



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

**Inteligência Artificial e *Smart Cities*:
Uma Abordagem DEMATEL aos Desafios e Iniciativas de
Adaptação**

Cátia Alexandra Rodrigues Freire

Mestrado em Gestão de Empresas

Orientador:

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

Março 2021

Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

**Inteligência Artificial e *Smart Cities*:
Uma Abordagem DEMATEL aos Desafios e Iniciativas de
Adaptação**

Cátia Alexandra Rodrigues Freire

Mestrado em Gestão de Empresas

Orientador:

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

Março 2021

AGRADECIMENTOS

“*I*ntelligence is the ability to adapt to change” (Stephen Hawking). Foi gratificante desenvolver uma dissertação numa área tão atual, pertinente e com orientação para o futuro. Tal também foi possível porque tenho o privilégio de ter pessoas ao meu lado que contribuíram para este resultado final.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira. Foi com enorme satisfação que fiz esta jornada sob a sua orientação. O seu apoio e disponibilidade ao longo de todo o processo foram notáveis. Muito obrigada!

Em segundo lugar quero deixar um sincero agradecimento ao Dr. Eduardo Silva, representante da *Lisboa E-Nova – Agência de Energia e Ambiente de Lisboa*, pelos seus *insights* como decisor neste estudo. O seu contributo e disponibilidade foram uma enorme mais-valia para o resultado final alcançado.

Junto um agradecimento aos meus colegas de *Executive Master* e Mestrado em Gestão de Empresas, em especial ao meu grupo de trabalho. Sem dúvida, uma equipa de trabalho formidável e amigos que levo comigo. Foi extremamente gratificante interagir com pessoas com *backgrounds* e experiências tão distintos.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos e aos meus colegas de trabalho. Ser trabalhadora-estudante exige muita organização e, por vezes, alguns ajustes de calendarização. É uma prova de superação e um orgulho olhar para o resultado final. Ainda assim, temos consciência que fizemos escolhas e, por vezes, sacrificámos algumas coisas, nomeadamente momentos com amigos. Foi extremamente encorajador receber sempre o apoio de todos, ao longo deste último ano. Obrigada!

Por fim, tenho inevitavelmente de agradecer à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã. São uma fonte de força, motivação e suporte sem igual. Apoiam-me nas minhas decisões e estão ao meu lado em todas as minhas lutas. Não há palavras que expressem a gratidão de os ter ao meu lado.

A todos,
O meu Muito Obrigada!

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E *SMART CITIES*: UMA ABORDAGEM DEMATEL AOS DESAFIOS E INICIATIVAS DE ADAPTAÇÃO

RESUMO

Esta dissertação relaciona dois temas que estão na ribalta – *i.e.*, *smart city* e inteligência artificial (ou *Artificial Intelligence* (AI)). O crescente interesse em *smart cities* advém do facto de estas serem multidimensionais, adaptáveis às necessidades e aos requisitos de cada realidade. Por outro lado, a AI tem desempenhado um papel transformador e disruptivo em várias áreas, por executar tarefas “*inteligentes*” e permitir a automatização de processos e a diferenciação. Neste sentido, o planeamento estratégico de uma *smart city*, especialmente a longo prazo, terá de lidar, provavelmente, com a sua adaptação à AI. Tornam-se da maior relevância todos os contributos de investigação que permitam ter uma visão holística deste tema e possam apoiar processos de tomada de decisão neste âmbito. Adotando a abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), a presente dissertação propõe um modelo de análise dinâmica entre iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI – *i.e.*, as suas relações de causa-efeito – através da aplicação da técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). As diferentes etapas da aplicação desta metodologia foram desenvolvidas em colaboração com um decisor com reconhecida experiência nacional e internacional na abordagem às *smart cities*. Os contributos e limitações resultantes da aplicação metodológica no contexto em análise serão também alvo de estudo.

Palavras-Chave: AI; Apoio à Tomada de Decisão; DEMATEL; MCDA; *Smart Cities*; Tecnologia.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SMART CITIES: A DEMATEL APPROACH TO CHALLENGES AND ADAPTATION INITIATIVES

ABSTRACT

This study addresses two main themes on today's agenda – *i.e.*, smart city and Artificial Intelligence (AI). The growing interest in smart cities comes from the fact that these cities are multidimensional, adaptable to the needs and requirements of each reality. AI, in turn, has been playing a transformative and disruptive role in several areas by performing “smart” tasks, allowing for the automation of processes and differentiation. In this sense, the strategic planning of a smart city, especially in the long-term, will likely deal with its adaptation to AI. Thus, research contributions that allow for a holistic view of this topic and can support decision-making processes in this area are welcome. Based on the epistemological principles of the Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) approach, this study proposes a dynamic analysis system that allows smart city initiatives and challenges to be adapted to AI, highlighting its cause-and-effect relationships. This is carried out based on an application of the DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) technique. The processual steps of this methodological application were developed in close interaction with an experienced decision maker who has coordinated several projects in this study context. The contributions and limitations of our proposal are also analyzed.

Keywords: AI; Decision Support; DEMATEL; MCDA; Smart Cities; Technology.

SUMÁRIO EXECUTIVO

As *smart cities* estão na ordem do dia. Fruto do fenómeno da urbanização, as cidades deparam-se com questões como a poluição e a gestão de recursos. Por outro lado, a deslocação dos meios rurais para os meios citadinos provoca desequilíbrios também do ponto de vista social e de competitividade. Neste sentido, tem existido um interesse incremental pela temática das *smart cities*. Espera-se que uma *smart city*, enquanto abordagem futurística e personalizável, permita não só intervir na preservação do ambiente, mas que também propicie transformações no domínio social, económico e ambiental, garantindo o bem-estar dos cidadãos que nela habitam. Estritamente relacionada com a *smart city* encontra-se a tecnologia e, perante a evolução da tecnologia, inevitavelmente a inteligência artificial (ou *Artificial Intelligence* (AI)). Do ponto de vista da gestão, a integração de tecnologias de AI permite desenvolver estratégias de diferenciação e automatização de processos. Por outras palavras, mediante a adaptação das *smart cities* à AI, é possível responder mais eficazmente às necessidades da cidade e dos seus cidadãos. As cidades produzem dados em massa que devem ser devidamente e prontamente analisados. As tecnologias de AI ajudam a colmatar este problema. Por outro lado, as tecnologias de AI podem melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, quer pela sua utilização direta no quotidiano, quer por usufruírem de um ambiente mais próspero e sustentável. Ainda assim, nem tudo são vantagens, pois tanto as *smart cities* como a AI enfrentam desafios que devem ser analisados para assegurar a coabitação de humanos e máquinas.

Face ao exposto, a presente dissertação centra-se na adaptação das *smart cities* à AI e espera produzir um modelo que auxilie processos de tomada de decisão neste âmbito. De facto, foi identificada uma falta de estudos que contemplem uma visão holística deste problema. Além disso, estudos anteriores motivam o levantamento de questões como: (1) forma pouco clara como se identificam os riscos e as iniciativas de adaptação das *smart cities* à AI, bem como das suas relações de causa-efeito; e (2) escassez de análises dinâmicas dessas variáveis. Para colmatar estas limitações, a abordagem escolhida pauta-se por uma orientação construtivista e que permite a integração de elementos objetivos e subjetivos no processo de decisão. Assim, a presente dissertação recorreu à abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), nomeadamente através da aplicação da técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). Esta técnica permite estabelecer e analisar relações de causa-efeito entre critérios de avaliação identificados no contexto de decisão. Deste modo, é possível

produzir elementos visuais (*i.e.*, diagramas), que expressam estas relações e que ajudam a refletir sobre as mesmas, nomeadamente identificando as que são mais ou menos relevantes para o problema em estudo.

Na prática, a concretização da presente dissertação passou, numa primeira etapa, por identificar iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI, junto de um decisor sénior com elevada experiência nesta área. Para o efeito, recorreu-se a um mapa cognitivo de determinantes de *smart city* com duzentos e vinte critérios estruturados em seis *clusters* e um sub-*cluster* – *i.e.*, *Economia, Energia e Ambiente, Governance, Mobilidade, Pessoas, Tecnologia e Espaço Urbano*, nesta dissertação agrupados em sete *clusters*. Para cada um destes *clusters*, foram priorizados os sete critérios mais relevantes para responder à problemática em estudo. A segunda etapa centrou-se na aplicação da técnica DEMATEL. Partindo das preferências do decisor, anteriormente identificadas, procurou-se saber, primeiramente, qual o grau de influência que cada *cluster* exerce nos restantes *clusters*. Seguidamente, de que forma se relacionam os setes critérios identificados para cada um dos *clusters*. As matrizes iniciais de influência direta foram objeto de tratamento numérico, culminando com a produção de diagramas DEMATEL inter e intra-*clusters*. Por fim, a terceira e última etapa, diz respeito à sessão de validação do estudo e formulação de recomendações em conformidade. A orientação de planeamento *bottom-up* deste estudo, que termina com uma forma de apresentação de resultados através de diagramas, que informam sobre a direção das relações e intensidade das mesmas, permitiu enriquecer a discussão dos resultados alcançados. Embora o tema tratado seja extremamente atual e, portanto, a aplicabilidade do modelo proposto se enquadre provavelmente numa visão de médio-longo prazo, a execução destas metodologias fornece alicerces relevantes para dar suporte a processos de tomada de decisão neste contexto, de forma estruturada e transparente. Por outro lado, incentiva linhas de investigação futura que possam contribuir para o desenvolvimento do tema.

ÍNDICE GERAL

Principais Abreviaturas Utilizadas	xiii
Capítulo 1 – Introdução Geral	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Principais Objetivos de Investigação	2
1.3. Orientação Epistemológica e Metodologia de Investigação	3
1.4. Estrutura	3
1.5. Principais Resultados Esperados	4
Capítulo 2 – Revisão da Literatura	5
2.1. Tecnologia, Inteligência Artificial e <i>Smart City</i> : Conceitos Basilares	5
2.2. Inteligência Artificial e <i>Smart City</i> : Desafios e Oportunidades	9
2.3. Fundamentos para a Adaptação da <i>Smart City</i> à Inteligência Artificial	11
2.4. Estudos Relacionados	13
2.5. Limitações Metodológicas Gerais	18
<i>Sinopse do Capítulo 2</i>	20
Capítulo 3 – Enquadramento Metodológico	21
3.1. O Apoio à Tomada de Decisão Multicritério	21
3.1.1. A Abordagem MCDA	22
3.1.2. Paradigmas e Convicções Basilares	26
3.1.3. Contributos para a Análise da relação <i>AI-Smart City</i>	27
3.2. A Avaliação Multicritério	28
3.2.1. Avaliação Multicritério e a Técnica DEMATEL	29
3.2.2. Vantagens e Limitações da Técnica DEMATEL	34
<i>Sinopse do Capítulo 3</i>	35
Capítulo 4 – Resultados e Análise	37
4.1. Identificação de Desafios e Iniciativas de Adaptação	37
4.2. Aplicação da Técnica DEMATEL	41
4.3. Análise de Resultados	50

4.4. Consolidação e Recomendações	59
<i>Sinopse do Capítulo 4</i>	62
Capítulo 5 – Conclusão	63
5.1. Principais Resultados e Limitações da Aplicação	63
5.2. Reflexões e Implicações Teórico-Práticas para a Gestão	65
5.3. Futura Investigação	65
Referências Bibliográficas	67

ÍNDICE DE FIGURAS E QUADROS

FIGURAS

Figura 3.1: Grafo Orientado e Matriz <i>A</i>	30
Figura 3.2: Mapa de Relações	33
Figura 3.3: Etapas da Técnica DEMATEL	33
Figura 4.1: Mapa Cognitivo de Grupo	38
Figura 4.2: Passos Processuais da Metodologia	41
Figura 4.3: Diagrama DEMATEL Inter-Clusters	50
Figura 4.4: Diagrama DEMATEL Inter-Clusters nos Diversos Quadrantes	51
Figura 4.5: Diagrama DEMATEL Cluster 1 – Economia	52
Figura 4.6: Diagrama DEMATEL Cluster 2 – Energia e Ambiente	53
Figura 4.7: Diagrama DEMATEL Cluster 3 – Espaço Urbano	54
Figura 4.8: Diagrama DEMATEL Cluster 4 – Governance	55
Figura 4.9: Diagrama DEMATEL Cluster 5 – Mobilidade	56
Figura 4.10: Diagrama DEMATEL Cluster 6 – Pessoas	57
Figura 4.11: Diagrama DEMATEL Cluster 7 – Tecnologia	58
Figura 4.12: Instantâneos da Sessão de Consolidação	60

QUADROS

Quadro 2.1: Estudos Relacionados com AI e <i>Smart Cities</i> : Contributos e Limitações ...	15
Quadro 3.1: Tipos de <i>Problematic</i>	24
Quadro 3.2: Fases e Características do Processo MCDA	25
Quadro 4.1: Priorização de Desafios e Iniciativas de Adaptação – <i>Clusters</i> e Critérios ..	39
Quadro 4.2: Matriz de Influência Direta <i>A</i> Inter-Clusters.....	42
Quadro 4.3: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 1 – Economia	43
Quadro 4.4: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 2 – Energia e Ambiente	43
Quadro 4.5: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 3 – Espaço Urbano	44
Quadro 4.6: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 4 – Governance	44
Quadro 4.7: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 5 – Mobilidade	45
Quadro 4.8: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 6 – Pessoas	45
Quadro 4.9: Matriz Inicial de Influência Direta <i>A</i> para o Cluster 7 – Tecnologia	46

Quadro 4.10: Matriz de Influência Direta Normalizada X Inter-Clusters	47
Quadro 4.11: Matriz de Identidade I	47
Quadro 4.12: Matriz $(I - X)$ Inter-Clusters	47
Quadro 4.13: Matriz $(I - X)^{-1}$ Inter-Clusters	48
Quadro 4.14: Matriz de Influência Total T Inter-Clusters	48
Quadro 4.15: Matriz de Influência Total T Inter-Clusters (Cálculos Auxiliares)	49
Quadro 4.16: Cálculos Auxiliares para Produção do Diagrama DEMATEL Inter-Clusters	49
Quadro 4.17: Matriz de Influência Total T para o Cluster 1 – Economia	52
Quadro 4.18: Matriz de Influência Total T para o Cluster 2 – Energia e Ambiente	53
Quadro 4.19: Matriz de Influência Total T para o Cluster 3 – Espaço Urbano	54
Quadro 4.20: Matriz de Influência Total T para o Cluster 4 – Governance	55
Quadro 4.21: Matriz de Influência Total T para o Cluster 5 – Mobilidade	56
Quadro 4.22: Matriz de Influência Total T para o Cluster 6 – Pessoas	57
Quadro 4.23: Matriz de Influência Total T para o Cluster 7 – Tecnologia	58

PRINCIPAIS ABREVIATURAS UTILIZADAS

AHP	– <i>Analytic Hierarchy Process</i>
AI	– <i>Artificial Intelligence</i>
ANN	– <i>Artificial Neural Network</i>
ANP	– <i>Analytic Network Process</i>
BD	– <i>Big Data</i>
BSHSF	– <i>Big Data Enabled Smart Healthcare System Framework</i>
CI	– <i>Computational Intelligence</i>
DEMATEL	– <i>DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory</i>
DL	– <i>Deep Learning</i>
ELECTRE	– <i>Elimination and Choice Expressing the Reality</i>
HSTSM	– <i>Hierarchical Spatial-Temporal State Machine</i>
IoT	– <i>Internet of Things</i>
MACBETH	– <i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MCDA	– <i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
MCDM	– <i>Multiple Criteria Decision Making</i>
ML	– <i>Machine Learning</i>
OR	– <i>Operational Research</i>
PROMETHEE	– <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i>
PSM	– <i>Problem Structuring Method</i>
SODA	– <i>Strategic Options Development and Analysis</i>
TAM2	– <i>Extended Technology Acceptance Model</i>
TIC	– <i>Tecnologias de Informação e Comunicação</i>
TOPSIS	– <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UTAUT2	– <i>Extended Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente capítulo introduz a dissertação. Deste modo, procurar-se-á identificar a motivação para a realização desta investigação, através de um breve enquadramento do tema. Seguidamente, serão identificados os principais objetivos de investigação, assim como apresentada a orientação metodológica escolhida, a estrutura da dissertação e os principais resultados esperados.

1.1. Enquadramento do Tema

O tecido urbano alberga mais de metade da população mundial e estima-se que este número continue a aumentar de acordo com as projeções das Nações Unidas (*cf.* Caird, 2018; Yan, Liu, & Tseng, 2020). Globalmente, é fácil encontrar megacidades, com mais de 20 milhões de pessoas (*cf.* Albino, Berardi, & Dangelico, 2015), tornando-se árduo, por vezes, garantir os recursos básicos necessários para estas áreas urbanas em expansão (Kummitha, 2019). Por outro lado, estima-se que as cidades que ocupam apenas aproximadamente 2% da área terrestre sejam responsáveis por três quartos das emissões de carbono (*cf.* Caird, 2018). Os desafios estendem-se não só desde o plano ambiental, mas também ao plano económico e social (Caird, 2018).

Face ao exposto, torna-se inevitável perceber e desenvolver as *smart cities*. Perante a balança de obstáculos e soluções, é imperativo pender a balança para a prosperidade económica e social, sem descuidar a sustentabilidade ambiental. Tal é possível porque desenvolver *smart cities* têm vindo a ser uma estratégia vencedora (Gupta, Chauhan, & Jaiswal, 2019). Existem muitas definições de *smart city*, normalmente acopladas à presença de tecnologia. Uma investigação elaborada por Camero e Alba (2019) revelou que, para além do crescente interesse pela temática das *smart cities*, as temáticas de *computer science* e *information technology* representam cerca de metade do total de pesquisas nesta área. Este estudo resultou do levantamento de publicações de *smart cities* indexadas no *Journal Citation Reports* (JCR) até à data de 9 de Outubro de 2017. De facto, a tecnologia tem contribuído para tornar as cidades mais “inteligentes” e muitos dos problemas citadinos podem ser mitigados se estas cidades forem

orientadas a/por dados (Joshi, Saxena, Godbole, & Shreya, 2016). A inteligência artificial (ou *Artificial Intelligence* (AI)) assume um papel destacado em contextos de *smart cities*, na análise dos dados, no apoio à gestão das cidades e em processos de tomada de decisão (Allam & Dhunny, 2019). As *smart cities* e a AI são, portanto, áreas de relevância nos dias de hoje. Neste sentido, o tema escolhido centra-se na análise das iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI, com recurso à técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) (Gabus & Fontela, 1972).

1.2. Principais Objetivos de Investigação

Decorrente da urbanização, parece evidente a necessidade de garantir o bem-estar populacional e de tornar as cidades *smart(ers)* e diversos estudos têm sido desenvolvidos no âmbito da tecnologia para as *smart cities*. Pontualmente, diferentes iniciativas têm sido propostas e/ou implementadas que integram tecnologias de AI. Ainda assim, a transformação provocada pela relação AI-*smart city* parece longe de ser uma realidade à escala global (Oliver Wyman Forum, 2019). Parece pertinente, por isso, recorrer a técnicas mais robustas e que permitam ter uma visão holística sobre estes temas complexos e que apoiem os processos de tomada de decisão neste âmbito.

O principal objetivo da presente dissertação passa por recorrer a uma abordagem multicritério para desenvolver ***um modelo de análise dinâmica entre iniciativas e desafios de adaptação da smart city à AI através da aplicação da técnica DEMATEL***. Por outras palavras, pretendemos recorrer a uma abordagem epistemológica construtivista – *i.e.*, *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA) – com o propósito de estabelecer e analisar as relações de causa-efeito entre os critérios identificados (*i.e.*, iniciativas e desafios de adaptação). Tal é possível avaliando critérios identificados como relevantes para a problemática em causa, com recurso à técnica DEMATEL. Adicionalmente, pretendemos fomentar a aprendizagem, a partilha e o pensamento crítico entre os atores envolvidos, no decorrer do estudo, que advém do recurso de abordagens orientadas para o processo. Por fim, importa indagar acerca da aplicabilidade prática do modelo proposto.

1.3. Orientação Epistemológica e Metodologia de Investigação

Como referido anteriormente, a concretização da presente dissertação seguirá uma orientação epistemológica construtivista. Por conseguinte, de forma a dar resposta aos principais objetivos propostos, importa, primeiramente, compreender conceitos basilares de *smart city*, tecnologia e AI, bem como a sua associação. Numa segunda etapa, será relevante perceber que oportunidades e desafios existem em torno destes conceitos, nomeadamente quando associados. Por fim, procurar-se-á refletir sobre estudos existentes neste contexto e descortinar as limitações metodológicas gerais. Desta revisão da literatura *bottom-up* surge a metodologia proposta, que se apresenta como uma mais-valia para colmatar algumas lacunas identificadas.

