 4.0.

2.2. Determinantes de Indústria 4.0

O Boston Consulting Group (2019) sugere que o desenvolvimento da Indústria 4.0 deve recorrer aos CPS, baseando-se em tecnologias cruciais que determinam esta nova era industrial, nomeadamente: (1) IoT; (2) *big data & analytics*; (3) *cloud computing*; (4) *cybersecurity*; (5) robôs autónomos; (6) realidade aumentada; (7) simulação; (8) impressão 3D (*additive manufacturing*); e, por último, (9) a integração horizontal e vertical do sistema. De acordo Anderl, Strang, Picard e Christ (2014) e Mosterman e Zander (2016), os CPS constituem a base fundamental da Indústria 4.0. Também Lu, Kaushal, Denier e Wang (2017) vão ao encontro do exposto, sugerindo que, para que haja a implementação da Indústria 4.0, é necessário que haja uma inclusão dos CPS nos processos de produção, caracterizando, assim, estes sistemas como a tecnologia estimuladora da Indústria 4.0.

Os CPS constituem uma integração de entidades computacionais físicas e colaborativas (*i.e.*, máquinas, sensores e robôs), as quais interagem através de uma rede virtual. Estes sistemas trocam informações entre si de forma autónoma e inteligente, permitindo, deste modo, o desencadeamento de ações e um controlo recíproco independente (Dalmarco, Ramalho, Barros, & Soares, 2019). Com efeito, a integração dos CPS nos processos de produção resulta em processos mais ágeis, dinâmicos e flexíveis. Neste sentido, parece evidente uma melhoria na eficiência e na eficácia das empresas, devido à otimização dos recursos e à consequente eliminação de desperdícios nos processos de produção graças à digitalização estratégica e ao controlo dos próprios recursos (Sony & Naik, 2020).

Tal como os CPS, também a IoT é um dos impulsionadores mais importantes da Indústria 4.0, uma vez que revoluciona os sistemas de produção já existentes, sendo a sua principal função a criação de redes de suporte à *smart factory* (Sony, 2018). De acordo com Sezer *et al.* (in Alcácer & Cruz-Machado, 2019: 901), a “*IoT allows people and things to be connected anytime, anyplace, with anything and anyone, ideally using any path/network and any service*”. Esta conectividade permite a interoperabilidade (*i.e.*, a capacidade de sistemas ou componentes trocarem informações entre si e fazerem uso posterior dessas mesmas informações (Burns, Cosgrove, & Doyle, 2019)), tanto a nível interno como externo das empresas, tornando os dados mais acessíveis e omnipresentes para todos (Pacchini, Lucato,

Facchini, & Mummolo, 2019). Do ponto de vista económico, a IoT contribui para que as empresas possam “*improve customer relationships, track tools, deliver products faster, and reduce costs and to create new business opportunities*” (Trappey, Trappey, Govindarajan, Chuang, & Sun, 2017: 221). Tal é possível visto que a IoT promove o potencial das coisas, tornando-as assim em “*smart things*” com novas capacidades e funções (Torbacki & Kijewska, 2019).

Vaidya, Ambad e Bhosle (2018) definem *big data* como um ambiente onde uma grande quantidade de dados não-estruturados, estruturados ou semiestruturados é armazenada. Estes dados são provenientes de diversas fontes que estão conectados através da IoT, os quais viabilizam informações rápidas e precisas, cruciais a uma melhor tomada de decisão (Pacchini *et al.*, 2019). Através do relatório da TechAmerica Foundation (2012: 10), o termo *big data* é definido como um “*term that describes large volumes of high velocity, complex and variable data that require advanced techniques and technologies to enable the capture, storage, distribution, management, and analysis of the information*”. Face ao exposto, é necessário um conjunto de tecnologias e ferramentas capazes de processar e analisar estes grandes volumes de dados (Dalmarco *et al.*, 2019). O principal objetivo é transformar esta enorme quantidade de dados brutos em informações úteis e relevantes, em tempo real e, assim, suportar a automatização dos processos (Beier, Ulrich, Niehoff, Reißig, & Habich, 2020). O uso deste tipo de tecnologia permite uma melhor eficiência e qualidade dos processos. Ou seja, através da análise de informações disponíveis, as organizações deixam de possuir uma tomada de decisão reativa e passam a ter uma tomada de decisão assertiva ou pró-ativa. Contudo, este não é um processo simples e torna-se difícil devido à elevada quantidade de dados disponíveis para gerir de forma eficaz e eficiente (Dalmarco *et al.*, 2019).

Cloud computing consiste num conjunto de serviços tecnológicos de informação que permitem um acesso remoto, com uma resposta extremamente rápida, aos dados armazenados em ambiente externo, através de redes como a IoT (Pacchini *et al.*, 2019; Yen, *et al.*, 2014). Restrições orçamentais para investimento de computação e gestão de *software* e um amplo espectro de dados podem ser motivos para a adoção de *cloud services*. Esta ferramenta oferece às empresas uma maior capacidade de extração, armazenamento e processamento de informações, aliado a um acesso otimizado de dados, sistemas e equipamentos conectados através da Internet (Dalmarco *et al.*, 2019). *Cloud computing* apresenta, neste sentido, diversas vantagens no que toca à redução de custos, substituindo a necessidade de aquisição de produtos, *know-how* e/ou infraestruturas onerosas (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Dalmarco *et al.*, 2019). Neste sentido, Marston, Li, Bandyopadhyay, Zhang e Ghalsasi (2011) destacam que a

principal condição da *cloud computing* é definir exatamente o que é que é movido para a *cloud*, dado que há algumas questões que se colocam, nomeadamente: (1) aspetos relativos à segurança dos dados; (2) políticas internas das tecnologias de informação; e (3) a própria falência das empresas fornecedores de *clouds*, as quais podem restringir o uso dos dados armazenados que possam conter informações estratégicas.

No contexto da Indústria 4.0, as empresas estão fortemente conectadas à Internet, não só a um nível operacional como também estratégico (Leyh, Schäffer, Bley, & Forstehäusler, 2016). Este cenário representa novas vulnerabilidades, as quais podem levar a informações comprometedoras para pessoas e empresas (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Neste sentido, a *cybersecurity* revela ser um grande desafio para as empresas no que toca ao estabelecimento dos diferentes sistemas de tecnologia de informação. Na prática, *cybersecurity* é definida como a proteção adequada de todas as informações disponíveis na forma de dados eletrónicos (Leyh *et al.*, 2016). Ou seja, são todos os serviços e tecnologias que visam proteger os utilizadores, sistemas, equipamentos, redes e dados das empresas de possíveis invasões ilícitas. Desta forma, *cybersecurity* antevê melhorias no que toca à fiabilidade e à segurança dos dados, evitando espionagem industrial (Dalmarco *et al.*, 2019).

No seguimento da alteração do paradigma da produção, os robôs revelam ser elementos fundamentais para atingir o nível de flexibilidade exigido por uma produção de customização em massa (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). A *robótica colaborativa* apresenta algumas conveniências para os processos de produção, nomeadamente o facto de ser possível delegar tarefas pesadas ou repetitivas para robôs, enquanto os funcionários se dedicam à execução de tarefas mais complexas e que exigem um certo nível de reflexão no que diz respeito à tomada de decisão. Assim sendo, situações de escassez de mão-de-obra, falta de capacidade produtiva ou baixo desempenho em processos repetitivos são alguns dos cenários onde a robótica colaborativa é considerada como uma mais-valia (Dalmarco *et al.*, 2019).

De acordo com Vaidya *et al.* (2018), a *realidade aumentada* é uma tecnologia que expande informação no ambiente envolvente ao ser humano, permitindo, assim, que este possa interagir com objetos virtuais que coexistem, simultaneamente, com o ambiente físico, mas num modo virtual. Na prática, trata-se da integração de informações virtuais no mundo real através de elementos 3D, permitindo a interatividade e o processamento, em tempo real, da projeção de imagens e podendo ser utilizada tanto para melhorar processos de produção como para testar novos produtos (Dalmarco *et al.*, 2019). Tal como referem Lorenz *et al.* (2015), a realidade aumentada possibilita a consulta de informação, em tempo real, sempre que seja necessária à realização de determinada tarefa. Neste sentido, esta tecnologia melhora a

formação e as condições de trabalho, permitindo que os funcionários aprendam os procedimentos *in-site* e reduzindo, desta forma, a curva de aprendizagem e eliminando erros na execução de tarefas.

Para o sucesso da implementação da Indústria 4.0, uma das ferramentas cruciais é a *simulação computacional*, que permite uma melhor compreensão da dinâmica dos sistemas de negócio atuais. A *simulação* é descrita como um conjunto de tecnologias que são usadas para criar um ambiente de teste virtual. Esta tecnologia possibilita a virtualização do *design* de produtos, processos ou, até mesmo, do *layout* das fábricas. Desta forma, estes modelos são testados previamente à sua aplicação em soluções reais, otimizando, deste modo, o desenvolvimento de novas tecnologias. Por conseguinte, é possível obter uma melhor análise da viabilidade de novas soluções e, conseqüentemente, a otimização da linha de produção (Dalmarco *et al.*, 2019). Esta tecnologia emergente da Indústria 4.0 leva a uma redução de custos, diminuindo os ciclos de desenvolvimento de produto e aumentando a qualidade dos mesmos. Numa ótica de produção de customização em massa, parece evidente o valor da simulação (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

A *impressão 3D* traduz-se num processo que compreende a deposição de um material por camadas, evitando, desta forma, desperdícios de materiais em processos como o de corte. No início, esta ferramenta tinha como principal propósito a produção de protótipos ou pequenos lotes de produtos personalizados e mais complexos. Atualmente, é utilizada em produção de grande escala (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Dalmarco *et al.*, 2019; Pacchini *et al.*, 2019). A impressão 3D é vista assim como uma solução para a produção de peças com uma dimensão de maior complexidade e customização. Ainda assim, este tipo de tecnologia enfrenta algumas restrições no que diz respeito ao tipo de materiais que podem ser usados na impressão 3D e, conseqüentemente, aos elevados preços de novos materiais (Scott & Harrison, 2015).

As tecnologias referidas até ao momento sustentam as principais vantagens ou princípios que caracterizam a quarta revolução industrial, sendo estes: (1) integração horizontal; (2) integração vertical; e (3) integração de engenharia *end-to-end* (Dalenogare *et al.*, 2018; Leyh *et al.*, 2016; Sony, 2018). Relativamente à integração horizontal, esta refere-se à integração de redes de valor que promovam a colaboração entre empresas, com troca de recursos e/ou informações, em tempo real (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014). Por outro lado, a integração vertical trata da integração de vários subsistemas hierárquicos, dentro da empresa, de modo a criar um sistema de produção mais flexível, ágil, eficiente e reconfigurável (Sony, 2018). Segundo Kagermann *et al.* (2013), a integração vertical refere-se à integração dos sistemas das TIC nos vários níveis hierárquicos de uma organização, desde o de produção à

gestão. Por último, de acordo com vários autores (e.g., Brettel *et al.*, 2014; Gilchrist, 2016; Kagermann *et al.*, 2013), a engenharia *end-to-end* trata da integração de engenharia de um produto, ao longo de toda a cadeia de valor, desde o seu desenvolvimento até à fase pós-venda (Dalenogare *et al.*, 2018).

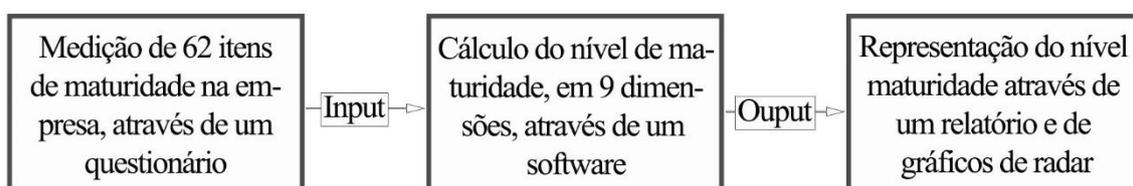
Hermann *et al.* (2015: 12) identificam seis princípios de conceção que as empresas devem ter em consideração aquando da implementação de soluções, no contexto da Indústria 4.0. Estes princípios são os seguintes: (1) interoperabilidade; (2) virtualização; (3) descentralização; (4) modularidade; (5) capacidade em tempo real; e, por último, (6) orientação para o serviço. No contexto de uma *smart factory*, interoperabilidade significa que todos os CPS que integram os sistemas de produção estão aptos para comunicar entre si através de “*open nets and semantic descriptions*”. Assim sendo, a interoperabilidade é um aspeto crucial à implementação da Indústria 4.0, uma vez que é importante o sucesso da comunicação de todos os CPS. Por outro lado, a virtualização diz respeito à capacidade de monitorização de processos físicos dos CPS, criando uma cópia virtual do mundo real (Hermann *et al.*, 2015). Relativamente à descentralização, em contexto da Indústria 4.0, refere-se a uma mudança dos sistemas de controlo centralizado para um controlo descentralizado na forma de entidades auto-organizadas (Beier *et al.*, 2020). Ou seja, os computadores incorporados permitem que os CPS tomem decisões por si (Hermann *et al.*, 2015). No que concerne aos sistemas modulares, estes são sistemas capazes de se adaptar com alguma flexibilidade a alterações de requisitos através da substituição ou da expansão de módulos individuais. Ou seja, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em casos de flutuações sazonais ou, por exemplo, a alterações nas características dos produtos (Hermann *et al.*, 2015). Tal remete-nos para outro requisito fundamental da Indústria 4.0, que é o da flexibilidade. Esta refere-se à capacidade que estes sistemas têm de se adaptar às mudanças de requisitos. Para a realização de tarefas de uma organização, no contexto da Indústria 4.0, é necessário que os dados sejam obtidos e analisados em tempo real.

Através desta nova era industrial, é expectável que haja uma alteração no paradigma da produção, emergindo, assim, uma orientação para os serviços, onde estes se tornam parte integrante dos processos de produção (Beier *et al.*, 2020). Os modelos de negócio que emergem da Indústria 4.0 são “*collaborative, customizable, flexible, and reconfigurable services to end user*” (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017: 618). No ponto seguinte, serão analisados alguns estudos desenvolvidos no âmbito da análise da Indústria 4.0, com o intuito de identificar os seus principais contributos e limitações, bem como de encontrar “espaço” para o modelo a propor nesta dissertação.

2.3. Métodos de Análise: Alguns Contributos e Limitações

Ao entrar nesta nova era industrial, as empresas enfrentam desafios consideráveis no que diz respeito às tecnologias emergentes da Indústria 4.0. Por conseguinte, o aumento da complexidade a todos os níveis empresariais cria uma certa dose de incerteza sobre os recursos e capacidades das empresas. Desta forma, as medições de desempenho assumem particular relevância, na medida em que as empresas têm cada vez mais presente a importância de medirem e de avaliarem o desempenho das suas atividades ou unidades estruturais (Schumacher *et al.*, 2016; Shin, Dahlgaard, Dahlgaard-Park, & Kim, 2018). Neste contexto, Gökalp *et al.* (2017) salientam que é essencial definir uma metodologia com diretrizes de implementação e de sucesso de maturação na Indústria 4.0. Deste modo, os modelos de maturidade são instrumentos regularmente usados para medir a maturidade de uma empresa ou processo referente a esta.

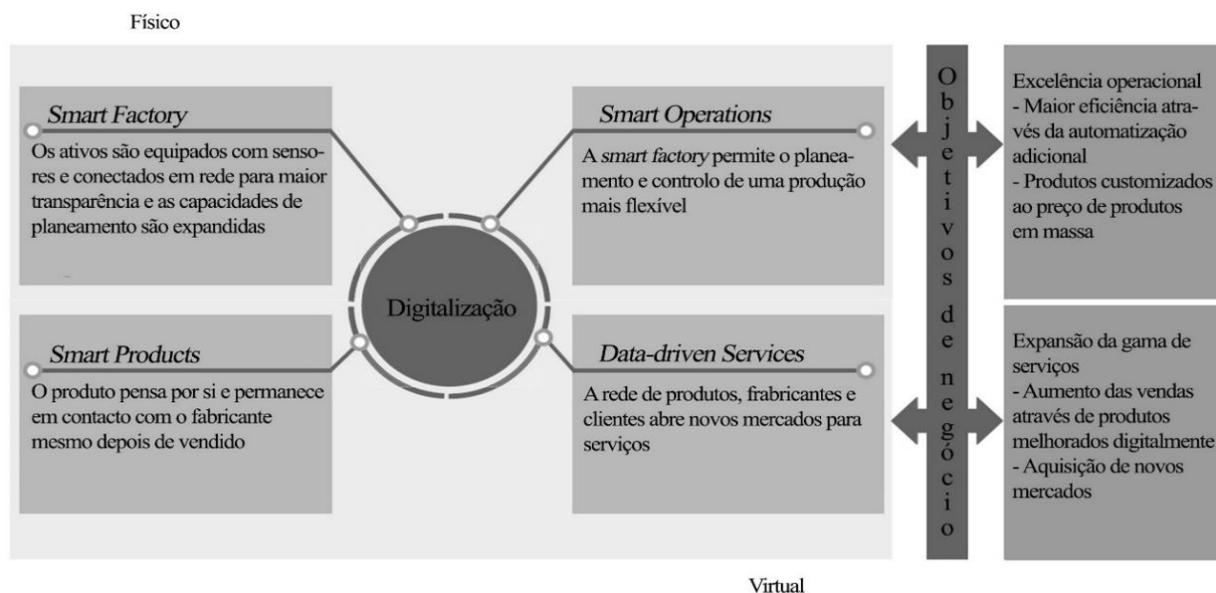
Percebendo a importância desta temática, Schumacher *et al.* (2016) propõem um modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0, no qual definem nove dimensões, nomeadamente: (1) produtos; (2) clientes; (3) operações; (4) tecnologia; (5) estratégia; (6) liderança; (7) administração; (8) cultura; e (9) pessoas. De acordo com Schumacher *et al.* (2016), a maturidade de uma empresa é avaliada através de cinco níveis. Ou seja, as empresas que se encontrem no nível 1 não possuem atributos que suportem os conceitos da Indústria 4.0. Por outro lado, empresas que se situem no nível 5 preenchem todos os requisitos da Indústria 4.0 (Akdil, Ustundag, & Cevikcan, 2018). Muitos dos modelos de maturidade tendem a falhar devido à sua complexidade. Na prática, segundo Schumacher *et al.* (2016), um dos motivos desse fracasso é o facto de os modelos implicarem o conhecimento básico dos conceitos da Indústria 4.0, o que nem sempre se verifica. O modelo proposto por Schumacher *et al.* (2016) traduz-se num procedimento de três etapas, as quais estão representadas na *Figura 1*.



Fonte: Schumacher *et al.* (2016: 164, adap.).

Figura 1: Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Companies

No relatório da Fundação Impuls, da Associação Alemã de Fabricantes de Máquinas e Instalações Industriais (VDMA) (cf. Lichtblau *et al.*, 2015), é sugerido um modelo de preparação relativo à Indústria 4.0, contendo os requisitos mínimos que as empresas devem possuir. Especificamente, Lichtblau *et al.* (2015) propõem seis níveis para avaliar a preparação de uma empresa, nomeadamente: (1) *outsider*; (2) *beginner*; (3) *intermediate*; (4) *experienced*; (5) *expert*; e (6) *top performer*. Com efeito, o nível 0 corresponde ao *outsider* (i.e., a empresa não cumpre nenhum dos requisitos da Indústria 4.0) e o último nível (i.e., *top performer*) corresponde a empresas com uma estratégia de Indústria 4.0 já implementada e que fazem um controlo regular da mesma. O modelo em causa sugere ainda que sejam avaliadas seis dimensões no contexto da Indústria 4.0, nomeadamente: (1) *strategy and organization*; (2) *smart factory*; (3) *smart operations*; (4) *smart products*; (5) *data-driven services*; e (6) *employees* (Akdil *et al.*, 2018; Mittal, Khan, Romero, & Wuest, 2018). A Figura 2 representa as dimensões propostas pelo modelo e a sua conexão entre os mundos físico e virtual.



Fonte: Lichtblau *et al.* (2015: 12, adap.).

Figura 2: Indústria 4.0 como Conexão entre os Mundos Físico e Virtual

Através dos resultados das medições realizadas, os perfis das organizações são identificados, bem como os seus principais obstáculos. Desta forma, são desenvolvidos planos de ação que visam ajudar as organizações a atingir o nível cinco no que diz respeito à preparação para a Indústria 4.0 (Akdil *et al.*, 2018). Uma das grandes contribuições deste modelo é o facto de serem apresentadas ações que visam a transição de níveis (Colli *et al.*, 2018). Ainda assim,

as dimensões propostas pelo modelo não se adequam às pequenas e médias empresas (PMEs), uma vez que estas dimensões pressupõem investimentos, planos estratégicos, gestão de inovação, uso de infraestruturas e equipamentos que façam uso de dados como os sistemas de tecnologia de informação e, sobretudo, funcionários que possuam um conjunto de habilidades que permitam a transformação digital das empresas. Dado que as PMEs são empresas que se caracterizam por baixos recursos financeiros, pouca maquinaria avançada e falta de departamentos ou pessoal responsável pela área de Investigação e Desenvolvimento (I&D), estas não serão capazes de alcançar a devida pontuação nas dimensões propostas pelo modelo. Tal poderá resultar numa estimativa incorreta do nível de preparação e, consequentemente, seguindo o modelo proposto por Lichtblau *et al.* (2015), a maioria das PMEs acabará por ocupar sempre o nível mais baixo de preparação para a Indústria 4.0 (*i.e.*, *outsiders*) (Akdil *et al.*, 2018; Mittal, Khan, Romero, & Wuest, 2018).

Com base no relatório publicado pela PricewaterhouseCoopers (PwC) (2016), “*Industry 4.0: Building the Digital Enterprise*”, é possível aceder ao seu modelo de maturidade *Blueprint for Digital Success*, formado por quatro níveis e sete dimensões, o qual tem o intuito de fornecer às empresas uma visão abrangente da Indústria 4.0 (Akdil *et al.*, 2018). O modelo apresentado pela PwC (2016) enfatiza algumas etapas para o sucesso digital, as quais são ilustradas na *Figura 3*. Na prática, o *Blueprint for Digital Success* fornece às organizações uma ferramenta de avaliação das suas capacidades, focando-se essencialmente em estratégias de digitalização como ponto fulcral dos recursos da Indústria 4.0 (Akdil *et al.*, 2018; Mittal *et al.*, 2018). Na fase final da sua autoavaliação, a PwC (2016) fornece às organizações um plano de ação para que estas consigam alcançar o nível quatro da sua maturidade na Indústria 4.0 (Akdil *et al.*, 2018), sendo uma das mais-valias deste modelo. Por outro lado, as sete dimensões propostas por este modelo consideram aspetos como a digitalização, a automatização e uma cultura organizacional digital a serem avaliados. Contudo, estes são aspetos que, uma vez mais, não estão frequentemente presentes nas PMEs. Assim sendo, o modelo proposto pela PwC (2016) não se adequa às PMEs (Mittal *et al.*, 2018).



Fonte: Geissbauer et al. (2016: 10, adap.).

Figura 3: Etapas para o Sucesso Digital

A Rockwell Automation (2014) propôs um modelo de maturidade composto por cinco níveis e quatro dimensões focadas em tecnologia, os quais são ilustrados na *Tabela 1* (i.e., *The Connected Enterprise Maturity Model*). O modelo permite às empresas mapear processos de negócios e fluxos de trabalho, de modo a distribuir de forma adequada a rede de tecnologias operacionais/tecnologias de informação (OT/TI). Além disso, auxilia também as empresas a estabelecerem sistemas que lhes permitam identificar dados importantes e transformá-los em informações estratégicas. Contudo, e à semelhança do modelo anterior, também o modelo proposto pela Rockwell Automation (2014) não se adequa às PMEs pelas mesmas razões.

Nível	Descrição
Nível 1: <i>Assessment</i>	Avalia as vertentes existentes na rede OT/TI de uma organização ao nível de quatro dimensões, nomeadamente: (1) infraestrutura de informação (<i>hardware e software</i>); (2) controlos e dispositivos (sensores, atuadores, controlos de motor, interruptores, etc.) que alimentam e recebem dados; (3) redes que movem todas estas informações; e, por último, (4) políticas de segurança (compreensão, organização e aplicação).
Nível 2: <i>Secure and upgraded network and controls</i>	A organização encontra-se em formação de modo a que consiga assegurar uma conectividade segura entre as operações de produção e os sistemas de negócio corporativos.
Nível 3: <i>Defined and organized working data capital</i>	É definido o modo como os dados recolhidos serão processados assim como, a obtenção do resultado ideal desses mesmos dados.
Nível 4: <i>Analytics</i>	O foco assenta para o desenvolvimento contínuo dos dados (<i>i.e.</i> , são identificadas as necessidades de informação em tempo real e é garantida a continuidade dos protocolos desencadeados pelos dados).
Nível 5: <i>Collaboration</i>	É enfatizada a colaboração entre a organização e a envolvente através de partilha de dados.

Fonte: *Elaboração Própria.*

Tabela 1: Visão Geral do *The Connected Enterprise Maturity Model*

Leyh *et al.* (2016) desenvolveram um modelo que permite às organizações, tendo presente os requisitos da Indústria 4.0, classificarem o seu cenário no que concerne aos sistemas de TI (*i.e.*, *System Integration Maturity Model Industry 4.0* (SIMMI 4.0)). O modelo SIMMI 4.0 consiste em cinco níveis, cada um descrevendo as várias características da digitalização e permitindo que as organizações façam a sua autoavaliação. Para os cinco níveis, existem quatro dimensões, nomeadamente: (1) *vertical integration*; (2) *horizontal integration*; (3) *digital product development*; e (4) *cross-sectional technology criteria*. Uma das mais importantes contribuições do modelo SIMMI 4.0 prende-se com o facto de que, em cada nível, serem apresentadas atividades cruciais à transição para o nível superior. Por outro lado, o modelo em questão ainda não foi avaliado ou testado. Trata-se de um modelo de maturidade que deverá ainda comprovar a sua praticidade e utilidade em contexto organizacional (Leyh *et al.*, 2016). Na *Tabela 2* é representada uma visão geral do modelo SIMMI 4.0.

Dimensões				
Nível	<i>Vertical Integration</i>	<i>Horizontal Integration</i>	<i>Digital Product Development</i>	<i>Cross-Sectional Technology Criteria</i>
Nível 1: <i>Basic digitization level</i>	Integração de sistemas corporativos em departamentos específicos.	Integração de sistemas corporativos em departamentos específicos.	O desenvolvimento do produto não é compatível digitalmente.	Nenhuma abordagem orientada para serviços ou baseada em <i>cloud</i> .
Nível 2: <i>Cross-departmental digitization</i>	Integração entre departamentos.	Integração entre departamentos.	A produção e o desenvolvimento do produto são suportados por vários sistemas corporativos.	Implementação dos primeiros serviços (<i>Service-Oriented Architecture (SOA)</i> em conjunto com um <i>Enterprise Service Bus (ESB)</i>).
Nível 3: <i>Horizontal and vertical digitization</i>	Integração interna completa de todos os sistemas e máquinas corporativos.	Integração interna completa de todos os sistemas e máquinas corporativos.	O desenvolvimento do produto é suportado, continuamente, de forma digital.	O SOA é estabelecido.
Nível 4: <i>Full digitization</i>	Integração contínua entre empresas.	Integração contínua entre empresas em redes de valor.	As informações de desenvolvimento do produto são enviadas de forma digital.	Plataforma baseada em <i>cloud</i> e orientada para serviços.
Nível 5: <i>Optimized full digitization</i>	Integração contínua entre empresas, constantemente otimizada.	Integração contínua entre empresas e colaboração em redes de valor.	O desenvolvimento do produto é processado digitalmente dentro e fora da empresa.	Simulação e otimização de fluxos de valor e informação, em tempo real, dentro da rede de valor.

Fonte: Leyh et al. (2016: 1302, adap.).