A adaptação da *smart city* à AI envolve múltiplos critérios, alguns subjetivos. Em conjunto com a atualidade do tema, torna-se pertinente recorrer a abordagens que envolvam aprendizagem, discussão e até a possível criação de algo que não pré-exista (Ferreira, Santos, & Rodrigues, 2011). Concretamente propomo-nos a avaliar as iniciativas e os desafios de adaptação da *smart city* à AI, de forma a desintrincar as relações causais que existam neste contexto. Face ao exposto, dentro da abordagem MCDA, recorrer-se-á à técnica DEMATEL. Esta técnica expressa relações de causalidade entre os múltiplos critérios identificados de forma compreensível, favorecendo a reflexão sobre os mesmos (Lo, Liou, Huang, Chuang, & Tzeng, 2020).

1.4. Estrutura

De forma a procurar responder aos principais objetivos de investigação propostos, a presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, devidamente suportados em referências bibliográficas. Sumariamente, os capítulos apresentam-se da seguinte forma:

- O *Capítulo 1* remete para a presente introdução. Após um enquadramento do tema, apresentam-se os objetivos, a metodologia e os principais resultados esperados com a investigação;
- O *Capítulo 2* aborda a revisão de literatura, aprofundando, em primeiro lugar, os conceitos de *smart city*, tecnologia e AI. Seguidamente, explora-se a relação AI-*smart city*, comprovando a pertinência do presente estudo. Por fim, analisam-se vários contributos relacionados com o tema e exploram-se as limitações metodológicas gerais;

- O *Capítulo 3* remete para o enquadramento metodológico. Neste capítulo, justifica-se a abordagem escolhida. Para o feito, desenvolve-se, primeiramente, o conceito de apoio à tomada de decisão multicritério, particularizando a abordagem MCDA e os seus potenciais contributos para o contexto de investigação. Posteriormente, apresenta-se a avaliação multicritério e aprofunda-se a técnica DEMATEL, identificando as suas vantagens e limitações;
- O *Capítulo 4* diz respeito aos resultados e análise. Para materializar a componente empírica da dissertação, começamos por identificar desafios e iniciativas de adaptação da *smart city* à AI. Numa segunda fase, aplica-se a técnica DEMATEL. Por fim, analisam-se os resultados alcançados;
- O *Capítulo 5* conclui a dissertação, esquematizando os principais resultados obtidos, fazendo uma reflexão sobre as implicações da presente dissertação para a gestão e propondo sugestões para futura investigação.

1.5. Principais Resultados Esperados

Conforme referido anteriormente, o principal objetivo da presente dissertação é avaliar a adaptação da *smart city* à AI, obtendo uma visão mais holística e que permita compreender melhor este tema. Espera-se que a análise proposta identifique fatores mais e menos preponderantes para este contexto e que a reflexão sobre os mesmos possa contribuir para apoiar processos de tomada de decisão no futuro.

As iniciativas e os desafios de base para a aplicação da técnica DEMATEL resultam de um processo de mapeamento cognitivo, desenvolvido através de um painel multidisciplinar adequado à temática de *smart cities*. Por conseguinte, a aplicação DEMATEL permite estabelecer relações de causalidade entre os critérios identificados (a partir do mapa anterior) e construir diagramas que espelhem estas relações. Espera-se que a interpretação dos diagramas finais permita formular recomendações para as partes interessadas, de forma justificada e transparente. Adicionalmente, também se espera que os resultados desta investigação sejam publicados numa revista científica da especialidade e que fomente investigação futura sobre o tema aqui tratado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

O desenvolvimento de *smart cities* tem vindo a atrair cada vez mais a atenção de investigadores e ademais *stakeholders*, sendo suportado pela evolução da tecnologia e da AI. O presente capítulo visa aprofundar estes conceitos e os fundamentos para adaptar uma *smart city* à AI. Para tal, serão desenvolvidos os seguintes tópicos: (1) conceitos basilares de tecnologia, AI e *smart cities*, bem como a sua associação; (2) determinar os desafios e as oportunidades associados aos conceitos mencionados; (3) perceber quais os fundamentos para conseguir adaptar a *smart city* à AI; (4) identificar alguns estudos relacionados, descortinando os seus principais contributos e limitações; e, por fim, (5) apresentar as limitações metodológicas gerais dos estudos existentes, no sentido de criar espaço para a proposta a apresentar no âmbito da presente dissertação.

2.1. Tecnologia, AI e Smart City: Conceitos Basilares

A importância da urbanização e da “*city of tomorrow*” não é só dos dias de hoje (Eremia, Toma, & Sanduleac, 2017). Na década de 1950, impulsionada pela relevância da sustentabilidade, começa a destacar-se a “*sustainable city*”. Em paralelo com o grande desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação (TIC), e face à grande quantidade de informação disponível, no final dos anos 1990, tornou-se também popular o conceito de “*digital city*”, que viria, posteriormente, a ser substituído pelo conceito mais holístico de “*smart city*”, o qual incorpora elementos de sustentabilidade, inclusão social e é adequado ao progresso da tecnologia (Eremia *et al.*, 2017). Na literatura, encontramos um vasto leque de definições de *smart city* e, em alguns casos, outras designações são utilizadas como alternativa ou sinónimo da mesma (cf. Camero & Alba, 2019).

De acordo com a Comissão Europeia (in Kummitha, 2019, p. 1), uma *smart city* pode ser definida como um lugar “*where traditional networks and services are made more efficient with the use of digital and telecommunication technologies for the benefit of its inhabitants and business*”. Por sua vez, Caragliu, Bo e Nijkamp (2011, p. 70) defendem que uma cidade é *smart* quando “*investments in human and social capital and traditional (transport) and modern [...]*

communication infrastructure fuel sustainable economic growth and a high quality of life, with a wise management of natural resources, through participatory governance”. Por outras palavras, uma *smart city* visa alcançar prosperidade sustentável, usando a tecnologia como elemento motor. Também para Yigitcanlar e Kamruzzaman (2015), os objetivos que proporcionam bem-estar e qualidade de vida aos cidadãos não devem ser dissociados dos objetivos ambientais. Com efeito, ambos devem estar alinhados com os objetivos económicos estabelecidos, num processo dinâmico de desenvolvimento sustentável.

A *smart city* é um sistema de sistemas (Costa & Oliveira, 2020). Nesse sentido, Lim e Maglio (2018) propõem 12 áreas de aplicação relacionadas com a *smart city*, nomeadamente: (1) *smart device*; (2) *smart environment*; (3) *smart home*; (4) *smart energy*; (5) *smart building*; (6) *smart transportation*; (7) *smart logistics*; (8) *smart farming*; (9) *smart security*; (10) *smart health*; (11) *smart hospitality*; e (12) *smart education*. No contexto apresentado de sistema de serviços *smart*, *smart device* (i.e., dispositivos eletrónicos com características-chave, tais como a possibilidade de recolha de dados e a conectividade) e *smart environment* (i.e., ambiente munido de tecnologia) constituem *resource-type areas*, sendo, por isso, requisitos para o desenvolvimento das restantes 10 áreas (i.e., *business system-type areas*). Estas últimas, por sua vez, estão relacionadas sumariamente com: a casa equipada com tecnologia *smart* (i.e., *smart home*); a gestão dos recursos energéticos (i.e., *smart energy*); a *smartness* dos edifícios (i.e., *smart building*); os sistemas de transportes públicos e privados, designadamente, a gestão do trânsito (i.e., *smart transportation*); o desenvolvimento das cadeias de abastecimento (i.e., *smart logistics*); o sector da agricultura e da jardinagem (i.e., *smart farming*); a monitorização da segurança (i.e., *smart security*); o sector da saúde e da gestão de saúde, nomeadamente, ao nível do diagnóstico e da gestão de dados de saúde (i.e., *smart health*); a restauração e o alojamento (i.e., *smart hospitality*); e, por fim, o sistema de educação (i.e., *smart education*). Todas estas áreas estão interligadas entre si e são habilitadas pela presença de tecnologia. Por conseguinte, permitem a recolha de dados e facilitam a comunicação entre os *stakeholders* das respetivas áreas permitindo a cocriação de valor. No topo desta hierarquia, encontra-se a *smart city* (e *smart governance*) como *public administration-type area*.

Alternativamente, a *smart city* também pode ser subdividida e caracterizada através de 6 domínios: *smart economy*; *smart environment*; *smart governance*; *smart mobility*; *smart living*; e *smart people* (Albino *et al.*, 2015; Camero & Alba, 2019; Caragliu *et al.*, 2011). Integrando a tecnologia nestes domínios resulta que: (1) *smart economy* refere-se à indústria das TIC ou que é suportada pelas TIC, nomeadamente *e-business* e *e-commerce*; (2) *smart environment* engloba a *smart energy* e a *smart grid*, utilizando a tecnologia para a gestão de recursos com vista à

preservação do ambiente, eficiência e sustentabilidade; (3) *smart governance* recorre à tecnologia para melhorar a gestão e o processo de tomada de decisão; (4) *smart mobility* apoia-se na tecnologia para o desenvolvimento dos transportes e da rede logística; (5) *smart living* proporciona uma cidade mais segura, saudável e atrativa, com recurso à tecnologia; e (6) *smart people* serve-se da tecnologia na gestão de recursos humanos, na educação e na formação (Albino *et al.*, 2015; Camero & Alba, 2019). Segundo Camero e Alba (2019), a maioria dos estudos efetuados focam-se no desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologia de base para *smart cities*, especialmente em *Internet of Things* (IoT). Por outro lado, os domínios a que se destinam são essencialmente *smart environment* e *smart mobility*.

A IoT providencia 3 recursos principais: (1) instrumentação, que traduz a capacidade de recolher e integrar dados reais; (2) interconexão, pois ao incorporar estes dados numa plataforma de computação, pode haver comunicação entre vários serviços da cidade; e (3) inteligência, ao poder ser usada por serviços complexos de análise que suportam os processos de tomada de decisão (Albino *et al.*, 2015). Assim, na base de uma *smart city*, está a implementação da IoT (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista, & Zorzi, 2014), a qual pode ser definida como “*the network of interconnected physical objects (called Things)*” (Mohanty, Choppali, & Kougianos, 2016, p. 69). Como exemplo destas “*things*”, temos: sensores, casas e *smartphones*.

A IoT está estreitamente relacionada com outra tecnologia emergente designada por *Big Data* (BD). Ambas melhoram a eficiência e a capacidade de resposta das *smart cities* (Mohanty *et al.*, 2016). Citando Lim, Kim e Maglio (2018, p. 86), BD “*generally refers to large and complex sets of data that represent digital traces of human activities and may be defined in terms of scale or volume, analysis methods*”. Como tecnologia, a BD pode ser caracterizada por seis “Vs”: (1) volume, referente à quantidade de dados; (2) velocidade, na produção e análise dos dados; (3) variedade, uma vez que os dados podem ser estruturados, semiestruturados ou não-estruturados; (4) veracidade, relativa à confiabilidade e qualidade dos dados; (5) variabilidade, pelas diferenças no fluxo de dados; e (6) valor na produção de *insights* e na obtenção de informação (Amanullah, Habeeb, Nasaruddin, Gani, Ahmed *et al.*, 2020). Como tal, a análise de BD apresenta vários desafios, tais como: escalabilidade, integração, tolerância ao erro, consistência, heterogeneidade, precisão e privacidade (Kolajo, Daramola, & Adebiyi, 2019). Segundo Ullah, Al-Turjman, Mostarda e Gagliardi (2020), a melhor forma de analisar BD e de conseguir decisões próximas das consideradas ideais é através de técnicas avançadas como a AI.

O termo AI foi cunhado por John McCarthy em 1956 (cf. Soni, Sharma, Singh, & Kapoor, 2020), que a definiu como *“the science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs”* (Cioffi, Travaglioni, Piscitelli, Petrillo, & De Felice, 2020, p. 1). Dentro do campo mais amplo de AI, surge o termo *Machine Learning* (ML), que é definido como o ramo da AI *“that gives computers the ability to “learn” – often from data – without being explicitly programmed”* (Gupta, 2018, p. 23). Por sua vez, como subcampo de ML, existe o *Deep Learning* (DL), o qual *“uses algorithms called Artificial Neural Networks (ANNs), which are inspired by the structure and function of the brain and are capable of self-learning. ANNs are trained to “learn” models and patterns rather than being explicitly told how to solve a problem”* (Gupta, 2018, p. 23). Por outras palavras, a AI é o que permite uma máquina desempenhar tarefas caracterizadas como inteligentes, enquanto o DL utiliza modelos inspirados no cérebro humano.

Embora a AI tenha passado por tempos atribulados, o termo recuperou a ribalta aquando do desenvolvimento de ANNs (Soni *et al.*, 2020). Nos dias de hoje, segundo Soni *et al.* (2020), o avanço da AI é o coração que impulsiona o aperfeiçoamento das outras tecnologias e da evolução da Indústria 4.0. Dois fatores são atribuídos ao desenvolvimento da AI: (1) disponibilidade de BD; e (2) aceleradores de *hardware* – *graphics processing units* e *tensor processing units* (Soni *et al.*, 2020).

De acordo com Nishant, Kennedy e Corbett (2020), as tecnologias de AI consagram três benefícios principais: (1) executar tarefas importantes, mas repetitivas e demoradas; (2) descortinar informações referentes a dados não estruturados, tais como vídeos ou publicações nas redes sociais, que antes requeriam análise e gestão humana; e (3) integrar milhares de computadores e outros recursos para resolver problemas mais complexos. Soni *et al.* (2020) acrescentam ainda que, por detrás de todas as *real-world applications*, existe um agente inteligente.

Em suma, uma *smart city* é multifacetada, com várias dimensões acopladas à tecnologia, inovação e conhecimento (*e.g.*, pessoas e comunidade *smart*). Visa mitigar os obstáculos da urbanização, proporcionando sustentabilidade (económica, social e ambiental), bem como qualidade de vida aos seus cidadãos (Albino *et al.*, 2015; Angelidou, 2015; Joshi *et al.*, 2016; Mohanty *et al.*, 2016; Nilssen, 2019). As tecnologias de AI podem ser utilizadas para analisar BD, algo que, segundo Tenuci (*in* Allam & Dhunny, 2019, p. 80) pode ser interpretado como *“the way of training computers to mimic thinking patterns and can even be done to simulate human behaviours”*. Posto isto, parece evidente a relevância das *smart cities* e da AI no

fenómeno global da urbanização. Ainda assim, é necessário ponderar quais as oportunidades e os desafios inerentes a estes conceitos, os quais serão abordados no próximo ponto.

2.2. AI e *Smart City*: Desafios e Oportunidades

No ponto anterior, procurámos descrever o conceito multidimensional de *smart city*, o qual não é unânime nem estanque ao longo do tempo, podendo mesmo assumir designações diferentes em função da área geográfica onde é caracterizado (Camero & Alba, 2019; Eremia *et al.*, 2017). Com efeito, uma cidade não precisa de ter todos os componentes para ser considerada *smart* e, conforme argumenta Mohanty *et al.* (2016), este facto dá origem a oportunidades de *tailoring* (*i.e.*, de personalização de acordo com as necessidades e requisitos de cada cidade).

A importância das áreas urbanas é um fenómeno global, tendo sido projetado pelas Nações Unidas que 60% da população mundial estará concentrada nas cidades em 2030 (*cf.* Eremia *et al.*, 2017). O tecido urbano enfrenta obstáculos de *performance*, sustentabilidade e de garantia de qualidade de vida aos seus cidadãos (Albino *et al.*, 2015). Porém, Akande, Cabral, Gomes e Casteleyn (2019) defendem que as cidades não são só fonte de desafios, mas também a solução para a maior parte deles. Com efeito, segundo Gupta *et al.* (2019, p. 661), as *smart cities* são “*the winning strategy because these cities are structured for dealing with the critical urban problems related to pollution, traffic, waste treatment, and energy consumption*”. Para além do seu papel na mitigação dos efeitos decorrentes da urbanização, as *smart cities* têm vindo a ganhar um crescente interesse como motor de desenvolvimento económico. Conforme referem Yan *et al.* (2020, p. 1), “*following the 2008 financial crisis [...] Europe and America took on a pioneering role in developing smart cities as a new means to drive economic growth*”. Por último, estas cidades permitem intervir no plano social, melhorando a qualidade de vida aos seus cidadãos (Miguel, Ferreira, Banaitis, Banaitienė *et al.*, 2019).

Dentro dos desafios para o desenvolvimento de *smart cities* destacam-se: (1) custos de projetos e operações; (2) disponibilidade de tecnologia; (3) necessidade de recursos humanos com conhecimentos sólidos de tecnologia; (4) sustentabilidade; (5) eficiência, que se relaciona com a redução de custos e sustentabilidade; (6) diferenças culturais; (7) falta de cooperação entre as partes interessadas; (8) contexto político; (9) segurança das informações e infraestruturas; e (10) segurança dos cidadãos (Joshi *et al.*, 2016; Mohanty *et al.*, 2016). A tecnologia é chave para o desenvolvimento de uma *smart city*, existindo, inclusive, um paralelismo entre a evolução das *smart cities* e a evolução da tecnologia (Camero & Alba, 2019;

Joshi *et al.*, 2016). De facto, tal como refere Angelidou (2015), o progresso da tecnologia proporciona um mercado em expansão de produtos e soluções para *smart cities*, os quais, por sua vez, criam novas oportunidades para a tecnologia.

Através da tecnologia, as *smart cities* recolhem grandes quantidades de dados, sobre uma infinidade de aspetos da vida urbana, a partir de objetos e de *stakeholders* (Allam & Dhunny, 2019; Lim *et al.*, 2018). Por outro lado, Joshi *et al.* (2016, p. 906) referem que “*problems can be avoided, anticipated and mitigated by analyzing huge data available*”. Quer isto dizer que é possível colmatar as necessidades dos ambientes urbanos, com cidades orientadas a/por dados. Por exemplo, o governo de Seul disponibiliza os dados que recolhe a *data scientists* para que estes possam produzir *insights*. Como resultado, detetou uma necessidade e melhorou o serviço público de autocarros à meia-noite (Lim *et al.*, 2018). No entanto, um dos grandes desafios está, precisamente, no facto de as aplicações de IoT produzirem grandes quantidades de dados, a uma elevada velocidade e variabilidade (Amanullah *et al.*, 2020). Através da AI, é possível colmatar os desafios de BD e analisar os dados quase em tempo real (Allam & Dhunny, 2019). Complementarmente, o DL tem vindo a mostrar-se promissor para detetar ameaças de segurança associadas aos dados (Amanullah *et al.*, 2020).

As tecnologias de AI suportam a governança, cultura e metabolismo de uma *smart city* (Allam & Dhunny, 2019). Concretizando para o domínio da sustentabilidade, “*the true value of AI will not be in how it enables individuals and society to reduce its energy, water, and land use intensities. Rather, the true value of AI will be realized at a higher level, in how it facilitates and fosters effective environmental governance*” (Nishant *et al.*, 2020, p. 1). Por seu turno, no domínio da *smart society*, Foresti, Rossi, Magnani, Bianco e Delmonte (2020, p. 3) afirmam que “*Society 5.0, along with AI, is able to use standardized processes to evaluate human needs*”. Por outras palavras, as tecnologias de AI, mais do que contribuírem para concretizar algum objetivo estabelecido, permitem apoiar uma gestão mais informada e eficiente, a qual poderá ser adaptada a vários domínios da *smart city*.

Ainda assim, a AI não está isenta de desafios. Estes enquadram-se no âmbito social, económico, de dados, organizacional, tecnológico, político, legal e ético (Dwivedi, Hughes, Ismagilova, Aarts, Coombs *et al.*, 2021). Destacam-se alguns desses desafios: (1) barreiras à entrada impostas por alguns setores da sociedade; (2) possíveis perdas nos principais mercados que ocorrem durante a transição para as tecnologias de AI; (3) problemas éticos, nomeadamente de discriminação, mesmo quando não existe intervenção humana no processo de decisão; (4) necessidade de dados e de aperfeiçoar as técnicas de AI; (5) confiabilidade e integridade dos

dados; e (6) problemas legais, por exemplo, na resolução de problemas que ocorreram usando sistemas de AI (Dwivedi *et al.*, 2021).

Kaplan e Haenlein (2019) desenvolveram uma análise *Political, Economic, Social, Technological, Environmental and Legal* (PESTEL) e fornecem as seguintes diretrizes para alinhar *stakeholders* para um futuro com a AI: (1) *enforcement*, ou seja, desenvolver regulamentação que garanta a lei e a ordem e que minimize o impacto no progresso da AI; (2) emprego, isto é, conceber *frameworks* que permitam a coabitação de máquinas e humanos; (3) ética e valores humanos, que devem ser incluídos na aprendizagem das técnicas de AI; (4) educação, de forma a alcançar um progresso *user-friendly* da AI; (5) entendimento no plano diplomático-político; e (6) adaptação gradual alinhada com as pessoas e a evolução da AI. Face ao exposto, no ponto seguinte, são explorados os fundamentos para adaptação da *smart city* à AI.

2.3. Fundamentos para Adaptação da *Smart City* à Inteligência Artificial

Fruto do incremento populacional nas cidades, estas têm adquirido novas responsabilidades económicas, políticas e tecnológicas para assegurar a sustentabilidade (Joshi *et al.*, 2016). Trata-se de um fenómeno global e, à medida que o planeta se torna mais urbano, as cidades tornar-se-ão tendencialmente *smart(ers)* (Eremia *et al.*, 2017). Citando Mohanty *et al.* (2016, p. 62), a respeito dos atributos de uma *smart city*, “*the smartness of a smart city is conceptualized as the ambition to improve economic, social, and environmental standards of the city and its inhabitants*”. Ainda segundo Akande *et al.* (2019, p. 475) “*cities are the hubs of innovation that drive the economic development of the world*”. As cidades são, portanto, um motor de prosperidade económica, com capacidade de mitigar os obstáculos decorrentes da urbanização, devendo existir, na conceptualização de *smart cities*, a promessa de valor social e sustentabilidade ambiental.

De acordo com Nam e Pardo (2011), os componentes-chave da *smart city* são a tecnologia, as pessoas e as instituições (*i.e.*, governança e política). O papel das pessoas decorre não só do seu contributo (*i.e.*, criatividade, diversidade e educação) para o desenvolvimento da *smart city*, como também da sua capacidade de aceitarem a aplicação de tecnologias no seu quotidiano (Albino *et al.*, 2015; Beretta, 2018). Assim, a estratégia de uma cidade deve capitalizar a tecnologia e o conhecimento (*i.e.*, pessoas e comunidade *smart*) (Albino *et al.*, 2015; Angelidou, 2015).

Considerando especificamente as tecnologias de AI no âmbito empresarial, Cao, Duan e Cadden (2019) defendem a necessidade de tomar decisões em tempo real, através da análise de BD, para alcançar vantagem competitiva sustentável. Nesse sentido, Davenport e Ronanki (2018, p. 110) recomendam que *“it is useful for companies to look at AI through the lens of business capabilities rather than technologies”*, salientando a sua capacidade de suporte na automatização de processos e na produção de *cognitive insights* e *cognitive engagement*. Por seu turno, em contexto de *smart cities*, Allam e Dhunny (2019, p. 88) afirmam que a implementação de AI *“substantially aid in urban governance and urban economic growth”*. Também Eggers, Guszczka e Greene (2017, p. 141) acrescentam que *“tapping into residents’ preferences and local knowledge can yield solutions that even the best planning cannot match. At the same time, citizens can make more effective decisions when cities fuel their collective intelligence with data”*. De resto, Ding, Palomares, Wang, Yang, Liu *et al.* (2020) valorizam especificamente as *data-driven AI approaches* para aplicação em infraestruturas IoT nas abordagens *Large Scale Decision Making*. Quer isto dizer que os vários *stakeholders* devem estar conscientes e preparados para disfrutar dos benefícios proporcionados pela era da AI. Face ao exposto, uma *smart city*, adaptada ao seu contexto socioespacial e devidamente suportada por tecnologias emergentes (*i.e.*, IoT e BD), deverá ser capaz de reunir os recursos necessários e operar eficazmente de forma a cumprir os objetivos que ela própria estabeleceu (Mohanty *et al.*, 2016). A AI tem um papel preponderante no processamento de BD, permitindo uma compreensão mais holística do tecido urbano e o desenvolvimento de serviços *smart*, capazes de responder de forma conveniente e em tempo real (Allam & Dhunny, 2019). Além disso, de acordo com Soni *et al.* (2020), as tecnologias de AI oferecem novas oportunidades que podem levar a transformações notáveis nos negócios e no sistema económico geral.

Sumarizam-se, assim, alguns benefícios resultantes das sinergias propostas, como: (1) redução de custos; (2) relação bidirecional *win-win* entre empreendedorismo (que engloba *startups*, organizações corporativas, pequenas e médias empresas (PMEs) e empresas sociais) e *smart cities*; (3) empregos globalmente mais competitivos; (4) aumento da motivação e da qualidade de vida dos cidadãos; (5) gestão eficiente de recursos e preservação do ambiente; (6) aumento de *performance* e produtividade; (7) precisão e rapidez nos processos de tomada de decisão; (8) crescimento económico; (9) governança urbana informada e responsiva; (10) capacidade de resposta a emergências (*cf.* Akande *et al.*, 2019; Albino *et al.*, 2015; Allam & Dhunny, 2019; Angelidou, 2015; Costa & Oliveira, 2020; Joshi *et al.*, 2016; Kummitha, 2019; Mohanty *et al.*, 2016). Posto isto, no próximo ponto, serão analisados alguns estudos relacionados com a temática proposta, fazendo referência aos seus contributos e limitações.

2.4. Estudos Relacionados

De acordo com o estudo “*Global Cities AI Readiness Index*”, desenvolvido pelo Oliver Wyman Forum (2019), nenhuma cidade está realmente preparada para a disrupção da AI. Ainda assim, algumas *smart cities* estão mais avançadas na transformação e na adaptação à AI. Por exemplo, Singapura tem vindo a fazer esforços de investigação em AI para aplicação em várias áreas de *smart city*, a maioria financiados por agências governamentais, uma vez que pretende transformar-se numa *smart nation* (Varakantham, An, Low, & Zhang, 2017).

Ullah *et al.* (2020) abordam estudos e tendências de AI, ML e DL em *smart cities*, particularizando as aplicações mais recentes na conceção de *smart governance*. Concluem sobre alguns desafios que devem ser ultrapassados para uma mais eficaz utilização da AI em *smart cities*, nomeadamente: (1) obter mais *training data* para otimizar os processos de tomada de decisão (*i.e.*, ML e DL); (2) padronização da infraestrutura de comunicação de *smart grids*, aquando da padronização da tecnologia 5G, esperada para 2020; (3) seleccionar as técnicas de AI que melhoram a *performance* de *smart grids*; e (4) encontrar técnicas inovadoras, baseadas em análise de BD, que assegurem a segurança cibernética e das aplicações da *smart city*.

No domínio da *smart health*, Pramanik, Lau, Demirkan e Azad (2017) propõem que é possível impulsionar o sector da saúde através de BD e sistemas inteligentes. Neste sentido, os autores exploram aplicações de três áreas técnicas – *i.e.*, agentes inteligentes, ML e *text mining*. Fazem uma recolha de dados secundários sobre projetos que estão a ser implementados no domínio da *smart health* e desenvolvem o *Big Data Enabled Smart Healthcare System Framework* (BSHSF), propondo recomendações de investigação futura para alcançar vantagem competitiva sustentável com o modelo proposto. O estudo conclui que é possível melhorar a qualidade e a eficiência da assistência médica com BD e tecnologias avançadas *smart*. Também para Tuan, Thanh e Tuan (2019), as tecnologias, nomeadamente a AI, podem revolucionar o sistema de saúde. Os autores fazem uma análise de mercado e desenvolvem um modelo de negócios para o mercado vietnamita com o objetivo de incentivar o empreendedorismo.

Di Santo, Di Santo, Monaro e Saidel (2018) desenvolveram uma metodologia para incorporar nas *smart grids* e que visa reduzir o custo da eletricidade para o consumidor e a sobrecarga do sistema de distribuição, através do uso de AI. O estudo demonstra que o sistema de tomada de decisão baseado em ANN é uma forma eficaz de atingir esses objetivos. Taecharungroj e Mathayomchan (2020) argumentam, também, que os avanços nas técnicas de ML e a disponibilidade de BD nas *smart cities* permitem identificar e analisar *city image dimensions*, com o intuito de perceber as percepções das cidades pelos *stakeholders*. A vantagem

destacada pelos autores é a possibilidade de fazer *benchmark*, pelos governantes, entre cidades da mesma categoria. Perante o grande desafio da segurança dos dados associado à *smart city*, Chen, Qiu, Zhou, Li e Atiquzzaman (2019) propõem a utilização de um modelo específico de AI designado por *back-propagation neuronal network model*, para aumentar a robustez da IoT a ataques cibernéticos. Concluem que o modelo consegue ultrapassar outros algoritmos com melhor relação custo-eficiência.

No domínio da sociedade, referem-se três estudos distintos: (1) Serrano e Bajo (2019), que abordam várias arquiteturas de DL no diagnóstico dos serviços sociais da *smart city*, demonstrando que a AI pode ser um trunfo para melhorar o desempenho destas equipas e que as arquiteturas são bastante adaptáveis em função das políticas desenvolvidas para a *smart city*. O foco do estudo incide, assim, sobre o prognóstico de exclusão social crónica; (2) Basori, Hamid, Mansur e Yusof (2019), que descrevem o serviço municipal de realidade aumentada que, desenvolvido na cidade de Jeddah e enquadrado no Saudi Vision 2030, visa disseminar informação de forma eficiente. O projeto designa-se por iMars e é suportado por tecnologia DL, permitindo monitorizar as pessoas que estão na cidade em tempo real. Por exemplo, é possível partilhar informação com turistas ou resolver situações de emergência como acidentes; e, por fim, (3) Baudier, Ammi e Deboeuf-Rouchon (2020), que testam a aceitação do conceito de *smart home* (que integra tecnologias de AI) e o impacto na “*performance expectancy*” e “*habit*”, recorrendo a uma escala desenvolvida com base em constructos do modelo *Extended Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT2) e do *Extended Technology Acceptance Model* (TAM2). Os autores admitem a hipótese de que é possível melhorar a qualidade de vidas destes cidadãos e, simultaneamente, preservar o ambiente. O estudo contribui com *insights* de como é que o conceito de *smart home* é percecionado por nativos digitais com o objetivo de melhorar o mercado tecnológico no domínio *smart living*.

Iqbal, Doctor, More, Mahmud e Yousuf (2020) exploram o potencial da combinação BD e de técnicas de análise de BD – *Computational Intelligence* (CI), nomeadamente o DL – para apoiar o desenvolvimento económico e social de *smart cities*, áreas de aplicação e alguns desafios de BD. Nesta sequência, os autores exploram um caso de estudo para detetar a procura de táxis (i.e., *smart transportation*), utilizando dados públicos disponíveis para a cidade de Nova Iorque e propõem a integração da metodologia *Hierarchical Spatial-Temporal State Machine* (HSTSM) no processamento dos dados. O estudo conclui que, com a combinação CI-BD, é possível reduzir custos, apoiar processos de tomada de decisão em tempo real e incentivar o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Din, Guizani, Rodrigues, Hassan e Korotaev (2019) contribuem com *insights* sobre a relação *smart city* e técnicas de AI (ML) e os seus

impactos em diferentes áreas como a saúde, agricultura e segurança de dispositivos. Os autores consideram que fornecem alicerces básicos necessários para incentivar mais pesquisa sobre estas temáticas. O *Quadro 2.1* resume alguns dos estudos desenvolvidos nesta área, identificando também os seus contributos e limitações.

Quadro 2.1: Estudos Relacionados com AI e *Smart Cities*: Contributos e Limitações

Autor	Propósito/Método	Contributos	Principais Limitações
Pramanik <i>et al.</i> (2017)	BSHSF para <i>smart health</i>	- Explora aplicações de três áreas técnicas: agentes inteligentes, ML e <i>text mining</i>; - Confirma que a presença de BD e de tecnologias avançadas permite melhorar a qualidade e eficiência da assistência médica.	- Sistemas de saúde têm de ser atualizados para os vários <i>stakeholders</i> beneficiarem do BSHSF; - Identifica desafios técnicos, sociais, financeiros, éticos e organizacionais e remete-os para investigação futura.
Di Santo <i>et al.</i> (2018)	Promover sistemas <i>active demand side management</i> para consumidores nas <i>smart grid</i>	Demonstra que o sistema de tomada de decisão baseado em ANN (<i>i.e.</i>, DL) permite reduzir o custo de eletricidade para o consumidor.	Aplicado em nicho da população: consumidores com taxas específicas de energia em São Paulo.
Basori <i>et al.</i> (2019)	Sistema iMars (<i>i.e.</i> , AI com realidade aumentada mais análise de dados)	Comprova que, recorrendo ao DL, é possível analisar e classificar o nível de importância da informação carregada pelos utilizadores de forma a auxiliá-los nas atividades do dia-a-dia e em casos de emergência.	- Ainda em fase de teste de simulação; - Necessário melhorar a taxa de reconhecimento da técnica de DL.
Chen <i>et al.</i> (2019)	<i>Back-propagation neuronal network model</i> para <i>smart security</i>	Propõe um modelo de AI, com melhor relação custo-eficiência, para incrementar a robustez das topologias IoT e protegê-las de ataques cibernéticos.	- Trata-se de um estudo experimental, em ambiente controlado; - Admite a necessidade de estudar outros métodos de ML com o mesmo propósito.
Din <i>et al.</i> (2019)	Técnicas de ML baseadas em IoT para <i>smart cities</i>	- Identifica contributos de ML em diferentes áreas de <i>smart cities</i>: saúde, agricultura e segurança de dispositivos, entre outros; - Discrimina prós e contras de técnicas de ML.	- O estudo tem como objetivo catalogar várias técnicas, em várias áreas, num único documento. No entanto, peca por não especificar como foram selecionadas as técnicas abordadas; - Uma análise dinâmica das relações de causa-efeito associadas à implementação destas iniciativas na <i>smart city</i> poderia ser uma mais-valia para consolidar o estudo.

Serrano e Bajo (2019)	DL, ML e <i>data mining</i> no diagnóstico dos serviços sociais	Demonstra que várias arquiteturas de DL permitem fazer o prognóstico de exclusão social crónica com elevada taxa de precisão.	- Estudo direcionado para uma temática específica; - Destaca possíveis problemas de segurança ao aplicar estas técnicas, mas outros desafios relevantes podem ter sido excluídos.
Tuan <i>et al.</i> (2019)	Modelo de negócios para IoT na saúde – <i>smart health</i>	- Análise do mercado vietnamita e <i>Business Model Canvas</i> do <i>Ecomedic Medical System</i>; - Permite <i>empowerment</i> dos utentes, sistemas de saúde com melhor relação custo-benefício e melhores <i>outcomes</i> de saúde, suportados pela tecnologia.	- Posicionamento do caso de estudo para doentes com doenças cardiovasculares e no sector privado – parte do mercado potencial; - Admite a necessidade de mais estudos para garantir vantagem competitiva sustentável.
Baudier <i>et al.</i> (2020)	Nível de aceitação do Conceito <i>Smart home</i> (baseado em UTAUT2 e TAM2)	Demonstra que as tecnologias desenvolvidas para <i>smart home</i> são aceites pela população em análise.	O estudo testa apenas um nicho da população com formação superior e que tem predisposição para tecnologias digitais, o que limita a sua generalização.
Iqbal <i>et al.</i> (2020)	BD-CI em <i>smart cities</i> e modelo HSTSM	Identifica vários benefícios tangíveis de analisar BD por CI em <i>smart cities</i>: reduzir custos, apoiar decisores em tempo real e incentivar o desenvolvimento de novos produtos e serviços.	A metodologia apresentada tem de ser aplicada e desenvolvida noutras áreas de <i>smart cities</i>, para criar valor comercial e científico.
Taecharungroj e Mathayomchan (2020)	ML para identificar e analisar <i>city image dimensions</i>	Recorre ao ML para desenvolver <i>city branding</i> e apoiar a gestão e desenvolvimento da cidade.	- Possível enviesamento de resultados. Recomenda investigação futura com outras cidades e plataformas de recolha de fotos; - Uma análise de fotos não permite analisar algumas dimensões inerentes ou intangíveis da cidade, como segurança ou educação.
Ullah <i>et al.</i> (2020)	Aplicações de AI, ML e DL em <i>smart cities</i>	Identifica estudos e tendências de AI, ML e DL, bem como os desafios e direções futuras para otimizar a <i>performance</i> destas técnicas nas <i>smart cities</i>.	Foco exclusivo no pilar da tecnologia.

Através da análise do *Quadro 2.1*, depreende-se que existem abordagens muito distintas para a integração da AI na *smart city*. Alguns estudos dão maior ênfase à *smart city*, outros à AI. Por seu turno, alguns estudos focam-se em áreas específicas dentro do contexto *smart city*, enquanto outros identificam oportunidades da AI para melhorar a competitividade da *smart city*. Se podemos tirar algum contributo e *insights* para adaptação da *smart city* à AI, também não podemos excluir que todos os estudos analisados têm limitações. No ponto seguinte, são apresentadas algumas limitações comuns aos estudos identificados.

2.5. Limitações Metodológicas Gerais

Nos últimos anos, tem existido um crescente interesse pelas *smart cities* e pela AI. Através da análise do ponto anterior, depreende-se que as aplicações de AI para a *smart city* encontradas na literatura são bastante diversificadas. Conforme argumentam Braun, Fung, Iqbal e Shah (2018, p. 506), a *smart city* “*will rely on artificial intelligence to identify problems and implement solutions at speeds surpassing human ability*”. Ainda segundo Angelidou (2015, p. 104), “*smart city strategies play a decisive role in how cities will choose to take advantage of technology to favor the development of innovation networks, healthy societies and dynamic economies*”. Deste modo, sendo certa a relação AI-Smart City, parece evidente a necessidade de a aprofundar.

Dos estudos analisados, constata-se que existe um direcionamento dos mesmos para nichos da população e/ou para áreas específicas da *smart city* e/ou para técnicas particulares de AI (e.g., Baudier *et al.*, 2020; Di Santo *et al.*, 2018; Serrano & Bajo, 2019). Estes estudos contribuem com *insights* pertinentes para os ademais *stakeholders*, nomeadamente para o desenvolvimento de investigação futura. No entanto, pecam por limitar a generalização dos mesmos, quer por poder não ser possível alcançar o mercado potencial de determinada iniciativa, quer pelo facto de poder não existir aplicabilidade dos modelos utilizados noutras áreas e/ou noutros contextos de *smart city*. Com efeito, Winden e Buuse (2017, p. 68) alertam para a presença de múltiplas variáveis, no processo de *scaling up* de projetos-piloto de *smart cities*, salientando que “*most smart city technology projects are not only technical, but involve social, cultural, political, institutional, and behavioral changes that are very context sensitive. In this respect, there are reasons to be doubtful about the effectiveness of dissemination and replication activities*”. Por outro lado, analisando, por exemplo, o estudo de Pramanik *et al.* (2017), são identificadas várias vantagens inerentes à inclusão de AI na área de *smart health*.

Contudo, tal como realçado por Pramanik *et al.* (2017, p. 381), “*in order to successfully address the challenges, new holistic assessment and design ideas as well as truly multidisciplinary development approaches will become necessary*”. Neste sentido, podemos concluir que uma das limitações transversais aos estudos identificados prende-se com o facto não contemplarem uma visão holística do problema em estudo, algo que tornaria a relação AI-Smart City mais compreensível para as partes interessadas. Adicionalmente, destaca-se a forma pouco clara como é feita a identificação dos riscos e das iniciativas de adaptação das *smart cities* à AI, bem como das suas relações de causa-efeito. Por exemplo, seria relevante perceber: (1) quais os critérios que estão na base do desenvolvimento de uma determinada iniciativa; (2) como foi identificado determinado risco; e (3) qual o impacto ou em que medida determinada ação é impactada no âmbito do problema em estudo. Posto isto, seria uma mais-valia consolidar estes estudos com análises dinâmicas entre as variáveis identificadas para a relação AI-Smart City e que reflitam a complexidade dos temas abordados, uma vez que, tal como argumentam Kourtit, Nijkamp e Steenbruggen (2017, p. 15), “*urban agglomerations exhibit nowadays an enormous complexity with a myriad of actors and forces creating both centripetal and centrifugal developments*”.

Em conclusão, na adaptação da *smart city* à AI concorrem vários *stakeholders*, com objetivos finais diversos e de vários âmbitos. Vários autores demonstraram o papel da *smart city* na mitigação dos obstáculos decorrentes da urbanização. Outros reforçaram a *smart city* enquanto motor de prosperidade, quando devidamente suportada pela tecnologia. Seja como for, parece existir uma lacuna de estudos que avaliam a adaptação da *smart city* à AI e que permitam aos ademais *stakeholders* tomarem decisões mais informadas e eficientes. Face às limitações gerais expostas, a presente dissertação recorrerá à técnica *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) para analisar as iniciativas e os desafios de adaptação da *smart city* à AI. No próximo capítulo, será feito um enquadramento desta técnica, bem como das suas vantagens e limitações no contexto em estudo.