Tabela 2: Visão Geral do SIMMI 4.0

Lee, Jun, Chang e Park (2017) procederam a uma análise *Multiple-Criteria Decision-Making* (MCDM), recorrendo à ferramenta *Analytic Network Process* (ANP) para uma *smart factory*, tendo como base de estudo vinte PMEs coreanas. Os autores consideraram cinco níveis de maturidade: (1) *checking*, em que, neste nível, o sistema não está vinculado a um sistema de monitorização externo; (2) *monitoring*, no qual as fábricas podem recolher os dados vinculados ao sistema de monitorização externo e observar as mudanças com base nestes dados; (3) *control*, em que, com base na monitorização, as fábricas podem analisar anomalias nos dados; (4) *optimization*, no qual, com o nível de otimização, as fábricas podem integrar todos os seus dados e, assim, otimizar o seu sistema de produção; e (5) *autonomy*, nível em que uma fábrica é capaz de operar e diagnosticar-se com base na inteligência artificial. O principal contributo deste modelo prende-se com o facto de considerar interdependências entre os critérios de avaliação. Consequentemente, a aplicação do método ANP leva a cálculos de ponderação mais precisos (Lee *et al.*, 2017). Por outro lado, o modelo não sugere formas de as empresas se transformarem em *smart factories*, algo que se traduz numa limitação do estudo (Mittal *et al.*, 2018). Na *Tabela 3* é apresentada uma síntese de alguns estudos anteriores, com o propósito de fazer um levantamento dos seus contributos e limitações no âmbito da análise da Indústria 4.0.

Autor	Método	Contributos	Principais Limitações
Rockwell Automation (2014)	<i>The Connected Enterprise Maturity Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite às empresas mapear processos de negócios e fluxos de trabalho, de modo a distribuir de forma adequada a rede OT/TI; ▪ Auxilia empresas a estabelecer sistemas que lhes permitam identificar dados importantes e transformá-los em informações estratégicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A origem das dimensões do modelo não é fornecida e não há explicação detalhada sobre as mesmas; ▪ Não é considerada a perspetiva das PME's na Indústria 4.0.
Anderl <i>et al.</i> (2015)	<i>Guidelines for Industry 4.0</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo fornece métodos e ferramentas que permitem às empresas compreender a sua cadeia de valor no contexto da Indústria 4.0 e, assim, desenvolver soluções para a implementação da Indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A capacidade das PME's identificarem a sua situação atual e quais as ferramentas específicas que devem instalar são algumas das limitações que podem tornar este modelo um desafio para empresas como as PME's.
Lichtblau <i>et al.</i> (2015)	IMPULS – <i>Industrie 4.0 Readiness</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo de maturidade mais abrangente; ▪ São definidas diretrizes para transitar de nível de maturidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não é considerada a perspetiva das PME's na Indústria 4.0.
Weyer <i>et al.</i> (2015)	<i>Standardization and Common Platform Architect</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite superar soluções autónomas e específicas, relativas aos fornecedores, criando assim uma base sólida de soluções para os mesmos no ambiente de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo proposto apresenta algumas lacunas do ponto de vista técnico, nomeadamente: (1) os <i>Power Lines Communication</i> (PLCs) apresentam falhas de implementações completas do protocolo; (2) impossibilidade de fazer uma modelagem de recursos com dados complexos e semanticamente ricos uma vez que este tipo de comunicação não é suportada pelos PLCs; e (3) inexistência de uma bateria de backup, sendo que todo o modelo pode ficar sem energia, levando à perda de todos os programas e configurações.
Ganzarain & Errasti (2016)	<i>Three Stage Maturity Model in SME's Toward Industry 4.0.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ É considerada a perspetiva das PME's na Indústria 4.0; ▪ O modelo descreve uma abordagem sistemática para a identificação de novas oportunidades de diversificação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausência de instruções claras na realização da autoavaliação das empresas;

Geissbauer <i>et al.</i> (2016)	<i>Industry 4.0/Digital Operations Self-Assessment.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fornece às empresas um plano de ação para que estas consigam alcançar o nível quatro da sua maturidade, no contexto da Indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não é considerada a perspectiva das PMEs na Indústria 4.0; ▪ O modelo apenas remete para a preparação de uma empresa, no contexto da Indústria 4.0, ao nível do digital.
Junge <i>et al.</i> (2016)	<i>Manufacturing Readiness Index</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Através do método criado, as empresas possuem uma ferramenta para medir o desempenho assim como, para uso de <i>benchmarking</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo desenvolvido não apresenta diretrizes para alcançar a maturidade no contexto da Indústria 4.0; ▪ O índice de <i>Smart Manufacturing System Readiness Level</i> (SMSRL), usado no modelo, apresenta um número real do nível de preparação e, para se medir níveis de definição, o mais indicado seriam medidas discretas.
Leyh <i>et al.</i> (2016)	SIMMI 4.0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo apresenta as várias atividades a serem executadas em cada nível de maturidade com vista à transição de nível. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo apenas é direcionado para aspetos tecnológicos. Aspetos organizacionais e ambientais não são tidos em consideração na avaliação da maturidade da empresa.
Schumacher <i>et al.</i> (2016)	<i>Industry 4.0 Maturity Model for manufacturing companies.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil aplicação do método criado; ▪ Modelo de maturidade mais abrangente. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não é considerada a perspectiva das PMEs na Indústria 4.0, pois o modelo implica conhecimentos básicos dos conceitos da Indústria 4.0.
Kannan <i>et al.</i> (2017)	<i>Model-based Requirement Engineering (Gap Analysis).</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ajuda na redução da complexidade do sistema; ▪ O modelo permite a visualização e simulação de modelos, o que promove a confiança no comportamento do sistema antes da sua implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo apenas é direcionado ao setor automóvel; ▪ Ausência de diretrizes na implementação da Indústria 4.0 noutros setores.
Lee <i>et al.</i> (2017)	<i>Analytic Network Process.</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considera interdependências entre os critérios de avaliação; ▪ Aplicação da ANP leva a cálculos de ponderação mais precisos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O modelo não sugere formas das empresas se transformarem em <i>smart factories</i>, reconhecendo os critérios mencionados.

Tabela 3: Modelos de Maturidade da Indústria 4.0: Contributos e Limitações

Através da análise da *Tabela 3*, depreende-se que cada autor utiliza processos diferentes para avaliar a maturidade na Indústria 4.0. De qualquer forma, é necessário estar consciente que os estudos desenvolvidos têm o propósito de definir qual a melhor forma de avaliar a maturidade das empresas no contexto da Indústria 4.0, bem como identificar quais os fatores relevantes para o seu desenvolvimento. Isto é feito com ênfase na importância da monitorização para a competitividade destas empresas no mercado, uma vez que, através da mensuração, as mesmas sabem em que posição se encontram e quais os planos de ação para melhorar. Importa ter presente, no entanto, que nenhum dos contributos estudados está isento de limitações e, nessa perspetiva, o surgimento de novos métodos tem vindo a revelar-se importante para uma avaliação tendencialmente mais diversificada e eficaz da Indústria 4.0. No ponto seguinte, são apresentadas as limitações metodológicas gerais dos estudos considerados, no sentido de encontrar “espaço” para a abordagem metodológica a seguir nesta dissertação.

2.4. Limitações Metodológicas Gerais

As questões relacionadas com a avaliação da maturidade e com a preparação em relação à Indústria 4.0, embora recentes, têm sido cada vez mais exploradas por diferentes autores. Desta forma, os modelos de maturidade, de acordo com Röglinger, Pöppelbuß e Becker (2012), são uma abordagem próspera no auxílio das empresas para delinear os vários níveis de maturidade ao longo da implementação da Indústria 4.0. De facto, o número existente de modelos de maturidade é tão elevado que os profissionais e a própria academia correm o risco de perder o controlo sobre os vários modelos existentes. No entanto, ainda que estes modelos sejam uma ferramenta crucial na implementação da Indústria 4.0, têm sido alvo de críticas desde o seu surgimento (Röglinger *et al.*, 2012).

De acordo com vários estudos (*e.g.*, Anderl *et al.*, 2015; Geissbauer *et al.*, 2016; Lichtblau *et al.*, 2015; Rockwell Automation, 2014; Schumacher *et al.*, 2016), a questão da perspetiva das PME's não ser considerada merece particular atenção. Também Mittal *et al.* (2018) criticam que a maioria dos modelos de maturidade diferem nas condições iniciais tendo em conta os tipos de empresas (*i.e.*, multinacionais e PME's). Mittal *et al.* (2018) referem uma desconexão entre os modelos de maturidade e as ferramentas de preparação de autoavaliação. Ou seja, os modelos de maturidade visam apoiar as empresas na sua transição para *smart factories*. Contudo, a grande maioria não é suportada por ferramentas de avaliação de preparação. Neste sentido, para Bruin, Rosemann, Freeze e Kulkarni (2005) e McCormack *et*

al. (2009), estes modelos são vistos como *step-by-step recipes* que tendem a simplificar a realidade, carecendo de base empírica. King e Kraemer (1984) criticam que a maioria dos modelos de maturidade apenas enfatiza a sequência de níveis em direção a um *end state* predefinido, em vez de realçar os fatores que realmente influenciam a evolução e a mudança (*i.e.*, determinantes de Indústria 4.0). Os estudos propostos por vários autores (*e.g.*, Ganzarain e Errasti, 2016; Jung *et al.*, 2016; Kannan *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017) levantam a questão da ausência de diretrizes na implementação da Indústria 4.0 e respectivos determinantes.

Em modo de conclusão, podemos verificar que existem três categorias de limitações gerais que devem ser levadas em conta, nomeadamente: (1) forma pouco clara como são identificados os determinantes de Indústria 4.0; (2) falta de análises das relações causais entre esses mesmos determinantes; e (3) ausência generalizada de análises dinâmicas dos determinantes no longo do tempo. Para colmatar algumas destas limitações, a presente dissertação recorrerá ao uso integrado de mapas cognitivos e do método *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). Posto isto, no próximo capítulo, será apresentada a abordagem *JOintly Understanding Reflecting and NEgotiating strategY* (JOURNEY) Making e o método DEMATEL, ambos a utilizar no âmbito da presente dissertação.

SINOPSE DO CAPÍTULO 2

Este segundo capítulo da dissertação visou analisar a importância do desenvolvimento e da aplicação de metodologias que, no contexto da Indústria 4.0, sejam capazes de servir como instrumento de análise da maturidade digital das empresas. Procurou-se, também, analisar as metodologias já existentes, bem como os contributos e as limitações de cada uma. No fim, procedeu-se à identificação de um conjunto de limitações que são comuns à maioria dos métodos analisados. Com a quarta revolução industrial, o aumento da complexidade a todos os níveis empresariais criou uma incerteza relativamente às capacidades organizacionais e tecnológicas das empresas, tornando-se, assim, muito importante poder mensurar e analisar o desempenho das empresas, com o intuito de, futuramente, ser possível identificar novas oportunidades de crescimento e saber como enfrentar este novo desafio da Indústria 4.0. Isto não só é importante para a posição competitiva das empresas, como também para a possibilidade de, entre si, poderem ser comparadas e, posteriormente, ser possível a criação de *best practices*. Neste sentido, parece ser essencial definir a estrutura e a metodologia das diretrizes de uma implementação bem-sucedida da Indústria 4.0, com o intuito de, posteriormente, ser possível analisar os vários níveis de maturidade das empresas. Na prática, importa desenvolver planos estratégicos para tornar as convencionais empresas em *smart factories*, mais eficientes, flexíveis e eficazes ao nível operacional. Nesse sentido, apesar da temática ser muito atual, já existem metodologias testadas, sendo que os principais objetivos consistiram em analisar a maturidade digital das empresas, no contexto da Indústria 4.0. Depois de analisar os estudos já realizados na área, foram encontradas limitações na maior parte deles, nomeadamente: (1) forma pouco clara como são identificados os determinantes de Indústria 4.0; (2) falta de análises das relações causais entre esses mesmos determinantes; e (3) ausência generalizada de análises dinâmicas dos determinantes ao longo do tempo. Assim sendo, parece relevante que sejam desenvolvidas novas abordagens e que estas sejam exploradas no contexto da presente dissertação. Por conseguinte, foi feito, no presente capítulo, o enquadramento de base para o desenvolvimento de um novo sistema de análise de determinantes de Indústria 4.0. No próximo capítulo serão expostos os fundamentos da abordagem *JOURNEY Making* e do método DEMATEL, onde serão identificados os seus potenciais contributos para a construção de um sistema de análise de determinantes de Indústria 4.0.

Perante a análise efetuada no capítulo anterior, verificou-se que existe um conjunto de modelos de análise de determinantes de Indústria 4.0 que apresentam limitações metodológicas gerais. Por conseguinte, o surgimento de novas abordagens que procurem contornar estas lacunas parece pertinente. Neste terceiro capítulo, será efetuado um enquadramento geral da abordagem *JOURNEY Making*. Tal enquadramento tem como objetivo dar a entender as bases metodológicas que sustentam a construção do sistema de análise a apresentar no âmbito da presente dissertação. Os tópicos aqui tratados são então os seguintes: (1) abordagem *JOURNEY Making*; e (2) método DEMATEL.

3.1. A Abordagem *JOURNEY Making*

As abordagens de modelagem facilitada foram inicialmente desenvolvidas nos anos 1970 com o propósito de auxiliar a gestão e a estruturação de problemas complexos (Eden & Ackerman, 2006; Rouwette, Bastings, & Blokker, 2011). O conceito de modelagem facilitada caracteriza abordagens onde um grupo de intervenientes constrói um conjunto de modelos, com o auxílio de um facilitador de grupo (Franco & Montibeller, 2010; Franco & Rouwette, 2011; Rouwette, 2011). Estes modelos, construídos ao longo do processo de apoio à decisão, são utilizados como *objetos de transição* que facilitam a alteração de posições, promovendo a negociação e, consequentemente, o consenso generalizado (Herrera, McCardle-Keurentjes, & Videira, 2016). As abordagens de modelagem facilitada, tal como outras abordagens de *Soft Operational Research (Soft OR)*, pressupõem que os problemas são construídos socialmente e que a inclusão de diferentes perspetivas é necessária para que as soluções bem-sucedidas sejam identificadas e implementadas (Franco & Montibeller, 2010). Com efeito, os elementos da negociação devem ser tidos em conta na formulação da estratégia, com o intuito de aumentar as probabilidades de sucesso (Herrera *et al.*, 2016).

Strategic Options Development and Analysis (SODA) é uma abordagem de modelagem facilitada, originalmente concebida por Colin Eden como um meio que permitisse que “*a group or individual to construct a graphical representation of a problematic situation, and thus*

explore options and their ramifications with respect to a complex system of goals or objectives. In addition, the method aims to help groups arrive at a negotiated agreement about how to act to resolve the situation” (Ackermann & Eden, 2010: 135). Ackermann e Eden (2010) referem que o método SODA é usado para explorar situações problemáticas e complexas, estruturando-as antes da tomada de decisão. Para tal, o modelo SODA constrói representações gráficas também denominadas de *mapas cognitivos*. Através do uso destes mapas, a metodologia SODA permite que os intervenientes explorem os problemas numa perspetiva mais holística e, assim, cheguem a um acordo negociado (Ackermann & Eden, 2010).

Embora originalmente se concentrasse no suporte a problemas complexos e confusos, o modelo SODA tornou-se, ao longo dos anos, fortemente associado à formulação de estratégias (Eden & Ackermann, 1998). Assim sendo, o processo e os resultados começaram a ser tidos em conta como influenciadores da estratégia. Por conseguinte, os princípios fundamentais e as teorias orientadoras da metodologia sofreram uma extensão significativa, algo que tornou o método SODA numa metodologia de estruturação orientada para o processo (Ferreira, Meidutė-Kavaliauskienė, Zavadskas, Jalali, & Catarino 2019). Através da publicação *Making Strategy: The Journey of Strategic Management*, Eden e Ackermann (1998) expõem os desenvolvimentos da metodologia SODA, nomeadamente: (1) as fases iniciais da formulação de estratégias, que devem ter em consideração a estratégia emergente, assim como o desenvolvimento de novos planos estratégicos da organização; (2) considerar a forma como os intervenientes do grupo definem questões cruciais ao sucesso do futuro estratégico como um dos indicadores de estratégia emergente; e (3) os problemas complexos e as suas relações, que devem ser facilmente descritos num mapa.

A metodologia SODA, introduzida por Eden e Ackermann (1998), evoluiu para *JOintly Understanding Reflectin and NEgotiating strategY* (i.e., *JOURNEY Making*). Esta abordagem insere-se no contexto da *Soft OR* (Mingers, 2011) e tem como principal objetivo “*providing a device that can be used to facilitate managing the messiness of deciding on action*” (Eden & Ackermann, 2001: 25). Na prática, *JOURNEY Making* continua a abordar a resolução de questões estratégicas em contextos complexos (Eden & Ackermann, 2001). Contudo, permite também a concordância de uma intenção estratégica generalizada (Eden & Ackermann, 2004) e enfatiza o conceito de *journey*, dando importância ao processo e à negociação na formulação e na execução da estratégia, sugerindo que a *journey* é tão importante como o resultado para garantir o desenvolvimento de uma estratégia eficaz (Eden & Ackermann, 2001). Assim sendo, Eden e Ackerman (1998: 11-18) referem que “*strategic management is about people creating outcomes, not just about outcomes. [...] Certainly these outcomes cannot be achieved without*

careful attention to the process of strategy making". No ponto seguinte serão abordados alguns métodos de estruturação de problemas complexos.

3.1.1 Problem Structuring Methods e JOURNEY Making

Problem Structuring Methods (PSMs) são métodos de apoio ao pensamento estruturado sobre um problema complexo (Shaw, 2006), que surgem em resposta a algumas restrições e limitações dos métodos quantitativos existentes (Ackermann, 2012; Rosenhead, 2006). Ackoff (1979: 94) aponta que a tradicional OR é "*mathematically sophisticated but contextually naïve*". Neste sentido, segundo Rosenhead (1996), os PSMs fornecem uma resposta mais radical ao fraco encaixe da OR tradicional para problemas complexos, uma vez que: (1) fornecem condições que propiciam os decisores a utilizá-los numa perspectiva de múltiplos critérios; (2) facilitam a negociação entre intervenientes; e (3) permitem a formulação do problema através da transparência de representação.

Também conhecidos como abordagens "*Soft OR*" ou "*Soft Systems*" (Franco, 2008), os métodos de estruturação de problemas auxiliam um grupo de *stakeholders* a obter uma compreensão conjunta de uma situação problemática de interesse comum (Mingers & Rosenhead, 2004), caracterizada pelo seu elevado nível de complexidade, incerteza e conflito (Franco, 2008). O objetivo passa por auxiliar a estruturação de problemas, em vez de os resolver diretamente (Rosenhead, 1996). A aplicação de PSMs é realizada através de um processo interativo. Este processo ocorre num formato de *workshop* e é conduzido por um facilitador (Lami & Tavella, 2019). Os PSMs são usados para representar relações onde, geralmente, os elementos que compõem o problema são identificados. Ao modelar as relações de causalidade entre conceitos, os PSMs ajudam os intervenientes a "*look beneath the surface*" (Franco, 2008: 272). Isto é, a estabelecerem uma estrutura do problema e a criarem um entendimento comum sobre o mesmo (Franco, 2008). De acordo com Eden e Ackermann (2006: 766), "*the model [...] plays a key role in driving the process of negotiation towards agreement through discussion and the development of a common understanding*". No entanto, o entendimento generalizado não significa necessariamente um consenso ou acordo geral, podendo tratar-se de um entendimento comum das diferenças entre as perspetivas dos intervenientes (Cronin, Midgley, & Jackson, 2014).

Rosenhead (2006: 759) é da opinião que "*the problematic situations for which PSMs aim to provide analytic assistance are characterized by multiple actors, differing perspectives, partially conflicting interests, significant intangibles and perplexing uncertainties*". Para o

autor, estes métodos são passíveis de operar em tais contextos, uma vez que: (1) são projetados para serem implementados num formato de grupo; (2) permitem a consideração, em simultâneo, de várias perspetivas; (3) são de natureza participativa, com interações entre o(s) interveniente(s) e o(s) facilitador(es); (4) operam iterativamente; e, por último, (5) permitem o término assim que os intervenientes estejam satisfeitos com o progresso alcançado ao invés de exigirem um compromisso para uma solução abrangente de todas as vertentes de interação que compõem o problema (Rosenhead, 2006).

Uma característica distintiva dos PSMs é o uso de modelos como “*objetos transacionais*” (Eden & Ackermann, 2006), que podem ser usados para fomentar os múltiplos entendimentos sobre o problema e, assim, negociar ações futuras. Além disso, os PSMs são expressos de forma visual, diagramática (Ackermann, 2012) e, normalmente, fazem uso da própria linguagem dos participantes, ao invés do uso de matemática ou dados quantitativos para representar um dado problema, algo que lhes confere um maior grau de riqueza e de transparência na modelagem de situações problemáticas complexas (Franco, 2008). Tais modelos serão abordados no ponto seguinte. Todavia, de acordo com Mingers e Rosenhead (2004), um PSM deve: (1) permitir que as várias perspetivas sejam conjugadas umas com as outras; (2) ser cognitivamente acessível a todos, de modo a que qualquer indivíduo possa utilizá-lo sem qualquer especialização ou treino; (3) operar iterativamente, de forma que a representação do problema se ajuste para/entre os intervenientes; e, por último, (4) permitir que melhorias parciais sejam identificadas e/ou assumidas, ao invés de exigir uma solução global, a qual implicaria uma fusão dos vários interesses. A *Tabela 4* apresenta alguns dos métodos existentes para estruturação de problemas complexos (ver ainda Ackermann (2012); Mingers e Rosenhead (2004) e Rosenhead (1996)).

Método	Descrição
<i>Soft Systems Methodology</i> (SSM)	Método de investigação, orientado para a ação em situações problemáticas, onde os intervenientes constroem modelos conceptuais do tipo ideal. Estes modelos são comparados com as perceções do sistema existente de modo a gerar um debate acerca das mudanças culturais que são viáveis e desejáveis.
<i>Strategic Choice Approach</i> (SCA)	Abordagem de planeamento centrada na gestão de incerteza em situações estratégicas. SCA visa facilitar a tomada de decisão, numa ótica mais estratégica e, por tanto, mais sustentável.
<i>Robustness Analysis</i>	Abordagem que se foca em manter a flexibilidade útil sob incerteza. Processo iterativo, onde os intervenientes e analistas avaliam a compatibilidade de compromissos das alternativas iniciais com possíveis futuras configurações do sistema.

<i>Drama Theory</i>	Combinação de duas abordagens anteriores, <i>metagames</i> e <i>hypergames</i> . Método interativo de análise de cooperação e conflito entre múltiplos intervenientes, construído a partir das percepções das opções disponíveis para os vários intervenientes e de como elas são classificadas.
<i>Strategic Options Development and Analysis (SODA)</i>	Método de identificação de problemas que recorre ao mapeamento cognitivo a fim de obter e registar a percepção dos indivíduos sobre um determinado problema. Os mapas cognitivos fornecem uma estrutura para discussões em grupo assim como, orientação dos intervenientes.
<i>Viable Systems Model (VSM)</i>	Modelo genérico viável baseado em princípios cibernéticos. O modelo especifica cinco sistemas que devem existir dentro de uma organização, sendo estes: (1) operações; (2) coordenação; (3) controle; (4) inteligência; e (5) política. Embora tenha sido desenvolvido com uma intenção prescritiva, pode ser usado também em debate de problema de design e redesign organizacional.
<i>System Dynamics (SD)</i>	Modelo que permite a modelagem das percepções sobre sistemas do mundo real com base em relações causais e de <i>feedback</i> . Foi desenvolvido como uma ferramenta de simulação. Contudo, pode ser usado juntamente com diagramas de influência de modo a facilitar o debate em grupo.
<i>Decision Conferencing</i>	Construção de um modelo que visa apoiar a escolha entre alternativas de decisão em casos de incerteza sobre futuros eventos que possam afetar consequências multidimensionais. Tem como propósito a obtenção de uma compreensão generalizada, de um propósito comum e um compromisso de ação.

Fonte: *Elaboração Própria.*

Tabela 4: Métodos de Estruturação de Problemas Complexos

Como visto no início da presente secção, esta dissertação fará uso da metodologia SODA, desenvolvida por Colin Eden e Fran Ackermann (Ackermann & Eden, 2001) e, posteriormente, redenominada *JOintly Understanding Reflecting and NEgotiating strategY (JOURNEY Making)*. A metodologia *JOURNEY Making* providencia uma forma de identificar e de estruturar questões subjetivas e enquadrá-las num contexto mais amplo. Deste modo, o objetivo passa por obter um entendimento e uma concordância entre o grupo. Para tal, a base teórica baseia-se na filosofia construtivista e na teoria dos construtos pessoais de Kelly (1955) (ver também Eden e Ackermann (2018)).

JOURNEY Making é uma abordagem que se arquiteta através de sessões de grupo, auxiliadas por um facilitador. De acordo com Shaw (2006), o facilitador visa apoiar um processo, através do qual os intervenientes possam: (1) expor as suas opiniões; (2) explorar as semelhanças e as diferenças das múltiplas perspetivas do grupo; (3) tomar consciência das conexões entre as várias perspetivas, ou seja, de como as várias perspetivas se influenciam entre si; (4) avaliar de forma crítica as causas e as consequências dos problemas, de modo a construir um conhecimento de grupo; (5) expandir o conhecimento pessoal e de grupo; e (6) seleccionar um portfólio de ações complementares de modo a criar o impacto desejado.

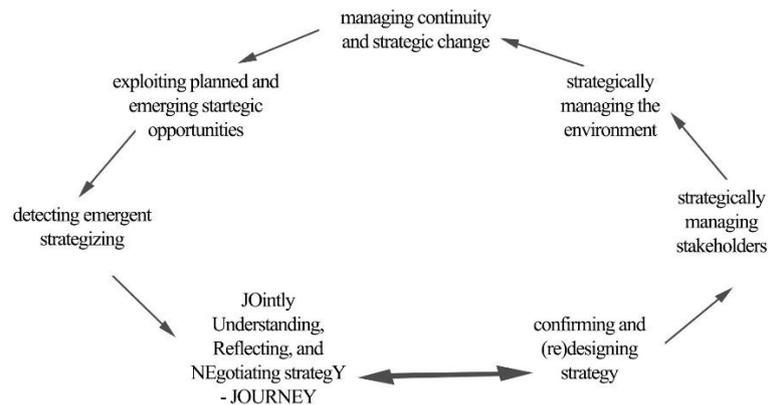
No que diz respeito a este processo, Mingers (2011) identifica três fases abrangentes, que passam por: (1) identificar, a um nível individual, ideias ou constructos estratégicos da organização ou problema em análise; (2) discutir e negociar ideias obtidas na fase anterior através de sessões em grupo, de forma a alcançar um consenso – processo JOURNEY; e (3) monitorizar o progresso das soluções estratégicas resultantes e da aprendizagem organizacional. A segunda fase, que dá nome à abordagem, é analisada na *Tabela 5*.

Fases do Processo JOURNEY	
<i>JOint Understanding</i>	Partilha de ideias/constructos do problema pelos membros do grupo (uso de 8-10 palavras por ideia).
<i>Reflecting</i>	Reflexão por parte de cada um dos membros do grupo sobre as ideias partilhadas pelos outros membros, comparativamente às suas ideias prévias.
<i>NEgotiating</i>	Debate sobre as ideias partilhadas, no âmbito de alcançar um consenso, através de ideias negociadas entre os vários membros.
<i>strategY</i>	No fim do processo, e após validação por parte do grupo, deve obter-se um modelo que permita uma melhor gestão/avaliação/decisão sobre o problema em causa.

Fonte: Edwards, Collier e Shaw (2003: 13, adap.).

Tabela 5: Descrição das Fases do Processo JOURNEY

O processo JOURNEY *Making* constrói-se em torno de um trabalho de equipa, através dos dados recolhidos e prestando uma maior atenção à construção da individualidade do problema. O processo é projetado para facilitar a negociação e a ampliação da definição do problema, numa tentativa deliberada de gerir a complexidade em vez de reduzi-la (Eden & Ackermann, 2001). Este processo envolve, numa primeira fase, a reflexão sobre a estratégia emergente da organização e, através de processos conversacionais, procura confirmar aspetos da mesma, assim como projetar novos aspetos que sejam necessários. Deste modo, as conversas facilitam o processo de negociação, visando um entendimento compartilhado e refletido sobre uma estratégia consensual a todos os intervenientes. O processo de desenvolver a direção estratégica, ilustrado na *Figura 4*, é um processo cíclico que envolve a confirmação e o *design* ou *redesign* da estratégia. De acordo com Eden e Ackermann (1998), a *journey of strategy making* é projetada para promover a flexibilidade e as mudanças estratégicas, num contexto de continuidade. Na prática, trata-se de gerir o equilíbrio entre a mudança e a continuidade.



Fonte: Eden e Ackermann (1998).