SINOPSE DO CAPÍTULO 2

Este capítulo foi desenvolvido com o intuito de apresentar os conceitos de *smart city* e AI, bem como de analisar as iniciativas e os desafios de adaptação de uma *smart city* à AI. Para o efeito, os primeiros pontos foram dedicados aos conceitos basilares de tecnologia, AI e *smart city*, desvendando os seus desafios e oportunidades. Numa segunda fase, fundamentou-se a adaptação da *smart city* à AI e comprovou-se a pertinência do presente estudo. Demonstrou-se a complexidade dos conteúdos em análise, a presença de múltiplos intervenientes e a necessidade de ter em atenção o âmbito social, económico e ambiental. Fez-se o levantamento de alguns estudos relativos ao enquadramento em análise, referenciando os seus contributos e as suas limitações. Por fim, procurámos analisar globalmente os estudos identificados por forma a encontrar algumas limitações gerais. Verificou-se que não existe um modelo de *smart city* que possa ser replicado à escala global; que a comunidade não é mera espectadora; e que a tecnologia tem um papel destacado quer na base da *smart city*, quer no suporte e na criação de oportunidades de inovação. Concretizando para AI, percebeu-se que esta permite não só aperfeiçoar e colmatar desafios das tecnologias presentes nas *smart cities*, como também apoiar os vários *stakeholders* e alcançar propostas com valor sustentável. Foi realizada uma análise cuidada de vários estudos, uns mais gerais de técnicas de AI para *smart cities*, outros mais específicos para algum dos domínios da *smart city*, ou para o contexto singular de alguma *smart city* em concreto. Por fim, levantaram-se as seguintes limitações metodológicas gerais: (1) forma pouco clara como se identificam os riscos e as iniciativas de adaptação das *smart cities* à AI, bem como das suas relações de causa-efeito; (2) escassez de análises dinâmicas dessas variáveis; e (3) não contemplação de abordagens que permitam uma visão holística do problema em estudo. De facto, tal como referido, as *smart cities*, habilitadas por tecnologia, proporcionam oportunidades de *tailoring* ao contexto socioespacial onde estão inseridas e trazem múltiplas vantagens para diversos *stakeholders*, nomeadamente: (1) melhorar a qualidade de vida dos cidadãos; (2) garantir sustentabilidade ambiental; (3) proporcionar negócios e empregos mais competitivos; e (4) facilitar e melhorar a eficiência da governança. Para o desenvolvimento sustentável de uma *smart city*, existe a necessidade da sua adaptação à AI. Face ao exposto, perante a sofisticação dos conteúdos em análise, parece ser relevante utilizar abordagens multicritério para avaliar a relação entre *smart city* e AI – *i.e.*, analisar iniciativas e desafios de adaptação – procurando, desse modo, contribuir para apoiar processos de tomada de decisão mais informados no âmbito das *smart cities*. No próximo capítulo será aprofundada a metodologia adotada nesta dissertação – *i.e.*, a técnica DEMATEL.

No presente capítulo, procurar-se-á fazer um enquadramento metodológico que sustente a utilização da técnica DEMATEL para avaliar as iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI. Para tal, serão desenvolvidos os seguintes tópicos: (1) apoio à tomada de decisão multicritério e sua evolução histórica, aprofundando, de seguida, a abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (ou *Aid*) (MCDA), as suas convicções basilares e os seus contributos para análise da relação AI-Smart City; e (2) avaliação multicritério, particularizando as vantagens e as limitações da técnica DEMATEL.

3.1. O Apoio à Tomada de Decisão Multicritério

A maioria das decisões complexas são problemas multicritério (Bouyssou, Perny, Pirlot, Tsoukiàs, & Vincke, 1993). Aliada à decisão multicritério, interessa mencionar a relevância de um processo de suporte formal (Bana e Costa, Ensslin, Corrêa, & Vansnick, 1999), uma vez que, como refere Saaty (2008, p. 83), “*if we only make decisions intuitively, we are inclined to believe that all kinds of information are useful and the larger the quantity, the better. But that is not true*”. Neste pressuposto, dificilmente o processo de decisão poderá recorrer a uma abordagem monocritério. Com efeito, é necessário considerar outros *stakeholders* no processo, algo que torna a utilização de um único critério, aceite por todos, irrealista (Roy, 2005). De facto, a reflexão coletiva sobre um problema conduz a decisões mais sensatas e permite que emergjam oportunidades daquilo que, à partida, poderiam ser considerados meros problemas para resolver (Keeney, 1996). Deste modo, perante a complexidade dos temas abordados na presente dissertação – *i.e.*, *Smart City* e AI – adotar-se-á uma abordagem de apoio à tomada de decisão multicritério.

A Investigação Operacional (ou *Operational Research* (OR)) surgiu formalmente antes da II Guerra Mundial, aquando da necessidade de apoio à decisão no planeamento da defesa militar (Ackoff, 2001; Bouyssou, 2005). Esta viria a ser aplicada, também, no domínio civil e atingiu a ribalta na década de 1960, com ampla aceitação no meio científico, académico e de gestão (Ackoff, 1979 e 2001). Até então, vinculava, essencialmente, o paradigma da otimização. Ou

seja, procurava-se a melhor solução para o problema de decisão em análise, recorrendo a modelos matemáticos (Ferreira *et al.*, 2011). Esta vertente da OR, tipicamente monocritério, é designada por *hard* ou tradicional e, mesmo quando presentes diferentes objetivos, estes são convertidos numa escala única e o processo decorre com racionalidade e objetividade, eliminando incertezas (Ferreira *et al.*, 2011). No entanto, perante a complexidade dos problemas sociais, imperava encontrar novas metodologias complementares para apoiar os processos de tomada de decisão (Ferreira *et al.*, 2011; Mingers & Rosenhead, 2004). Citando Ackoff (2001, p. 341), “*in an address given to the British OR Society (Ackoff 1979) I said that “The Future of OR is Past” and gave the reasons I thought this was so [...] the history of OR confirms my belief*”. O autor considera que a OR deve distanciar-se dos modelos matemáticos, adaptar-se e tornar-se orientada ao gestor e ao executivo. Ainda segundo Rosenhead (2013, p. 1162), “*there are situations in which intangibles, uncertainty, and value diversity as well as complexity are crucial presences*”. Neste sentido, as abordagens *soft* surgem com um paradigma alternativo que conta com um maior envolvimento dos diferentes *stakeholders* e que exige menor quantidade de dados (Ferreira *et al.*, 2011). Subsequentemente, desenvolveram-se as abordagens multicritério. A aceitação das metodologias *soft* não foi imediata à escala global (Mingers, 2011), pelo que se destacam duas grandes correntes de abordagens multicritério: *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) e *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA).

O termo MCDM foi introduzido em 1972 na *First International Conference on Multiple Criteria Decision Making*, nos Estados Unidos da América (*cf.* Bana e Costa, Stewart, & Vansnick, 1997). Esta abordagem continua a estar estreitamente ligada ao paradigma do ótimo matemático, na medida em que recorre a uma abordagem determinística para encontrar a solução ótima para o problema em análise (Ferreira *et al.*, 2011). Em conformidade, Mateu (2002, p. 10) defende que “*it is supposed that there exists “something” that will allow the decision-maker to determine which are the best alternatives*”. Por seu turno, a MCDA surgiu na década de 1960 (*cf.* Roy & Vanderpooten, 1997). Neste ramo, salienta-se a evolução da Escola Europeia, particularmente defensora do termo “*aid*” ao(s) decisor(es) e que reconhece os limites da objetividade no apoio aos processos de tomada de decisão (Ferreira *et al.*, 2011; Roy & Vanderpooten, 1997). Esta última abordagem será aprofundada no próximo ponto.

3.1.1 A Abordagem MCDA

A abordagem MCDA pode ser definida como “*a process that assesses alternatives by identifying the evaluation criteria, eliciting the preferences of the stakeholders and using the*

preference information to build a preference model that aggregates the multiple criteria evaluations of alternatives. This model permits the comparison of alternatives comprehensively [...] and leads to a decision recommendation” (Cinelli, Kadziński, Gonzalez, & Słowiński, 2020, p. 2). Por contraste aos métodos mais tradicionais, a MCDA permite gerir as diferenças entre *stakeholders* e a presença de objetivos discordantes (Wątróbski, Jankowski, Ziemba, Karczmarczyk, & Ziolo, 2019), num caminho construtivista e de aprendizagem pela participação (Ferreira *et al.*, 2011; Tsoukiàs, 2007). Em conformidade, Ferreira *et al.* (2011, p. 119) defendem que *“this new approach highlights the limits of objectivity, taking into account the subjectivity introduced by the actors, and admitting the possibility that optimal solutions may not exist”*.

De acordo com Bana e Costa *et al.* (1997), a vertente MCDA diferencia-se ainda da vertente MCDM por distinguir o papel do(s) decisor(es) e o papel de suporte ao processo de tomada de decisão. Esta abordagem é, portanto, caracterizada por vários atores, também designados por *stakeholders*, os quais podem ser distinguidos entre agidos (*i.e.*, atores que são afetados, direta ou indiretamente, pelo processo) e intervenientes. Por seu turno, os intervenientes podem ser diferenciados entre: (1) facilitador (*l’homme d’étude*); (2) decisor; e, pontualmente, (3) *“le demandeur”*, que representa o(s) ator(es) em (2) (Bana e Costa, 1993a; Ferreira, 2011). O mesmo ator pode representar vários indivíduos ou várias entidades e a interação entre os vários atores vai alterando ao longo do processo (Bana e Costa, 1993a). Importa referir, ainda, que o facilitador, também designado por analista ou investigador, assume o papel de especialista externo e, como o próprio nome indica, de facilitador de comunicação entre os atores envolvidos (Bana e Costa, 1993a; Belton & Hodgkin, 1999; Ferreira, 2011).

Como pilares do processo MCDA, importa mencionar três conceitos: (1) ação potencial e alternativas; (2) critério e família de critérios; e (3) *problematic* (Roy, 2005). A ação potencial corresponde ao *“object of the decision, or that which decision aiding is directed towards”* (Roy, 2005, p. 7). O conceito de alternativa, como próprio nome indica, surge quando existem ações potenciais distintas, as quais devem ser mutualmente exclusivas (Roy, 2005). Por sua vez, o critério é uma *“tool constructed for evaluating and comparing potential actions according to a point of view which must be (as far as it is possible) well-defined”* (Roy, 2005, p. 9). Assim, considerando que o critério é definido por g e a ação potencial por a obtemos $g(a)$ (*i.e.*, a *performance* de a em função do critério g).

No processo de avaliação, podem ser utilizadas várias escalas, qualitativas ou quantitativas. Considerando a família de critérios F para n critérios (com $n > 1$), é necessário garantir: (1) a compreensibilidade pelos atores dos critérios utilizados; (2) que todos os critérios são

percecionados como instrumentos relevantes para o processo de decisão; e (3) que existe coerência na família de critérios (*i.e.*, que estes atendem a requisitos lógicos, tais como: exaustividade; coesão; e não-redundância) (Roy, 2005). Por fim, a *problematic* (ou tipo de problemática técnica a dar sequência (Bana e Costa, 1993a)) corresponde à forma como é direcionado o apoio à decisão (Roy, 2005). O *Quadro 3.1* sumariza os tipos de problemáticas mais frequentes. De acordo com Cinelli *et al.* (2020), *ranking problematic* é o tipo mais comum entre as opções descritas.

Quadro 3.1: Tipos de *Problematic*

PROBLEMATIC	DESCRIÇÃO
<i>Description problematic (P. δ)</i>	Reunir o conjunto de ações, bem como a família de critérios e fazer a avaliação das mesmas. Trata-se de uma abordagem descritiva e que não aspira fazer recomendações.
<i>Choice problematic (P. α)</i>	Orientar para um número tão reduzido quanto possível de ações de forma a que o decisor possa eventualmente optar por uma alternativa (não-ótima).
<i>Sorting problematic (P. β)</i>	Atribuir cada ação a uma categoria, considerando uma família de categorias predefinidas, as quais não têm de refletir uma ordenação.
<i>Ranking problematic (P. γ)</i>	Comparar ações entre si, ordenando-as parcial ou totalmente, através de um processo de classificação.

Fonte: Roy (2005, p. 11-12, adap.).

Face ao exposto, na abordagem MCDA, o processo de apoio à decisão é desenvolvido ao longo de três fases principais, nomeadamente: (1) estruturação do problema de decisão; (2) avaliação de ações potenciais e/ou alternativas; e, por fim, (3) recomendações (*i.e.*, análise dos resultados obtidos e formulação de recomendações em conformidade com os objetivos definidos) (Ensslin, Dutra, & Ensslin, 2000; Tsoukiàs, 2007). Estas três fases serão objeto de tratamento em diferentes momentos da presente dissertação. Contudo, no que à atividade de estruturação diz respeito, poderemos avançar que é caracterizada pela “*identificação e geração de diferentes tipos de elementos primários de avaliação e pelo estabelecimento das relações estruturais entre eles, pela diferenciação das suas funções no processo de avaliação e por uma descrição tão completa quanto possível deste todo*” (Bana e Costa, 1993a, p. 7). A estruturação de problemas complexos pode ser auxiliada por *Problem Structuring Methods* (PSMs), uma vez que estes permitem gerir “*multiple actors, differing perspectives, partially conflicting interests, significant intangibles and perplexing uncertainties*” (Rosenhead, 2006, p. 762). Em

suma, a estruturação engloba as diferentes atividades de compreensão do ambiente complexo de decisão e de apoio no processo de comunicação entre atores, tendo uma natureza recursiva e devendo manter-se como um sistema aberto (Bana e Costa, 1993a).

A abordagem MCDA abrange uma ampla gama de metodologias e técnicas e tem sido aplicada na resolução de problemas em áreas distintas (Belton & Stewart, 2002; Govindan & Jepsen, 2016). Neste sentido, Cinelli *et al.* (2020) desenvolveram a taxonomia das características do processo MCDA, com o intuito de providenciar algum suporte na escolha da abordagem a utilizar. As fases do processo e características identificadas encontram-se compiladas no *Quadro 3.2*.

Quadro 3.2: Fases e Características do Processo MCDA

FASES	CARACTERÍSTICAS
Fase 1 Formulação do problema	c1 – Tipo de problema
	c2 – Critérios
Fase 2 Construção da decisão de recomendação	c3 – Reunião das preferências dos decisores
	c4 – Características de agregação
	c5 – Exploração do modelo de preferência
Fase 3 Características qualitativas e suporte técnico	c6 – Facilidade de uso e compreensibilidade do método
	c7 – Tempo de processamento necessário para compilar os dados necessários para o método
	c8 – Número de alternativas e/ou critérios com os quais o método pode funcionar
	c9 – Extensão do uso do método no contexto / área específica
	c10 – Suporte de <i>software</i> e representação gráfica

Fonte: Cinelli et al. (2020, p. 116, adap.).

Em modo de síntese, a primeira fase aborda as questões relacionadas com a forma como o problema é estruturado, a identificação de ações potenciais e/ou alternativas, tipo de *problematic*, identificação de critérios e do modo como será feita a avaliação de *performance*. A segunda fase trata das questões associadas à avaliação, nomeadamente: (1) recolha de preferências dos decisores (*i.e.*, tipo de informação que será utilizado para desenvolver o modelo de avaliação); (2) características de agregação, que englobam tópicos como a compensação entre critérios, a dependência da recomendação no contexto de decisão e a gestão de preferências inconsistentes; e (3) estratégias para explorar o modelo de preferência e alcançar as recomendações de decisão. Por fim, a terceira fase inclui as características qualitativas e de

suporte técnico à abordagem MCDA que, segundo Cinelli *et al.* (2020), também podem ser relevantes na escolha da metodologia a adotar e para perceber se esta se adequa ao desafio de tomada de decisão. Face ao exposto, no próximo ponto serão abordados os paradigmas e as convicções basilares da abordagem MCDA.

3.1.2 Paradigmas e Convicções Basilares

De acordo com Bana e Costa (1993b), existem três convicções basilares na prática do apoio à tomada de decisão: (1) *convicção da interpenetração de elementos objetivos e subjetivos e sua inseparabilidade*, uma vez que a subjetividade é omnipresente e decorrente dos sistemas de valores dos atores envolvidos; (2) *convicção do construtivismo*, tanto na fase de estruturação, como na fase de avaliação; e (3) *convicção da aprendizagem pela participação*, que não deve ser menosprezada, mas sim interpretada como motor de força e que permite alcançar uma “*linguagem comum de comunicação com e entre os intervenientes*” (Bana e Costa, 1993b, p. 18). O autor destaca a segunda convicção como a que se impõe no processo de tomada de decisão. Por outras palavras, o processo de apoio à tomada de decisão deve ser interativo, admitir a presença de subjetividade e privilegiar uma abordagem construtivista. A abordagem MCDA é, portanto, baseada no paradigma *soft* da OR (Ferreira *et al.*, 2011).

De facto, se na OR tradicional subsistia o paradigma da otimização, na abordagem MCDA destaca-se o paradigma da aprendizagem (Bana e Costa, 1993b). Nesse sentido, os decisores podem aprender mais sobre o problema de decisão e sobre as suas próprias preferências, algo que potenciará recomendações justificáveis e transparentes (Greco & Kadziński, 2018). Figueira, Greco, Roy e Słowiński (2013) corroboram este paradigma e expõem que, na conceção da Escola Europeia, não existe a necessidade de aceitar os seguintes postulados: (1) postulado do ótimo, que resumidamente significa que não existe melhor solução do que a encontrada, desde que estejam reunidos os recursos necessários e pressupondo a neutralidade e a reprodutibilidade no processo de tomada de decisão (Figueira *et al.*, 2013; Roy, 1996); e (2) postulado da realidade do contexto de decisão (ou seja, os principais aspetos do processo de apoio à tomada de decisão, incluindo as preferências dos decisores, são baseados em dados conhecidos e são considerados estáveis ao longo do tempo (Figueira *et al.*, 2013)). Em suma, na abordagem MCDA, “*a whole range of factors directly and/or indirectly related to the decision process must be considered and it needs to be accepted that, in the absence of an optimum solution, a commitment solution may be acceptable and/or judged as satisfactory. This is, precisely, the corollary of the MCDA approach*” (Ferreira *et al.*, 2011, p. 119). Face ao

exposto, no próximo ponto importa tratar os possíveis contributos desta abordagem para avaliar a relação *AI-Smart City*.

3.1.3. Contributos para a Análise da Relação *AI-Smart City*

No capítulo anterior, consolidaram-se os conhecimentos sobre *smart city* e AI, tendo sido demonstrado que, “*in a truly smart city of the future, hyper connection and automation will be paramount*” (Rana, Luthra, Mangla, Islam *et al.*, 2019, p. 517).

A abordagem MCDA começa a ganhar espaço no âmbito das *smart cities*, destacando-se aqui alguns exemplos: (1) Rana *et al.* (2019) recorreram à metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com modelação *fuzzy* e fizeram uma análise de sensibilidade para identificar e priorizar barreiras ao desenvolvimento de *smart cities*. O estudo contribui com vários *insights* para a problemática em análise e incentiva a utilização de estudos complementares com outras metodologias MCDA, nomeadamente a técnica DEMATEL, para aferir sobre as relações de causa-efeito entre as barreiras identificadas em contexto de iniciativas de desenvolvimento de *smart cities*; (2) Castanho, Ferreira, Carayannis e Ferreira (2021) desenvolveram um modelo de avaliação de *smart cities* denominado SMART-C, recorrendo à integração de técnicas de mapeamento cognitivo com o integral de Choquet; e, por fim, (3) Shmelev e Shmeleva (2019) analisaram indicadores de sustentabilidade em megacidades com auxílio da metodologia *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (ou *Elimination and Choice Expressing the Reality* (ELECTRE)), concretamente a técnica ELECTRE III, que recorre a pseudo-critérios e que utiliza os seus pesos no processo de calibragem do modelo.

Considerando a relação *AI-Smart City*, parece existir, como foi referido no capítulo anterior, escassez de estudos que reúnam e analisem as variáveis que possam ter relevância para adaptação da *smart city* à AI e que permitam obter uma visão holística desta relação. Neste sentido, expõem-se os seguintes contributos que a utilização de metodologias MCDA pode trazer para a análise de conceitos complexos, como aqueles mencionados no âmbito da presente dissertação: (1) integração de elementos objetivos e subjetivos no processo de decisão; (2) abordagem construtivista e, portanto, possibilidade de criação ou desenvolvimento de algo que não pré-exista; (3) perceber que o decisor é, por vezes, difícil de identificar; (4) gerir diferenças de poder e de objetivos dos atores envolvidos; (5) admitir alterações das preferências dos atores ao longo do processo; (6) ajudar no processo de comunicação com e entre atores, fomentando também um caminho de aprendizagem nos mesmos; (7) analisar dados que possam ser caracterizados por possível incerteza, má determinação ou imprecisão; (8) gerir a dificuldade

na definição das ações potenciais e/ou alternativas; (9) recomendações não-ótimas, pois consideram, para além de modelos matemáticos, os aspetos organizacionais, pedagógicos e culturais das decisões; e, por fim, (10) permite um planeamento *bottom-up* (*i.e.*, do particular para o geral) (*cf.* Bana e Costa 1993a e 1993b; Ferreira *et al.*, 2011; Rosenhead, 2013; Roy & Vanderpooten, 1997).