Figura 4: The JOURNEY of Strategy Making and Delivery

Através da *Figura 4*, é possível compreender todo o processo como um ciclo contínuo onde a formulação e a execução da estratégia são vistas como uma criação de plataformas para uma mudança estratégica. Cada ciclo gera conhecimento para uma nova *journey* de *design* e *redesign*, algo que, por sua vez, gera mudança estratégica (Eden & Ackermann, 1998). De acordo com Eden e Ackermann (1998), os resultados práticos do processo de formulação e de execução de estratégias que envolvam múltiplos intervenientes na compreensão, reflexão e negociação conjunta (*i.e., jointly understanding, reflecting, and negotiating*) são os seguintes: (1) criação de viabilidade política de modo a gerir a continuidade e a mudança estratégica; (2) possibilidade dos intervenientes possuírem uma visão diferente das coisas, criando novos quadros e esquemas psicológicos ou sistemas de construção para a tomada de decisão estratégica e/ou resolução de problemas; (3) fornecimento de uma direção estratégica juntamente com uma declaração de intenção estratégica; e (4) possibilidade da organização interagir ao invés de reagir a diferentes futuros estratégicos, possibilitando, deste modo, que a mudança seja equilibrada com a continuidade.

O consenso alcançado deve refletir-se num modelo visual que estrutura o problema em análise, sendo este, portanto, uma representação holística do problema e que une múltiplas perspetivas, suscitando, conseqüentemente, uma maior aceitação por parte dos decisores envolvidos no processo de decisão (Eden & Ackermann, 1998). Estes mapas podem ser criados durante e após as entrevistas com os intervenientes e são denominados genericamente de mapas cognitivos (*i.e., o resultado da entrevista*). O mapa cognitivo pretende ser um modelo razoável do pensamento dos intervenientes, particularmente sobre questões estratégicas. O conjunto dos mapas cognitivos é a base para a construção de um mapa estratégico, ou seja, um mapa causal,

que é a agregação do pensamento dos intervenientes, incluindo perspectivas conflitantes e tendências subtilmente diferentes sobre os mesmos problemas (Eden & Ackermann, 1998). Neste sentido, o mapa é visto como um dispositivo facilitador à negociação entre os vários intervenientes, de modo que seja estabelecida uma definição do problema (Eden & Ackermann, 2001). Na prática, o uso de mapas cognitivos ou causais visa obter representações do modo como os intervenientes percecionam a situação (Eden, 1988). Deste modo, o mapa causal atua como um mecanismo crucial no retrato de uma rede abrangente de declarações e relações que permite o desenvolvimento do entendimento comum das perspectivas dos vários intervenientes (Ackermann, 2012). O uso de um mapa estratégico reforça a análise contínua da coerência dos detalhes, uma vez que cada declaração estratégica feita é reproduzida como um nó no mapa e, desta forma, é vista como um meio para atingir um fim (Eden & Ackermann, 1998).

Eden e Ackermann (2001) reconhecem quatro perspectivas teóricas presentes na abordagem *JOURNEY Making*, sendo estas: (1) a perspectiva individual, que permite explorar as ideias, crenças e conhecimento de cada membro da equipa; (2) a perspectiva das organizações/grupos como entidades negociadas, que visa a procura de uma compreensão e de uma negociação coletiva do problema através do processo *JOURNEY*; (3) a perspectiva de consultoria, presente através do facilitador, que irá orientar os membros no processo de construção do modelo que estrutura o problema; e, finalmente, (4) a perspectiva das técnicas e tecnologia, utilizada para lidar com a complexidade e facilitar a visualização do modelo. O processo de mapeamento será aprofundado de seguida, através da apresentação do mapeamento cognitivo associado à estruturação de problemas complexos.

3.1.2 Mapeamento Cognitivo: Princípios Orientadores

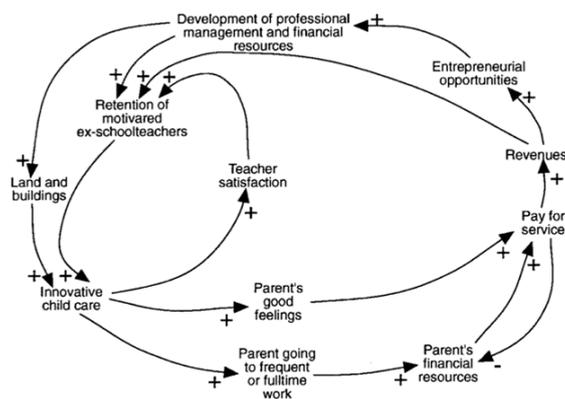
O mapeamento cognitivo é uma abordagem usada ao longo dos anos, no contexto do estudo da cognição humana. Através do mapeamento cognitivo é captada a cognição humana, algo que permite apoiar a compreensão do conhecimento partilhado (Tegarden & Sheetz, 2003). O mapeamento cognitivo é, portanto, usado na estruturação de situações complexas, uma vez que permite modelar relações de causa-efeito entre variáveis existentes em situações complexas. Além disso, sendo uma ferramenta visual, facilita a representação e a comunicação do pensamento, auxilia a identificação e a interpretação do conhecimento e permite a consulta e a codificação da informação, estimulando associações mentais (Fernandes, Ferreira, Bento, Jalali, & António, 2018; Gavrilova, Carlucci, & Schiuma, 2013; Marques, Ferreira, Meidutė-Kavaliauskienė, & Banaitis, 2018; Oliveira *et al.*, 2018).

Wong (2010: 288) define mapeamento cognitivo como o *“process of a series of psychological transformations by which [an] individual acquires, codes, stores, recalls, and decodes information about the relative locations and attributes of phenomena in [... his or her] everyday spatial environment”*. O mapeamento cognitivo pode, portanto, ser visto como um processo de estruturação mental que leva à criação de representações mentais para domínios específicos de resolução de problemas, que são aprendidos e codificados como resultado da interação do indivíduo com o seu ambiente (Klein & Cooper, 1982; Swan, 1997). Assim sendo, esta representação mental interna é usada para entender o ambiente e tomar decisões de acordo com ele (Wong, 2010). Desta forma, a base formal do mapeamento cognitivo deriva da Teoria da Construção Pessoal de Kelly (1955), que propõe uma compreensão de como os indivíduos “dão sentido” ao seu ambiente, tentando geri-lo e controlá-lo. Com efeito, a teoria de Kelly fornece as orientações para o mapeamento cognitivo (Eden, 2004).

No intuito de *“describe an individual’s internal mental representation of the concepts and relations among concepts that the individual uses to understand their environment”* (Swan, 1997: 188), Tolman (1948) desenvolveu uma ferramenta metodológica denominada de mapa cognitivo. Estes mapas são, segundo Eden (2004: 673), *“the representation of thinking about a problem that follows from the process of mapping”*. Por outras palavras, estes são modelos que representam as experiências, crenças, valores, preferências e, até mesmo, conhecimento dos indivíduos quando analisam certos problemas de decisão (Calantone, Cavusgil, & Zhao, 2002). No contexto da tomada de decisão, os mapas cognitivos são reconhecidos como ferramentas visuais interativas que permitem a estruturação e o esclarecimento de situações de decisão complexa (Ackermann & Eden, 2010). Neste sentido, o mapeamento cognitivo é uma abordagem que visa auxiliar os decisores na estruturação das suas próprias ideias facilitando, deste modo, a reorganização de diferentes linhas de pensamento e impulsionando o debate colaborativo entre os vários intervenientes do processo de tomada de decisão (Eden, 2004; Eden & Ackermann, 2001). Segundo Filipe, Ferreira e Santos (2015), os mapas cognitivos são ferramentas úteis na estruturação de problemas complexos, uma vez que providenciam *“a means of representing the way in which a decision-maker models his [or her] decision making environment, in terms of the concepts he [or she] himself [or herself] uses”* (Klein & Cooper, 1982: 64). Com efeito, os mapas cognitivos podem ser extremamente versáteis e vantajosos, na medida em que, dependendo do grau de envolvimento dos intervenientes, podem fomentar a discussão e aumentar a compreensão das relações entre os critérios e da própria situação de decisão (Ferreira, Spahr, Santos, & Rodrigues, 2012), promovendo, deste modo, uma reflexão eficaz do problema de decisão em análise (Paiva *et al.*, 2020).

Gavrilova *et al.* (2013) salientam duas funções principais dos mapas cognitivos, sendo estas: (1) a função descritiva, ou seja, o fornecimento de apresentações visuais, ajudando os indivíduos a ter uma melhor percepção do problema em questão e facilitando, assim, a sua resolução; e (2) uma função reflexiva, dado que o mapa é visto como uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento de novas ideias. Na prática, os mapas cognitivos podem ser usados para: (1) promover a discussão e fornecer suporte ao grupo, acelerando a aprendizagem através da discussão e análise das relações dos vários critérios; (2) reduzir o número de critérios omitidos nas estruturas de tomada de decisão; e (3) orientar o planeamento estratégico (Eden & Ackermann, 2004; Ferreira *et al.*, 2012; Ferreira, Marques, Bento, Ferreira, & Jalali, 2015; Ferreira, Santos, Rodrigues, & Spahr, 2011b; Filipe *et al.*, 2015; Ribeiro, Ferreira, Jalali, & Meidutė-Kavaliauskienė, 2017).

Para Eden (2004: 673), os mapas cognitivos são um meio de representação de uma “*network of nodes and arrows, ... [in which] the direction of the arrow implies believed causality*”. Deste modo, o mapa cognitivo consiste na representação de uma rede de ideias, hierarquicamente estruturada e conectada por setas, cuja direção indica a relação de causa-efeito entre os critérios representados (Eden, 2004; Eden & Ackermann, 2004). A base destes modelos assenta num gráfico direcionado cujos nós estão associado a fatores/conceitos, enquanto as setas são interpretadas como influências causais diretas entre esses fatores. Estas relações de causa-efeito devem ser acompanhadas de sinais de influência (*i.e.*, “+” ou “-”) (Abramova, 2016). Apenas dois tipos de relações são considerados – *i.e.*, positiva ou negativa. Uma relação positiva ocorre na mudança de um conceito antecessor que causa uma mudança semelhante num conceito sucessor. Ou seja, um aumento/diminuição no primeiro causa um aumento/diminuição no segundo. No que diz respeito à relação negativa, trata-se do inverso (*i.e.*, um aumento/diminuição no primeiro causa uma diminuição/aumento no segundo) (Eden, 2004; Ferreira *et al.*, 2012; Klein & Cooper, 1982; Montibeller & Belton, 2006). É de salientar que os mapas são codificados de modo a serem representações do mundo orientadas para a ação. Ou seja, um mapa cognitivo exige que as afirmações tenham consequências ou implicações, sendo necessário que o mapa seja feito de construtos ou conceitos e setas que indicam a direção da implicação presente nas afirmações. Na prática, as setas demonstram a ação possível implícita e o seu possível resultado. Deste modo, o significado que é dado aos construtos/conceitos não é apenas pelo seu conteúdo, mas também pelas consequências que lhes são inerentes (Eden & Ackermann, 1998, 2004). A *Figura 5* exemplifica um mapa cognitivo.



Fonte: Marchant (1999: 627).

Figura 5: Exemplo de um Mapa Cognitivo

De acordo com Ferreira (2011), duas abordagens distintas podem ser aplicadas com o objetivo de criar mapas cognitivos – *i.e.*, *top-down* e *bottom up*. No que concerne à primeira, *top-down*, esta visa explorar o sistema de objetivos e valores dos decisores e, a partir deles, ajudá-los a alcançar progressivamente os objetivos hierarquicamente mais abaixo. Por outro lado, a abordagem *bottom-up* opta por iniciar o processo analisando opções mais detalhadas e, posteriormente, atingir metas hierarquicamente mais elevadas, até que todos os objetivos sejam alcançados. Segundo Eden (2004), ambas as abordagens requerem uma estrutura hierárquica na organização dos mapas cognitivos, a qual deverá ser dividida em três níveis: (1) objetivos no topo; (2) questões estratégicas no centro; e (3) possíveis ações que indicam soluções para os principais problemas na parte inferior.

Em suma, o mapeamento cognitivo permite que: (1) as perspectivas individuais ou do grupo sejam identificadas e analisadas; (2) alternativas de resolução dos problemas sejam exploradas; (3) diferenças e semelhanças entre os vários pontos de vista sejam analisadas; e (4) relações de causa-efeito entre os vários pontos de vista sejam identificadas (Eden e Ackermann, 2004; Gavrilova *et al.*, 2013). No ponto seguinte serão abordados possíveis contributos da abordagem *JOURNEY Making* e do mapeamento cognitivo para a análise de determinantes de Indústria 4.0.

3.1.3 Contributos para a Análise de Determinantes de Indústria 4.0

A implementação da Indústria 4.0 revela-se bastante promissora para as organizações, suscitando múltiplos benefícios, nomeadamente: (1) um maior ganho no que diz respeito à competitividade empresarial (Dalenogare *et al.*, 2018); (2) aumento significativo da

produtividade, ao mesmo tempo que ocorre uma redução dos custos operacionais (Matana, Simon, Filho, & Helleno, 2020); (3) um ambiente de trabalho inteligente, que permite reduzir situações prejudiciais aos operacionais humanos (Bag *et al.*, 2020); (4) processos de produção mais flexíveis que possibilitam a análise de grandes quantidades de dados, em tempo real, melhorando assim a tomada de decisão estratégica e operacional (Dalenogare *et al.*, 2018); e (5) maiores flexibilidade, eficiência e eficácia operacionais (Bag *et al.*, 2021). Ainda assim, o tema Indústria 4.0 é bastante recente, carecendo de uma definição universalmente aceita e, por isso, muitas das organizações sentem dificuldade em proceder à sua implementação. Neste sentido, parece evidente a necessidade de respondermos à seguinte questão: “Que determinantes podem estar associados com o nível de implementação da Indústria 4.0?”.

Face ao exposto, parece importante percebermos de que modo ocorre a implementação da Indústria 4.0, sendo necessário, para isso, estruturá-la como um problema de decisão. Deste modo, torna-se relevante optar por uma visão mais construtivista. Com efeito, sendo a implementação da Indústria 4.0 um processo trilhado ao longo do tempo, composto por mudanças estratégicas, parecem evidentes as vantagens da utilização da abordagem *JOURNEY Making* no contexto deste estudo. Esta abordagem atua em situações problemáticas mais subjetivas e de difícil interpretação, auxiliando, deste modo, a estruturação de problemas de decisão complexos. A mesma assenta na importância do conceito de *journey*. Ou seja, há uma maior importância dada ao processo e à negociação na formulação e na execução da estratégia, sugerindo que a *journey* é tão importante como o resultado no desenvolvimento de uma estratégia eficaz (Eden & Ackermann, 2001). É também uma abordagem que promove a flexibilidade e as mudanças estratégicas, num contexto de continuidade (Eden & Ackermann, 1998). Adicionalmente, como os critérios de avaliação são de natureza subjetiva e qualitativa, descritos em termos linguísticos, é neste domínio que os mapas cognitivos vão auxiliar na estruturação da visão holística, conseguindo-se assim perceber melhor as relações de causalidade entre os determinantes de Indústria 4.0. Também de forma a ultrapassar algumas das limitações dos estudos anteriores é apresentada, no ponto seguinte, a abordagem *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), sendo apresentada a sua formulação de base, as suas vantagens e desvantagens, bem como os possíveis contributos para a análise de determinantes de Indústria 4.0.

3.2. O Método DEMATEL

Hess e Siciliano (1996) definem a tomada de decisão como um processo que se caracteriza por: (1) definir objetivos da decisão; (2) reunir critérios relevantes e alternativas possíveis; e, ainda, (3) avaliar essas mesmas alternativas como vantagens ou desvantagens para que, posteriormente, se possa selecionar a melhor alternativa. Contudo, num sistema complexo, todos os critérios estão, direta ou indiretamente, relacionados, dificultando, deste modo, a definição isolada de um objetivo específico (Liou, 2012; Tzeng, Chiang, & Li, 2007). Deste modo, o *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) é um método proveniente do Programa de Ciência e Assuntos Humanos do Geneva Research Centre do Battelle Memorial Institute (Fontela & Gabus, 1976; Gabus & Fontela, 1973), que apresenta como um tipo de modelagem de natureza estrutural sobre um determinado problema. Ou seja, que tem como objetivo os fenômenos fragmentados e antagônicos das sociedades mundiais e a procura de soluções integradas (Dalalah, Hayajneh, & Batieha, 2011; Jassbi, Mohamadnejad, & Nasrollahzadeh, 2011; Lin & Wu, 2008; Tzeng *et al.*, 2007). Neste sentido, o método DEMATEL foi desenvolvido com o intuito de: (1) analisar problemas globais complexos, os quais lidam, principalmente, com técnicas interativas de modelos humanos; e (2) avaliar aspectos qualitativos relacionados com fatores de problemas sociais (Gabus & Fontela, 1972).

De acordo com Yang e Tzeng (2011), o método DEMATEL foi introduzido com o intuito de construir a estrutura de um mapa que visa esclarecer as relações entre critérios de decisão, assim como visualizar essas relações através de um diagrama causal. Este método apresenta-se como uma ferramenta de sucesso dado ter conseguido resolver problemas globais complexos em variadas áreas científicas, políticas e económicas (Gabus & Fontela, 1972 e 1973). Atualmente, é um método em voga a nível mundial, dado ao seu pragmatismo na visualização da estrutura de relações causais mais complexas (Chang, Chang, & Wu, 2011; Falatoonitoosi, Leman, Sorooshian, & Salimi, 2013; Hori & Shimizu, 1999; Moghaddam, Sahafzadeh, Alavijeh, Yousefdehi, & Hosseini, 2010; Yang & Tzeng, 2011). Wu e Lee (2007) apontam que o método DEMATEL é adequado à análise de modelos estruturais complexos, os quais envolvem uma relação causal entre fatores, também eles complexos. De seguida, será feito um breve enquadramento da sua formulação.

3.2.1 *Enquadramento e Formulação*

O método DEMATEL traduz-se na aplicação de matrizes e dígrafos (*i.e.*, gráficos direcionados) (Chang *et al.*, 2011; Yang & Tzeng, 2011) para visualizar a estrutura de relações causais complexas, através da compilação de conhecimento coletivo e da medição do problema (Jassbi *et al.*, 2011; Wu & Lee, 2007; Zhou, Huang, & Zhang, 2011). O método DEMATEL opta por este tipo de gráfico ao invés de gráficos sem direção, uma vez que os primeiros são capazes de demonstrar as relações direcionadas dos sistemas (Yang & Tzeng, 2011). Assim sendo, as matrizes ou dígrafos retratam a relação contextual dos elementos do sistema, em que a vertente numérica representa a força de influência. Com efeito, este é um método que permite converter as relações causa-efeito dos critérios num modelo estrutural inteligível do sistema, com o intuito de auxiliar a tomada de decisão (Büyükoçkan & Çifçi, 2012; Chen, Tseng, & Lin, 2008; Dalalah *et al.*, 2011; Hori & Shimizu, 1999; Jassbi *et al.*, 2011; Lin & Wu, 2008; Tseng, 2009; Tseng & Lin, 2009; Yang & Tzeng, 2011). Caracteriza-se, simultaneamente, por ser um modo inteligente de lidar com as dependências internas de um conjunto de critérios (Tseng & Lin, 2009). Como tal, presume-se que os critérios que tenham mais efeito sobre os outros tenham maior prioridade e sejam chamados critérios “causa”, enquanto que aqueles que recebem mais influência de outro têm menor prioridade e denominando-se critérios “efeito” (Tseng, 2010).

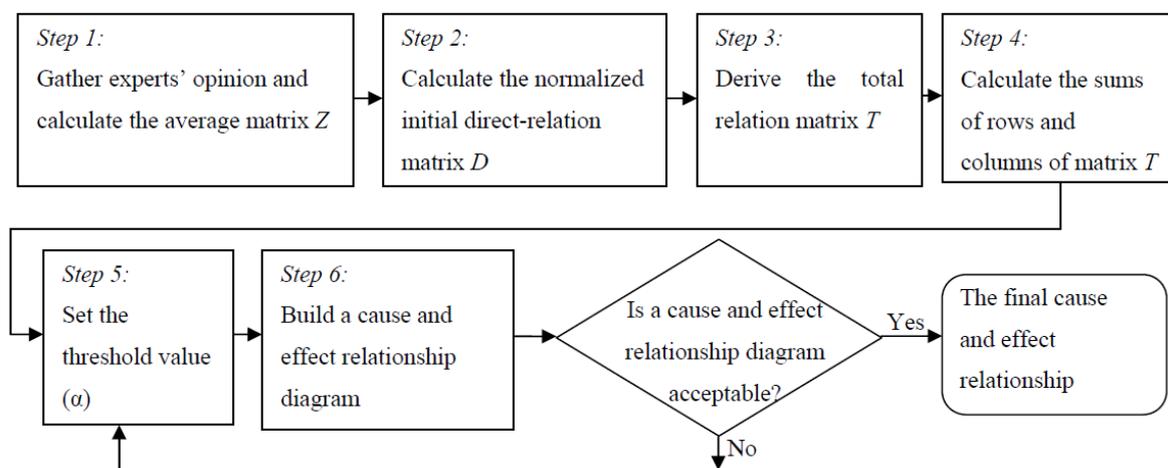
Segundo Tzeng *et al.* (2007), o resultado final do método DEMATEL é uma representação visual gráfica – *i.e.*, *Impact-Relations Map* (IRM) – pela qual os indivíduos organizam a sua tomada de decisão e, conseqüentemente, a sua ação no mundo (Falatoonitoosi *et al.*, 2013; Hori & Shimizu, 1999; Yang & Tzeng, 2011). Vários autores (*e.g.*, Hori & Shimizu, 1999; Tamura, Akazawa, & Nagata 2002) afirmam que esta é uma metodologia capaz de confirmar a interdependência entre variáveis ou critérios e, assim, restringir as relações que refletem características com o sistema essencial e as tendências de desenvolvimento (Tzeng *et al.*, 2007; Yang & Tzeng, 2011). Ao ilustrar a estrutura das relações dos vários componentes, o resultado da análise DEMATEL permite encontrar os componentes centrais do problema, evitando, deste modo, o *overfitting* da tomada de decisão (Tzeng *et al.*, 2007).

Desta feita, o método DEMATEL é uma ferramenta importante no apoio à tomada de decisão, na medida em que permite aos decisores não só diferenciar critérios de um sistema complexo em grupos de causa e efeito (Wu & Lee, 2007), mas também reconhecer influências diretas e indiretas entre fatores complexos (Chen, Tseng, & Lin, 2011). Shieh, Wu e Huang (2010) acreditam que esta metodologia promove um melhor entendimento de um determinado problema de decisão e dos fatores interligados, contribuindo, assim, para a identificação de

soluções viáveis tendo como base uma estrutura hierárquica. O método DEMATEL preenche algumas lacunas de outros métodos, pois aceita a interdependência entre os conceitos, a subjetividade dos mesmos e fornece ainda uma análise quantitativa (Kumar & Dixit, 2018).

São múltiplas as aplicações do método DEMATEL. Tamura, Akazawa e Nagata (2002), por exemplo, fizeram uso deste método para extrair fatores desconfortáveis da vida. Yamazaki, Ishibe e Yamashita (1997) analisaram os fatores obstrutivos do serviço de bem-estar. Hori e Shimizu (1999) utilizaram este método para projetar e avaliar um *software of displaying-screen structure* na análise de um sistema de controle de supervisão. Wu e Lee (2007), por seu turno, procederam ao desenvolvimento de competência de múltiplos gestores globais. Tzeng *et al.* (2007) mediram a segurança de companhias aéreas e Tsai e Chou (2009) procederam à criação de um sistema de gestão de seleção de PMEs.

Na prática, o método DEMATEL consiste nas seguintes etapas: (1) desenvolvimento de uma matriz inicial com base na opinião de especialistas ou na revisão da literatura; (2) determinação da matriz normalizada; (3) construção de uma matriz relação-total; (4) soma das linhas e colunas da matriz de relação total; (5) cálculo de um valor limite; e (6) desenvolvimento de um diagrama de relacionamentos causa-efeito (Sumrit & Anuntavoranich, 2013). As etapas mencionadas estão apresentadas na *Figura 6*.



Fonte: Sumrit e Anuntavoranich (2013: 85).

Figura 6: Processo do Método DEMATEL

Passo 1: Calcular a matriz média inicial. É usado um grupo de H especialistas com vista a avaliar e a resolver um problema complexo composto de n fatores. Cada especialista é solicitado a indicar, segundo a sua opinião, o grau de influência entre dois fatores, segundo uma *pair-wise comparison*. O grau com que o especialista considera que o fator i afeta o fator j é

denotado como a_{ij} e varia de 0 a 4 (*i.e.*, 0 (influência nula), 1 (influência baixa), 2 (influência média), 3 (influência alta) e 4 (influência muito alta)). Através da opinião de cada especialista, obtém-se uma matriz $n \times n$ não negativa construída da seguinte forma: $X^k = [x_{ij}^k]_{n \times n}$, com $1 \leq k \leq H$, onde k representa o número de especialista que participaram no processo de avaliação. Assim, X^1, X^2, \dots, X^H são as matrizes de resposta para cada um dos especialistas H e cada elemento X^k é representado por x_{ij}^k . Os elementos diagonais de cada matriz de resposta X^k estão todos configurados para zero. Posteriormente, calcula-se a média das pontuações dos H especialistas, através da seguinte fórmula:

$$[a_{ij}]_{n \times n} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H [x_{ij}^k]_{n \times n} \quad (1)$$

A matriz média $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ é também denominada de matriz de relação direta inicial, uma vez que A exhibe os efeitos diretos iniciais que um critério exerce e recebe dos demais critérios.

Passo 2: Calcular a matriz de relação direta inicial normalizada. A matriz de relação direta inicial normalizada D é obtida através da normalização da matriz média A (matriz média), calculada na expressão (3), onde s representa um escalar positivo que equivale ao maior dos efeitos que a soma das linhas i da matriz A tem nos outros fatores, tal como ao maior efeito que a soma das colunas j da matriz A recebeu dos outros fatores, como podemos ver na expressão (2). A matriz D apresenta valores entre $[0,1]$.

$$s = \max\left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}\right) \quad (2)$$

$$D = \frac{A}{s} \quad (3)$$

Passo 3: Calcular a matriz de relação total. Com base na Teoria da Cadeia de Markov (Goodman, 2006), D^m é a potência da matriz D (*e.g.*, $D^2, D^3, \dots, D^\infty$) e garante soluções convergentes da matriz inversa como mostra a expressão (4).

$$\lim_{m \rightarrow \infty} D^m = [0]_{n \times n} \quad (4)$$

A matriz T é uma matriz $n \times n$ e é definida pela expressão (5), onde I é a matriz identidade de $n \times n$. Os elementos de t_{ij} representam os efeitos, tanto diretos como indiretos, que o fator i tem no fator j , pelo que a matriz T reflete o relacionamento total entre cada fator do sistema.

$$T = \lim_{m \rightarrow \infty} (D + D^2 \dots D^m) = D(I - D^{-1}) \quad (5)$$

Passo 4: Calcular a soma das linhas e a soma das colunas da matriz T (matriz de relação total). A soma das linhas e a soma das colunas da matriz T são representadas pelos vetores r (6) e c (7), respetivamente.

$$r = [r_i]_{n \times 1} = \left(\sum_{j=1}^n t_{ij} \right)_{n \times 1} \quad (6)$$

$$c = [c_j]'_{1 \times n} = \left(\sum_{i=1}^n t_{ij} \right)_{1 \times n} \quad (7)$$

onde, $[c_j]'$ é indicado como a matriz transposta. Assim, se r_i é a soma da linha i^{th} da matriz T , r_i indica o valor total que este fator tem sobre os outros fatores, tanto direta como indiretamente. Já c_j é a soma da coluna i^{th} da matriz T e representa o valor total que este fator recebe dos restantes, seja direta ou indiretamente. Se $j = i$, o valor $(r_i + c_i)$, denominado de “*prominence*”, representa o total de efeitos dados e recebidos pelo fator i , ou seja, o grau de importância no modelo. Por outro lado, o valor $(r_i - c_i)$ indica a *net contribution* (i.e., o grau de influência) que o fator i tem no sistema. Os fatores podem ser divididos em dois grupos, nomeadamente: os recetores e os dadores. Quando $(r_i - c_i)$ dá positivo, denomina-se de “*relation*”, ou seja, o fator i pertence ao grupo dos dadores, tendo uma influência sobre os

outros fatores. Se $(r_i - c_i)$ dá negativo, i pertence ao grupo dos recetores, pelo que os restantes fatores vão influenciar o fator i (Tzeng *et al.*, 2007).

Passo 5: Definir um valor limite (α), que é calculado pela média dos elementos da matriz T , como mostra a equação (8). Este cálculo tem como objetivo a eliminação dos elementos com menor efeito na matriz T , algo que ajuda na leitura do mapa e na compreensão da relação entre fatores.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (8)$$

onde N é o número total de elementos na matriz T .

Passo 6: Construir um diagrama de relação causa-efeito. Este diagrama de relação causa-efeito é obtido através do mapeamento de todos os conjuntos de coordenadas $(r_i + c_i, r_i - c_i)$ de forma a visualizar a complexa inter-relação entre critérios e conseguir fornecer as informações necessárias para os decisores saberem quais os fatores mais importantes e a sua influência nos outros fatores (Huang, Shyu, & Tzeng, 2007; Sumrit & Anuntavoranich, 2013; Yang & Tzeng, 2011; Wu & Lee, 2007). No ponto seguinte serão abordadas as vantagens e as limitações da metodologia DEMATEL.

3.2.2 *Vantagens e Limitações*

De acordo com Kumar e Dixit (2018), o método DEMATEL fornece uma medida de análise quantitativa aos problemas subjetivos. Deste modo, a ferramenta em si permite uma melhor compreensão de determinado problema de decisão, contribuindo para a identificação de soluções viáveis (Tsai & Chou, 2009; Tzeng *et al.*, 2007). Ao contrário das técnicas mais tradicionais, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que pressupõem a independência dos elementos, a técnica DEMATEL não só não requer essa suposição como permite ainda identificar as interdependências entre os elementos de um sistema através de um diagrama causal (Baykasoğlu, Kaplanoğlu, Durmuşoğlu, & Şahin, 2013; Büyüközkan & Çifçi, 2012; Falatoonitoosi *et al.*, 2013; Lee, Li, Yen, & Huang, 2011; Tzeng *et al.*, 2007; Wu & Lee, 2007).

Desta forma, este é um método bastante prático e útil no que concerne à visualização de estruturas de relações causais complexas (Falatoonitoosi *et al.*, 2013; Tseng & Lin, 2009).

Para Song, Zhu e Zhao (2020), a vantagem desta ferramenta metodológica consiste no facto de permitir a construção de um mapa de relações que contempla as relações complexas entre os fatores. Além disso, o método não só considera a relação direta e indireta entre fatores, como também permite quantificar a estrutura das próprias relações através de matrizes de relação. Com efeito, Liou, Yen e Tzeng (2008) e Tseng e Lin (2009) apontam que, através do método DEMATEL, é possível priorizar os critérios com base no tipo de relação e no grau da influência que os fatores têm entre si. Outro aspeto vantajoso deste método é o facto de ser uma ferramenta que permite lidar com as dependências internas dentro de um determinado conjunto de critérios (Wu, 2008). Com base nas vantagens mencionadas, Tseng e Lin (2009) afirmam que o método DEMATEL é uma ferramenta valiosa para o apoio à tomada de decisão. Chang *et al.* (2011) salientam ainda que o método DEMATEL se caracteriza por não necessitar de grandes quantidades de dados. Ou seja, pode ser utilizado com base em amostras pequenas (Bhatia & Srivastava, 2018; Trivedi, 2018; Yazdi, Nedjati, Zarei, & Abbassi, 2020). Na prática, esta metodologia evita informações consideradas dispensáveis. Ou seja, ao seleccionar um valor limite adequado para se definir se uma relação é óbvia (*i.e.*, *passo 6*), a técnica permite obter informações adequadas ao delineamento do IRM e à posterior análise para a tomada de decisão (Li & Tzeng, 2009).

Apesar do método DEMATEL apresentar vantagens, o mesmo também possui algumas limitações, demonstradas pelas extensões do método já criadas por alguns autores. Uma das grandes limitações deste método prende-se com o facto de as opiniões dos especialistas poderem ser enviesadas, podendo, deste modo, existir alguma imprecisão no julgamento linguístico e/ou na diversidade de preferências do grupo. Na prática, existe a possibilidade de os decisores serem desonestos e manipularem estrategicamente os pesos dos atributos para obterem a classificação desejada (Bhatia & Srivastava, 2018; Kumar & Dixit, 2018). Por outro lado, também o facto de as escalas de julgamento não serem unificadas, bem como a utilização de números fixos e inteiros em problemas subjetivos, pode ser encarado como uma limitação da presente metodologia (Kumar & Dixit, 2018; Tseng, 2010).

Embora a técnica DEMATEL seja adequada para avaliar situações problemáticas, a sua versão mais clássica apresenta algumas limitações (Büyüközkan & Çifçi, 2012; Liou *et al.*, 2008). Para estabelecer um modelo estrutural do mapa estratégico, os julgamentos dos especialistas necessários para decidir a relação entre os fatores das organizações são, geralmente, derivados de um procedimento de tomada de decisão em grupo. Neste sentido, é

possível que, devido às características do julgamento humano aquando do mapeamento, os especialistas atribuam as suas preferências e importância a quaisquer relações entre os objetivos estratégicos selecionados com valores exatos. Contudo, esses valores exatos são um reflexo inadequado da imprecisão do mundo real (Wu & Lee, 2007). Ou seja, os julgamentos humanos com preferências no processo de tomada de decisão são frequentemente confusos, pouco claros e difíceis de estimar por valores numéricos exatos, criando uma necessidade de lógica *fuzzy* (Jassbi *et al.*, 2011). Por conseguinte, é necessário integrar esta lógica *fuzzy* ao método DEMATEL, de modo a melhorar a tomada de decisão num contexto *fuzzy* (Govindan, Kannan, & Shankar, 2014; Wu & Lee, 2007). Não obstante, através do método DEMATEL, é possível possuir uma análise dinâmica das relações de causalidade entre os determinantes de Indústria 4.0 e, deste modo, conseguir contribuir para a sua compreensão. No ponto seguinte, serão abordados os principais contributos potenciais da metodologia DEMATEL para a análise dos determinantes de Indústria 4.0.

3.2.3 Contributos para a Análise de Determinantes de Indústria 4.0

Apesar do impacto significativo da Indústria 4.0 sobre as organizações, muitas delas ainda apresentam inúmeras dificuldades na sua implementação. A falta de consciência sobre as tecnologias emergentes, o risco de deslocamento social causado pelo desemprego e as mudanças na estrutura do mercado devido às tecnologias emergentes são alguns dos grandes desafios (Kumar, Singh, & Dwivedi, 2020). Na prática, as tecnologias emergentes (*i.e.*, os determinantes de Indústria 4.0) são ainda uma temática complexa e desconhecida que impossibilita uma fluidez na implementação da Indústria 4.0.

O método DEMATEL é uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios, que auxilia na compreensão das relações causais entre critérios de decisão em problemas complexos (Kumar *et al.*, 2020). Devido às suas vantagens inerentes, a abordagem DEMATEL tem sido amplamente utilizada na literatura por vários investigadores em diversas áreas do conhecimento. No entanto, ainda não existem muitos estudos que se foquem na análise de determinantes de Indústria 4.0, algo que se traduz numa potencial contribuição adicional por parte desta dissertação.

Através da ferramenta metodológica DEMATEL, é possível obter uma estrutura hierárquica que auxiliará a identificar os determinantes de Indústria 4.0 mais relevantes, permitindo, deste modo, tomar uma decisão mais informada no que toca à implementação da Indústria 4.0. Outra questão que o método DEMATEL vem colmatar é a falta de análises

dinâmicas relativas às relações causais entre os determinantes, uma vez que este método permite quantificar a influência que os determinantes têm entre si. Quando aplicado ao tema da presente dissertação, o método DEMATEL permitirá revelar a força da interação entre os vários determinantes e, sobretudo, retratar as suas relações de causa-efeito, evitando um mau planeamento no que diz respeito à implementação da Indústria 4.0.

SINOPSE DO CAPÍTULO 3

Neste terceiro capítulo, foram apresentadas algumas abordagens existentes para o apoio à decisão, dando ênfase à abordagem *JOURNEY Making* no contexto da *Soft OR*. Neste sentido, foi discutida a base epistemológica da metodologia *JOURNEY Making*, concebida para auxiliar a estruturação de problemas complexos, tendo como base o recurso ao mapeamento cognitivo para a identificação de perspectivas e pontos-chave do problema. Esta abordagem, para além de permitir a participação e o alcance de um consenso negociado entre os decisores, fomenta a aprendizagem de forma colaborativa. Neste sentido, foi abordado o processo de *JOURNEY Making*, o qual se divide em três fases abrangentes, que passam por: (1) identificar, a um nível individual, ideias ou constructos estratégicos da organização ou problema em análise; (2) discutir e negociar ideias obtidas na fase anterior através de sessões em grupo, de forma a alcançar um consenso – *i.e.*, processo *JOURNEY*; e (3) monitorizar o progresso das soluções estratégicas resultantes e da aprendizagem organizacional. De forma complementar, foram apresentados, neste capítulo, alguns métodos de estruturação de problemas complexos (PSMs), sendo estas abordagens necessárias para auxílio à resolução de problemas através da sua estruturação, em vez de se procurar diretamente a solução final por métodos puramente matemáticos. Graças à representação do problema de decisão sob a forma de mapa cognitivo, os participantes têm uma visão mais holística da realidade, permitindo que as análises revelem o ponto crucial da questão e tenham sempre em conta o contexto em que se inserem, facilitando a implementação da solução. Contudo, o desenvolvimento de mapas cognitivos não deverá ser o último passo no processo de tomada de decisão. Esta abordagem é fundamental para a estruturação das problemáticas de decisão, facilitando também a utilização de outros métodos, como a técnica DEMATEL. Deste modo, o método DEMATEL é aplicado essencialmente para analisar problemas complexos com múltiplos critérios. Este foca-se na priorização dos conceitos, encontrando os mais relevantes e desenvolvendo a análise dos seus relacionamentos causais de forma dinâmica. Em comparação com outras abordagens, o método DEMATEL tem sido reconhecido como uma técnica mais eficaz e viável para analisar critérios de decisão em termos de relações causa-efeito. Este enquadramento permitiu assim ter uma noção das bases metodológicas nas quais está assente o sistema de análise a desenvolver, bem como as características e os potenciais contributos das técnicas descritas e a aplicar no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, inicia-se a componente empírica desenvolvida. Será apresentado o processo de estruturação que resultou da aplicação das metodologias *JOURNEY Making* e DEMATEL, as quais permitiram desenvolver um sistema de análise de determinantes de Indústria 4.0. Neste sentido, o capítulo foca-se na apresentação dos processos seguidos para elaboração de um mapa cognitivo coletivo, assim na análise dinâmica das relações de causa-efeito entre os critérios/determinantes identificados. Por fim, de forma a dar uma maior robustez ao modelo, o mesmo será analisado e discutido numa sessão de consolidação.

4.1. Estrutura Cognitiva de Grupo e Mapeamento de Relações Causais

A fase de estruturação, segundo Bana e Costa (1993), é vista como a etapa mais importante do processo de tomada de decisão, pois visa a construção de um modelo que possa servir de base à aprendizagem, à comunicação e à discussão interativa com e entre os envolvidos. Com base nas ideias de Ferreira, Santos e Rodrigues (2011a), a definição e estruturação do problema são essenciais para a compreensão do problema em análise, assim como para o desenvolvimento das etapas seguintes (*i.e.*, *avaliação e recomendações*). Neste sentido, com o propósito de criar um sistema de análise de determinantes de Indústria 4.0, a estruturação do problema foi feita através do recurso ao mapeamento cognitivo, sustentado pela abordagem *JOURNEY Making*, uma vez que, através desta metodologia, é possível incentivar os participantes/decisores a partilharem os seus diversos pontos de vista (Shaw, Ackermann, & Eden, 2003). Tal como referido, esta abordagem centra-se na estruturação negociada do problema, através de sessões de grupo dinâmicas com decisores munidos de diferentes perspetivas sobre a temática em discussão.

A elaboração do mapa cognitivo coletivo pressupôs a realização de duas sessões com um grupo de decisores com *know-how* nas áreas relacionadas com a temática em estudo (*i.e.*, Indústria 4.0), algo que permitiu uma análise minuciosa do problema de

decisão em análise. De acordo com a literatura da especialidade, este tipo de estudo conta com “*a decision-making group of 5-7 experts and other key-players*” (Bana e Costa, Correia, Corte, & Vansnick, 2002: 227). A constituição deste painel revelou-se desafiante, devido à necessidade de disponibilidade e participação ativa que a aplicação das técnicas exige aos membros do painel. Ainda assim, o presente estudo contou com a colaboração de um painel de seis decisores de diferentes áreas (*i.e.*, gestores/engenheiros, *Chief Executive Officers* (CEOs) ou membros da administração de PME de diferentes setores de atividade). Especificamente, o painel foi constituído pela CEO da SINMETRO Lda. e GUGGA Lda., pelo secretário técnico da unidade de gestão do sistema de apoio à transformação digital da administração pública, por um dos membros do *Executive Board* do Porto de Aveiro e da Figueira da Foz, pelo chefe de operações do Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes (CeNTI), pelo coordenador de agenda da Indústria 4.0 e transformação digital do Centro Tecnológico Têxtil e Vestuário (CITEVE) e, por último, pelo diretor de investimento para a competitividade e inovação empresarial da Agência para a Competitividade e Inovação (IAPMEI).

De um modo geral, este é um processo que se realiza presencialmente. Porém, devido à situação de Covid-19 – considerada pandemia mundial desde o dia 11 de março de 2020 – e que levou ao encerramento de várias universidades e institutos superiores, ambas as sessões tiveram que decorrer em formato *online*, recorrendo à plataforma Zoom para garantir a segurança de todos os participantes. Em particular, foram realizadas duas sessões de trabalho que tiveram uma duração aproximada de oito horas (*i.e.*, 4 horas por cada sessão). Para além do painel de decisores, estiveram presentes dois facilitadores (*i.e.*, investigadores), responsáveis pela condução do processo e pelo registo dos resultados alcançados.

Como mencionado anteriormente, a fase de estruturação é considerada como a mais importante do apoio à tomada de decisão, uma vez que permite a operacionalização de todo o processo (Bana e Costa, Stewart, & Vansnick, 1997; Ferreira, 2011). Como tal, é fundamental definir e estruturar o problema de forma clara e coerente, de modo a melhorar o entendimento dos participantes ao longo de todo o processo de decisão (Ferreira, 2011). Para o efeito, na primeira sessão de trabalho em grupo, procedeu-se à estruturação do problema de decisão – *i.e.*, *fase de estruturação* – enquanto a segunda sessão focou-se, maioritariamente, na *fase de avaliação*, após uma breve consolidação dos resultados da sessão anterior. A primeira sessão de grupo iniciou-se com um breve

enquadramento do objetivo de trabalho e da metodologia a ser utilizada para que os envolvidos se familiarizassem e se adaptassem ao processo. Foi também pedido a cada membro do painel que fizesse uma breve introdução de si próprio, de forma a “quebrar o gelo” e, assim, permitir que começassem a comunicar e a interagir entre si. Seguidamente, foi colocada aos decisores a seguinte *trigger question*: “Tendo por base os seus valores e a sua experiência profissional, que fatores/determinantes promovem e/ou condicionam o desenvolvimento da Indústria 4.0?”. Com base na *trigger question*, foi solicitado ao painel que partilhasse entre si os seus valores, as suas opiniões e as suas experiências pessoais, com o intuito de identificar parâmetros de avaliação relevantes no âmbito da temática em questão. Esta questão de base permitiu iniciar o *brainstorming*, ou seja, a discussão e a partilha de perspetivas entre o grupo de decisores através da aplicação da “técnica dos *post-its*” (Ackermann & Eden, 2001). Esta técnica requer que os decisores escrevam em *post-its* o que consideram ser, na sua ótica, os critérios mais importantes para dar resposta à *trigger question* apresentada. Nesta lógica, em cada *post-it*, deverá constar apenas um e só um critério, sendo que, caso este critério apresente uma relação de causalidade negativa, deve ser identificado com um sinal menos (–) no campo superior direito do *post-it* (Ferreira, 2011). Para este processo foi necessário recorrer-se à plataforma Miro (<https://miro.com/>), que permitiu a simulação de um quadro em branco de modo a que houvesse uma fácil visualização para todos os intervenientes, facilitando, desta forma, a estruturação da problemática e a formulação daquilo que viria a ser um mapa cognitivo. Assim sendo, este processo permitiu identificar uma grande variedade de determinantes associados à Indústria 4.0, tendo sido abordados tópicos distintos e aprofundado outros mais relevantes. Esta fase do processo permitiu alcançar aproximadamente 154 critérios, algo que está alinhado com Eden e Ackermann (2004), que referem que, normalmente, um mapa cognitivo contém cerca de 90 a 120 critérios.

Findo o levantamento dos critérios, foi solicitado aos decisores que agrupassem os *post-its* por *clusters* (*i.e.*, área de interesse), permitindo, desta forma, a identificação dos vários grupos de critérios que se relacionavam entre si. De igual forma, aproveitou-se esta etapa também para eliminar possíveis critérios repetidos ou, eventualmente, acrescentar algum critério que os especialistas considerassem que estivesse em falta. Com base num extenso processo de discussão, este exercício resultou na definição de seis *clusters*, nomeadamente: *Contexto Financeiro*; *Gestão & Liderança*; *Contexto Político-Legal*; *Contexto Tecnológico*; *Recursos Humanos*; e *Envolvente*. Como etapa final da primeira sessão, foi solicitado aos decisores que procedessem à hierarquização dos

critérios integrados em cada um dos *clusters*, seguindo uma lógica meios-fins (Ferreira, 2011). Desta forma, os critérios que apresentam um maior impacto para o *cluster* em que se inserem foram colocados em primeiro lugar, enquanto os menos importantes foram colocados na base. Como referem Ferreira *et al.* (2015: 2693), “*the last step is to analyze each cluster and (re)organize the post-its, following a means-end-based logic (i.e. taking into account each criterion's relevance and impact on the others, and putting the most important criteria at the top of the cluster)*”. A Figura 7 é ilustrativa da dinâmica de grupo verificada durante a aplicação da “técnica de *post-its*”.

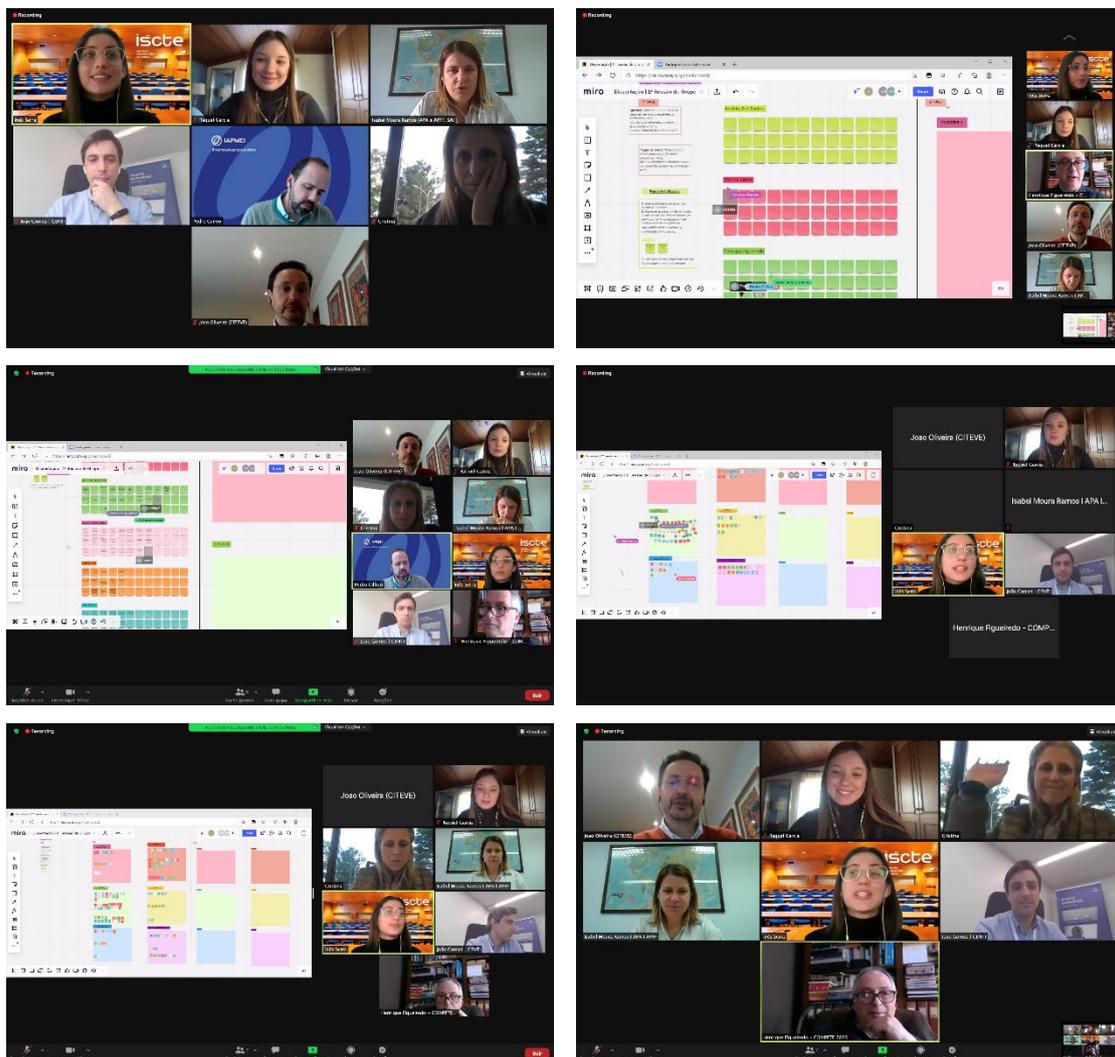


Figura 7: Momentos Registrados Durante a Primeira Sessão de Grupo

Após a primeira sessão, os dados recolhidos foram introduzidos no *software Decision Explorer* (www.banxia.com), procedendo-se à elaboração de um mapa cognitivo de grupo. Esse mapa foi, posteriormente, facultado ao painel de decisores, com o intuito de ser objeto de revisão e de validação. Caso os decisores não concordassem com a forma e/ou conteúdo do mapa, ser-lhes-ia dada a possibilidade de inserir e/ou alterar critérios, reformular *clusters* e/ou recomeçar o estudo desde o início. Após manifestação de satisfação, por parte dos membros do painel, relativamente à forma e ao conteúdo da estrutura cognitiva criada, foi obtida a versão final do mapa cognitivo. A *Figura 8* apresenta o mapa cognitivo devidamente validado.

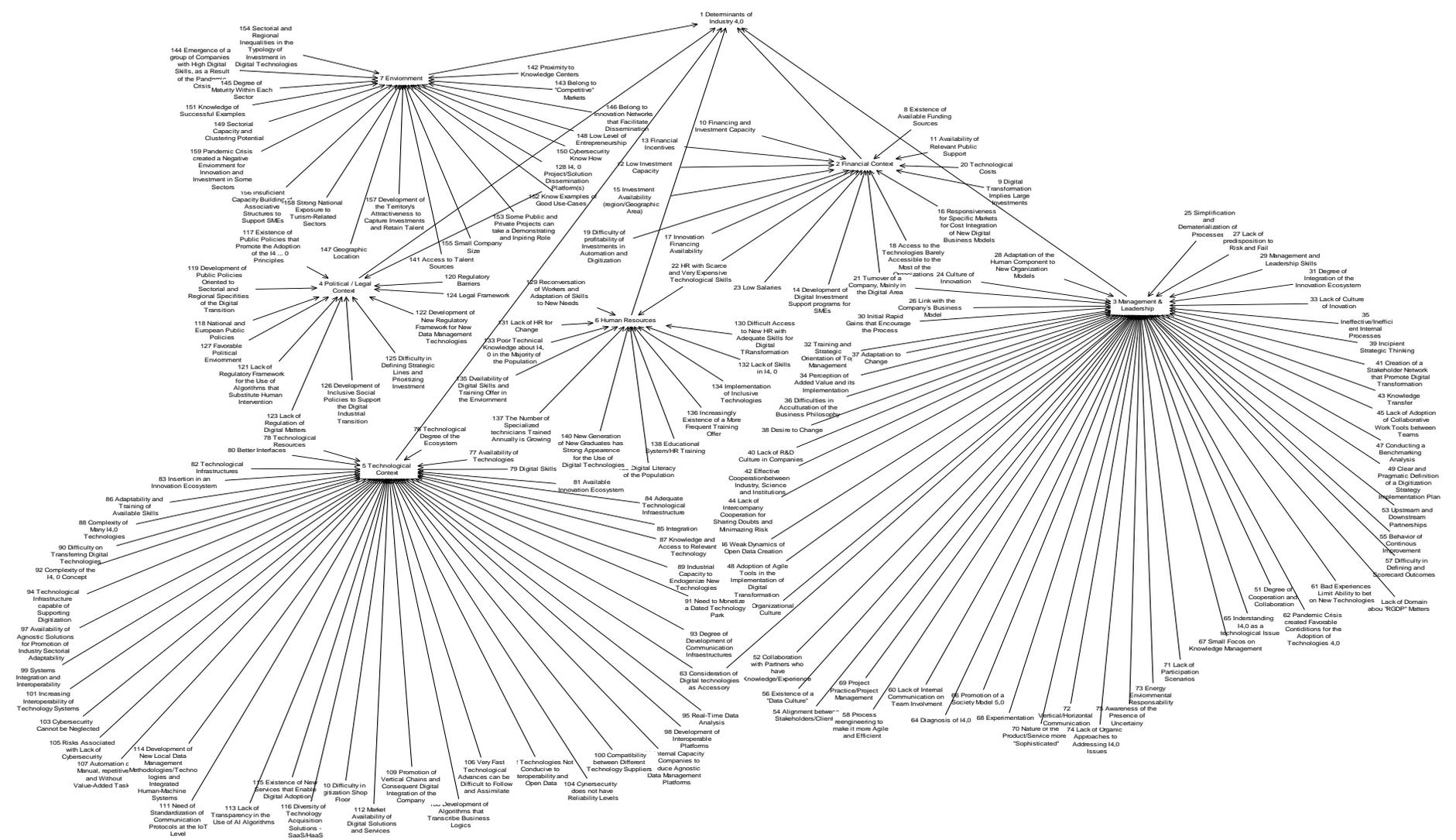


Figura 8: Mapa Cognitivo Coletivo

Através da *Figura 8*, é possível analisar as seis principais áreas de interesse identificadas pelo grupo de decisores, que refletem os *clusters* determinantes para a implementação da Indústria 4.0. Especificamente, comparativamente aos outros quatro, os *clusters Contexto Tecnológico* e *Gestão & Liderança* surgem com maior destaque no que concerne à representatividade de critérios. O *Contexto Tecnológico* incorpora elementos que dizem respeito a políticas e/ou a soluções tecnológicas relativas à implementação da Indústria 4.0, enquanto a *Gestão & Liderança* é referente à cultura organizacional necessária a essa implementação. Por conseguinte, parece evidente que ambos os *clusters* evidenciam que a Indústria 4.0 se traduz num “*set of technologies based on the digitization and interconnection of all production units present within an economic system*” (Pacchini *et al.*, 2019: 1) e, para tal, “*leadership assumes an important role to support this transition towards I4.0*” (Guzmán, Muschard, Gerolamo, Kohl, & Rozenfeld, 2020: 545).

Todo este processo de elaboração de um mapa cognitivo foi bastante rico na troca de valores, opiniões e experiências, algo que contribuiu para formalizar as linhas de pensamento dos decisores. Não obstante, importa ter presente que, uma vez que o processo é intrinsecamente subjetivo, a versão final do mapa poderia ter sido diferente, caso os envolvidos fossem, também eles, diferentes. Apesar disso, como referem Bell e Morse (2013: 962), “*there is a less emphasis on the outputs per se and more focus on process: how to group members interact and what they learn about themselves from that interaction*”. No próximo ponto serão apresentadas as análises de causa-efeito dos vários determinantes de Indústria 4.0 que resultaram do desenvolvimento do mapa cognitivo.