Em suma, a utilização da abordagem MCDA para avaliar as iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI permite desenvolver uma análise dinâmica que relacione múltiplos fatores identificados, tangíveis e intangíveis. Neste sentido, é possível gerir a presença da subjetividade e da incerteza, assim como simplificar o processo de apoio à tomada de decisão (*i.e.*, tornar mais compreensíveis os processos que coabitam na relação AI-Smart City), fazendo recomendações justificáveis e transparentes para as partes interessadas. Posto isto, no ponto seguinte, será abordada a avaliação multicritério.

3.2. A Avaliação Multicritério

Nesta dissertação, pretendemos avaliar iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI. No entanto, em conformidade com Brito, Ferreira, Pérez-Gladish, Govindan e Meidutė-Kavaliauskienė (2019) e Faria, Ferreira, Bento, Jalali e António (2018), não existe nenhum método ou técnica MCDA plenamente superior, sugerindo-se a adequação da abordagem a utilizar ao contexto de decisão.

Diferentes métodos de avaliação podem ser utilizados, nomeadamente: (1) AHP que, como o próprio nome indica, permite o julgamento hierárquico de alternativas através de comparações parietárias e da determinação do peso relativo dos critérios identificados, sejam eles tangíveis ou intangíveis (Fernandes, Ferreira, Bento, Jalali, & António, 2018; Saaty, 1987); (2) *Analytic Network Process* (ANP), que é semelhante ao método anterior, mas não assume a premissa de independência entre critérios (Lee, Huang, Chang, & Cheng, 2011); (3) DEMATEL, que visa identificar e analisar relações de causa-efeito entre critérios. Adicionalmente, informa sobre a direção e a intensidade destas relações, as quais podem ser diretas ou indiretas (Sara, Stikkelman, & Herder, 2015); (4) ELECTRE, que é um método baseado em *outranking* e que permite modelar as preferências dos decisores utilizando relações binárias de superação. Para o efeito, são realizados testes de concordância e discordância para as alternativas (Ilbahar, Cebi, & Kahraman, 2019); (5) *Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique* (MACBETH), que permite medir cardinalmente diferenças de atratividade num

conjunto de elementos em análise (Bana e Costa *et al.*, 1999; Ferreira & Santos, 2021). De acordo com Ishizaka e Siraj (2018), este método é semelhante ao AHP, distinguindo-se por usar escala de intervalos, em vez de escala de razão, assim como por permitir projetar sentimentos negativos/repulsivos por parte dos decisores; (6) *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE), que é um método de *outranking* de alternativas finitas (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010; Bottero, D’Alpaos, & Oppio, 2018), que recorre a agregação parcial e ordena as alternativas por comparação pareada (Bottero *et al.*, 2018); e (7) *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que visa escolher simultaneamente a alternativa que mais se aproxima da solução ideal positiva e a que mais se distancia da solução ideal negativa. Para o efeito, considera que a solução ideal positiva é a que maximiza os critérios de benefício e a que minimiza os critérios de custo (Behzadian, Otaghsara, Yazdani, & Ignatius, 2012).

Dado que, na presente dissertação, é pretendido analisar as relações causais entre iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI, o presente estudo fará uso da técnica DEMATEL. Será este o assunto abordado no próximo ponto.

3.2.1. Avaliação Multicritério e a Técnica DEMATEL

A técnica DEMATEL foi desenvolvida entre 1972 e 1976 pelo *Science and Human Affairs Program* do Battelle Memorial Institute de Genebra (cf. Gabus & Fontela, 1972; Tzeng, Chiang, & Li, 2007). É descrita como “*a useful approach to visualize the structure of complex causal relations with direct-relation matrices or digraphs (e.g., cause and effect diagram, interaction map) which describes a contextual relation between different system elements*” (Song & Cao, 2017, p. 354). Nos últimos anos, o recurso a esta técnica tem sido intensificado, destacando-se as seguintes áreas de aplicação: (1) *Computer Science* e AI; (2) OR; (3) Gestão; e (4) Ciências Ambientais (Yazdi, Khan, Abbassi, & Rusli, 2020). A sua aplicação em contextos de *smart cities*, nomeadamente em *smart manufacturing* (Zhang, Ming, & Yin, 2020) e *smart energy* (Addae, Zhang, Zhou, & Wang, 2019), começa também a merecer atenção. Em conformidade com Chen, Lin e Tzeng (2019), Ho, Tsai, Tzeng e Feng (2011), Lin Hsieh e Tzeng (2010), Sumrit e Anuntavoranich (2013) e Yazdi *et al.* (2020), o método DEMATEL tradicional pode ser sumariado em seis etapas.

Etapa 1 – Obter a matriz inicial de influência direta A

Após identificação dos elementos de avaliação, é necessário obter, numa primeira fase, a matriz de influência direta, recolhendo a opinião dos decisores. Assim, considerando n fatores definidos como $F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_n\}$ no sistema estudado e m decisores no grupo de decisão $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, m\}$, é importante especificar o quanto o fator F_i tem de influência direta no fator F_j , utilizando uma escala 5 pontos que varia entre: sem influência (*i.e.*, 0); influência baixa (*i.e.*, 1); influência média (*i.e.*, 2); influência alta (*i.e.*, 3); e influência muito alta (*i.e.*, 4) (Sumrit & Anuntavoranich, 2013; Yazdi *et al.*, 2020). Outras opções podem ser encontradas na literatura, nomeadamente: escala de 4 pontos (Shieh, Wu, & Huang, 2010) e escala de 11 pontos (Tsai, 2018).

A matriz de influência individual (*i.e.*, de cada decisor) é dada por $A^k = [a_{ij}^k]_{n \times n}$, em que a_{ij}^k corresponde ao resultado do julgamento do decisor e k indica o seu número de participação no processo de avaliação, variando entre 1 e m ($1 \leq k \leq m$). Reunindo a opinião dos m decisores, obter-se-ão, portanto, $A^1, A^2, A^3, \dots, A^m$ matrizes e é possível calcular a matriz média que é dada pela equação (1):

$$A_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m a_{ij}^k, \text{ com } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Na *Figura 3.1* encontra-se um exemplo de um grafo orientado e a matriz A . Por exemplo, a seta que vai de F_3 para F_6 indica que o primeiro fator influencia o segundo com um grau de influência 4. Importa referir ainda que, se houver dependência entre fatores, $a_{ij} \neq 0$ (Chen *et al.*, 2019) e que a diagonal da matriz é definida como zero, uma vez que nenhum fator tem influência sobre si próprio (Lee, Tzeng, Yeih, Wang, & Yang, 2013).

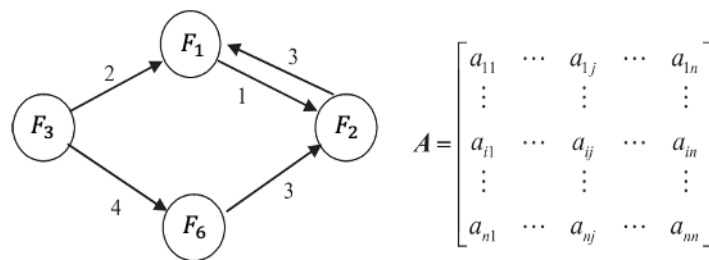


Figura 3.1: Grafo Orientado e Matriz A

Fonte: Ho *et al.* (2011, p. 19 adap.).

Etapa 2 – Calcular a matriz de influência direta normalizada X

Seguidamente, calcula-se X , que corresponde à matriz de influência direta normalizada, recorrendo à fórmula (2) (Lin *et al.*, 2010):

$$X = s \times A \quad (2)$$

onde s é calculado em conformidade com a equação (3):

$$s = \min_{i,j} \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right], \text{ com } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Etapa 3 – Calcular a matriz de influência total T

Posto isto, é necessário calcular a matriz T , que corresponde à matriz da relação de influências totais e que é dado pela expressão (4) (Chen *et al.*, 2019):

$$T = X + X^2 + X^3 + \dots + X^h = X(I - X)^{-1}, \text{ quando } \lim_{h \rightarrow \infty} X^h = [0]_{n \times n} \quad (4)$$

onde I corresponde à matriz de identidade $n \times n$. Este ponto é baseado na matriz da cadeia de Markov, que garante soluções convergentes para inversão da matriz (Sumrit & Anuntavoranich, 2013; Yazdi *et al.*, 2020).

Etapa 4 – Calcular os vetores R e C

Somando as colunas e as linhas da matriz de influência total T , obtêm-se os vetores R e C , respetivamente, conforme as equações (5) e (6) (Lin *et al.*, 2010):

$$R = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{n \times 1} = [r_i]_{n \times 1} = (r_1, \dots, r_i, \dots, r_n) \quad (5)$$

$$C = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]'_{1 \times n} = [c_j]'_{1 \times n} = (c_1, \dots, c_j, \dots, c_n) \quad (6)$$

sendo que $[c_j]'$ é designada por matriz transporta (Sumrit & Anuntavoranich, 2013). Neste sentido, R_i corresponde ao grau de influência que cada fator exerce, direta ou indiretamente, sobre os outros fatores. Por sua vez, C_j representa a soma dos efeitos diretos e indiretos que cada fator recebe dos outros fatores. Deste modo, considerando que $i = j$, o valor de $(R_i + C_i)$ é designado por “*proeminência*” e representa o total de efeitos dados e recebidos pelo fator F_i . Por sua vez, $(R_i - C_i)$ é denominado por “*relação*” e demonstra a contribuição líquida do fator F_i no sistema. Ou seja, se $(R_i - C_i) > 0$, o fator F_i afeta os outros fatores; e se $(R_i - C_i) < 0$, o fator F_i é influenciado pelos outros fatores (Chen *et al.*, 2019; Sumrit & Anuntavoranich, 2013).

Etapa 5 – Definir o valor de threshold (α)

Calculando a média da matriz total T , é possível determinar o valor do *threshold* (α), considerando os N elementos da matriz (Sumrit & Anuntavoranich, 2013). Este é obtido através da equação (7):

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (7)$$

Alternativamente, o seu valor também pode ser definido pelo grupo de decisores (Si, You, Liu, & Zhang, 2018). Esta fase permite eliminar os efeitos menores dentro da matriz (Sumrit & Anuntavoranich, 2013). Por outras palavras, determina-se o limite a partir do qual os valores obtidos na matriz T são considerados com impacto dentro da matriz e serão incluídos no mapa de relações, facilitando a interpretação da relação estrutural entre os fatores (Lee *et al.*, 2013; Si *et al.*, 2018).

Etapa 6 – Produzir mapa de relações causa-efeito

Por fim, o mapa de relações é construído reunindo os pares de coordenadas $(R + C)$ e $(R - C)$. Os fatores podem ficar posicionados em quatro quadrantes, conforme demonstra a *Figura 3.2* (Yazdi *et al.*, 2020).

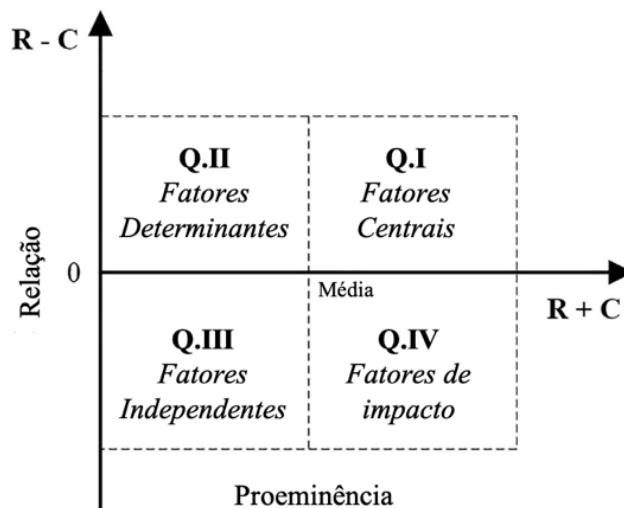


Figura 3.2: Mapa de Relações

Fonte: Yazdi et al. (2020, p. 5 adap.).

Em conformidade com a *Figura 3.2*, o primeiro quadrante, por exemplo, indica alta proeminência e relação, pelo que um elemento que esteja nesta área é considerado central (Si et al., 2018; Yazdi et al., 2020). A avaliação de todos os elementos do complexo sistema em análise permite retirar conclusões e formular recomendações. Face ao exposto, a *Figura 3.3* consolida as principais etapas para a aplicação da tradicional técnica DEMATEL.

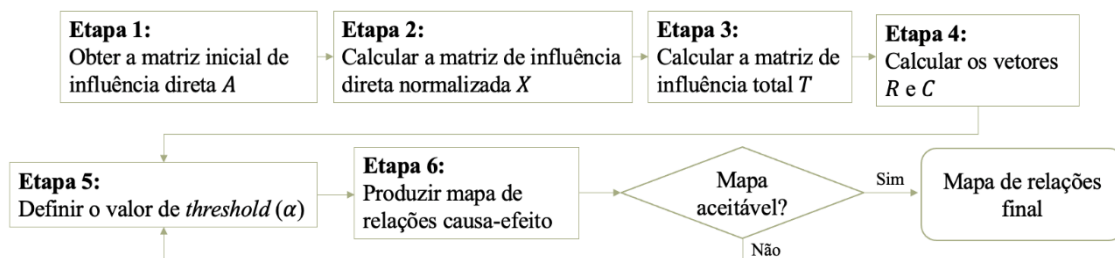


Figura 3.3: Etapas da Técnica DEMATEL

Fonte: Sumrit e Anuntavoranich (2013, p. 85 adap.).

No seguimento da *Figura 3.3*, depreende-se que o valor de *threshold* (α) pode necessitar de ser ajustado para alguns contextos de decisão. Com efeito, este valor deve ser alto o suficiente para remover os efeitos negligenciáveis e tornar perceptível o mapa de relações final (Sara et al., 2015; Si et al., 2018). Posto isto, o próximo ponto reúne as vantagens e limitações da técnica DEMATEL.

3.2.2. Vantagens e Limitações da Técnica DEMATEL

Todos os métodos têm vantagens e limitações e a técnica DEMATEL não é exceção. Em primeiro lugar, importa lembrar que a técnica DEMATEL não almeja resolver problemas complexos, mas avaliar as relações de causa-efeito entre os elementos identificados para informar e apoiar processos de tomada de decisão (Yazdi *et al.*, 2020). Neste domínio, tem sido frequentemente descrita como “*one of the best tools to solve the cause and effect relationship among the evaluation criteria*” (Sumrit & Anuntavoranich, 2013, p. 85).

Dentro das vantagens, salienta-se que esta técnica não requer a suposição de que os fatores são mutualmente independentes (Shieh *et al.*, 2010), por contraste à maioria dos métodos MCDA (Gölcük & Baykasoğlu, 2016). De facto, como refere Lin (2013, p. 33), “*this method is advantageous in revealing the relationships among factors and prioritizing the criteria based on the type of relationships and severity of their effects on each other criteria*”. A técnica permite analisar as influências mútuas entre os fatores, sejam elas diretas ou indiretas. Lo, Liou, Huang, Chuang e Tzeng (2020) e Singh e Sarkar (2020) acrescentam que o facto de se basear na teoria dos grafos permite à técnica DEMATEL providenciar um método de visualização, tornando os problemas complexos mais acessíveis para os atores envolvidos. Com efeito, Lo *et al.* (2020, p. 3) afirmam que “*DEMATEL can construct conceptual impact diagrams to simplify complex system*”.

Por outro lado, dado que a técnica DEMATEL é baseada em relações de interdependência entre fatores, caso se verifique a exclusão de fatores importantes para o contexto de decisão, o alcance dos resultados ficará limitado (Si *et al.*, 2018). Adicionalmente, a técnica não tem em consideração o peso relativo dos decisores para o processo de tomada de decisão nem o nível de aspiração das alternativas (Si *et al.*, 2018). Importa referir, porém, que as vantagens da técnica DEMATEL justificam a sua utilização para analisar a relação AI-Smart City, uma vez que permite compreender as interações de causa-efeito que estão na base da relação entre os fatores. O próximo capítulo será dedicado à aplicação prática da técnica em contexto real.

Este terceiro capítulo teve como principal objetivo apresentar a metodologia que será adotada na presente dissertação. Deste modo, numa primeira fase, procurámos percorrer, sumariamente, a evolução da OR. Para o efeito, descreveu-se o paradigma *hard*, muito ligado à utilização de métodos formais matemáticos, com vista a encontrar uma solução ótima para os problemas em análise. Este viria a ser complementado, posteriormente, por um paradigma *soft*, alternativo. Por contraste ao primeiro, este incentiva uma atitude ativa dos decisores e admite a presença de elementos subjetivos no contexto de decisão. Por conseguinte, a abordagem MCDA surge como uma corrente *soft* da OR e abrange várias metodologias e técnicas que podem ser adaptadas ao problema em estudo. Os pontos seguintes foram dedicados a aprofundar esta abordagem multicritério, evidenciando conceitos basilares, paradigmas e convicções, bem como possíveis contributos para a análise da relação *AI-Smart City*. Destacaram-se algumas características-chave desta abordagem: (1) presença de elementos objetivos e subjetivos, decorrente dos sistemas de valores dos atores envolvidos; (2) não-otimização do processo, permitindo ter em consideração outros aspetos importantes; (3) facto de ser uma abordagem construtivista, pautada por um caminho de aprendizagem constante ao longo de todo o processo; (4) produção de recomendações justificáveis e transparentes; (5) incentivo à participação ativa dos atores; (6) gestão da incerteza, nomeadamente, porque permite analisar dados que possam ser caracterizados por possível incerteza, má determinação ou imprecisão; (7) gestão de diferenças de poder dos atores envolvidos; e (8) planeamento *bottom-up*. Posto isto, foi abordada a avaliação multicritério, descrevendo brevemente algumas técnicas utilizadas para este fim. Nesta etapa, apresentou-se, ainda, a técnica DEMATEL. Salientaram-se as seguintes vantagens desta técnica: (1) identifica e analisa as relações de causa-efeito diretas e indiretas entre fatores, fornecendo ainda informação sobre a direção e intensidade das mesmas; (2) permite identificar relações de causa-efeito críticas; e (3) fornece um método de visualização destas relações, facilitando os processos de tomada de decisão, na medida em que o problema de decisão fica mais compreensível. Por fim, foram analisadas as limitações da técnica. Face ao exposto, no contexto da presente dissertação, após a identificação das iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI, bem como dos fatores que permitam avaliá-los, recorrer-se-á à técnica DEMATEL para analisar as suas relações de causa-efeito, bem como para desenvolver um mapa que facilite a interpretação das relações estruturais obtidas. O próximo capítulo será dedicado à implementação da técnica DEMATEL e à análise dos resultados obtidos em contexto real.

O presente capítulo materializa a aplicação da técnica DEMATEL ao contexto em estudo. Para o efeito, serão desenvolvidos os seguintes tópicos: (1) identificação de desafios e iniciativas de adaptação da *smart city* à AI; (2) aplicação da técnica DEMATEL; (3) análise dos resultados obtidos; e, por fim, (4) consolidação dos resultados e formulação de recomendações.

4.1. Identificação de Desafios e Iniciativas de Adaptação

No capítulo anterior, foram descritas as três etapas dos processos de apoio à tomada de decisão com recurso à abordagem MCDA. A primeira dessas etapas consiste na estruturação do problema de decisão, onde a complexidade da problemática de investigação em estudo – *i.e.*, a adaptação da *smart city* à AI – exige metodologias adequadas, tais como PSMs. Nesse sentido, estudos anteriores direcionados para a *smart city* utilizaram a metodologia *Strategic Options Development and Analysis* (SODA), com recurso à técnica dos *post-its*, para desenvolver mapas cognitivos (Castanho *et al.*, 2021; Miguel *et al.*, 2019; Nunes, 2020). Esta abordagem permite lidar com variáveis qualitativas e incentiva o diálogo entre os intervenientes, de forma a que o mapa cognitivo final expresse o pensamento de um painel de decisores multidisciplinar, bem como os seus valores, perceções e experiências (Eden & Ackermann, 2004).