4.2. Análise DEMATEL de Determinantes de Indústria 4.0

Existindo seis *clusters*, o passo seguinte do processo de estruturação consistiu no preenchimento de sete matrizes para que fosse possível a aplicação do método DEMATEL. A primeira matriz é aquela que indica a influência dos *clusters* uns nos outros. As restantes seis matrizes dizem respeito à realidade projetada individualmente por cada *cluster*. De modo a avaliar esta influência, recorreu-se à tradicional escala DEMATEL, onde: 0 = sem influência; 1 = baixa influência; 2 = influência média; 3 = influência alta; e 4 = influência muito alta. A *Figura 9* contempla alguns dos momentos da segunda sessão de trabalho *online*.

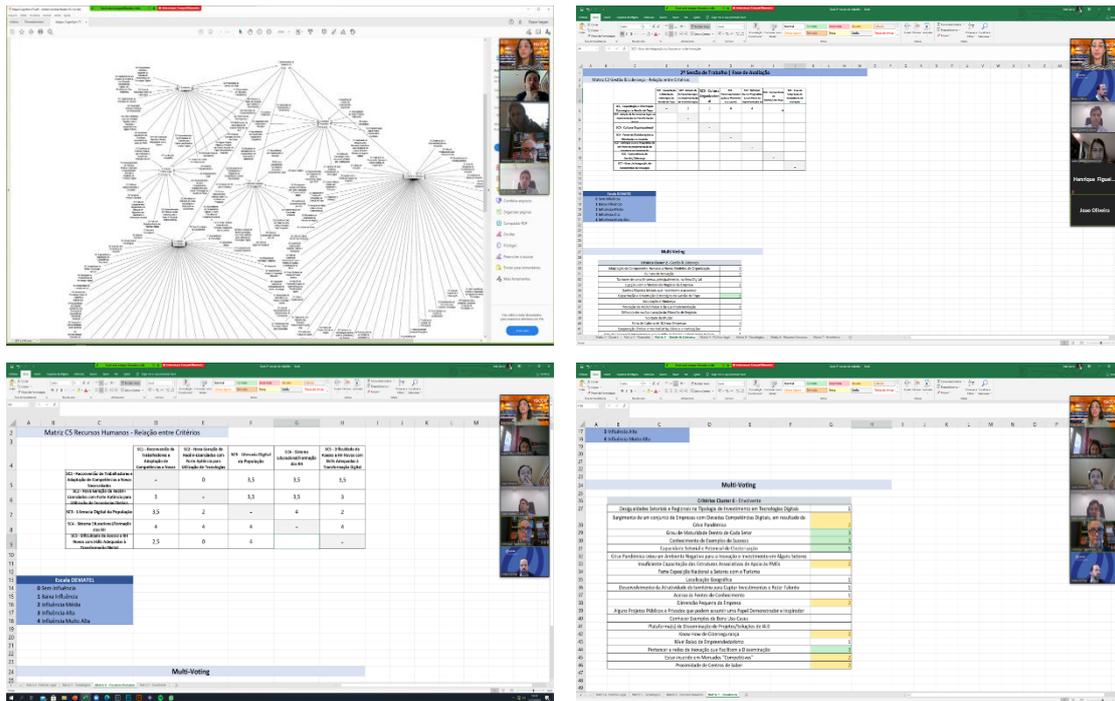


Figura 9: Momentos Registrados Durante a Segunda Sessão de Grupo

Concluídas ambas as sessões, foi então possível estruturar os determinantes de Indústria 4.0 em 6 *clusters*: *Contexto Financeiro* (C1); *Gestão & Liderança* (C2); *Contexto Político-Legal* (C3); *Contexto Tecnológico* (C4); *Recursos Humanos* (C5); e *Envolvente* (C6) (Tabela 6), bem como ter em consideração os 154 critérios que os constituem, importantes na aplicação do método DEMATEL feita neste estudo.

<i>CLUSTERS</i>	
C1	Contexto Financeiro
C2	Gestão & Liderança
C3	Contexto Político-Legal
C4	Contexto Tecnológico
C5	Recursos Humanos
C6	Envolvente

Tabela 6: *Clusters* – Identificados na Primeira Sessão de Grupo

A *Tabela 7*, que diz respeito à matriz inicial, surge do diálogo e da discussão do painel de decisores, onde teve lugar o debate sobre a influência que os *clusters* que estão à esquerda (linhas) exercem sobre os *clusters* que se situam na parte superior da matriz (colunas). Uma vez que cada *cluster* não exerce influência sobre si próprio, a diagonal principal da matriz foi previamente preenchida com 0.0. Ao observarmos a *Tabela 7*, podemos concluir que todos os *clusters* exercem alguma influência sobre os restantes, sendo que o *cluster Gestão & Liderança* (C2) é aquele que apresenta ter uma menor influência (*i.e.*, 1.0) sobre os *clusters Contexto Político-Legal* (C3) e *Envolvente* (C6). Por outro lado, os *clusters* que apresentam ter uma maior influência sobre outros são o *Contexto Tecnológico* (C4) – sobre os *Recursos Humanos* (C5) e *Envolvente* (C6) (*i.e.*, 4.0) – e os *Recursos Humanos* (C5) sobre o *Contexto Financeiro* (C1) (*i.e.*, 14.0). Sendo o *cluster Contexto Tecnológico* (C4) aquele que exerce uma maior influência sobre dois outros *clusters*, concluímos que é este o *cluster* – *Contexto Tecnológico* (C4) – que, no geral, apresenta uma maior influência sobre os restantes, com um somatório de 15.0. Posteriormente, segue-se a *Envolvente* (C6), com um somatório de 14.5, seguida do *Contexto Financeiro* (13.5), dos *Recursos Humanos* (13.0) e terminando com os *clusters Gestão & Liderança* (C2) e *Contexto Político-Legal* (C3), ambos com um somatório de influências de 12.5. Ao fazer uma análise da matriz pelas colunas, verificamos o grau de influência que é exercido sobre um determinado *cluster* pelos outros. Assim sendo, percebemos que o *Contexto Político-Legal* (C3) é o menos influenciado (9.5), seguido da *Envolvente* (12.0). Ambos os *clusters Contexto Financeiro* e *Gestão & Liderança* apresentam um somatório de 14.5, seguidos do *Contexto Tecnológico* (15.0) e dos *Recursos Humanos*, sendo este último o *cluster* mais influenciado, com 15.5.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUM
C1	0.0	3.0	2.0	3.5	3.0	2.0	13.5
C2	3.5	0.0	1.0	3.5	3.5	1.0	12.5
C3	2.5	2.5	0.0	2.0	2.0	3.5	12.5
C4	1.5	2.5	3.0	0.0	4.0	4.0	15.0
C5	4.0	3.0	1.5	3.0	0.0	1.5	13.0
C6	3.0	3.5	2.0	3.0	3.0	0.0	14.5
Sum	14.5	14.5	9.5	15.0	15.5	12.0	

Tabela 7: Matriz Inicial – Clusters

Estes somatórios são um passo essencial (ver *secção 3.2.1*) para o cálculo da matriz inicial normalizada (*Tabela 8*). É a partir desta matriz, juntamente com a matriz identidade (*Tabela 9*), que é possível chegar à matriz final. As *Tabelas 9, 10 e 11* mostram os passos intermédios necessários para esse cálculo.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0.0000	0.1935	0.1290	0.2258	0.1935	0.1290
C2	0.2258	0.0000	0.0645	0.2258	0.2258	0.0645
C3	0.1613	0.1613	0.0000	0.1290	0.1290	0.2258
C4	0.0968	0.1613	0.1935	0.0000	0.2581	0.2581
C5	0.2581	0.1935	0.0968	0.1935	0.0000	0.0968
C6	0.1935	0.2258	0.1290	0.1935	0.1935	0.0000

Tabela 8: Matriz Inicial Normalizada (D) – Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C4	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
C5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
C6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabela 9: Matriz Identidade (I) – Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1.0000	-0.1935	-0.1290	-0.2258	-0.1935	-0.1290
C2	-0.2258	1.0000	-0.0645	-0.2258	-0.2258	-0.0645
C3	-0.1613	-0.1613	1.0000	-0.1290	-0.1290	-0.2258
C4	-0.0968	-0.1613	-0.1935	1.0000	-0.2581	-0.2581
C5	-0.2581	-0.1935	-0.0968	-0.1935	1.0000	-0.0968
C6	-0.1935	-0.2258	-0.1290	-0.1935	-0.1935	1.0000

Tabela 10: Matriz (I – D) – Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	2.0876	1.2428	0.8643	1.3176	1.3324	1.0137
C2	1.2064	2.0124	0.7687	1.2501	1.2851	0.9060
C3	1.1578	1.1527	1.7000	1.1731	1.2052	1.0270
C4	1.2864	1.3235	0.9810	2.2335	1.4817	1.1927
C5	1.2609	1.2070	0.8140	1.2599	2.1318	0.9558
C6	1.3189	1.3335	0.9076	1.3648	1.4030	1.9491

Tabela 11: Matriz $(I - D)^{-1} - Clusters$

Após o cálculo da matriz final (*Tabela 12*), tal como na matriz inicial, procedemos ao cálculo dos somatórios, onde R representa o valor total que um *cluster* exerce sobre os restantes, direta e indiretamente, assim como o valor total que o próprio *cluster* exerce sobre si mesmo. Por outro lado, C indica o valor total exercido sobre um *cluster* pelos restantes e pelo próprio, direta ou indiretamente. A *Tabela 13* contempla a soma e a subtração das duas variáveis. Deste modo, $R+C$ indica o total de efeitos dados e recebidos pelo *cluster* em causa. Ou seja, quanto maior o valor de $R+C$, mais importante esse *cluster* será. Neste caso, o *cluster* mais importante neste sistema é o *Contexto Tecnológico* (*i.e.*, 15.0979), sendo aquele que revela possuir determinantes mais relevantes para a Indústria 4.0, seguido dos *clusters Recursos Humanos* e *Contexto Financeiro* (*i.e.*, 14.4685 e 14.1764, respetivamente). De seguida, surgem os *clusters Gestão & Liderança* e *Envolvente* (*i.e.*, 13.7006 e 13.3213, respetivamente), terminando com o *cluster* menos importante neste sistema (*i.e.*, *Contexto Político-Legal*, com 11.4513).

Já $R-C$ revela o grau de influência e relação que um determinado *cluster* exerce sobre o modelo, podendo ser divididos em dois grupos (*i.e.*, recetores e dadores), caso $R-C$ dê negativo ou positivo, respetivamente. No presente sistema, podemos verificar que a grande maioria dos *clusters* são recetores. Tal significa que a sua relação com os restantes *clusters* é baixa e são mais influenciados do que influenciam os demais. O *Contexto Político-Legal* e a *Envolvente* que são dadores (*i.e.*, possuem uma elevada relação com os restantes *clusters*, influenciando-os). É de salientar que o *Contexto Tecnológico* influencia (*i.e.*, 7.4988) praticamente o mesmo do que é influenciado (*i.e.*, 7.5991), sendo um dos motivos que o torna tão importante neste sistema.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	R
C1	1.0876	1.2428	0.8643	1.3176	1.3324	1.0137	6.8584
C2	1.2064	1.0124	0.7687	1.2501	1.2851	0.9060	6.4288
C3	1.1578	1.1527	0.7000	1.1731	1.2052	1.0270	6.4157
C4	1.2864	1.3235	0.9810	1.2335	1.4817	1.1927	7.4988
C5	1.2609	1.2070	0.8140	1.2599	1.1318	0.9558	6.6294
C6	1.3189	1.3335	0.9076	1.3648	1.4030	0.9491	7.2769
C	7.3180	7.2718	5.0356	7.5991	7.8391	6.0444	

Tabela 12: Matriz Final – Clusters

	R	C	R+C	R-C
C1	6.8584	7.3180	14.1764	-0.4596
C2	6.4288	7.2718	13.7006	-0.8431
C3	6.4157	5.0356	11.4513	1.3801
C4	7.4988	7.5991	15.0979	-0.1003
C5	6.6294	7.8391	14.4685	-1.2097
C6	7.2769	6.0444	13.3213	1.2325

Tabela 13: R e C dos Clusters

De modo a possibilitar uma compreensão da leitura e da análise da relação entre os *clusters* mais facilitada, foi calculado o valor α (*i.e.*, 1.1419), o qual representa a média de todos os elementos da matriz T e que tem como objetivo eliminar os elementos que têm um menor efeito nesta mesma matriz. Deste modo, surgem na *Tabela 12* valores a verde e a vermelho, representando os valores acima e abaixo do valor α , respetivamente. Com o somatório (R e C) e com o valor α definidos, foi então possível procedermos a uma análise mais pormenorizada da matriz final. Assim sendo, a matriz T indica-nos que o *Contexto Tecnológico* é o *cluster* que mais influencia significativamente os restantes *clusters*, apenas não exercendo grande influência sobre o *Contexto Político-Legal*. Por outro lado, parece evidente que a *Gestão & Liderança* e o *Contexto Político-Legal* são os *clusters* que apresentam uma menor influência sobre os restantes. Contrariamente, o *Contexto Político-Legal* não é influenciado positivamente por nenhum *cluster*, tal como a *Envolvente*, que é apenas influenciada positivamente pelo *Contexto Tecnológico*. No que diz respeito ao *cluster* mais influenciado do presente modelo, é o *Contexto Tecnológico* que ocupa esse lugar, sendo que todos os *clusters* exercem uma influência positiva sobre si, incluindo o próprio. Contudo, são os *Recursos Humanos* o *cluster* que mais influência sofre no modelo.

Através da matriz final (Tabela 12), é ainda possível criar um diagrama de causa-efeito (Figura 10), tendo, desta forma, uma melhor percepção da importância e das influências relevantes do modelo, realçando os números a verde. Considerando que tudo acima de zero no eixo $R-C$ são causas (*i.e.*, dadores), tudo abaixo de zero são efeitos (*i.e.*, recetores) e que, quanto mais à direita do eixo $R+C$, mais importante será esse *cluster*, a Figura 10 reforça a ideia, anteriormente mencionada, que o *Contexto Tecnológico* (C4) é o mais importante, dado que se situa mais à direita, enquanto o *Contexto Político-Legal* (C3) é o menos importante, situando-se mais à esquerda. Ao analisarmos o $R-C$, foi possível verificar que o *Contexto Político-Legal* e a *Envolvente* (C6) são os dadores neste sistema, sendo que tal também é passível de verificar no diagrama da Figura 10, uma vez que são os únicos *clusters* acima de zero no eixo $R-C$ (*i.e.*, são aqueles capazes de influenciar mais os restantes do que o contrário).

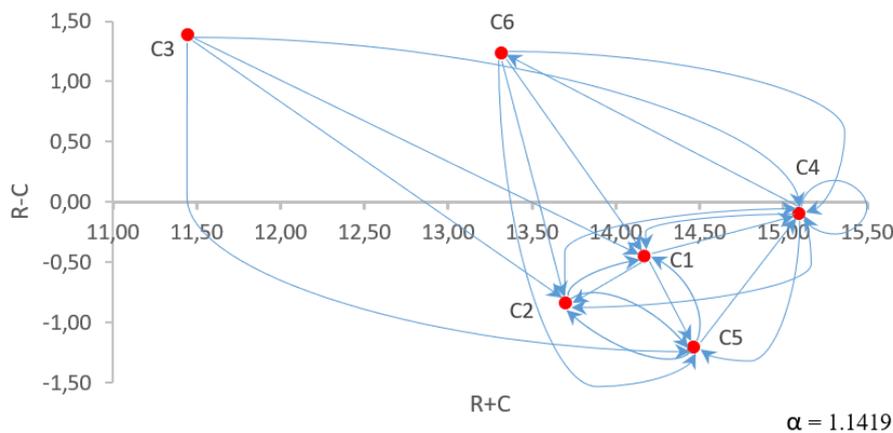
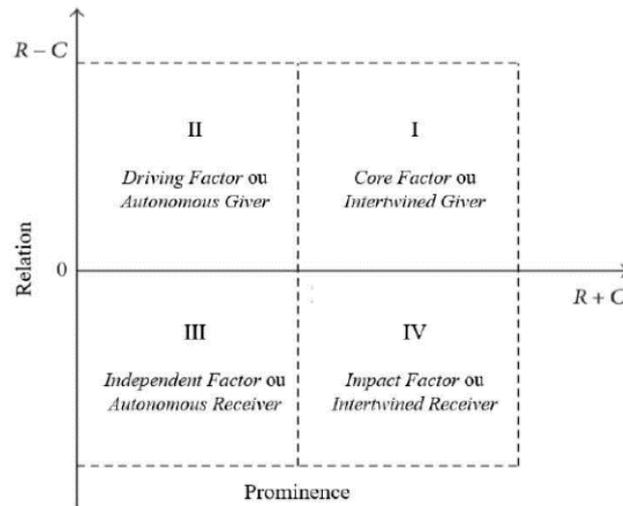


Figura 10: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Clusters

Com base nas Figuras 10 e 11, verificamos que o *Contexto Político-Legal* apresenta uma proeminência muito baixa, apesar da sua elevada relação com os restantes *clusters*. Assim sendo, pode ser identificado como *driving factor* ou *autonomous factor*, conforme a Figura 11. A *Envolvente*, para além de apresentar uma relação igualmente bastante elevada, também apresenta uma proeminência relativamente alta, podendo ser considerada *core factor* ou *interwined factor*. Entre os efeitos/recetores, o *Contexto Tecnológico* é aquele que mostra uma relação mais baixa com os restantes *clusters*, mas uma proeminência elevada, sendo considerado, por isso, um *impact factor* ou *interwined*

receiver. Os restantes *clusters* apresentam também uma baixa relação e proeminência, sendo assim considerados como *independent factor* ou *autonomous receiver*.



Fonte: Si, You, Liou, & Zhang (2018,adp.).

Figura 11: Quatro Quadrantes do Diagrama de Relação de Causa-Efeito

O processo adotado para a análise entre *clusters* foi espelhado para a análise individual de cada *cluster*, de modo a tornar possível a análise das relações de causa-efeito entre os determinantes que constituem cada um dos seis *clusters* previamente identificados. Dada a dimensão dos *clusters*, a escolha dos determinantes foi feita com recurso a técnicas nominais de grupo e *multi-voting*. De forma a obtermos uma análise mais coerente, os *clusters* serão analisados por ordem decrescente do grau de importância para o modelo (*i.e.*, $R+C$).

No que diz respeito ao *Contexto Tecnológico*, o *cluster* mais importante para o modelo, os seguintes subcritérios/determinantes (SC) foram os identificados pelos decisores como sendo aqueles que possuem uma maior relevância para este *cluster* em questão: *infraestruturas tecnológicas* (SC82); *inserção num ecossistema de inovação* (SC83); *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (CS94); *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101); *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105); *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108); *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111), como mostra a Tabela 14.

Critérios Seleccionados	
SC82	Infraestruturas tecnológicas
SC83	Inserção num ecossistema de inovação
SC94	Infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização
SC101	Interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia
SC105	Riscos associados à falta de cibersegurança
SC108	Desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio
SC111	Necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT

Tabela 14: Critérios Seleccionados dentro do Cluster Contexto Tecnológico

Segundo a análise da *Tabela 15* (que surge diretamente da discussão entre o painel de decisores), verificamos que uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94) é o determinante que maior influência tem no modelo, com um somatório de 19.5, seguida da *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111) (*i.e.*, 18.5), da *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) (*i.e.*, 16.5), da *inserção num ecossistema de inovação* (SC83) (*i.e.*, 16.0), dos *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105) (*i.e.*, 15.5) e das *infraestruturas tecnológicas* (SC82) (*i.e.*, 14.0). Por último, surge o *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108), com um somatório de 2.5. Por outro lado, a *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) é o determinante mais influenciado pelos restantes SCs, num total de 18.0. De seguida, surgem as *infraestruturas tecnológicas* (SC82) e a *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111), com um somatório de 16.5, seguidas do *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108) (*i.e.*, 15.5) e de uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94) (*i.e.*, 15.0). Por fim, surgem a *inserção num ecossistema de inovação* (SC83) e os *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105), com um somatório de 10.5 cada, revelando-se serem os determinantes menos influenciados pelos outros SCs.

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111	SUM
SC82	0.0	2.0	4.0	2.0	1.0	2.0	3.0	14.0
SC83	2.5	0.0	2.0	3.0	2.0	3.5	3.0	16.0
SC94	4.0	3.5	0.0	3.5	2.0	3.5	3.0	19.5
SC101	3.5	1.0	2.0	0.0	2.5	3.5	4.0	16.5
SC105	3.0	2.5	3.0	3.5	0.0	0.0	3.5	15.5
SC108	0.0	0.0	0.5	2.0	0.0	0.0	0.0	2.5
SC111	3.5	1.5	3.5	4.0	3.0	3.0	0.0	18.5
SUM	16.5	10.5	15.0	18.0	10.5	15.5	16.5	

Tabela 15: Matriz Inicial – Contexto Tecnológico

As tabelas intermédias necessárias para o cálculo da matriz final encontram-se no *Apêndice I*. Após o cálculo da matriz final (*Tabela 16*), obtivemos o $R+C$, que nos indica que a *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111) é o determinante que apresenta uma maior importância no modelo (*i.e.*, 6.9219), imediatamente seguida de uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94), da *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) e *infraestruturas tecnológicas* (SC82). Logo atrás, seguem-se os *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105) e a *inserção num ecossistema de inovação* (SC83). Por fim, o determinante com menor importância no sistema é o *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108) (*i.e.*, 3.7475). No que concerne aos dadores/recetores ($R-C$), verificamos que a *inserção num ecossistema de inovação* (SC83), uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94), os *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105) e a *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111) são dadores (*i.e.*, $R-C$ positivo). Por outro lado, as *infraestruturas tecnológicas* (SC82), a *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) e o *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108) são recetores, apresentando um $R-C$ negativo. É de salientar que, ao contrário dos restantes *clusters*, o *Contexto Tecnológico* possui mais dadores do que recetores. Ou seja, possui mais critérios com capacidade de influenciar do que aquilo que são influenciados.

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111	R
SC82	0.3669	0.3318	0.5089	0.4826	0.2938	0.4533	0.4914	2.9287
SC83	0.4903	0.2402	0.4407	0.5400	0.3447	0.5269	0.5067	3.0895
SC94	0.6326	0.4500	0.4246	0.6445	0.3980	0.6077	0.5894	3.7468
SC101	0.5474	0.3032	0.4615	0.4230	0.3753	0.5351	0.5611	3.2065
SC105	0.5780	0.3994	0.5394	0.6157	0.2960	0.4294	0.5923	3.4501
SC108	0.0724	0.0426	0.0839	0.1625	0.0487	0.0705	0.0727	0.5532
SC111	0.6090	0.3659	0.5715	0.6554	0.4345	0.5715	0.4503	3.6582
C	3.2966	2.1332	3.0304	3.5237	2.1910	3.1944	3.2638	

Tabela 16: Matriz Final – Contexto Tecnológico

Ao obtermos o valor de α (i.e., 0.4211), conseguimos distinguir quais as influências mais significativas e que são apresentadas a verde na *Tabela 16*. Deste modo, é possível a construção do diagrama de causa-efeito, conforme ilustra a *Figura 12*, onde identificamos que uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94) é o determinante que apresenta ter uma influência sobre todos os restantes, com a exceção dos *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105), ao passo que o *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108) não exerce influência sobre nenhum dos restantes determinantes. Verificamos, ainda, que a *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) é o determinante mais influenciado pelos restantes e que a *inserção num ecossistema de inovação* apenas é influenciada significativamente por uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização*, sendo, por isso, o determinante que sofre menos influência.

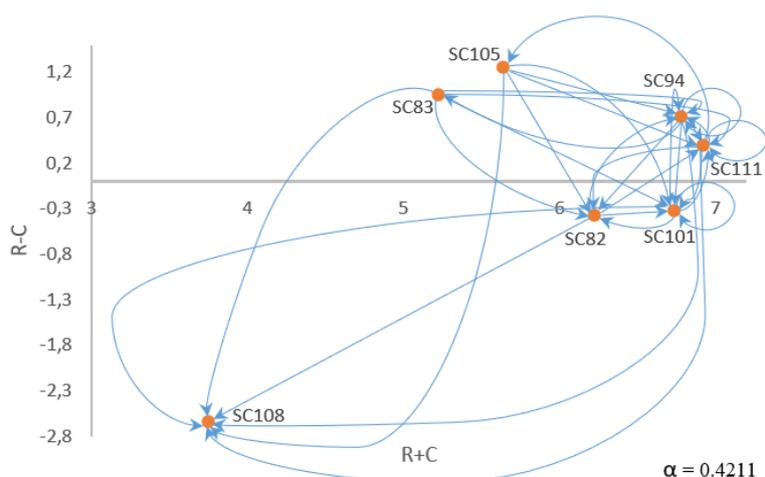


Figura 12: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Contexto Tecnológico

Compreendemos, deste modo, que uma *infraestrutura tecnológica capaz de suportar a digitalização* (SC94) e a *necessidade de standardização dos protocolos de comunicação ao nível da IoT* (SC111) apresentam uma maior proeminência e relação no modelo, sendo consideradas *core factors*. Da mesma forma, a *inserção num ecossistema de inovação* (SC83) e os *riscos associados à falta de cibersegurança* (SC105) apresentam ter uma elevada relação com os restantes determinantes, mas uma proeminência mais baixa, sendo por isso *driving factors*. Os restantes SCs apresentam uma baixa relação, destacando-se o *desenvolvimento de algoritmos que transcrevam lógicas de negócio* (SC108), que possui uma baixa proeminência e é, por isso, considerado um *independent factor*, enquanto que as *infraestruturas tecnológicas* (SC82) e a *interoperabilidade crescente de sistemas de tecnologia* (SC101) mostram uma elevada proeminência, sendo, assim, considerados *impact factors*.

Prosseguindo para o *cluster Recursos Humanos*, os determinantes com maior relevância apontados pelos decisores estão apresentados na *Tabela 17*, sendo estes: a *reconversão de trabalhadores e adaptação de competência a novas necessidades* (SC129); a *dificuldade de acesso a RH novos com skills adequadas à transformação digital* (SC130); o *sistema educacional/formação dos RH* (SC138); a *literacia digital da população* (SC139); e, por último, a *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para a utilização de tecnologias digitais* (SC140).

Critérios Seleccionados	
SC129	Reconversão de trabalhadores e adaptação de competências a novas necessidades
SC130	Dificuldade de acesso a RH novos com <i>skills</i> adequadas à transformação digital
SC138	Sistema educacional/formação dos RH
SC139	Literacia digital da população
SC140	Nova geração de recém-licenciados com forte apetência para tecnologias digitais

Tabela 17: Critérios Seleccionados dentro do Cluster Recursos Humanos

Através do diálogo entre os decisores, verificamos que o *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) é o determinante que maior influência exerce sobre os restantes, com um total de 16.0. Por seu turno, a *reconversão de trabalhadores e adaptação de competência a novas necessidades* (SC129) e a *dificuldade de acesso a RH novos com skills adequadas à transformação digital* (SC130) são os critérios que menos influenciam os demais, com um somatório de apenas 10.5 cada. O *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) é, também, o determinante que mais influência

recebe dos restantes critérios, em simultâneo com a *literacia digital da população* (i.e., 15.0). No entanto, a *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para utilização de tecnologias digitais* é o critério que menos influência recebe (i.e., 6.5) (Tabela 18).

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC140	SUM
SC129	0.0	3.5	3.5	3.5	0.0	10.5
SC130	2.5	0.0	4.0	4.0	0.0	10.5
SC138	4.0	4.0	0.0	4.0	4.0	16.0
SC139	3.5	2.0	4.0	0.0	2.0	11.5
SC140	3.0	3.0	3.5	3.5	0.0	13.0
SUM	13.0	12.5	15.0	15.0	6.0	

Tabela 18: Matriz Inicial – Recursos Humanos

Elaborados os cálculos intermédios (ver *Apêndice II*) e chegando à matriz final (ver *Tabela 19*), é possível verificar que, através do $R+C$, o determinante mais importante para o modelo neste *cluster* é o *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) (i.e., 8.0952), seguido da *literacia digital da população* (SC139), da *reconversão de trabalhadores e adaptação de competências a novas necessidades* (SC129), da *dificuldade de acesso a RH novos com skills adequadas à transformação digital* (SC130) e, por último, da *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para utilização de tecnologias digitais* (SC140), com 5.3724. Já o $R-C$ indica-nos que o *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) e a *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para utilização de tecnologias digitais* (SC140) são os únicos dadores, apresentando valores positivos, enquanto que os restantes (i.e., *reconversão de trabalhadores e adaptação de competência a novas necessidades, dificuldade de acesso a RH novos com skills adequadas à transformação digital* e *literacia digital da população*) são recetores, apresentando um $R-C$ negativo.