A presente dissertação recorreu ao mapa cognitivo desenvolvido por Nunes (2020). Seguindo a referida abordagem de estruturação de problemas complexos (*i.e.*, metodologia SODA), o autor reuniu um painel de sete decisores (*i.e.*, em conformidade com o intervalo aconselhado na revisão da literatura (Eden & Ackermann, 2004)). O painel apresentava experiência consolidada em vários domínios da *smart city*, nomeadamente: tecnologia; mobilidade e transportes; energia e ambiente; economia; arquitetura; e urbanismo. A *Figura 4.1* apresenta o mapa cognitivo de grupo.

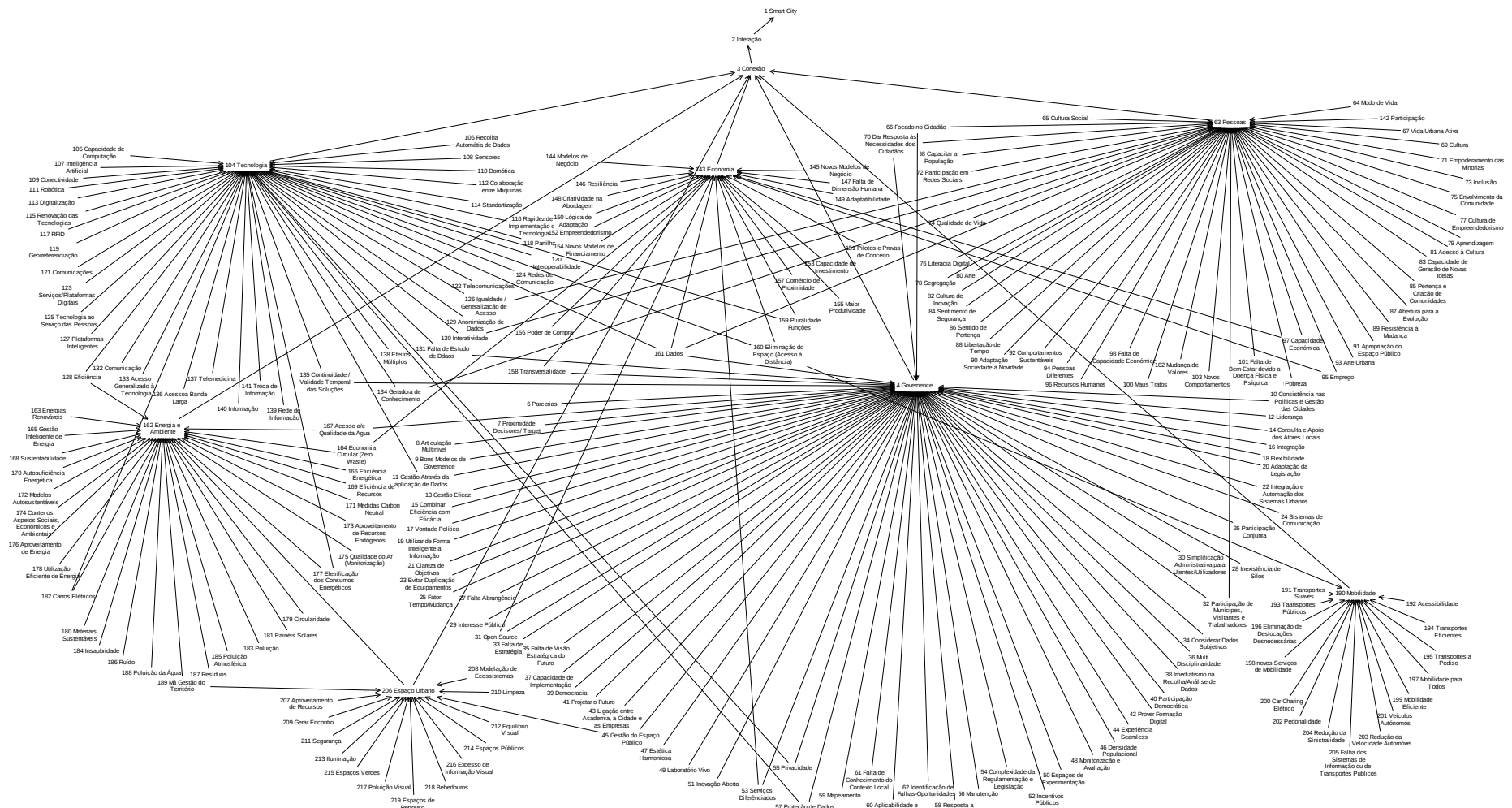


Figura 4.1: Mapa Cognitivo de Grupo

Fonte: Nunes (2020, p. 44)

O mapa apresentado foi desenvolvido respondendo à seguinte *trigger question*: “Com base nos seus valores e experiência profissional, que fatores e características sustentam a melhor *smart city*?” (Nunes, 2020, p. 41). É notória a sua complexidade, já que reúne duzentos e vinte critérios, agrupados em seis *clusters* – i.e., *Economia, Energia e Ambiente, Governance, Mobilidade, Pessoas e Tecnologia*. Por sua vez, o *cluster Energia e Ambiente* foi subdividido em *Espaço Urbano*. Da análise do mesmo, destacam-se os critérios *conexão e interação*, considerados critérios críticos para o funcionamento da *smart city*. A extensão e robustez do mapa apresentado permitiu usá-lo como ponto de partida para o presente estudo, uma vez que, neste caso, privilegiou-se aportar o conhecimento individual com um decisor sénior com elevado poder de decisão para avaliar as iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI (doravante denominado “decisor”). O decisor já tinha participado no processo de mapeamento cognitivo anteriormente descrito, estando, por isso, familiarizado com o mapa e com os diferentes critérios que o constituem. Face ao exposto, para a materialização da componente empírica, a primeira etapa visou expor ao decisor os seguintes pontos: (1) objetivos e problemática de investigação; e (2) metodologias adotadas. Partindo do mapa cognitivo apresentado, agruparam-se os seis *clusters* identificados com o *sub-cluster Espaço Urbano*, obtendo-se sete pontos de vista fundamentais (i.e., *Economia, Energia e Ambiente, Espaço Urbano, Governance, Mobilidade, Pessoas e Tecnologia*). Assim, foi pedido ao decisor para priorizar, em cada *cluster*, iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI. O Quadro 4.1 reúne os *clusters* e critérios identificados.

Quadro 4.1: Priorização de Desafios e Iniciativas de Adaptação – Clusters e Critério

CLUSTERS	CRITÉRIOS
C1 Economia	E1 – Capacidade de Investimento
	E2 – Criatividade na Abordagem
	E3 – Empreendedorismo
	E4 – Novos Modelos de Negócio
	E5 – Pluralidade Funções
	E6 – Resiliência
	E7 – Transversalidade
C2 Energia e Ambiente	EA1 – Aproveitamento de Recursos Endógenos
	EA2 – Autossuficiência Energética
	EA3 – Circularidade
	EA4 – Eficiência

	EA5 – Gestão Inteligente de Energia
	EA6 – Sustentabilidade
	EA7 – Utilização Eficiente de Energia
C3 Espaço Urbano	EU1 – Aproveitamento de Recursos
	EU2 – Equilíbrio Visual
	EU3 – Espaços Públicos
	EU4 – Excesso de Informação Visual
	EU5 – Modelação de Ecossistemas
	EU6 – Poluição Visual
	EU7 – Segurança
C4 <i>Governance</i>	G1 – Articulação Multinível
	G2 – Capacidade de Implementação
	G3 – Colaboração
	G4 – Democracia
	G5 – Flexibilidade
	G6 – Inexistência de Silos
	G7 – Ligação entre Academia, a Cidade e as Empresas
C5 Mobilidade	M1 – Acessibilidade
	M2 – Eliminação do Espaço (Acesso à Distância)
	M3 – Mobilidade Eficiente
	M4 – Mobilidade para Todos
	M5 – Novos Serviços de Mobilidade
	M6 – Pedonalidade
	M7 – Transportes Eficientes
C6 Pessoas	P1 – Comportamentos Sustentáveis
	P2 – Cultura Social
	P3 – Dar Resposta às Necessidades dos Cidadãos
	P4 – Envolvimento da Comunidade
	P5 – Inclusão
	P6 – Participação
	P7 – Qualidade de Vida
C7 Tecnologia	T1 – Conectividade
	T2 – Dados
	T3 – Digitalização
	T4 – Eliminação do Espaço (Acesso à Distância)
	T5 – Interoperabilidade
	T6 – Partilha
	T7 – Tecnologia ao Serviço das Pessoas

Após a priorização de desafios e iniciativas de adaptação da *smart city* à AI, foi possível aplicar a técnica DEMATEL. A *Figura 4.2* sintetiza as etapas da metodologia adotada nesta dissertação.

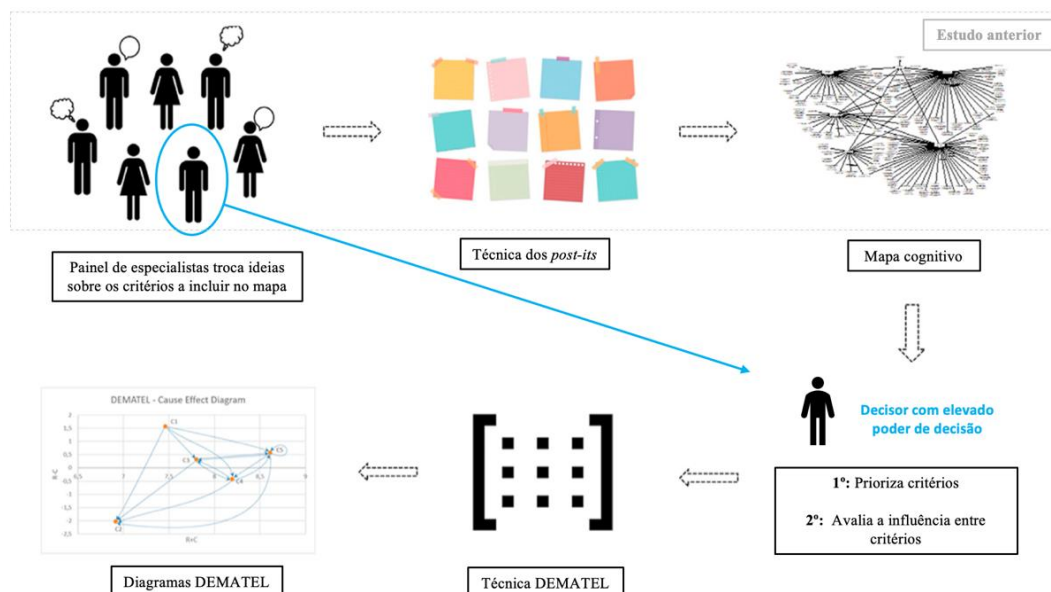


Figura 4.2: Passos Processuais da Metodologia

Fonte: Barão et al. (2021, adap.)

Sumariamente, numa sessão presencial com um painel multidisciplinar adequado à temática de *smart cities*, foi desenvolvido o processo de mapeamento cognitivo, do qual resultou um mapa cognitivo de grupo com duzentos e vinte critérios (Nunes, 2020). Deste painel, foi identificado um decisor com elevado poder de decisão e recolhida a sua apreciação sobre a problemática de adaptação da *smart city* à AI em três fases principais: (1) priorização de iniciativas e desafios de adaptação; (2) recolha das relações de casualidade entre critérios; e, por fim, (3) consolidação e recomendações. Os pontos seguintes aprofundam as últimas duas etapas da aplicação metodológica.

4.2. Aplicação da Técnica DEMATEL

No ponto anterior, foram identificados os elementos de avaliação. Por outras palavras, ficaram definidos os *clusters*, bem como critérios de avaliação dentro de cada *cluster* para aplicação da

técnica DEMATEL. As etapas seguintes resumem a aplicação da técnica DEMATEL para avaliar as suas relações de causa-efeito.

Etapa 1 – Obtenção da matriz inicial de influência direta A

Numa primeira fase, obteve-se a matriz de influência direta A , que resulta da apreciação do decisor sobre a influência do *cluster* C_i sobre o *cluster* C_j . O *Quadro 4.2* reúne as considerações do decisor sobre a influência inter-clusters.

Quadro 4.2: Matriz de Influência Direta A Inter-Clusters

<i>CLUSTERS</i>		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Total
Economia	C1	0.0	3.0	1.0	4.0	2.0	2.0	3.0	15.0
Energia e Ambiente	C2	2.0	0.0	1.0	2.0	3.0	2.0	1.0	11.0
Espaço Urbano	C3	1.0	3.0	0.0	1.0	2.0	2.0	1.0	10.0
<i>Governance</i>	C4	4.0	3.0	2.0	0.0	3.0	3.0	2.0	17.0
Mobilidade	C5	1.0	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0	11.0
Pessoas	C6	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	0.0	2.0	14.0
Tecnologia	C7	1.0	2.0	1.0	1.0	3.0	2.0	0.0	10.0
Total		11.0	15.0	9.0	14.0	15.0	13.0	11.0	

Considerando a escala DEMATEL, que varia entre 0 e 4 pontos, a análise do *Quadro 4.2* demonstra que o *cluster* C1 (i.e., *Economia*) exerce influência muito alta (i.e., 4) sobre o *cluster* C4 (i.e., *Governance*), relação esta que, neste caso, é simétrica. No entanto, importa realçar que a simetria não é obrigatória. A matriz de influência direta A foi repetida para as avaliações intra-clusters. Os *Quadros 4.3 a 4.9* reúnem os resultados para os *clusters* *Economia*, *Energia e Ambiente*, *Espaço Urbano*, *Governance*, *Mobilidade*, *Pessoas* e *Tecnologia*, respetivamente.

Quadro 4.3: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 1 – Economia

C1 – ECONOMIA		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total
Capacidade de Investimento	E1	0.0	1.0	2.5	1.0	1.0	1.0	2.0	8.5
Criatividade na Abordagem	E2	2.0	0.0	3.0	3.0	1.0	2.0	1.0	12.0
Empreendedorismo	E3	2.0	2.0	0.0	2.0	1.0	1.0	1.0	9.0
Novos Modelos de Negócio	E4	1.0	2.0	3.0	0.0	1.0	2.0	2.0	11.0
Pluralidade Funções	E5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	2.0	3.0	9.0
Resiliência	E6	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0.0	2.0	9.0
Transversalidade	E7	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	0.0	10.0
Total		10.0	9.0	11.5	11.0	6.0	10.0	11.0	

Assim, dentro do *cluster Economia*, destaca-se a influência elevada que o critério E2 – *criatividade na abordagem* – exerce sobre os critérios E3 e E4 (*i.e.*, *empreendedorismo* e *novos modelos de negócio*, respetivamente). Dentro deste *cluster*, não foi identificada influência muito alta (*i.e.*, 4).

Quadro 4.4: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 2 – Energia e Ambiente

C2 – ENERGIA E AMBIENTE		EA1	EA2	EA3	EA4	EA5	EA6	EA7	Total
Aprovei. de Recursos Endógenos	EA1	0.0	3.0	4.0	2.0	1.0	3.0	1.0	14.0
Autossuficiência Energética	EA2	2.0	0.0	1.0	2.5	2.0	3.0	2.0	12.5
Circularidade	EA3	3.0	2.0	0.0	3.0	1.0	3.0	1.0	13.0
Eficiência	EA4	2.0	3.0	2.5	0.0	1.0	3.0	4.0	15.5
Gestão Inteligente de Energia	EA5	1.0	4.0	1.0	3.0	0.0	2.5	3.0	14.5
Sustentabilidade	EA6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	6.0
Utilização Eficiente de Energia	EA7	1.0	3.0	1.0	2.5	3.0	3.0	0.0	13.5
Total		10.0	16.0	10.5	14.0	9.0	17.5	12.0	

No que refere ao *cluster Energia e Ambiente*, apresentado no Quadro 4.4, verifica-se que o critério EA6 – *sustentabilidade* – exerce influência baixa (*i.e.*, 1) nos demais critérios. Por oposição, sofre influência média a alta por parte dos outros critérios.

Quadro 4.5: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 3 – Espaço Urbano

C3 – ESPAÇO URBANO		EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6	EU7	Total
Aproveitamento de Recursos	EU1	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	4.0	11.0
Equilíbrio Visual	EU2	1.0	0.0	3.0	4.0	1.0	4.0	1.0	14.0
Espaços Públicos	EU3	2.0	1.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	11.0
Excesso de Informação Visual	EU4	1.0	3.0	3.0	0.0	1.0	4.0	1.0	13.0
Modelação de Ecossistemas	EU5	4.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	3.0	11.0
Poluição Visual	EU6	1.0	4.0	3.0	2.5	1.0	0.0	1.0	12.5
Segurança	EU7	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	7.5
Total		10.5	11.0	13.0	10.5	9.0	13.0	13.0	

Por seu turno, o *Espaço Urbano* revela que, por exemplo, o critério EU7 – *segurança* – recebe uma influência alta a muito alta, oriunda de critérios como *aproveitamento de recursos*, *espaços públicos* e *modelação de ecossistemas* (i.e., EU1, EU3 e EU5, respetivamente).

Quadro 4.6: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 4 – Governance

C4 – GOVERNANCE		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Total
Articulação Multinível	G1	0.0	2.0	3.0	1.0	3.0	4.0	2.0	15.0
Capacidade de Implementação	G2	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0
Colaboração	G3	4.0	3.0	0.0	1.0	2.0	4.0	4.0	18.0
Democracia	G4	1.0	3.0	1.0	0.0	1.0	1.0	3.0	10.0
Flexibilidade	G5	2.0	3.0	2.0	1.0	0.0	2.0	1.0	11.0
Inexistência de Silos	G6	3.0	3.0	3.0	1.0	2.5	0.0	1.0	13.5
Lig. Academia, a Cidade e as Empresas	G7	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	1.0	0.0	13.0
Total		13.0	17.0	12.0	8.0	11.5	13.0	12.0	

No *cluster Governance*, verifica-se que o critério G3 – *colaboração* – influencia três critérios com um grau de influência 4 (i.e., influência muito alta). Por sua vez, o critério G4 – *democracia* – é fracamente influenciado pela maioria dos outros critérios.

Quadro 4.7: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 5 – Mobilidade

C5 – MOBILIDADE		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Total
Acessibilidade	M1	0.0	3.0	1.0	2.5	2.0	3.0	1.0	12.5
Eliminação do Espaço (Distância)	M2	3.0	0.0	1.0	2.0	3.0	2.0	1.0	12.0
Mobilidade Eficiente	M3	3.0	2.0	0.0	2.0	3.0	1.0	1.0	12.0
Mobilidade para Todos	M4	1.0	2.0	1.0	0.0	2.0	1.5	3.0	10.5
Novos Serviços de Mobilidade	M5	3.0	1.0	2.0	3.0	0.0	2.0	1.0	12.0
Pedonalidade	M6	2.0	1.0	2.0	2.5	1.0	0.0	1.0	9.5
Transportes Eficientes	M7	2.5	2.0	4.0	3.0	3.0	1.0	0.0	15.5
Total		14.5	11.0	11.0	15.0	14.0	10.5	8.0	

No que respeita à *Mobilidade*, o critério M7 – *transportes eficientes* – é o menos influenciado pelos demais critérios. Por oposição, é o que mais influencia os restantes critérios.

Quadro 4.8: Matriz Inicial de Influência Direta A para o Cluster 6 – Pessoas

C6 – PESSOAS		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Total
Comportamentos Sustentáveis	P1	0.0	3.0	1.0	2.0	3.0	1.0	3.0	13.0
Cultura Social	P2	2.0	0.0	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	18.0
Dar Resposta às Nec. dos Cidadãos	P3	2.5	1.0	0.0	3.0	4.0	2.0	3.0	15.5
Envolvimento da Comunidade	P4	1.0	2.5	4.0	0.0	3.0	4.0	2.5	17.0
Inclusão	P5	2.0	3.0	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0	13.0
Participação	P6	1.0	3.0	4.0	3.0	2.0	0.0	2.0	15.0
Qualidade de Vida	P7	1.0	3.0	1.0	2.0	1.5	1.0	0.0	9.5
Total		9.5	15.5	15.0	16.0	16.5	13.0	15.5	

A análise do *Quadro 4.8*, referente ao *cluster Pessoas*, demonstra que o critério P2 (*i.e.*, *cultura social*) é o que mais influencia os restantes critérios, apresentando mesmo uma influência muito alta sobre o critério P4 – *envolvimento da comunidade*.

Quadro 4.9: Matriz Inicial de Influência Direta A para o *Cluster* 7 – Tecnologia

C7 – TECNOLOGIA		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Total
Conectividade	T1	0.0	1.0	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0	14.0
Dados	T2	3.0	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	18.0
Digitalização	T3	2.5	3.0	0.0	3.0	2.0	2.0	1.5	14.0
Eliminação do Espaço (Distância)	T4	1.0	1.5	2.0	0.0	1.0	3.0	2.0	10.5
Interoperabilidade	T5	4.0	2.0	4.0	2.0	0.0	3.0	3.0	18.0
Partilha	T6	1.0	3.0	1.0	2.0	2.0	0.0	2.0	11.0
Tecnologia ao Serviço das Pessoas	T7	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0	2.0	0.0	11.0
Total		13.5	12.5	14.0	14.0	13.0	15.0	14.5	

Por fim, dentro do *cluster Tecnologia*, os critérios que exercem maior influência são T2 – *dados* – e T5 – *interoperabilidade*. São também os menos influenciados.

As etapas processuais seguintes serão descritas apenas para a obtenção do diagrama inter-*clusters*. No ponto de análise resultados serão apresentadas as matrizes finais T , bem como os mapas de relações causa-efeito obtidos e a análise de todos os resultados alcançados.

Etapa 2 – Cálculo da matriz de influência direta normalizada X

A etapa seguinte visou obter a matriz de influência direta normalizada X . Assim, o primeiro passo consistiu em calcular o valor de s , em conformidade com a equação (3) (ver *Capítulo 3*). Considerando a matriz de influência inter-*clusters*, o valor de s é dado por:

$$s = \min_{i,j} \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] = \min \left[\frac{1}{15.0}, \frac{1}{17.0} \right] = 0.0588$$

A matriz de influência direta normalizada X inter-*clusters* resulta da multiplicação do valor anteriormente obtido pela matriz inicial A inter-*clusters* e encontra-se apresentada no *Quadro 4.10*.

Quadro 4.10: Matriz de Influência Direta Normalizada X Inter-Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.0000	0.1765	0.0588	0.2353	0.1176	0.1176	0.1765
C2	0.1176	0.0000	0.0588	0.1176	0.1765	0.1176	0.0588
C3	0.0588	0.1765	0.0000	0.0588	0.1176	0.1176	0.0588
C4	0.2353	0.1765	0.1176	0.0000	0.1765	0.1765	0.1176
C5	0.0588	0.1176	0.1176	0.1176	0.0000	0.1176	0.1176
C6	0.1176	0.1176	0.1176	0.2353	0.1176	0.0000	0.1176
C7	0.0588	0.1176	0.0588	0.0588	0.1765	0.1176	0.0000

Etapa 3 – Cálculo da matriz de influência total T

De forma a calcular a matriz de influência total T inter-clusters, começamos por produzir a matriz de identidade I , apresentada no *Quadro 4.11*.

Quadro 4.11: Matriz de Identidade I

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C3	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C4	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
C6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
C7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

A matriz $(I - X)$ inter-clusters é, por conseguinte, dada por:

Quadro 4.12: Matriz $(I - X)$ Inter-Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.0000	-0.1765	-0.0588	-0.2353	-0.1176	-0.1176	-0.1765
C2	-0.1176	1.0000	-0.0588	-0.1176	-0.1765	-0.1176	-0.0588
C3	-0.0588	-0.1765	1.0000	-0.0588	-0.1176	-0.1176	-0.0588
C4	-0.2353	-0.1765	-0.1176	1.0000	-0.1765	-0.1765	-0.1176
C5	-0.0588	-0.1176	-0.1176	-0.1176	1.0000	-0.1176	-0.1176
C6	-0.1176	-0.1176	-0.1176	-0.2353	-0.1176	1.0000	-0.1176
C7	-0.0588	-0.1176	-0.0588	-0.0588	-0.1765	-0.1176	1.0000

Seguidamente, calculou-se a matriz $(I - X)^{-1}$ inter-clusters, apresentada no *Quadro 4.13*.

Quadro 4.13: Matriz $(I - X)^{-1}$ Inter-Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.3578	0.5932	0.3423	0.6229	0.5609	0.5037	0.4932
C2	0.3688	1.3316	0.2742	0.4305	0.4896	0.4030	0.3152
C3	0.2847	0.4428	1.1893	0.3386	0.4031	0.3652	0.2765
C4	0.5843	0.6410	0.4202	1.4807	0.6474	0.5881	0.4851
C5	0.3108	0.4271	0.3152	0.4117	1.3298	0.3941	0.3498
C6	0.4438	0.5258	0.3775	0.6003	0.5327	1.3773	0.4268
C7	0.2814	0.3925	0.2471	0.3376	0.4497	0.3647	1.2228

Obtida a matriz inversa, foi possível, por fim, calcular a matriz de influência total T inter-clusters (*Quadro 4.14*).

Quadro 4.14: Matriz de Influência Total T Inter-Clusters

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.3578	0.5932	0.3423	0.6229	0.5609	0.5037	0.4932
C2	0.3688	0.3316	0.2742	0.4305	0.4896	0.4030	0.3152
C3	0.2847	0.4428	0.1893	0.3386	0.4031	0.3652	0.2765
C4	0.5843	0.6410	0.4202	0.4807	0.6474	0.5881	0.4851
C5	0.3108	0.4271	0.3152	0.4117	0.3298	0.3941	0.3498
C6	0.4438	0.5258	0.3775	0.6003	0.5327	0.3773	0.4268
C7	0.2814	0.3925	0.2471	0.3376	0.4497	0.3647	0.2228

Etapas 4 e 5 – Cálculo dos vetores R e C e definição do threshold α

As etapas seguintes dizem respeito ao cálculo do *threshold* α , bem como dos vetores R e C . O primeiro resulta da média dos valores obtidos na matriz de influência total T . Por seu turno, os vetores R e C obtêm-se somando as linhas e colunas da matriz, respetivamente (ver *Quadro 4.15*).

Quadro 4.15: Matriz de Influência Total T Inter-Clusters (Cálculos Auxiliares)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	R
C1	0.3578	0.5932	0.3423	0.6229	0.5609	0.5037	0.4932	3.4741
C2	0.3688	0.3316	0.2742	0.4305	0.4896	0.4030	0.3152	2.6130
C3	0.2847	0.4428	0.1893	0.3386	0.4031	0.3652	0.2765	2.3001
C4	0.5843	0.6410	0.4202	0.4807	0.6474	0.5881	0.4851	3.8468
C5	0.3108	0.4271	0.3152	0.4117	0.3298	0.3941	0.3498	2.5385
C6	0.4438	0.5258	0.3775	0.6003	0.5327	0.3773	0.4268	3.2841
C7	0.2814	0.3925	0.2471	0.3376	0.4497	0.3647	0.2228	2.2959
C	2.6316	3.3539	2.1658	3.2224	3.4132	2.9962	2.5693	

O Quadro 4.15 apresenta dos valores R e C para a avaliação de inter-clusters. A partir do *threshold* α , que para a avaliação em análise é de 0.4154, é possível evidenciar (destacados a azul) os efeitos com maior relevância e que devem ser incluídos no mapa de relações causa-efeito inter-clusters.

Etapa 6 – Produção do mapa de relações causa-efeito

Por último, calcularam-se as coordenadas para produzir o diagrama. O Quadro 4.16 reúne as coordenadas para o mapa de relações inter-clusters do presente estudo.

Quadro 4.16: Cálculos Auxiliares para Produção do Diagrama DEMATEL Inter-Clusters

	R	C	R+C	R-C
C1	3.4741	2.6316	6.1057	0.8424
C2	2.6130	3.3539	5.9669	-0.7409
C3	2.3001	2.1658	4.4658	0.1343
C4	3.8468	3.2224	7.0691	0.6244
C5	2.5385	3.4132	5.9516	-0.8747
C6	3.2841	2.9962	6.2803	0.2880
C7	2.2959	2.5693	4.8652	-0.2734

O eixo vertical representa $(R - C)$ e o eixo horizontal $(R + C)$. Reunidas todas as coordenadas e as relações mais relevantes, é possível produzir o mapa de relações inter-clusters apresentado na Figura 4.3.

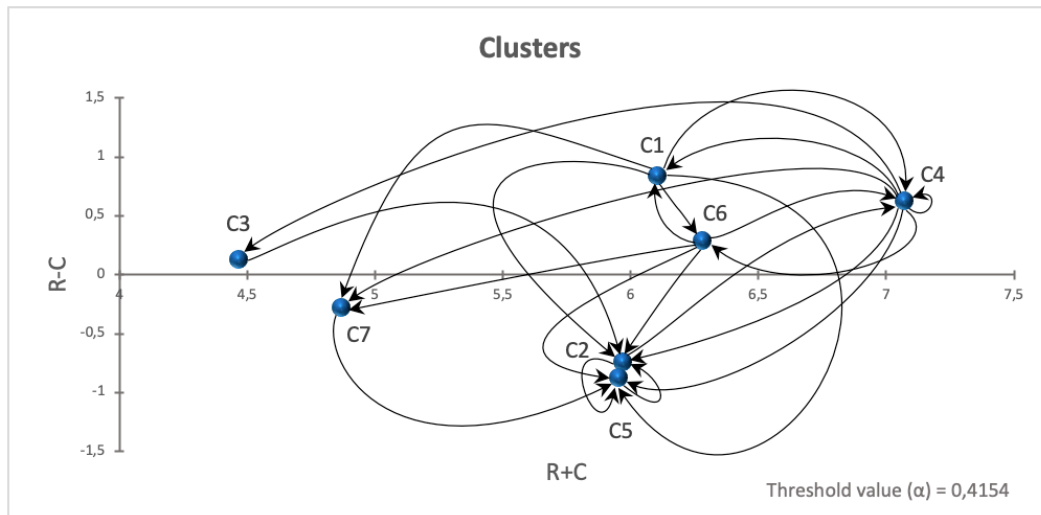


Figura 4.3: Diagrama DEMATEL Inter-Clusters

As etapas anteriores foram reproduzidas para a obtenção dos mapas de relações causa-efeito intra-clusters. No ponto seguinte serão analisados os resultados obtidos.

4.3. Análise de Resultados

A primeira ilação dos resultados é que existe dependência entre todos os fatores identificados (*i.e.*, $a_{ij} \neq 0$). Por outras palavras, de acordo com as matrizes iniciais de influência direta, durante o apuramento de todas as relações de casualidade, nunca foi selecionado a opção sem influência (*i.e.*, 0).

Concretizando para o domínio inter-clusters, a análise da *Figura 4.3* permite retirar algumas conclusões. A importância dos clusters é dada pela análise de $(R + C)$, sendo que o mesmo é tanto mais relevante quanto maior o valor de $(R + C)$. Assim, o cluster mais proeminente é *Governance*, seguido de *Pessoas*, *Economia*, *Energia e Ambiente*, *Mobilidade*, *Tecnologia* e, por fim, *Espaço Urbano* (*i.e.*, $C4 > C6 > C1 > C2 > C5 > C7 > C3$). Por outro lado, a análise de $(R - C)$ informa sobre a contribuição líquida de um fator no sistema em análise. Quer isto dizer que os clusters com $(R - C) > 0$ afetam os outros clusters. Por oposição, $C7$ – *Tecnologia*, $C2$ – *Energia e Ambiente* e $C5$ – *Mobilidade* são influenciados pelos demais clusters do sistema, uma vez que apresentam $(R - C) < 0$.

Como visto no capítulo anterior, é possível posicionar os fatores identificados em quatro quadrantes distintos, conforme apresenta a *Figura 4.4*.

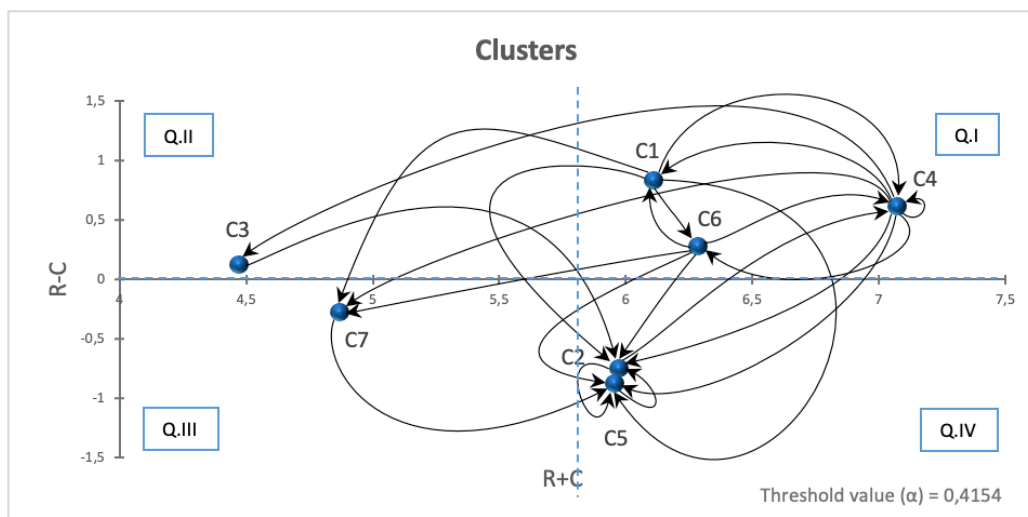


Figura 4.4: Diagrama DEMATEL Inter-Clusters nos Diversos Quadrantes

A análise da *Figura 4.4* revela que C1 – *Economia*, C4 – *Governance* e C6 – *Pessoas* são *clusters* centrais para o sistema. No extremo oposto, como baixa proeminência e relação, encontra-se C7 – *Tecnologia*, neste diagrama posicionado como fator independente. De facto, a revisão da literatura destaca a importância dos fatores centrais identificados, nomeadamente *Pessoas* e *Governance*, em contexto de *smart cities* (cf. Allam & Dhunny, 2019; Joshi *et al.*, 2016; Nam & Pardo, 2011). No que refere ao pilar economia, Joshi *et al.* (2016, p. 905) expõem, por exemplo, que “*economy is one of the major drivers of smart city initiatives*”. No entanto, a tecnologia muitas vezes encontrada na base da própria definição de *smart cities* (cf. Kummitha, 2019) e considerada como elemento motor para o desenvolvimento de *smart cities* (Joshi *et al.*, 2016), surge para o contexto de adaptação da *smart city* à AI, como um dos fatores menos relevantes no sistema. Particularizando para cada um dos *clusters*, proceder-se-á de seguida à análise dos resultados obtidos (ver *Quadros 4.17* ao *4.23* e *Figuras 4.5* à *4.11*).

Quadro 4.17: Matriz de Influência Total T para o Cluster 1 – Economia

C1 – ECONOMIA											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	R	C	R+C	R-C
E1	0.4863	0.5275	0.7221	0.6038	0.3765	0.5415	0.6369	3.8946	4.6163	8.5109	-0.7217
E2	0.8065	0.6168	0.9739	0.9309	0.4889	0.7808	0.7578	5.3556	4.2541	9.6097	1.1015
E3	0.6623	0.6244	0.6042	0.7104	0.3993	0.5797	0.6109	4.1912	5.2485	9.4397	-1.0573
E4	0.7012	0.7183	0.9096	0.6795	0.4598	0.7389	0.7706	4.9779	5.0205	9.9984	-0.0425
E5	0.5921	0.5491	0.6442	0.6343	0.3169	0.6431	0.7403	4.1201	2.8660	6.9861	1.2541
E6	0.6551	0.5513	0.6625	0.6975	0.3948	0.4962	0.6746	4.1320	4.4750	8.6070	-0.3430
E7	0.7127	0.6668	0.7320	0.7640	0.4297	0.6948	0.5859	4.5860	4.7770	9.3630	-0.1910

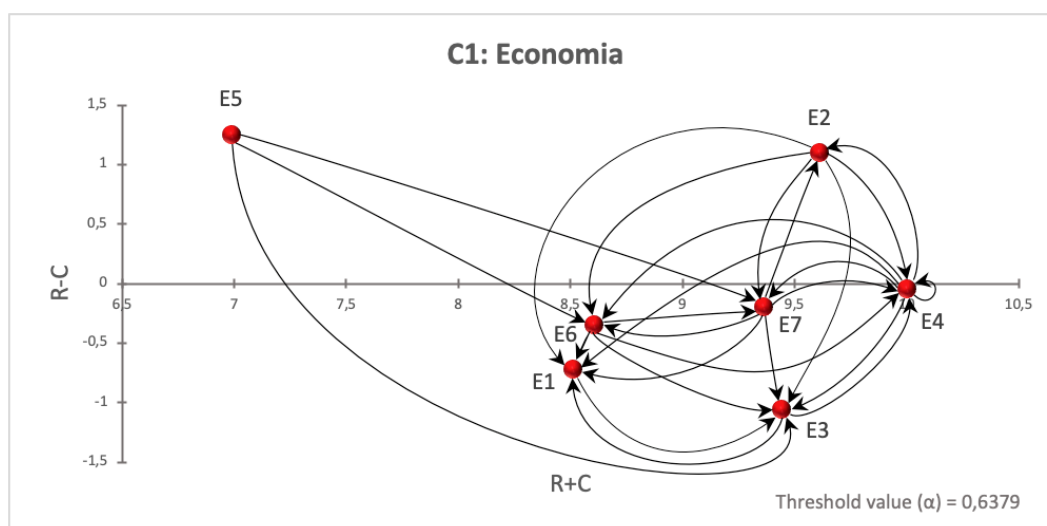


Figura 4.5: Diagrama DEMATEL Cluster 1 – Economia

No que respeita ao *cluster Economia*, verifica-se que existem dois critérios causa e cinco critérios efeito. O fator com maior proeminência é E4 (*i.e.*, *novos modelos de negócio*). Destaca-se ainda que E2 – *criatividade na abordagem* – posiciona-se no quadrante de fatores centrais. A maioria dos critérios com maior proeminência encontram-se no quadrante Q.IV (*i.e.*, fatores de impacto), designadamente E4 – *novos modelos de negócio*, E3 – *empreendedorismo* e E7 – *transversalidade*. Por outras palavras, estes critérios são de efeito, de relevo para o sistema e devem ser monitorizados.

Quadro 4.18: Matriz de Influência Total T para o Cluster 2 – Energia e Ambiente

C2 – ENERGIA E AMBIENTE											
	EA1	EA2	EA3	EA4	EA5	EA6	EA7	R	C	R+C	R-C
EA1	0.2362	0.4724	0.4296	0.4013	0.2561	0.5259	0.3149	2.6364	1.9843	4.6207	0.6521
EA2	0.3046	0.3052	0.2654	0.3950	0.2924	0.4910	0.3502	2.4036	2.9470	5.3506	-0.5434
EA3	0.3669	0.4136	0.2287	0.4262	0.2442	0.5050	0.3066	2.4912	2.0260	4.5172	0.4653
EA4	0.3523	0.5142	0.3769	0.3304	0.2923	0.5665	0.4870	2.9195	2.6332	5.5527	0.2864
EA5	0.2912	0.5496	0.2900	0.4654	0.2286	0.5251	0.4430	2.7930	1.8235	4.6165	0.9695
EA6	0.1613	0.2134	0.1636	0.1964	0.1526	0.1788	0.1814	1.2474	3.3083	4.5557	-2.0609
EA7	0.2717	0.4786	0.2718	0.4185	0.3573	0.5161	0.2722	2.5862	2.3552	4.9414	0.2310

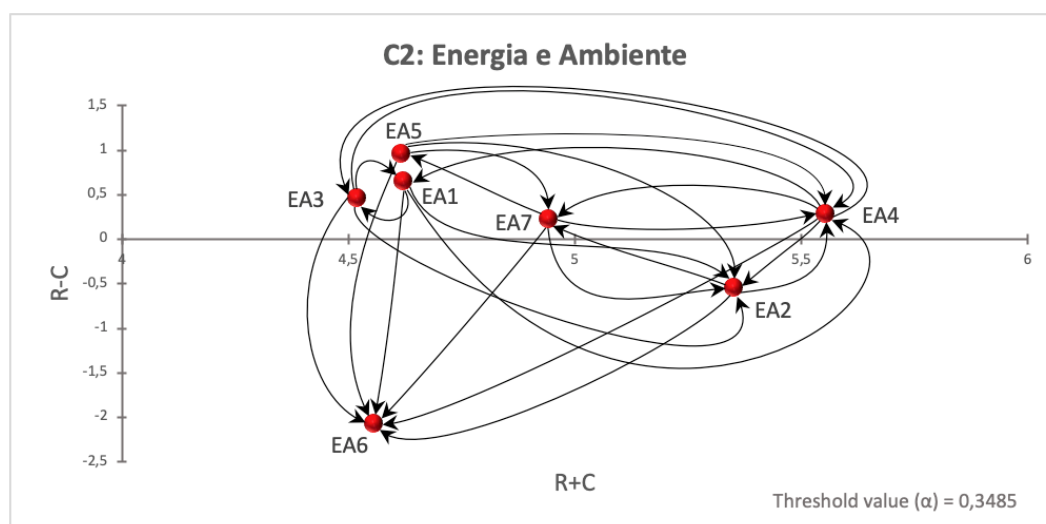


Figura 4.6: Diagrama DEMATEL Cluster 2 – Energia e Ambiente

Por comparação a C1 – *Economia*, o cluster *Energia e Ambiente* apresenta cinco fatores causa (*i.e.*, $(R - C) > 0$) e dois fatores efeito. O critério com maior proeminência é EA4 – *eficiência*. Em conjunto com EA7 – *utilização eficiente de energia* – constituem os fatores centrais no sistema em análise. Por outro lado, o fator com menor relação é EA6 – *sustentabilidade*. Conforme referido anteriormente, a AI tem vindo a demonstrar-se promissora para melhorar processos de eficiência pela sua capacidade de análise de dados heterogêneos, em tempo útil, assim como por permitir substituir a presença humana na execução de algumas tarefas de forma *smart*.