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC140	R
SC129	0.4996	0.6561	0.7367	0.7367	0.2762	2.9052
SC130	0.6442	0.4819	0.7656	0.7656	0.2871	2.9444
SC138	0.9088	0.8776	0.7910	0.9910	0.5716	4.1401
SC139	0.7309	0.6398	0.8110	0.6110	0.4041	3.1966
SC140	0.7607	0.7328	0.8509	0.8509	0.3191	3.5142
C	3.5442	3.3881	3.9551	3.9551	1.8581	

Tabela 19: Matriz Final – Recursos Humanos

Considerando o valor médio (*i.e.*, $\alpha = 0.6680$), conseguimos distinguir quais as influências que, de facto, apresentam uma maior relevância em relação às restantes e, assim, formar o diagrama de relação causa-efeito (*Figura 13*). Desde modo, percebemos que o *sistema educacional/formação dos RH (SC138)* e a *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para utilização de tecnologias digitais (SC140)* são os determinantes do *cluster* em análise que exercem maior influência no modelo. Já os restantes apenas influenciam dois SCs.

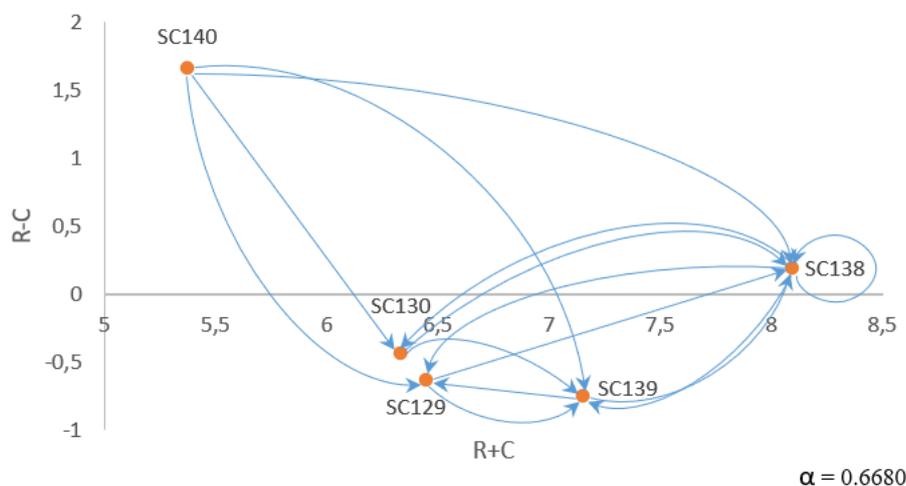


Figura 13: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Recursos Humanos

Deste modo, os critérios com baixa proeminência dentro deste *cluster* (*i.e.*, *reconversão de trabalhadores e adaptação de competência a novas necessidades (SC129)* e *dificuldade de acesso a RH novos com skills adequadas à transformação digital (SC130)*), são fatores com baixa relação, sendo, por isso, considerados *independent factors*. Contudo, o critério que mais se destaca pela sua baixa proeminência

é também aquele que se destaca pela sua elevada relação (*i.e.*, *nova geração de recém-licenciados com forte apetência para utilização de tecnologias digitais* (SC140)), sendo considerado um *driving factor*. O *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) e a *literacia digital da população* (SC139) demonstram uma elevada proeminência, com o *sistema educacional/formação dos RH* (SC138) a destacar-se. Contudo, o primeiro evidencia uma alta relação, sendo, por isso, um *core factor*, enquanto que o segundo (*i.e.*, *literacia digital da população* (SC139)) apresenta uma baixa relação sendo definido como *impact factor*.

No que diz respeito ao *cluster Contexto Financeiro*, foram selecionados os seguintes determinantes: *capacidade de financiamento e investimento* (SC10); *acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações* (SC18); *custos tecnológicos* (SC20); *turnover de uma empresa, principalmente na área digital* (SC21); e *RH com competências tecnológicas escassas e extremamente caras* (SC22) (Tabela 20).

Critérios Selecionados	
SC10	Capacidade de financiamento e investimento
SC18	Acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações
SC20	Custos tecnológicos
SC21	Turnover de uma empresa, principalmente na área digital
SC22	RH com competências tecnológicas escassas e extremamente caras

Tabela 20: Critérios Selecionados dentro do Cluster Contexto Financeiro

Através da análise da *Tabela 21*, detetamos facilmente que o *turnover de uma empresa, principalmente na área digital* (SC21) é o determinante que mais influência exerce sobre os restantes, com um *score* de 14.5, enquanto que o *acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações* (SC18) e os *custos tecnológicos* (SC20) apenas influenciam em 7.5. Assim sendo, é o *acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações* (SC18) aquele que sofre mais influência sobre os demais (*i.e.*, 14.5), ao passo que a *capacidade de financiamento e investimento* (SC10) é o critério que sofre menor influência (*i.e.*, 7.0).

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22	SUM
SC10	0.0	4.0	4.0	3.5	2.0	13.5
SC18	1.0	0.0	0.0	3.5	3.0	7.5
SC20	1.0	3.5	0.0	0.0	3.0	7.5
SC21	4.0	3.5	3.0	0.0	4.0	14.5
SC22	1.0	3.5	2.0	3.5	0.0	10.0
SUM	7.0	14.5	9.0	10.5	12.0	

Tabela 21: Matriz Inicial – Contexto Financeiro

Ao analisarmos a *Tabela 22* e o $R + C$ (ver *Apêndice III*), podemos afirmar que é o *turnover de uma empresa, principalmente na área digital (SC21)* o determinante mais importante deste *cluster* no sistema (*i.e.*, 6.0851), seguido do *acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações (SC18)*, dos *RH com competências tecnológicas escassas e extremamente caras (SC22)*, da *capacidade de financiamento e investimento (SC10)* e, por último, dos *custos tecnológicos (SC20)* (*i.e.*, 3.8196). Através do $R-C$, constatamos que a *capacidade de financiamento e investimento (SC10)* e o *turnover de (ver Apêndice III) uma empresa, principalmente na área digital (SC21)* são dadores, com o primeiro a sobressair. Em contrapartida, o *acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações (SC18)*, os *custos tecnológicos (SC20)* e os *RH com competências tecnológicas escassas e extremamente caras (SC22)* são recetores, apresentando um $R-C$ negativo.

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22	R
SC10	0.3363	0.8433	0.6041	0.6887	0.6738	3.1462
SC18	0.3032	0.4105	0.2706	0.5439	0.5397	2.0680
SC20	0.2354	0.5402	0.1928	0.3017	0.4742	1.7443
SC21	0.5840	0.8736	0.5931	0.5476	0.8109	3.4092
SC22	0.3388	0.6840	0.4147	0.5940	0.4379	2.4693
C	1.7977	3.3516	2.0753	2.6759	2.9365	

Tabela 22: Matriz Final – Contexto Financeiro

Tendo em conta o $\alpha = 0.5135$, identificamos que o *turnover de uma empresa, principalmente na área digital (SC21)* é o determinante relacionado com o *Contexto Financeiro* que mais critérios influencia. Simultaneamente, é também o determinante que recebe mais influência relevante dos demais, juntamente com o *acesso às tecnologias*

pouco acessível à maioria das organizações (SC18). Pelo contrário, a capacidade de financiamento e investimento (SC10) apenas é influenciada de forma relevante pelo turnover de uma empresa, principalmente na área digital (SC21) (ver Figura 14).

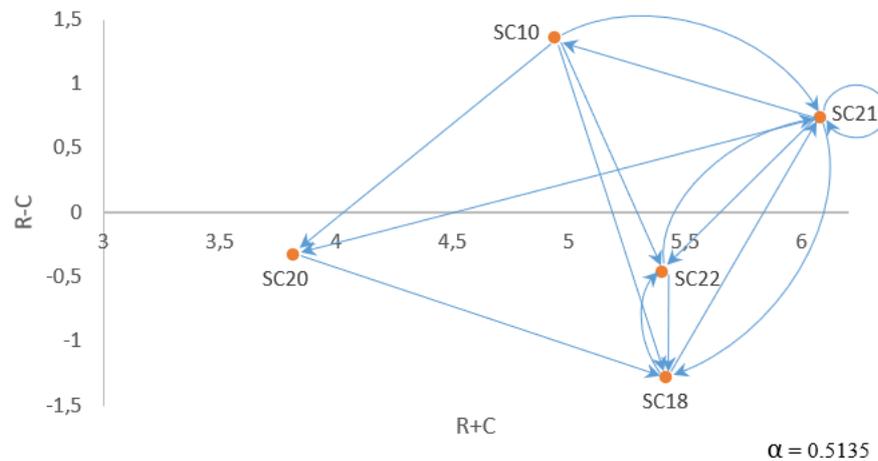


Figura 14: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Contexto Financeiro

Assim sendo, o acesso às tecnologias pouco acessível à maioria das organizações (SC18) e os RH com competências tecnológicas escassas e extremamente caras (SC22) são os determinantes financeiros que apresentam possuir uma elevada proeminência, mas possuem também uma baixa relação com os demais (*i.e.*, *impact factors*). Já o turnover de uma empresa, principalmente na área digital (SC21), apesar de também apresentar uma elevada proeminência, sendo na verdade o determinante mais proeminente deste cluster, revela igualmente uma elevada relação (*i.e.*, *core factor*). Contrariamente, os custos tecnológicos (SC20) indicam uma proeminência e relação baixas (*i.e.*, *independent factors*), enquanto que a capacidade de financiamento e investimento (SC10), ainda que apresente uma baixa proeminência, verifica uma elevada relação com os demais determinantes deste cluster (*i.e.*, *driving factor*).

No que concerne aos determinantes apontados pelos decisores como sendo os mais relevantes para o cluster *Gestão & Liderança*, os mesmos constam na Tabela 23.

Critérios Seleccionados	
SC29	Competência de gestão/liderança
SC31	Grau de integração no ecossistema de inovação
SC32	Capacitação e orientação estratégica da gestão de topo
SC48	Adoção de ferramentas ágeis na implementação da transformação digital
SC49	Definição clara e pragmática do plano de implementação de estratégia de digitalização
SC50	Cultura organizacional
SC53	Parcerias/colaborações a montante e a jusante

Tabela 23: Critérios Seleccionados dentro do Cluster Gestão & Liderança

Relativamente ao *cluster* em questão, a *competência de gestão/liderança* (SC29) é o determinante que possui uma maior influência no modelo (*i.e.*, 23.0). Ao invés, é a *adoção de ferramentas ágeis na implementação da transformação digital* (SC48) aquele SC que apresenta uma menor influência, com apenas 10.5. Por outro lado, analisamos que as *parcerias/colaborações a montante e a jusante* (SC53) sofrem uma grande influência por parte dos demais determinantes (*i.e.*, 21.5), enquanto que a *competência de gestão/liderança* (SC29) volta a ser a que menos influência sofre, com um *score* de apenas 10.5 (Tabela 24).

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53	SUM
SC29	0.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	23.0
SC31	1.0	0.0	1.0	3.0	4.0	2.0	4.0	15.0
SC32	4.0	2.0	0.0	3.0	4.0	3.0	4.0	20.0
SC48	1.5	1.5	0.0	0.0	2.0	2.5	3.0	10.5
SC49	1.0	3.0	4.0	4.0	0.0	3.0	4.0	19.0
SC50	2.0	1.0	1.0	3.0	3.0	0.0	2.5	12.5
SC53	1.0	4.0	2.0	3.0	2.0	2.5	0.0	14.5
SUM	10.5	15.5	12.0	19.0	19.0	17.0	21.5	

Tabela 24: Matriz Inicial – Gestão & Liderança

Ao analisarmos a Tabela 25, verificamos que a *definição clara e pragmática de um plano de implementação de estratégia de digitalização* (SC49) é o fator de *Gestão & Liderança* que se destaca no que diz respeito ao seu grau de importância no modelo, com um *R+C* de 5.0688 (ver Apêndice IV). Seguem-se a *competência de gestão/liderança* (SC29); o *grau de integração no ecossistema de inovação* (SC31); a *capacitação e orientação da gestão de topo* (SC32); a *adoção de ferramentas ágeis na implementação*

da transformação digital (SC48); a cultura organizacional (SC50); e as parcerias/colaborações a montante e a jusante (SC53)), que apresentam ter um grau de importância relativamente semelhante, com um $R + C$ aproximadamente de 4 (ver Apêndice IV). Relativamente ao $R - C$ (ver Apêndice IV), apenas a competência de gestão/liderança (SC29), a capacitação e orientação estratégica da gestão de topo (SC32) e a definição clara e pragmática de um plano de implementação de estratégia de digitalização (SC49) são dadores, visto terem um $R - C$ positivo. Os restantes SCs são recetores, visto apresentarem um $R - C$ negativo.

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53	R
SC29	0.2092	0.4628	0.3900	0.4951	0.5139	0.4837	0.5651	3.1199
SC31	0.1711	0.2063	0.1978	0.3650	0.3807	0.2954	0.4199	2.0363
SC32	0.3375	0.3653	0.2206	0.4559	0.4740	0.4178	0.5218	2.7928
SC48	0.1521	0.2097	0.1159	0.1780	0.2453	0.2532	0.3069	1.4613
SC49	0.2151	0.3663	0.3370	0.4580	0.2919	0.3843	0.4859	2.5386
SC50	0.1938	0.2212	0.1787	0.3306	0.3159	0.1893	0.3306	1.7601
SC53	0.1713	0.3449	0.2213	0.3541	0.3084	0.3045	0.2612	1.9657
C	1.4502	2.1767	1.6613	2.6367	2.5302	2.3282	2.8915	

Tabela 25: Matriz Final – Gestão & Liderança

Atendendo ao valor médio da matriz ($\alpha = 0.3199$), podemos afirmar que a competência gestão/liderança (SC29) e a capacitação e orientação estratégica da gestão de topo (SC32) são os determinantes do cluster em análise que mais critérios influenciam neste sistema. Já a adoção de ferramentas ágeis na implementação da transformação digital (SC48) não parecem exercer uma influência significativa em nenhum dos restantes determinantes, sendo, também, o fator mais influenciado do modelo. Em contrapartida, a competência de gestão/liderança (SC29) apenas é influenciada pela capacitação e orientação estratégica da gestão de topo (SC32). A Figura 15 contempla as influências significativas mencionadas.

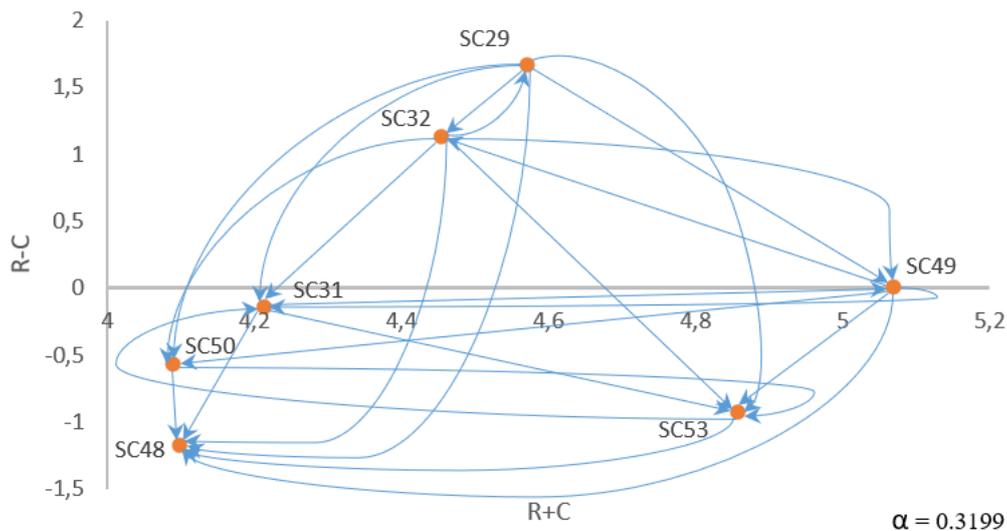


Figura 15: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Gestão & Liderança

Desta forma, podemos confirmar que o grau de integração num ecossistema de inovação (SC31), a adoção de ferramentas ágeis na implementação da transformação digital (SC48) e a cultura organizacional (SC50) se caracterizam por apresentar uma baixa proeminência e relação com os demais determinantes (*i.e.*, *independent factors*). Ainda que também possua uma baixa relação com os demais, o determinante parcerias/colaborações a montante e a jusante (SC53) revela possuir uma elevada proeminência (*i.e.*, *impact factor*). A mesma situação acontece com a definição clara e pragmática de implementação de estratégia de digitalização (SC49), que possui uma elevada proeminência, mas apresenta uma relação mais elevada (*i.e.*, *core factor*). A competência de gestão/liderança (SC29) e a capacitação e orientação estratégica da gestão de topo (SC32) mostram uma elevada relação com os outros fatores da matriz, mas uma baixa proeminência (*i.e.*, *driving factors*).

Para o *cluster Envolvente* foram selecionados, por parte do painel de decisores, os critérios/determinantes evidenciados na Tabela 26.

Critérios Selecionados	
SC142	Proximidade de centros de saber
SC145	Grau de maturidade dentro de cada setor
SC146	Pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação
SC149	Capacidade setorial e potencial de clusterização
SC151	Conhecimento de exemplos de sucesso

Tabela 26: Critérios Selecionados dentro do Cluster Envolvente

Ao analisarmos a *Tabela 27*, verificamos que os decisores consideraram o fator *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146) como sendo o determinante que mais influência (*i.e.*, 14.0), mas também o mais influenciado (*i.e.*, 14.0) dentro do *cluster Envolvente*. Quanto ao *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151), este é o critério que menos influência apresenta ter no modelo (*i.e.*, 10.0). Por outro lado, o determinante que menos influência sofre dos restantes é a *proximidade de centros de saber* (SC142) (*i.e.*, 10.5).

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151	SUM
SC142	0.0	2.5	3.5	4.0	3.0	13.0
SC145	1.0	0.0	3.5	4.0	3.5	12.0
SC146	3.0	3.5	0.0	3.5	4.0	14.0
SC149	3.5	3.5	3.5	0.0	0.2	10.7
SC151	3.0	2.0	3.5	1.5	0.0	10.0
SUM	10.5	11.5	14.0	13.0	10.7	

Tabela 27: Matriz Inicial – Envolvente

A matriz final (*Tabela 28*) indica-nos o nível de importância e o nível de influência que os determinantes exercem no modelo. Através do $R+C$ (*ver Apêndice V*), verificamos que *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146) é o determinante mais importante, com 13.4595, imediatamente seguido da *capacidade setorial e potencial de clusterização* (SC149), da *proximidade de centros de saber* (SC142) e do *grau de maturidade dentro de cada setor* (SC145). Por último, o critério menos importante é o *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151), com apenas 10.5861. Já o $R-C$ (*ver Apêndice V*) assinala como sendo dadores a *proximidade a centros de saber* (SC142) e o *grau de maturidade dentro de cada setor* (SC145), sendo que os restantes determinantes (*i.e.*, *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146); *capacidade*

setorial e potencial de clusterização (SC149); e conhecimento de exemplos de sucesso (SC151)) são recetores.

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151	R
SC142	1.0174	1.2558	1.4728	1.4306	1.1875	6.3641
SC145	1.0160	1.0211	1.3765	1.3335	1.1353	5.8824
SC146	1.2443	1.3603	1.3426	1.4688	1.2970	6.7130
SC149	1.0838	1.1739	1.3157	1.0738	0.9312	5.5784
SC151	1.0046	1.0237	1.2389	1.0864	0.8407	5.1943
C	5.3661	5.8348	6.7464	6.3931	5.3917	

Tabela 28: Matriz Final – Envolvente

Considerando $\alpha = 1.1893$, obtivemos o diagrama de relação causa-efeito (Figura 16), sendo, deste modo, possível identificar as influências mais relevantes para o modelo. Assim sendo, observamos que *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146) é o determinante que influencia com relevância todos os outros e é, também, aquele que é influenciado por todos os demais. Por outro lado, a *capacidade setorial e potencial de clusterização* (SC149) e o *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151) apenas influenciam significativamente o facto de *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146). Já a *proximidade a centros de saber* (SC142) e o *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151) apenas são influenciados pelo *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146).

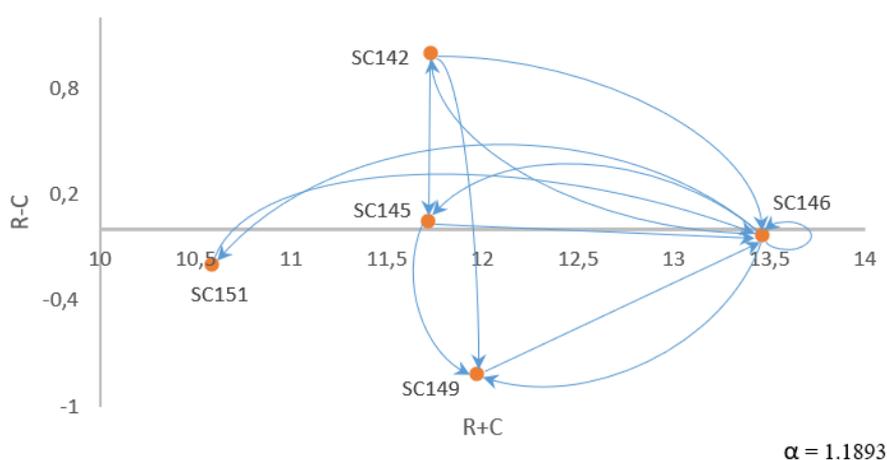


Figura 16: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Envolvente

Observando a *Figura 16*, é possível verificar que *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146), a *capacidade setorial e potencial de clusterização* (SC149) e o *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151) apresentam uma baixa relação com os restantes determinantes. Contudo, a *capacidade setorial e potencial de clusterização* (SC149) e o *conhecimento de exemplos de sucesso* (SC151) revelam uma baixa proeminência (*i.e., independent factors*), ao passo que *pertencer a redes de inovação que facilitem a disseminação* (SC146) apresenta uma elevada proeminência (*i.e., impact factor*). Já a *proximidade a centros de saber* (SC142) e o *grau de maturidade dentro de cada setor* (SC145) apresentam uma elevada relação com os demais, mas uma baixa proeminência, sendo, por isso, *driving factors*.

Por fim, temos o *cluster Contexto Político-Legal*, que conta com os seguintes determinantes: *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118); *barreiras regulamentares* (SC120); *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123); *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125); e, por último, *desenvolvimento de políticas sociais inclusivas para o apoio à transição digital industrial* (SC126) (*Tabela 29*).

Critérios Selecionados	
SC118	Políticas públicas nacionais e europeias
SC120	Barreiras regulamentares
SC123	Falta de regulamentação das matérias digitais
SC125	Dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento
SC126	Desenvolvimento de políticas sociais inclusivas para apoio à transição digital indust.

Tabela 29: Critérios Selecionados dentro do Cluster Contexto Político-Legal

A *Tabela 30* indica-nos que são as *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118) que mais influência exercem nos outros determinantes/critérios, somando 14.5, enquanto que a *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123) é o critério que menos influencia os restantes determinantes, com um somatório de apenas 8.5. Por outro lado, são também as *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118) que menos sofrem influência no modelo (*i.e., 9.0*), ao passo que o determinante que mais influência sofre dos demais é a *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125) (*i.e., 13.5*).

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126	SUM
SC118	0.0	3.5	4.0	3.5	3.5	14.5
SC120	2.0	0.0	0.0	3.5	3.5	9.0
SC123	1.0	4.0	0.0	2.5	1.0	8.5
SC125	3.5	2.0	3.0	0.0	3.0	11.5
SC126	2.5	3.0	3.0	4.0	0.0	12.5
SUM	9.0	12.5	10.0	13.5	11.0	

Tabela 30: Matriz Inicial – Contexto Político-Legal

A matriz final (*Tabela 31*) dá-nos a importância dos critérios através do $R+C$ (ver *Apêndice VI*) e a influência que estes têm (*i.e.*, dadores/recetores) através do $R-C$ (ver *Apêndice VI*). Deste modo, percebemos que o critério mais importante neste *cluster* é a *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125) (*i.e.*, 7.3771), seguido do *desenvolvimento de políticas sociais inclusivas para o apoio à transição digital industrial* (SC126), das *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118), das *barreiras regulamentares* (SC120) e, por último, da *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123) (*i.e.*, 5.4910). Verificamos ainda que as *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118) e o *desenvolvimento de políticas sociais inclusivas para o apoio à transição digital industrial* (SC126) são dadores, enquanto que os restantes (*i.e.*, *barreiras regulamentares* (SC120); *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123); e *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125)) são recetores.

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126	R
SC118	0.5638	0.9118	0.8095	0.9729	0.8547	4.1127
SC120	0.5354	0.4955	0.4436	0.7534	0.6767	2.9045
SC123	0.4164	0.6564	0.3432	0.6231	0.4805	2.5197
SC125	0.6724	0.7284	0.6786	0.6558	0.7275	3.4626
SC126	0.6520	0.8034	0.6964	0.9093	0.5875	3.6486
C	2.8400	3.5955	2.9713	3.9145	3.3268	

Tabela 31: Matriz Final – Contexto Político-Legal

Quando considerado $\alpha = 0.6659$ (*i.e.*, valor médio de todos os valores constituintes da matriz), somos capazes de perceber quais as influências que são significativas (apresentadas a verde) e quais as que não são (apresentadas a vermelho). Assim sendo, é possível formar um diagrama de causa-efeito com estas interações (*Figura 17*), onde constatamos que as *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118) e a *dificuldade na*

definição de linhas estratégicas e priorização de investimento (SC125) são os maiores influenciadores. Contudo, a *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123) não é influenciada por nenhum dos demais critérios. Em contrapartida, todos os determinantes são de uma forma ou outra influenciados da mesma maneira, destacando-se as *barreiras regulamentares* (SC120), a *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123) e a *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125).

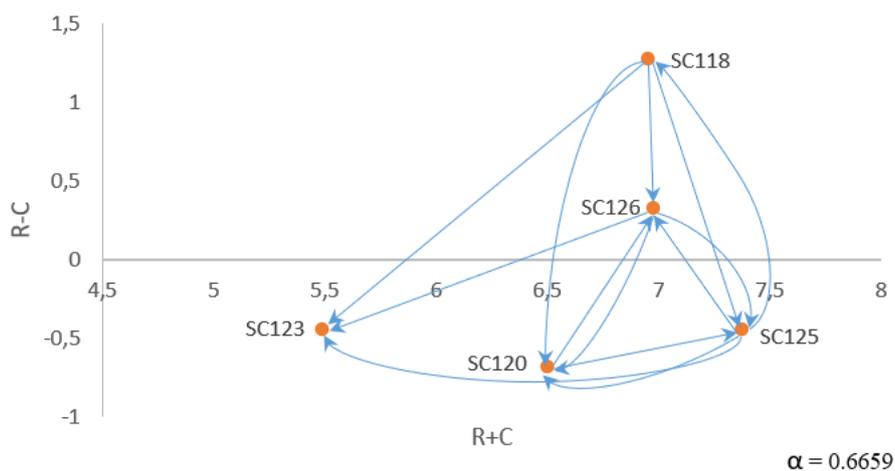


Figura 17: DEMATEL Cause-Effect Diagram – Contexto Político-Legal

Conseguimos perceber, deste modo, que as *políticas públicas nacionais e europeias* (SC118) e o *desenvolvimento de políticas sociais inclusivas para o apoio à transição digital industrial* (SC126) se destacam pela elevada relação com os demais determinantes, assim como pela elevada proeminência, sendo, por isso, *core factors*. Já os restantes determinantes são caracterizados pela baixa relação com outros critérios, sendo que a *falta de regulamentação das matérias digitais* (SC123) se destaca pela sua baixa proeminência (*i.e., independent factor*). Já as *barreiras regulamentares* (SC120) e a *dificuldade na definição de linhas estratégicas e priorização de investimento* (SC125) apresentam uma elevada proeminência (*i.e., impact factors*). No próximo ponto será apresentada a consolidação de resultados por parte de um especialista que não esteve presente em nenhuma das sessões de grupo, sendo por isso um elemento neutro ao processo. Serão igualmente formuladas algumas recomendações.

4.3. Consolidação do Estudo, Limitações e Recomendações

Com o intuito de consolidar os resultados e conferir robustez ao modelo concebido com o auxílio de um painel de decisores especialistas na temática, procedeu-se a uma última sessão, também ela *online*, mas desta vez com a diretora do Departamento de Inovação e Desenvolvimento do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ). O principal objetivo desta sessão consistiu na apresentação do sistema de análise criado à especialista que, por não ter participado em nenhuma das sessões de grupo, estaria apta para analisar e validar o sistema criado de forma imparcial. Importa ter presente que esta etapa vai ao encontro da *fase de recomendações*, como terceira e última fase do processo de construção de um modelo multicritério de apoio à tomada de decisão. Assim sendo, esta sessão foi estruturada nas seguintes quatro fases: (1) breve enquadramento da temática e da metodologia utilizada, de forma a informar a especialista de como se obtiveram os resultados em questão; (2) solicitação de opinião acerca da metodologia utilizada, assim como sobre os resultados obtidos; (3) indicação de pontos fortes e fracos do modelo, tal como sugestões de melhoria; e, por último, (4) indagar sobre o que seria necessário para implementar este processo na prática. A *Figura 18* ilustra alguns momentos da sessão de consolidação *online*.

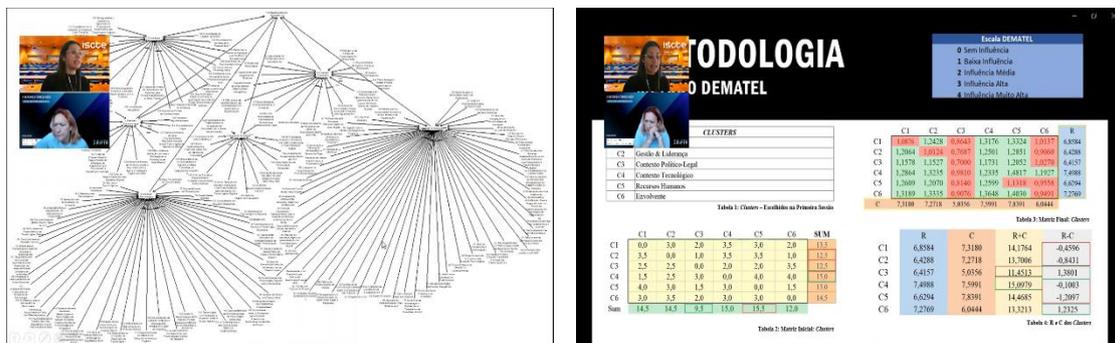


Figura 18: Momentos Registrados Durante a Sessão de Consolidação

Através da análise realizada ao modelo e ao processo inerente à sua construção, a especialista, tendo em conta a sua experiência e conhecimento da área, revelou concordar com a adequação e utilidade das metodologias utilizadas neste processo, afirmando, por palavras suas, que é “*um estudo bastante interessante [...] uma metodologia muito válida*”. A especialista salientou ainda “*estar surpreendida com a forma como se*

abordou o problema”, sendo este um *“trabalho bastante elaborado e complexo”* (citando as suas palavras) e que vai também ao encontro da complexidade que é analisar os determinantes de Indústria 4.0. A entrevistada afirmou que a maioria dos *“resultados fazem muito sentido”* (citando-a). Estas observações reforçam a ideia da transparência e da facilidade de interpretação do sistema de análise em si, permitindo atribuir uma maior robustez ao modelo, uma vez que, tal como já mencionado, a entrevistada não esteve presente nas sessões anteriores, sendo, por isso, um elemento neutro e imparcial no processo de validação do modelo.

No que diz respeito aos pontos fortes, a especialista focou-se, essencialmente, nos seguintes: (1) na metodologia utilizada, que permite suscitar o debate e discussão sendo, deste modo, possível a existência de várias perspetivas e pontos de vista; (2) na extensão do mapa cognitivo, que reflete as imensas variáveis inerentes à temática; e, por último, (3) na adequação do modelo à análise complexa de determinantes. De um modo geral, a especialista concordou também com os critérios mais relevantes escolhidos pelo painel de decisores através das técnicas nominais de grupo e *multi-voting*, assim como com os valores projetados na segunda sessão de trabalho.

Relativamente aos pontos fracos, evidenciou-se a dependência dos resultados do contexto e do painel de participantes, algo que já havia sido antecipado, uma vez que o sistema de avaliação construído é construtivista e baseia-se no ponto de vista e na experiência dos participantes envolvidos. Segundo a entrevistada a *“variabilidade dos resultados depende do grupo de decisores”* (nas suas próprias palavras). Ainda assim, concordou com a maioria dos resultados obtidos, salientando apenas que, na sua opinião e dado a sua experiência, o *cluster* mais importante do modelo poderia ser a *Gestão & Liderança* (C2) e não o *Contexto Tecnológico* (C4), sendo esta a única sugestão de melhoria direta que introduziria no modelo desenvolvido.

No que concerne à aplicabilidade prática do presente modelo, segundo a especialista, este sistema de análise seria uma mais-valia para decisores políticos (como por exemplo o IAPMEI), assim como para os *clusters* tecnológicos nacionais, que *“têm interesse em possuir uma metodologia deste tipo, de modo a conseguirem fazer uma análise do contexto tecnológico e político nacional [...] e da sua evolução e transformação”* (citando as suas próprias palavras). A especialista acredita que o presente sistema de análise permite *“determinar aquilo com que as entidades se devem preocupar, quando determinam os seus próprios ordmaps [...] perceber quais os determinantes mais importantes”* (citando-a), sendo este um dos grandes contributos do modelo.

Em modo de conclusão, foi com satisfação que se deu por concluída a sessão de consolidação, onde foi elogiado todo o processo realizado, bem como os resultados obtidos.

SINOPSE DO CAPÍTULO 4

O presente capítulo destinou-se à descrição da componente empírica, na qual se identificam três fases distintas – *i.e.*, *estruturação*, *avaliação* e *recomendações*. Numa primeira instância, procedeu-se à constituição de um painel de decisores especialistas da temática em questão (*i.e.*, Indústria 4.0). Para o efeito, levou-se em consideração a heterogeneidade do grupo em termos de género, idade, localização geográfica, setor (público e privado) e, também, a diversificação das áreas de atuação, de forma a que fossem consideradas diferentes perspetivas que permitissem uma estruturação do modelo o mais completa possível. Primeiramente, foi realizada uma sessão de grupo dedicada à fase de estruturação, onde foi apresentada ao painel a seguinte *trigger question*: “*Tendo por base os seus valores e a sua experiência profissional, que fatores/determinantes promovem e/ou condicionam o desenvolvimento da Indústria 4.0?*”. Os *inputs* resultantes do painel de decisores foram registados, agrupados e hierarquizados recorrendo à “técnica dos *post-its*”. Esta técnica requer que os decisores escrevam em *post-its* o que consideram ser os critérios de avaliação mais importantes para dar resposta à *trigger question* que lhes fora lançada. O trabalho desenvolvido nesta sessão culminou com um mapa cognitivo de grupo. Prosseguindo com a fase de avaliação, realizou-se uma segunda sessão com o painel de decisores, onde lhes foi facultado o mapa cognitivo e lhes foi pedido que se pronunciassem sobre eventuais alterações ou ajustes que achassem oportunos. Assim sendo, resultaram do mapa cognitivo os seguintes seis *clusters*: (1) *Contexto Financeiro*; (2) *Gestão & Liderança*; (3) *Contexto Político-Legal*; (4) *Contexto Tecnológico*; (5) *Recursos Humanos*; e (6) *Envolvente*. De seguida, identificaram-se os critérios mais relevantes dentro de cada *cluster* recorrendo a técnicas nominais de grupo e *multi-voting*. A segunda sessão visou ainda a recolha de *inputs* do painel de especialistas para a aplicação do método DEMATEL. Como tal, foi pedido ao painel que avaliasse, numa primeira fase, todas as combinações entre os *clusters* e, de seguida, entre os critérios de cada *cluster*, numa escala de 0 a 4. Assim sendo, foi possível apurar que o *Contexto Tecnológico* é o *cluster* que maior proeminência tem no modelo e que o *Contexto Político-Legal* é o *cluster* com maior relação com os restantes. Os resultados foram complementados com uma análise gráfica, a qual facilitou a transição para a fase de recomendações. Nesta fase, foi ainda realizada uma última sessão, com o intuito de validar os resultados alcançados com um elemento neutro (*i.e.*, que não tivesse participado nas sessões anteriores). O *feedback* obtido veio reforçar a adequação da metodologia implementada, a utilidade e relevância dos resultados obtidos e o potencial para a aplicabilidade prática do modelo de análise criado.

Concluída a componente empírica da presente dissertação, este último capítulo destina-se à apresentação das principais conclusões do estudo desenvolvido. Para o efeito, são apresentados os principais resultados alcançados e as limitações do estudo, ao que se segue uma síntese das reflexões teórico-práticas do sistema de análise desenvolvido. Por fim, será ainda feita uma breve exposição das linhas de investigação futura.

5.1. Principais Resultados e Limitações do Estudo

Como principal resultado da presente dissertação é destacado o desenvolvimento de um *sistema de análise que, com base nos fundamentos da abordagem MCDA e com recurso à combinação do mapeamento cognitivo – segundo a abordagem JOURNEY Making – com o método DEMATEL, permite analisar determinantes de Indústria 4.0*. Este sistema de análise emerge com um carácter inovador na medida em que, até ao momento, não é conhecido um modelo resultante da combinação de mapeamento cognitivo com o método DEMATEL que permita a integração de elementos objetivos e subjetivos nesta área de investigação, assim como a perceção e a análise de relações causais entre os diversos *clusters* e os seus critérios mais relevantes, algo que dota este estudo de maior robustez, multidimensionalidade e transparência.

Para que tal objetivo fosse concretizado, a presente dissertação encontra-se segmentada em cinco capítulos: (1) *Introdução*, na qual são apresentadas as motivações e a pertinência do estudo a ser desenvolvido, assim como os principais objetivos, a metodologia a ser adotada e os principais resultados esperados; (2) *Revisão da Literatura*, que consistiu num enquadramento teórico da temática com a perceção da origem da Indústria 4.0 e dos seus determinantes, bem como da sua importância para as organizações. Foi ainda feito um levantamento dos vários estudos já realizados relativamente à temática em questão, salientando os seus contributos e as suas limitações, que evidenciam a necessidade da criação de um modelo que as colmatasse; (3) *Metodologia e Fontes*, que ilustra os fundamentos inerentes à metodologia adotada, nomeadamente a corrente MCDA, que possibilita integrar elementos

objetivos e subjetivos no processo de apoio à tomada de decisão. Neste sentido, recorreu-se ao mapeamento cognitivo segundo a abordagem *JOURNEY Making*, que permitiu esquematizar e estruturar o problema em análise e criar, deste modo, as condições necessárias à utilização do método DEMATEL; (4) *Aplicação e Análise de Resultados*, que materializa a componente empírica da dissertação, a qual consistiu na definição, estruturação e avaliação do problema de decisão. Deste modo, a implementação das metodologias mencionadas requereu a constituição de um painel de especialistas da área, com o intuito de realizar duas sessões de trabalho em grupo. A primeira sessão teve como objetivo a identificação de determinantes de Indústria 4.0, tendo sido projetados aproximadamente 154 critérios, divididos em seis *clusters*: *Contexto Tecnológico*; *Recursos Humanos*; *Contexto Financeiro*; *Gestão & Liderança*; *Envolvente*; e *Contexto Político-Legal*. A segunda sessão iniciou-se com a validação do mapa cognitivo resultante da primeira sessão e seguiu com a aplicação do método DEMATEL. Para tal, foram identificados os critérios mais relevantes através de técnicas nominais de grupo e *multi-voting*, tendo sido, posteriormente, formadas matrizes de causalidade entre esses mesmos critérios. As matrizes em questão tiveram especial importância, na medida em que permitiram identificar quais os *clusters* e respetivos critérios/determinantes que maior influência têm na Indústria 4.0. Adicionalmente, foi realizada uma sessão de consolidação dos resultados obtidos, que contou com a presença de uma especialista da área, que não foi parte integrante do painel nas sessões anteriores e foi, por isso, considerado um decisor neutro ao processo. Esta sessão possibilitou a obtenção de *feedback* relevante acerca da utilidade do modelo, merecendo particular destaque a aprovação da especialista no que concerne à metodologia implementada, dada à sua capacidade de suscitar o debate e de integrar o *know-how* de especialistas; e (5) *Conclusão*, que sumariza os principais resultados e as limitações do estudo, bem como reflexões teórico-práticas e algumas linhas de investigação futura.

Nenhum modelo está isento de limitações. Como tal, o principal constrangimento deste estudo prendeu-se com a constituição do painel e com a conciliação das várias agendas, dado que a realização deste tipo de investigação pressupõe um elevado grau de disponibilidade e de participação por parte dos intervenientes. Ao priorizar a relevância dos cargos aquando a seleção do painel, era natural que tal constrangimento se antecipasse. No que diz respeito, concretamente, à fase de estruturação do problema, foram identificadas as seguintes limitações: (1) complexidade inerente à temática e conceitos subjacentes que levaram à existência de diferentes *post-its* com ideias semelhantes; (2) dada à subjetividade do modelo, caso o painel fosse diferente, também os determinantes encontrados poderiam ser distintos; (3) divergência

de opiniões na avaliação das diferentes combinações de critérios; e (4) a literatura não contempla sessões *online* no âmbito da utilização das técnicas implementadas neste estudo.

Em suma, os resultados obtidos são encorajadores, na medida em que possibilitaram a criação de um modelo holístico que contempla aspetos objetivos e subjetivos. Dada a base epistemológica que foi assumida no presente estudo, alicerçada na combinação metodológica adotada, permitiu também a partilha de experiências e opiniões acerca da temática em questão, promovendo um modelo tendencialmente mais completo e próximo da realidade. Importa ainda salientar que o principal objetivo desta dissertação não passa por encontrar soluções ótimas, mas sim pela adoção de novas abordagens que, baseadas na partilha de pontos de vista e juízos de valor entre decisores, permitam a análise de relações causais entre os determinantes de Indústria 4.0. De seguida, será feita uma síntese das principais reflexões teórico-práticas do presente estudo.

5.2. Reflexões Teórico-Práticas

Através da revisão da literatura, foi possível verificar o potencial de investigação dos determinantes de Indústria 4.0. Tal foi também constatado a partir da análise de alguns modelos elaborados até ao momento, em torno da implementação da Indústria 4.0. Com efeito, verificámos que esta é uma temática relativamente recente e que não existem métodos isentos de limitações, abrindo “espaço” a novas abordagens. Nesta ótica, o presente estudo surge com o objetivo de apresentar uma nova abordagem, visando colmatar algumas das limitações recorrentes na literatura, nomeadamente: (1) necessidade de uma ferramenta que permita identificar os principais determinantes de Indústria 4.0; e (2) ausência de estudos que reportem análises dinâmicas de relações de causalidade entre os critérios de avaliação.

Tais limitações são passíveis de ser ultrapassadas através do presente estudo, que combina duas metodologias alicerçadas na ótica multicritério de apoio à tomada de decisão e que permitiu acrescentar robustez e transparência à análise dos determinantes de Indústria 4.0. A aplicação destas metodologias assume-se como uma mais-valia no processo de tomada de decisão das organizações e demais *stakeholders*, nomeadamente decisores políticos que pretendam desenvolver políticas de desenvolvimento neste domínio. Este aspeto foi validado na sessão de consolidação, sendo que, como este modelo, é possível considerar um elevado número de critérios e, deste modo, alcançar resultados mais robustos, facilitando a identificação de possíveis ações de melhoria por parte das organizações.

Na presente dissertação, a metodologia utilizada recaiu sobre o uso combinado da abordagem *JOURNEY Making* e do método DEMATEL, que possibilitou a integração de elementos subjetivos e objetivos no processo de tomada de decisão. Deste modo, foi possível identificar os determinantes de Indústria 4.0 de uma forma mais transparente, através do debate entre os decisores, algo que contribuiu para a diminuição da omissão de critérios e originou, conseqüentemente, uma ferramenta mais completa e ajustada ao carácter complexo e multidimensional da problemática em questão. A aplicação do método DEMATEL capacitou a realização de uma análise mais detalhada dos diferentes determinantes, bem como a sua hierarquização, permitindo, deste modo, perceber onde as organizações se devem focar e dar prioridade para que haja uma melhoria na sua *performance*.

Ainda que a Indústria 4.0 se revele bastante promissora, suscitando múltiplos benefícios (*e.g.*, um aumento significativo da produtividade acompanhado por uma diminuição de custos operacionais; uma análise de grandes quantidades de dados, melhorando tomadas de decisão e atenuando possíveis riscos da cadeia de abastecimento; e um aumento da flexibilidade, eficiência e eficácia operacionais), a mesma apresenta-se como um desafio, na medida em que, sendo um conceito relativamente novo, muitas organizações, ao entrarem neste processo transformativo, enfrentam desafios consideráveis no que diz respeito às tecnologias emergentes da Indústria 4.0 (*i.e.*, determinantes de Indústria 4.0). Assim sendo, é possível afirmar que este modelo vai ao encontro das necessidades atuais das organizações, tratando-se de uma ferramenta poderosa, de fácil compreensão e utilização e que permite a identificação dos critérios a ter em consideração no processo de implementação da Indústria 4.0, contribuindo para uma posição competitiva das organizações. Além do mais, este sistema de análise “abre” a possibilidade de comparação das organizações implementadas na Indústria 4.0, capacitando, posteriormente, a criação de *best practices* para a criação e desenvolvimento de *smart factories*.

É de salientar ainda que todas as sessões foram realizadas em formato *online*, algo que não está contemplado na literatura. Contudo, devido às restrições impostas pela situação pandémica que atravessamos, houve a necessidade de adaptação da metodologia aos canais digitais. Deste modo, o presente estudo revela-se uma mais-valia para a comunidade científica, na medida em que abre precedência à realização de sessões *online* para aplicação da metodologia aqui utilizada.

5.3. Linhas de Investigação Futura

Com base na análise dos resultados obtidos, parece evidente o potencial da postura construtivista e da corrente MCDA no contexto deste estudo, aplicando o mapeamento cognitivo segundo a abordagem *JOURNEY Making* e o método DEMATEL no desenvolvimento de um sistema de análise dos determinantes de Indústria 4.0. Sendo esta uma temática complexa e subjetiva, a presente metodologia pressupõe a partilha de experiências e o debate entre os participantes, contemplando aspetos qualitativos e quantitativos.

O presente estudo permitiu construir um modelo de forma a auxiliar as organizações no processo transformativo e na conseqüente implementação da Indústria 4.0, através da análise das relações de causa-efeito entre os seus determinantes. Não obstante, nenhuma proposta metodológica está isenta de limitações e esta não é exceção. Neste sentido, a futura investigação passará pelo: (1) desenvolvimento de réplicas processuais com um painel de decisores diferente do utilizado no presente estudo, com o intuito de generalizar os resultados obtidos; (2) estudos que façam uso de plataformas *online*; (3) desenvolvimento de um *software* que permita um acesso e uma extração de resultados mais rápida; e (4) análises de acompanhamento dos resultados aqui projetados numa eventual aplicação prática do sistema criado. De facto, todo e qualquer contributo que traga robustez à investigação e que venha induzir um avanço na análise de determinantes de Indústria 4.0 será sempre uma mais-valia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramova, N. (2016), The cognitive approach to the problem of identification validity in cognitive mapping, *IFAC–PapersOnLine*, Vol. 49(12), 586-591.
- Ackermann, F. & Eden, C. (2001), SODA – Journey making and mapping in practice, in Rosenhead, J. & J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict*, Chichester, United Kingdom, Wiley, 21-41.
- Ackermann, F. & Eden, C. (2010), Strategic options development and analysis, in Reynolds M. & S. Holwell (Eds.), *Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide*, United Kingdom, Springer, 135-190.
- Ackermann, F. (2012), Problem structuring methods ‘in the dock’: Arguing the case for soft OR, *European Journal of Operational Research*, Vol. 219(3), 652-658.
- Ackoff, R. (1979), The future of operational research is past, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 30(2), 93-104.
- Akdil, K.; Ustundag, A. & Cevikcan, E. (2018), Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy, in Ustundag A., & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Switzerland, Springer, 61-93.
- Alcácer, V. & Cruz-Machado, V. (2019), A literature review on technologies for manufacturing systems, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 22(3), 899-919.
- Anderl, R.; Picard, A.; Wang, Y.; Fleischer, J.; Dosch, S.; Klee, B. & Bauer, J. (2015), Guideline Industrie 4.0: Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses, *VDMA Forum Industrie*, Vol. 4, 1-30.
- Anderl, R.; Strang, D.; Picard, A. & Christ, A. (2014). Integrated component data model for Industrie 4.0, *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 109(1/2), 64-69.
- Bag, S.; Gupta, S. & Kumar, S. (2021), Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development, *International Journal of Production Economics*, Vol. 231, 1-12.
- Bag, S.; Yadav, G.; Wood, L.; Dhamija, P. & Joshi, S. (2020), Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics, *Resources Policy*, Vol. 68, 1-16.
- Bana e Costa, C. (1993), *Processo de Apoio à Decisão: Actores e Acções, Avaliação de Projectos e Decisão Pública*, Fascículo II, AEIST/UTL.
- Bana e Costa, C.; Correia, E.; Corte, J. & Vansnick, J. (2002), Facilitating bid evaluation in public call for tenders: A socio-technical approach, *Omega – The International Journal of Management Sciences*, Vol. 30(3), 227-242.
- Bana e Costa, C.; Stewart, T. & Vansnick, J. (1997), Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings, *European Journal of Operational Research*, Vol. 99(1), 28-37.
- Bartodziej, C. (2017), *The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*, Berlin, Germany: Springer Gabler.
- Baykasoğlu, A.; Kaplanoğlu, V.; Durmuşoğlu, Z. & Şahin, C. (2013), Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection, *Expert Systems with Applications*, Vol. 40(3), 899-907.
- Beier, G.; Ullrich, A.; Niehoff, S.; Reißig, M. & Habich, M. (2020), Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 259, 1-13.
- Bell, S. & Morse, S. (2013), Groups and facilitators within problem structuring processes, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 64(7), 959-972.

- Benitez, G.; Ayala, N. & Frank, A. (2020), Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation, *International Journal of Production Economics*, Vol. 228, 1-13.
- Bhatia, M. & Srivastava, R. (2018), Analysis of external barriers to remanufacturing using grey-DEMATEL approach: An Indian perspective, *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 136, 79-87.
- Boston Consulting Group (2019), *Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth*. Retrieved from <http://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth> [January 2021].
- Brettel, M.; Friederichsen, N.; Keller, M. & Rosenberg, M. (2014), How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective, *International Journal of Information and Communication Engineering*, Vol. 8(1), 47-62.
- Bruin, T.; Rosemann, M.; Freeze, R. & Kulkarni, U. (2005), Understanding the main phases of developing a maturity assessment model, *16th Australasian Conference on Information Systems*, Nov 29-Dec 2, Sydney, 8-19.
- Burns, T.; Cosgrove, J. & Doyle, F. (2019), A review of interoperability standards for Industry 4.0, *29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Jun 24-28, Limerick, Ireland, 646-653.
- Büyüközkan, G. & Çifçi, G. (2012), A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers, *Expert Systems with Applications*, Vol. 39(3), 3000-3011.
- Calantone, R.; Cavusgil, S. & Zhao, Y. (2002), Learning orientation, firm innovation capability, and firm performance, *Industrial Marketing Management*, Vol. 31(6), 515-524.
- Chang, B.; Chang, C. & Wu, C. (2011), Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(3), 1850-1858.
- Chen, C.; Tseng, M. & Lin, Y. (2008), Using fuzzy DEMATEL to develop a causal and effect model of hot spring service quality expectation, *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Dec 8-11, Singapore, 1004-1008.
- Chen, Y.; Tseng, M. & Lin, R. (2011). Evaluating the customer perceptions on in-flight service quality, *African Journal of Business Management*, Vol. 5(7), 2854-2864.
- Colli, M.; Madsen, O.; Berger, U.; Møller, C.; Wæhrens, B. & Bockholt, M. (2018), Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0, *IFAC – PapersOnLine*, Vol. 51(11), 1347-1352.
- Cronin, K.; Midgley, G. & Jackson, L. (2014), Issues mapping: A problem structuring method for addressing science and technology conflicts, *European Journal of Operational Research*, Vol. 233(1), 145-158.
- Dalalah, D.; Hayajneh, M. & Batieha, F. (2011), A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(7), 8384-8391.
- Dalenogare, L.; Benitez, G.; Ayala, N. & Frank, A. (2018), The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance, *International Journal of Production Economics*, Vol. 204, 383-394.
- Dalmarco, G.; Ramalho, F.; Barros, A. & Soares, A. (2019), Providing Industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster, *Journal of High Technology Management Research*, Vol. 30(2), 1-9.
- Drath, R. & Horch, A. (2014), Industrie 4.0: Hit or hype?, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Vol. 8(2), 56-58.
- Eden, C. & Ackermann, F. (1998), *Making Strategy: The Journey of Strategic Management*, London: SAGE Publications.

- Eden, C. & Ackermann, F. (2001), SODA – The Principles, in J. Rosenhead, & J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict*, Chichester, United Kingdom: Wiley, 21-41.
- Eden, C. & Ackermann, F. (2004), Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector, *European Journal of Operational Research*, Vol. 152(3), 615-630.
- Eden, C. & Ackermann, F. (2006), Where next for problem structuring methods, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57(7), 766-768.
- Eden, C. & Ackermann, F. (2018), Theory into practice, practice to theory: Action research in method development, *European Journal of Operational Research*, Vol. 271(3), 1145-1155.
- Eden, C. (1988), Cognitive mapping, *European Journal of Operational Research*, Vol. 36(1), 1-13.
- Eden, C. (2004), Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 159(3), 673-686.
- Edwards, J.; Collier, P. & Shaw, D. (2003), Making a journey in knowledge management strategy, *Journal of Information & Knowledge Management*, Vol. 2(2), 135-152.
- Falatoonitoosi, E.; Leman, Z.; Sorooshian, S. & Salimi, M. (2013), Decision-making trial and evaluation laboratory, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 5(13), 3476-3480.
- Fernandes, I.; Ferreira, F.; Bento, P.; Jalali, M. & António, N. (2018), Assessing sustainable development in urban areas using cognitive mapping and MCDA, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 25(3), 216-226.
- Ferreira, F. (2011), *Avaliação Multicritério de Agências Bancárias: Modelos e Aplicações de Análise de Decisão*, Faro: Faculdade de Economia da Universidade do Algarve.
- Ferreira, F.; Marques, C.; Bento, P.; Ferreira, J. & Jalali, M. (2015), Operationalizing and measuring individual entrepreneurial orientation using cognitive mapping and MCDA techniques, *Journal of Business Research*, Vol. 68(12), 2691-2702.
- Ferreira, F.; Meidutė-Kavaliauskienė, I.; Zavadskas, E.; Jalali, M. & Catarino, S. (2019), A judgment-based risk assessment framework for consumer loans, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 18(1), 7-33.
- Ferreira, F.; Santos, S. & Rodrigues, P. (2011a), From traditional operational research to multiple criteria decision analysis: Basic ideas on an evolving field, *Problems and Perspectives in Management*, Vol. 9(3), 114-121.
- Ferreira, F.; Santos, S.; Rodrigues, P. & Spahr, R. (2011b), Evaluating retail banking service quality and convenience with MCDA techniques: A case study at the bank branch level, *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 15(1), 1-21.
- Ferreira, F.; Spahr, R.; Santos, S. & Rodrigues, P. (2012), A multiple criteria framework to evaluate bank branch potential attractiveness, *International Journal of Strategic Property Management*, Vol. 16(3), 254-276.
- Filipe, M.; Ferreira, F. & Santos, S. (2015), A multiple criteria information system for pedagogical evaluation and professional development of teachers, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 66(11), 1769-1782.
- Fontela, E. & Gabus, A. (1976), *The DEMATEL Observer*, Geneva, Switzerland: Batelle Geneva Research Center.
- Franco, L. & Montibeller, G. (2010), Facilitated modelling in operational research, *European Journal of Operational Research*, Vol. 205(3), 489-500.
- Franco, L. & Rouwette, E. (2011), Decision development in facilitated modelling workshops, *European Journal of Operational Research*, Vol. 212(1), 164-178.

- Franco, L. (2008), Facilitating collaboration with problem structuring methods: A case study of an inter-organizational construction partnership, *Group Decision and Negotiation*, Vol. 17, 267-286.
- Frank, A.; Dalenogare, L. & Ayala, N. (2019), Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, 15-26.
- Gabus, A. & Fontela, E. (1972), *World Problems: An Invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL*. Geneva, Switzerland: Batelle Geneva Research Center.
- Gabus, A. & Fontela, E. (1973), *Perceptions of the World Problematique: Communication Procedure, Communicating with Those Bearing Collective Responsibility*, Geneva, Switzerland: Batelle Geneva Research Center.
- Ganzarain, J. & Errasti, N. (2016), Three stage maturity model in SME's towards Industry 4.0, *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 9(5), 1119-1128.
- Gavrilova, T.; Carlucci, D. & Schiuma, G. (2013), Art of visual thinking for smart business education, *8th International Forum on Knowledge Asset Dynamics (IFKAD-2013)*, June 12-14, Zagreb, Croatia, 1754-1761.
- Geissbauer, R.; Vedso, J. & Schrauf, S. (2016), *Industry 4.0: Building the Digital Enterprise*, PricewaterhouseCoopers.
- Gilchrist, A. (2016), *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Bangkok, Nonthaburi, Thailand: Apress.
- Gökalp, E.; Şener, U. & Eren, P. (2017), Development of an assessment model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM, *Proceedings of the International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)*, Oct 4-5, Palma de Mallorca, Espanha, 128-142.
- Goodman, R. (2006), *Introduction to Stochastic Models*, Bangkok, Mineola, New York: Dover Publications.
- Govindan, K.; Kannan, D. & Shankar, K. (2014), Evaluating the drivers of corporate social responsibility in the mining industry with multi-criteria approach: A multi-stakeholder perspective, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, 214-232.
- Guzmán, V.; Muschard, B.; Gerolamo, M.; Kohl, H. & Rozenfeld, H. (2020), Characteristics and skills of leadership in the context of Industry 4.0, *Procedia Manufacturing*, Vol. 43, 543-550.
- Hermann, M.; Pentek, T. & Otto, B. (2015), *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, Dortmund, Technische Universität Dortmund.
- Hermann, M.; Pentek, T. & Otto, B. (2016), Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review, *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, Jan 5-8, Koloa, HI, USA, 1530-1605.
- Herrera, H.; McCardle-Keurentjes, M. & Videira, N. (2016), Evaluating facilitated modelling processes and outcomes: An experiment comparing a single and a multimethod approach in group model building, *Group Decis Negot*, Vol. 25, 1277-1318.
- Hess, P. & Siciliano, J. (1996). *Management: Responsibility for performance*, New York: McGraw-Hill.
- Hofmann, E. & Rüsçh, M. (2017), Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, *Computers in Industry*, Vol. 89, 23-34.
- Hori, S. & Shimizu, Y. (1999), Designing methods of human interface for supervisory control systems, *Control Engineering Practice*, Vol. 7(11), 1413-1419.
- Huang, C.; Shyu, J. & Tzeng, G. (2007), Reconfiguring the innovation policy portfolios for Taiwan's SIP Mall industry, *Technovation*, Vol. 27(12), 744-765.

- Jassbi, J.; Mohamadnejad, F. & Nasrollahzadeh, H. (2011). A fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(5), 5967-5973.
- Jung, K.; Kulvatunyou, B.; Choi, S. & Brundage, M. (2016), An overview of a smart manufacturing system readiness assessment, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 488, 705-712.
- Kagermann, H.; Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*, Munich, Germany, ACATECH-National Academy of Science and Engineering.
- Kannan, S.; Suri, K.; Cadavid, J.; Barosan, I.; Brand, M.; Alferez, M. & Gerard, S. (2017), Towards Industry 4.0: Gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. *IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW)*, April 5-7, Gothenburg, 29-35.
- Kelly, A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs*, New York: Norton.
- King, J. & Kraemer, K. (1984), Evolution and organizational information systems: An assessment of Nolan's stage model, *Communications of the ACM*, Vol. 27(5), 466-475.
- Klein, J. & Cooper, D. (1982). Cognitive maps of decision-makers in a complex game, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 33(1), 63-71.
- Kumar, A. & Dixit, G. (2018), Evaluating critical barriers to implementation of WEEE management using DEMATEL approach, *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 131, 101-121.
- Kumar, R.; Singh, R. & Dwivedi, Y. (2020), Application of Industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges, *Resources, Journal of Cleaner Production*, Vol. 275, 1-13.
- Lami, I. & Tavella, E. (2019), On the usefulness of soft OR models in decision making: A comparison of problem structuring methods supported and self-organized workshops, *European Journal of Operational Research*, Vol. 275(3), 1020-1036.
- Lee, J.; Jun, S.; Chang, T. & Park, J. (2017), A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process, *Sustainability*, Vol. 9(5), 1-15.
- Lee, Y.; Li, M.; Yen, T. & Huang, T. (2011), Analysis of fuzzy decision making trial and evaluation laboratory on technology acceptance model, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(12), 14407-14416.
- Leyh, C.; Schäffer, T.; Bley, K. & Forstenhäusler, S. (2016), SIMMI 4.0 – A maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0, *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, Vol. 8, 1297-1302.
- Li, C. & Tzeng, G. (2009), Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36(6), 9891-9898.
- Lichtblau, K.; Stich, I.; Bertenrath, R.; Blum, M.; Bleider, M.; Millack, A.; Schmitt, K.; Schmitz, E. & Schröter, M. (2015), *Industrie 4.0-Readiness*, Aachen, Köln, VDMA.
- Lin, C. & Wu, W. (2008), A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, Vol. 34(1), 205-213.
- Liou, J. (2012), Developing an integrated model for the selection of strategic alliance partners in the airline industry, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 28, 59-67.
- Liou, J.; Yen, L. & Tzeng, G. (2008), Building an effective safety management system for airlines, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 14(1), 20-26.

- Lorenz, M.; Rübmann, M.; Waldner, M.; Engel, P.; Harnisch, M.; Gerbert, P. & Justus, J. (2015), *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries [April 2015].
- Lu, Y.; Kaushal, N.; Denier, N. & Wang, J. (2017), Health of newly arrived immigrants in Canada and the United States: Differential selection on health, *Health & Place*, Vol. 48, 1-10.
- Marchant, T. (1999), Cognitive maps and fuzzy implications, *European Journal of Operational Research*, Vol. 114(3), 626-637.
- Marques, S.; Ferreira, F.; Meidutė-Kavaliauskienė, I. & Banaitis, A. (2018), Classifying urban residential areas based on their exposure to crime: A constructivist approach, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 39, 418-429.
- Marston, S.; Li, Z.; Bandyopadhyay, S.; Zhang, J. & Ghalsasi, A. (2011), Cloud computing: The business perspective, *Decision Support Systems*, Vol. 51(1), 176-189.
- Matana, G.; Simon, A.; Filho, M. & Helleno, A. (2020), Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for Industry 4.0, *International Journal of Production Economics*, Vol. 228, 1-17.
- McCormack, K.; Willems, J.; Bergh, J.; Deschoolmeester, D.; Willaert, P.; Stemberger, M.; Skrinjar, R.; Trkman, P.; Ladeira, M.; Oliveira, M.; Vuksic, V. & Vlahovic, N. (2009), A global investigation of key turning points in business process maturity, *Business Process Management Journal*, Vol. 15(5), 792-815.
- Mingers, J. & Rosenhead, J. (2004), Problem structuring methods in action, *European Journal of Operational Research*, Vol. 152(3), 530-554.
- Mingers, J. (2011), Soft OR comes of age – but not everywhere!, *Omega – The International Journal of Management Science*, Vol. 39(6), 729-741.
- Mittal, S.; Khan, M.; Romero, D. & Wuest, T. (2018), A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs), *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 49, 194-214.
- Moghaddam, N.; Sahafzadeh, M.; Alavijeh, A.; Yousefdehi, H. & Hosseini, S. (2010), Strategic environment analysis using DEMATEL method through systematic approach: Case study of an energy research institute in Iran, *Management Science and Engineering*, Vol. 4(4), 95-105.
- Montibeller, G. & Belton, V. (2006), Causal maps and the evaluation of decision options: A review, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57(7), 779-791.
- Mosterman, P. & Zander, J. (2016), Industry 4.0 as a cyber-physical system study, *Softw Syst Model*, Vol. 15(1), 17-29.
- Oliveira, I.; Carayannis, E.; Ferreira, F.; Jalali, M.; Carlucci, D. & Ferreira, J. (2018), Constructing home safety indices for strategic planning in residential real estate: A socio-technical approach, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 131, 67-77.
- Pacchini, A.; Lucato, W.; Facchini, F. & Mummolo, G. (2019), The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0, *Computers in Industry*, Vol. 113, 1-8.
- Paiva, B.; Ferreira, F.; Carayannis, E.; Zopounidis, C.; Ferreira, J.; Pereira, L. & Dias, P. (2020), Strategizing sustainability in the banking industry using fuzzy cognitive maps and system dynamics, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 28(2), 93-108.
- PwC – PricewaterhouseCoopers (2016), “*Industry 4.0: Building the Digital Enterprise*”, disponível online em <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> [Janeiro 2021].

- Qin, J.; Liu, Y. & Grosvenor, R. (2016), A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond, *Procedia CIRP*, Vol. 52, 173-178.
- Rafael, L.; Jaione, G.; Cristina, L. & Ibon, S. (2020), An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 159, 1-13.
- Ribeiro, M.; Ferreira, F.; Jalali, M. & Meidutė-Kavaliauskienė, I. (2017), A fuzzy knowledge-based framework for risk assessment of residential real estate investments, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 23(1), 140-156.
- Rockwell Automation (2014), *The Connected Enterprise Maturity Model*, Milwaukee: Rockwell Automation.
- Röglinger, M.; Pöppelbuß, J. & Becker, J. (2012), Maturity models in business process management, *Business Process Management Journal*, Vol. 18(2), 328-346.
- Rong, K.; Hu, G.; Lin, Y.; Shi, Y. & Guo, L. (2015), Understanding business ecosystem using a 6C framework in Internet-of-Things-based sectors, *International Journal of Production Economics*, Vol. 159, 41-55.
- Rosenhead, J. (1996), What's the problem? An introduction to problem structuring methods, *Interfaces*, Vol. 26(6), 117-131.
- Rosenhead, J. (2006), Past, present and future of problem structuring methods, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57(7), 759-765.
- Rouwette, E. (2011), Facilitated modelling in strategy development: Measuring the impact on communication, consensus and commitment, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 62(5), 879-887.
- Rouwette, E.; Bastings, I. & Blokker, H. (2011), A comparison of group model building and strategic options development and analysis, *Group Decision Negotiation*, Vol. 20, 781-803.
- Schuh, G.; Potente, T.; Wesch-Potente, C.; Weber, A. & Prote, J. (2014), Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of Industrie 4.0, *Procedia CIRP*, Vol. 19, 51-56.
- Schumacher, A.; Erol, S. & Sihn, W. (2016) A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises, *Procedia CIRP*, Vol. 52, 161-166.
- Scott, A. & Harrison, T. (2015), Additive manufacturing in an end-to-end supply chain setting, *3D Printing and Additive Manufacturing*, Vol. 2(2), 65-77.
- Shaw, D. (2006), Journey making group workshops as a research tool, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57(7), 830-841.
- Shaw, D.; Ackerman, F. & Eden, C. (2003), Approaches to sharing knowledge in group problem structuring, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54(9), 936-948.
- Shieh, J.; Wu, H. & Huang, K. (2010), A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 23(3), 277-282.
- Shin, W.; Dahlgaard, J.; Dahlgaard-Park, S. & Kim, M. (2018), A quality scorecard for the era of Industry 4.0, *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol. 29(9), 959-976.
- Si, S.; You, X.; Liu, H. & Zhang, P. (2018), DEMATEL technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2018, 1-33.
- Song, W.; Zhu, Y. & Zhao, Q. (2020), Analyzing barriers for adopting sustainable online consumption: A rough hierarchical DEMATEL method, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 140, 1-12.
- Sony, M. & Naik, S. (2020), Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in Society*, Vol. 61, 1-11.

- Sony, M. (2018), Industry 4.0 and lean management: A proposed integration model and research propositions, *Production & Manufacturing Research*, Vol. 6(1), 416-432.
- Sumrit, D. & Anuntavoranich, P. (2013), Using DEMATEL method to analyze the causal relations on technological innovation capability evaluation factors in Thai technology-based firms, *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, Vol. 4(2), 2228-9860.
- Swan, J. (1997), Using cognitive mapping in management research: Decisions about technical innovation, *British Journal of Management*, Vol. 8, 183-198.
- Tamura, H.; Akazawa, K. & Nagata, H. (2002), Structural modeling of uneasy factors for creating safe, secure and reliable society, *Proceedings of the SICE System Integration Division Annual Conference*, December 19-21, Japan, 330-340.
- TechAmerica Foundation (2012), *Demystifying Big Data: A Practical Guide To Transforming The Business of Government*, Washington, D.C.
- Tegarden, D. & Sheetz, S. (2003). Group cognitive mapping: A methodology and system for capturing and evaluating managerial and organizational cognition, *Omega – The International Journal of Management Science*, Vol. 31, 113-125.
- Telukdarie, A.; Buhulaiga, E.; Bag, S.; Gupta, S. & Luo, Z. (2018), Industry 4.0 implementation for multinationals, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 118, 316-329.
- Tolman, C. (1948), Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, Vol. 55(4), 189-208.
- Torbacki, W. & Kijewska, K. (2019), Identifying key performance indicators to be used in logistics 4.0 and Industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATEL method, *Transportation Research Procedia*, Vol. 61, 534-543.
- Tortorella, G. & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies, *International Journal of Production Research*, Vol. 56(8), 2975-2987.
- Trappey, A.; Trappey, C.; Govindarajan, U.; Chuang, A. & Sun, J. (2017), A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 33, 208-229.
- Trivedi, A. (2018), A multi-criteria decision approach based on DEMATEL to assess determinants of shelter site selection in disaster response, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 31, 722-728.
- Tsai, H. & Chou, C. (2009) Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid based in DEMATEL, ANP and ZOGP, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36(2), 1444-1458.
- Tseng, M. & Lin, Y. (2009), Application of fuzzy DEMATEL to develop a cause and effect model of municipal solid waste management in Metro Manila, *Environ Monit Assess*, Vol. 158, 519-533.
- Tseng, M. (2009), Using the extension of DEMATEL to integrate hotel service quality perceptions into a cause–effect model in uncertainty, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36(5), 9015-9023.
- Tseng, M. (2010), An assessment of cause and effect decision-making model for firm environmental knowledge management capacities in uncertainty, *Environ Monit Assess*, Vol. 161, 549-564.
- Tzeng, G.; Chiang, C. & Li, C. (2007), Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL, *Expert Systems with Applications*, Vol. 32(4), 1028-1044.
- Vaidya, S.; Ambad, P. & Bhosle, S. (2018), Industry 4.0: A glimpse, *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, 233-238.

- Weyer, S.; Schmitt, M.; Ohmer, M. & Gorecky, D. (2015), Towards Industry 4.0: Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems, *IFAC–PapersOnLine*, Vol. 48(3), 579-584.
- Wong, C. (2010), Cognitive mapping on user interface design, *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, Dec 5-7, Kuala Lumpur, Malaysia, 288-293.
- Wu, W. (2008), Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach, *Expert Systems with Applications*, Vol. 35(3), 828-835.
- Wu, W., & Lee, Y. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 499-507.
- Xu, L.; Xu, E. & Li, L. (2018), Industry 4.0: State of the art and future trends, *International Journal of Production Research*, Vol. 56(8), 2941-2962.
- Yamazaki, M.; Ishibe, K. & Yamashita, S. (1997), An analysis of obstructive factors to welfare service using DEMATEL method, *Reports of the Faculty of Engineering, Yamanashi University*, Vol. 48, 25-30.
- Yang, J. & Tzeng, G. (2011), An integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(3), 1417-1424.
- Yazdi, M.; Nedjati, A.; Zarei, E. & Abbassi, R. (2020), A novel extension of DEMATEL approach for probabilistic safety analysis in process systems, *Safety Science*, Vol. 121, 119-136.
- Yen, C.; Liu, Y.; Lin, C.; Kao, C.; Wang, W. & Hsu, Y. (2014), Advanced manufacturing solution to Industry 4.0 trend through sensing network and cloud computing technologies, *International Conference on Automation Science and Engineering*, August 18-22, Taipei, Taiwan, 1150-1152.
- Zhong, R.; Xu, X.; Klotz, E. & Newman, S. (2017), Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review, *Engineering*, Vol. 3(5), 616-630.
- Zhou, Q.; Huang, W. & Zhang, Y. (2011), Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method, *Safety Science*, Vol. 49(2), 243-252.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Passos/Matrizes Intermédios/as do *Cluster* Contexto Tecnológico

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111
SC82	0.0000	0.1026	0.2051	0.1026	0.0513	0.1026	0.1538
SC83	0.1282	0.0000	0.1026	0.1538	0.1026	0.1795	0.1538
SC94	0.2051	0.1795	0.0000	0.1795	0.1026	0.1795	0.1538
SC101	0.1795	0.0513	0.1026	0.0000	0.1282	0.1795	0.2051
SC105	0.1538	0.1282	0.1538	0.1795	0.0000	0.0000	0.1795
SC108	0.0000	0.0000	0.0256	0.1026	0.0000	0.0000	0.0000
SC111	0.1795	0.0769	0.1795	0.2051	0.1538	0.1538	0.0000

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111
SC82	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC83	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC94	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC101	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC105	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC108	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111
SC82	1.0000	-0.1026	-0.2051	-0.1026	-0.0513	-0.1026	-0.1538
SC83	-0.1282	1.0000	-0.1026	-0.1538	-0.1026	-0.1795	-0.1538
SC94	-0.2051	-0.1795	1.0000	-0.1795	-0.1026	-0.1795	-0.1538
SC101	-0.1795	-0.0513	-0.1026	1.0000	-0.1282	-0.1795	-0.2051
SC105	-0.1538	-0.1282	-0.1538	-0.1795	1.0000	0.0000	-0.1795
SC108	0.0000	0.0000	-0.0256	-0.1026	0.0000	1.0000	0.0000
SC111	-0.1795	-0.0769	-0.1795	-0.2051	-0.1538	-0.1538	1.0000

	SC82	SC83	SC94	SC101	SC105	SC108	SC111
SC82	1.3669	0.3318	0.5089	0.4826	0.2938	0.4533	0.4914
SC83	0.4903	1.2402	0.4407	0.5400	0.3447	0.5269	0.5067
SC94	0.6326	0.4500	1.4246	0.6445	0.3980	0.6077	0.5894
SC101	0.5474	0.3032	0.4615	1.4230	0.3753	0.5351	0.5611
SC105	0.5780	0.3994	0.5394	0.6157	1.2960	0.4294	0.5923
SC108	0.0724	0.0426	0.0839	0.1625	0.0487	1.0705	0.0727
SC111	0.6090	0.3659	0.5715	0.6554	0.4345	0.5715	1.4503

	R	C	R+C	R-C
SC82	2.9287	3.2966	6.2253	-0.3679
SC83	3.0895	2.1332	5.2227	0.9564
SC94	3.7468	3.0304	6.7772	0.7163
SC101	3.2065	3.5237	6.7302	-0.3171
SC105	3.4501	2.1910	5.6411	1.2591
SC108	0.5532	3.1944	3.7475	-2.6412
SC111	3.6582	3.2638	6.9219	0.3944

APÊNDICE II

Passos/Matrizes Intermédios/as do Cluster Recursos Humanos

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC140
SC129	0.0000	0.2188	0.2188	0.2188	0.0000
SC130	0.1563	0.0000	0.2500	0.2500	0.0000
SC138	0.2500	0.2500	0.0000	0.2500	0.2500
SC139	0.2188	0.1250	0.2500	0.0000	0.1250
SC140	0.1875	0.1875	0.2188	0.2188	0.0000

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC140
SC129	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC130	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC138	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC139	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC40
SC129	1.0000	-0.2188	-0.2188	-0.2188	0.0000
SC130	-0.1563	1.0000	-0.2500	-0.2500	0.0000
SC138	-0.2500	-0.2500	1.0000	-0.2500	-0.2500
SC139	-0.2188	-0.1250	-0.2500	1.0000	-0.1250
SC140	-0.1875	-0.1875	-0.2188	-0.2188	1.0000

	SC129	SC130	SC138	SC139	SC140
SC129	1.4996	0.6561	0.7367	0.7367	0.2762
SC130	0.6442	1.4819	0.7656	0.7656	0.2871
SC138	0.9088	0.8776	1.7910	0.9910	0.5716
SC139	0.7309	0.6398	0.8110	1.6110	0.4041
SC140	0.7607	0.7328	0.8509	0.8509	1.3191

	R	C	R+C	R-C
SC129	2.9052	3.5442	6.4495	-0.6390
SC130	2.9444	3.3881	6.3325	-0.4437
SC138	4.1401	3.9551	8.0952	0.1851
SC139	3.1966	3.9551	7.1517	-0.7584
SC140	3.5142	1.8581	5.3724	1.6561

APÊNDICE III

Passos/Matrizes Intermédios/as do Cluster Contexto Financeiro

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22
SC10	0.0000	0.2759	0.2759	0.2414	0.1379
SC18	0.0690	0.0000	0.0000	0.2414	0.2069
SC20	0.0690	0.2414	0.0000	0.0000	0.2069
SC21	0.2759	0.2414	0.2069	0.0000	0.2759
SC22	0.0690	0.2414	0.1379	0.2414	0.0000

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22
SC10	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC18	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC20	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC21	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22
SC10	1.0000	-0.2759	-0.2759	-0.2414	-0.1379
SC18	-0.0690	1.0000	0.0000	-0.2414	-0.2069
SC20	-0.0690	-0.2414	1.0000	0.0000	-0.2069
SC21	-0.2759	-0.2414	-0.2069	1.0000	-0.2759
SC22	-0.0690	-0.2414	-0.1379	-0.2414	1.0000

	SC10	SC18	SC20	SC21	SC22
SC10	1.3363	0.8433	0.6041	0.6887	0.6738
SC18	0.3032	1.4105	0.2706	0.5439	0.5397
SC20	0.2354	0.5402	1.1928	0.3017	0.4742
SC21	0.5840	0.8736	0.5931	1.5476	0.8109
SC22	0.3388	0.6840	0.4147	0.5940	1.4379

	R	C	R+C	R-C
SC10	3.1462	1.7977	4.9439	1.3485
SC18	2.0680	3.3516	5.4196	-1.2836
SC20	1.7443	2.0753	3.8196	-0.3310
SC21	3.4092	2.6759	6.0851	0.7333
SC22	2.4693	2.9365	5.4058	-0.4672

APÊNDICE IV

Passos/Matrizes Intermédios/as do Cluster Gestão & Liderança

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53
SC29	0.0000	0.1739	0.1739	0.1304	0.1739	0.1739	0.1739
SC31	0.0435	0.0000	0.0435	0.1304	0.1739	0.0870	0.1739
SC32	0.1739	0.0870	0.0000	0.1304	0.1739	0.1304	0.1739
SC48	0.0652	0.0652	0.0000	0.0000	0.0870	0.1087	0.1304
SC49	0.0435	0.1304	0.1739	0.1739	0.0000	0.1304	0.1739
SC50	0.0870	0.0435	0.0435	0.1304	0.1304	0.0000	0.1087
SC53	0.0435	0.1739	0.0870	0.1304	0.0870	0.1087	0.0000

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53
SC29	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC31	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC32	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC48	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC49	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC53	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53
SC29	1.0000	-0.1739	-0.1739	-0.1304	-0.1739	-0.1739	-0.1739
SC31	-0.0435	1.0000	-0.0435	-0.1304	-0.1739	-0.0870	-0.1739
SC32	-0.1739	-0.0870	1.0000	-0.1304	-0.1739	-0.1304	-0.1739
SC48	-0.0652	-0.0652	0.0000	1.0000	-0.0870	-0.1087	-0.1304
SC49	-0.0435	-0.1304	-0.1739	-0.1739	1.0000	-0.1304	-0.1739
SC50	-0.0870	-0.0435	-0.0435	-0.1304	-0.1304	1.0000	-0.1087
SC53	-0.0435	-0.1739	-0.0870	-0.1304	-0.0870	-0.1087	1.0000

	SC29	SC31	SC32	SC48	SC49	SC50	SC53
SC29	1.2092	0.4628	0.3900	0.4951	0.5139	0.4837	0.5651
SC31	0.1711	1.2063	0.1978	0.3650	0.3807	0.2954	0.4199
SC32	0.3375	0.3653	1.2206	0.4559	0.4740	0.4178	0.5218
SC48	0.1521	0.2097	0.1159	1.1780	0.2453	0.2532	0.3069
SC49	0.2151	0.3663	0.3370	0.4580	1.2919	0.3843	0.4859
SC50	0.1938	0.2212	0.1787	0.3306	0.3159	1.1893	0.3306
SC53	0.1713	0.3449	0.2213	0.3541	0.3084	0.3045	1.2612

	R	C	R+C	R-C
SC29	3.1199	1.4502	4.5701	1.6697
SC31	2.0363	2.1767	4.2129	-0.1404
SC32	2.7928	1.6613	4.4540	1.1315
SC48	1.4613	2.6367	4.0980	-1.1754
SC49	2.5386	2.5302	5.0688	0.0085
SC50	1.7601	2.3282	4.0883	-0.5681
SC53	1.9657	2.8915	4.8572	-0.9257

APÊNDICE V

Passos/Matrizes Intermédios/as do *Cluster Envolvente*

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151
SC142	0.0000	0.1786	0.2500	0.2857	0.2143
SC145	0.0714	0.0000	0.2500	0.2857	0.2500
SC146	0.2143	0.2500	0.0000	0.2500	0.2857
SC149	0.2500	0.2500	0.2500	0.0000	0.0143
SC151	0.2143	0.1429	0.2500	0.1071	0.0000

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151
SC142	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC145	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC146	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC149	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC151	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151
SC142	1.0000	-0.1786	-0.2500	-0.2857	-0.2143
SC145	-0.0714	1.0000	-0.2500	-0.2857	-0.2500
SC146	-0.2143	-0.2500	1.0000	-0.2500	-0.2857
SC149	-0.2500	-0.2500	-0.2500	1.0000	-0.0143
SC151	-0.2143	-0.1429	-0.2500	-0.1071	1.0000

	SC142	SC145	SC146	SC149	SC151
SC142	2.0174	1.2558	1.4728	1.4306	1.1875
SC145	1.0160	2.0211	1.3765	1.3335	1.1353
SC146	1.2443	1.3603	2.3426	1.4688	1.2970
SC149	1.0838	1.1739	1.3157	2.0738	0.9312
SC151	1.0046	1.0237	1.2389	1.0864	1.8407

	R	C	R+C	R-C
SC142	6.3641	5.3661	11.7302	0.9980
SC145	5.8824	5.8348	11.7172	0.0476
SC146	6.7130	6.7464	13.4595	-0.0334
SC149	5.5784	6.3931	11.9715	-0.8148
SC151	5.1943	5.3917	10.5861	-0.1974

APÊNDICE VI

Passos/Matrizes Intermédios/as do Cluster Contexto Político-Legal

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126
SC118	0.0000	0.2414	0.2759	0.2414	0.2414
SC120	0.1379	0.0000	0.0000	0.2414	0.2414
SC123	0.0690	0.2759	0.0000	0.1724	0.0690
SC125	0.2414	0.1379	0.2069	0.0000	0.2069
SC126	0.1724	0.2069	0.2069	0.2759	0.0000

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126
SC118	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC120	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SC123	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
SC125	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SC126	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126
SC118	1.0000	-0.2414	-0.2759	-0.2414	-0.2414
SC120	-0.1379	1.0000	0.0000	-0.2414	-0.2414
SC123	-0.0690	-0.2759	1.0000	-0.1724	-0.0690
SC125	-0.2414	-0.1379	-0.2069	1.0000	-0.2069
SC126	-0.1724	-0.2069	-0.2069	-0.2759	1.0000

	SC118	SC120	SC123	SC125	SC126
SC118	1.5638	0.9118	0.8095	0.9729	0.8547
SC120	0.5354	1.4955	0.4436	0.7534	0.6767
SC123	0.4164	0.6564	1.3432	0.6231	0.4805
SC125	0.6724	0.7284	0.6786	1.6558	0.7275
SC126	0.6520	0.8034	0.6964	0.9093	1.5875

	R	C	R+C	R-C
SC118	4.1127	2.8400	6.9527	1.2727
SC120	2.9045	3.5955	6.4999	-0.6910
SC123	2.5197	2.9713	5.4910	-0.4516
SC125	3.4626	3.9145	7.3771	-0.4518
SC126	3.6486	3.3268	6.9754	0.3218