Quadro 4.19: Matriz de Influência Total T para o Cluster 3 – Espaço Urbano

C3 – ESPAÇO URBANO											
	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6	EU7	R	C	R+C	R-C
EU1	0.4339	0.5016	0.5820	0.4816	0.5552	0.5607	0.7637	3.8788	3.9263	7.8051	-0.0475
EU2	0.6438	0.6892	0.9650	0.8756	0.5865	1.0137	0.7720	5.5458	4.2945	9.8402	1.2513
EU3	0.5634	0.5305	0.5396	0.5048	0.5121	0.6440	0.7206	4.0150	4.9943	9.0093	-0.9792
EU4	0.6080	0.8176	0.9114	0.6047	0.5540	0.9574	0.7291	5.1821	4.0844	9.2665	1.0977
EU5	0.6704	0.5073	0.5856	0.4871	0.3907	0.5669	0.7265	3.9345	3.4910	7.4255	0.4435
EU6	0.5931	0.8433	0.8890	0.7419	0.5404	0.7117	0.7112	5.0306	4.9099	9.9405	0.1206
EU7	0.4138	0.4050	0.5217	0.3887	0.3520	0.4556	0.3947	2.9315	4.8178	7.7494	-1.8863

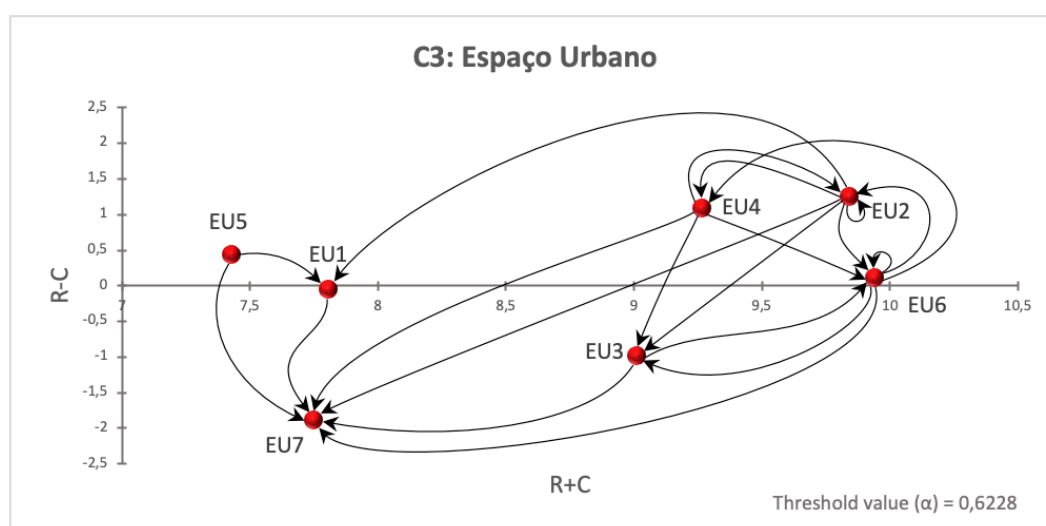


Figura 4.7: Diagrama DEMATEL Cluster 3 – Espaço Urbano

Relativamente ao *cluster Espaço Urbano*, os critérios posicionados em: (1) Q.I (i.e., fatores centrais) são EU2 – *equilíbrio visual*, EU4 – *excesso de informação visual* e EU6 – *poluição visual*; (2) Q.II é EU5 – *modelação de ecossistemas*; (3) Q.III são EU1 – *aproveitamento de recursos* e EU7 – *segurança*; e, por fim (4) Q.IV é EU3 – *espaços públicos*. Considera-se que os fatores centrais são uma oportunidade para a AI, nomeadamente para colmatar problemas de poluição visual, dado que esta permite *tailoring* e parece permitir transformar, por exemplo, o sector de vendas e *marketing*.

Quadro 4.20: Matriz de Influência Total T para o Cluster 4 – Governance

C4 – GOVERNANCE											
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	R	C	R+C	R-C
G1	0.2961	0.4588	0.4190	0.2286	0.4069	0.4840	0.3502	2.6436	2.2517	4.8953	0.3919
G2	0.1711	0.1490	0.1634	0.1273	0.1591	0.1717	0.1587	1.1004	2.8318	3.9322	-1.7315
G3	0.5251	0.5578	0.3195	0.2651	0.4063	0.5274	0.4786	3.0797	2.1039	5.1837	0.9758
G4	0.2233	0.3685	0.2132	0.1189	0.2077	0.2195	0.3029	1.6541	1.4178	3.0719	0.2363
G5	0.3063	0.4004	0.2924	0.1775	0.1847	0.3098	0.2339	1.9050	2.0223	3.9273	-0.1174
G6	0.4051	0.4612	0.3866	0.2066	0.3549	0.2681	0.2812	2.3638	2.2629	4.6267	0.1008
G7	0.3246	0.4360	0.3099	0.2938	0.3028	0.2825	0.2106	2.1602	2.0161	4.1763	0.1441

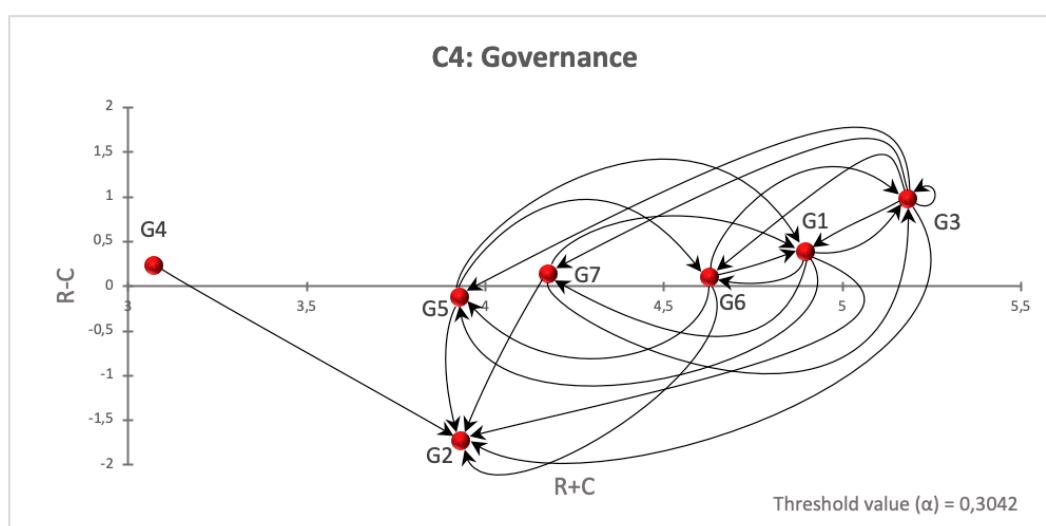


Figura 4.8: Diagrama DEMATEL Cluster 4 – Governance

Aplicando o valor do *threshold* à matriz total T de C4 – Governance, verifica-se que *capacidade de implementação* (G2) não tem influência significativa nos demais critérios, mas é influenciado pelos mesmos. Trata-se, portanto, de um critério posicionado em Q.III com baixa proeminência e relação. Destaca-se ainda que não existem fatores de impacto (i.e., Q.IV) para este cluster e apenas existem dois critérios efeito (i.e., G5 – *flexibilidade* e G2 – *capacidade de implementação*). Os fatores centrais deste cluster são: G1 – *articulação multinível*; G3 – *colaboração*; e G6 – *inexistência de silos*. A proeminência dos critérios é dada por: $G3 > G1 > G6 > G7 > G2 > G5 > G4$. De facto, os resultados parecem apontar para a importância de sinergias de colaboração e partilha, permitindo uma visão integrada no processo de adaptação da *smart city* à AI.

Quadro 4.21: Matriz de Influência Total T para o Cluster 5 – Mobilidade

C5 – MOBILIDADE											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	R	C	R+C	R-C
M1	0.4395	0.5180	0.3883	0.6020	0.5374	0.5198	0.3361	3.3410	3.8531	7.1941	-0.5121
M2	0.5961	0.3476	0.3813	0.5695	0.5784	0.4647	0.3275	3.2652	3.0931	6.3583	0.1722
M3	0.6043	0.4689	0.3211	0.5734	0.5891	0.4155	0.3303	3.3026	2.9031	6.2057	0.3995
M4	0.4646	0.4337	0.3739	0.4220	0.5060	0.3997	0.4157	3.0157	4.0340	7.0497	-1.0183
M5	0.5895	0.4129	0.4317	0.6158	0.4129	0.4586	0.3324	3.2538	3.7358	6.9896	-0.4820
M6	0.4602	0.3473	0.3741	0.5056	0.4013	0.2770	0.2824	2.6479	3.0348	5.6827	-0.3870
M7	0.6988	0.5647	0.6328	0.7456	0.7106	0.4995	0.3447	4.1968	2.3691	6.5659	1.8276

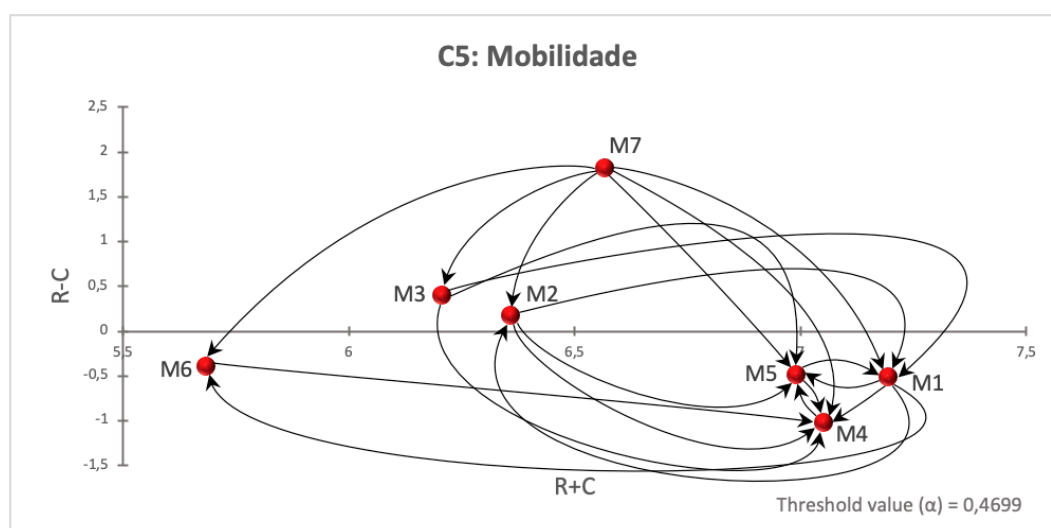


Figura 4.9: Diagrama DEMATEL Cluster 5 – Mobilidade

Da análise da Figura 4.9 emerge que M7 – *transportes eficientes*, M3 – *mobilidade eficiente* e M2 – *eliminação do espaço (acesso à distância)* são os fatores determinantes para o sistema. De referir ainda que não existem fatores centrais no cluster Mobilidade. Por fim, três dos critérios identificados ocupam o posicionamento de fatores de impacto (i.e., Q.IV), pelo que, apesar de terem relevância no sistema, são fatores “*impacted by other factors and cannot be directly improved*” (Si et al., 2018, p. 11).

Quadro 4.22: Matriz de Influência Total T para o Cluster 6 – Pessoas

C6 – PESSOAS											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	R	C	R+C	R-C
P1	0.2991	0.6072	0.5077	0.5777	0.6284	0.4615	0.6037	3.6853	2.8289	6.5142	0.8564
P2	0.5064	0.6243	0.7743	0.8389	0.8093	0.7039	0.7688	5.0260	4.3344	9.3604	0.6916
P3	0.4676	0.5898	0.5242	0.6896	0.7490	0.5674	0.6723	4.2599	4.3257	8.5856	-0.0658
P4	0.4462	0.7139	0.7918	0.6266	0.7802	0.7198	0.7179	4.7965	4.5230	9.3195	0.2735
P5	0.4082	0.6147	0.5713	0.5942	0.5019	0.5194	0.5728	3.7825	4.6145	8.3969	-0.8320
P6	0.4123	0.6790	0.7379	0.7156	0.6844	0.4890	0.6458	4.3640	3.8416	8.2056	0.5225
P7	0.2891	0.5055	0.4185	0.4802	0.4613	0.3805	0.3624	2.8974	4.3437	7.2411	-1.4462

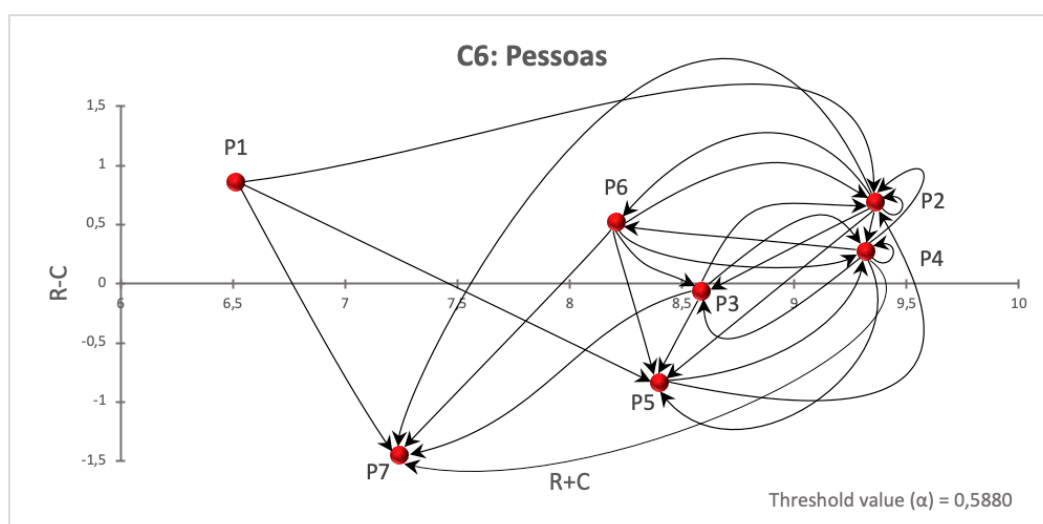


Figura 4.10: Diagrama DEMATEL Cluster 6 – Pessoas

A análise do mapa de relação referente ao *cluster Pessoas* evidencia que P1 e P6 (i.e., *comportamentos sustentáveis e participação*) assumem o posicionamento de fatores determinantes (i.e., exercem influência autónoma no sistema). *Cultura social e envolvimento da comunidade* (i.e., P2 e P4) são os fatores centrais. Por fim, como fatores efeito, apresentam-se P7, P5 e P3 (i.e., *qualidade de vida, inclusão e dar resposta às necessidades dos cidadãos*, respetivamente). Neste caso, a proeminência dos critérios é dada por: $P2 > P4 > P3 > P5 > P6 > P7 > P1$. Estes resultados estão em conformidade com a revisão da literatura, a qual aponta a cultura social como uma possível barreira à entrada de tecnologias de AI. Dwivedi *et al.* (2021, p. 5), por exemplo, desvendam desafios sociais no domínio de *health* relacionados com

“unrealistic expectations towards AI technology and insufficient knowledge on values and advantages of AI technologies”.

Quadro 4.23: Matriz de Influência Total T para o Cluster 7 – Tecnologia

C7 – TECNOLOGIA											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	R	C	R+C	R-C
T1	0.3397	0.3830	0.4938	0.4992	0.4335	0.4796	0.5093	3.1381	3.0932	6.2313	0.0449
T2	0.5847	0.4203	0.5983	0.6024	0.5748	0.6329	0.6171	4.0305	2.9422	6.9728	1.0883
T3	0.4777	0.4821	0.3702	0.5189	0.4467	0.4979	0.4616	3.2551	3.1880	6.4431	0.0671
T4	0.3137	0.3346	0.3649	0.2736	0.3141	0.4381	0.3810	2.4200	3.2166	5.6366	-0.7966
T5	0.6285	0.5208	0.6412	0.5615	0.4315	0.6285	0.6158	4.0278	3.0236	7.0515	1.0042
T6	0.3477	0.4220	0.3555	0.4009	0.3871	0.3258	0.4143	2.6532	3.4305	6.0837	-0.7773
T7	0.4012	0.3794	0.3641	0.3601	0.4359	0.4277	0.3206	2.6890	3.3196	6.0086	-0.6306

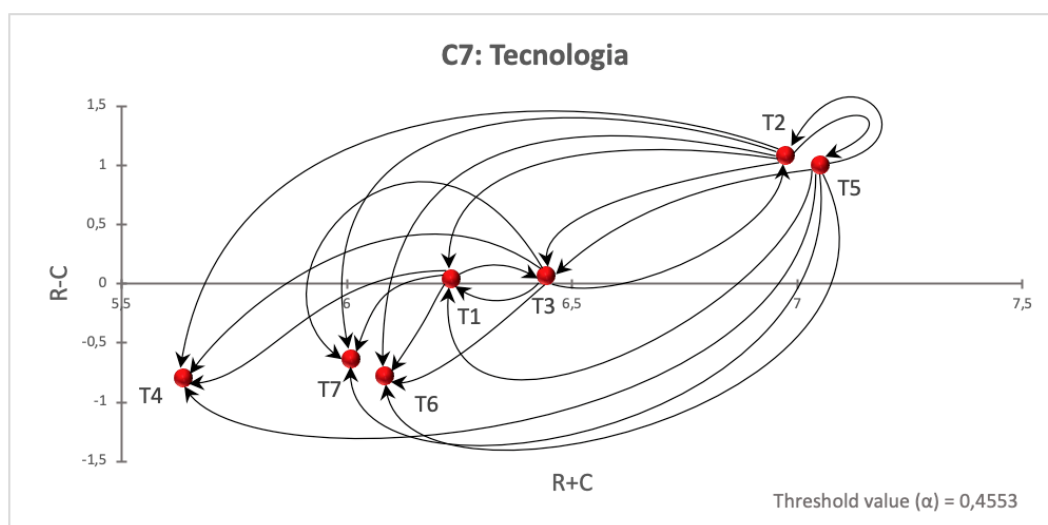


Figura 4.11: Diagrama DEMATEL Cluster 7 – Tecnologia

No que respeita ao *cluster Tecnologia*, salienta-se, em primeiro lugar, que não existem critérios em Q.IV (i.e., fatores de impacto). Por seu turno, são fatores centrais para o sistema: T2 – *dados*; T5 – *interoperabilidade*; e T3 – *digitalização*. A *conectividade* (i.e., T1) ocupa o lugar de fator determinante. Por fim, T4 – *eliminação do espaço (acesso à distância)*, T6 – *partilha* e T7 – *tecnologia ao serviço das pessoas* não exercem influência significativa sobre nenhum critério, pelo que se posicionam em Q.III e são considerados fatores relativamente desconectados do sistema.

Em conformidade com a revisão de literatura, os dados são o motor-chave para o contexto em análise. Se, por um lado, são indispensáveis para o aperfeiçoamento de tecnologias de AI; por outro lado, as *smart cities* produzem dados em massa e a AI pode desempenhar um papel vital na sua análise, permitindo responder mais eficazmente aos desafios da cidade. A interoperabilidade neste contexto diz respeito à capacidade de comunicação entre sistemas, pelo que parece justificável o seu posicionamento como o fator com maior proeminência no sistema. Apresentados os resultados obtidos, o ponto seguinte será dedicado à sessão de consolidação do estudo e às recomendações.

4.4. Consolidação e Recomendações

Para finalizar o estudo, foi realizada uma sessão de consolidação dos resultados obtidos com o decisor, que é gestor de projetos na Lisboa E-Nova (*i.e.*, agência que tem como objetivos a angariação de projetos, a criação de competências e a implementação de iniciativas relacionadas com a área das *smart cities*). Esta sessão decorreu via plataforma *zoom* devido ao confinamento decorrente da pandemia COVID-19 e teve a duração de aproximadamente uma hora. Para o efeito, numa primeira fase, foi feita uma breve apresentação dos passos desenvolvimentos até à sessão, passando pela: (1) problemática de investigação; (2) revisão da literatura; (3) metodologia escolhida; e (4) implementação da componente empírica da dissertação. Numa segunda fase, procedeu-se à análise dos resultados obtidos com maior intervenção de ambas as partes. A *Figura 4.12* apresenta alguns momentos da sessão.

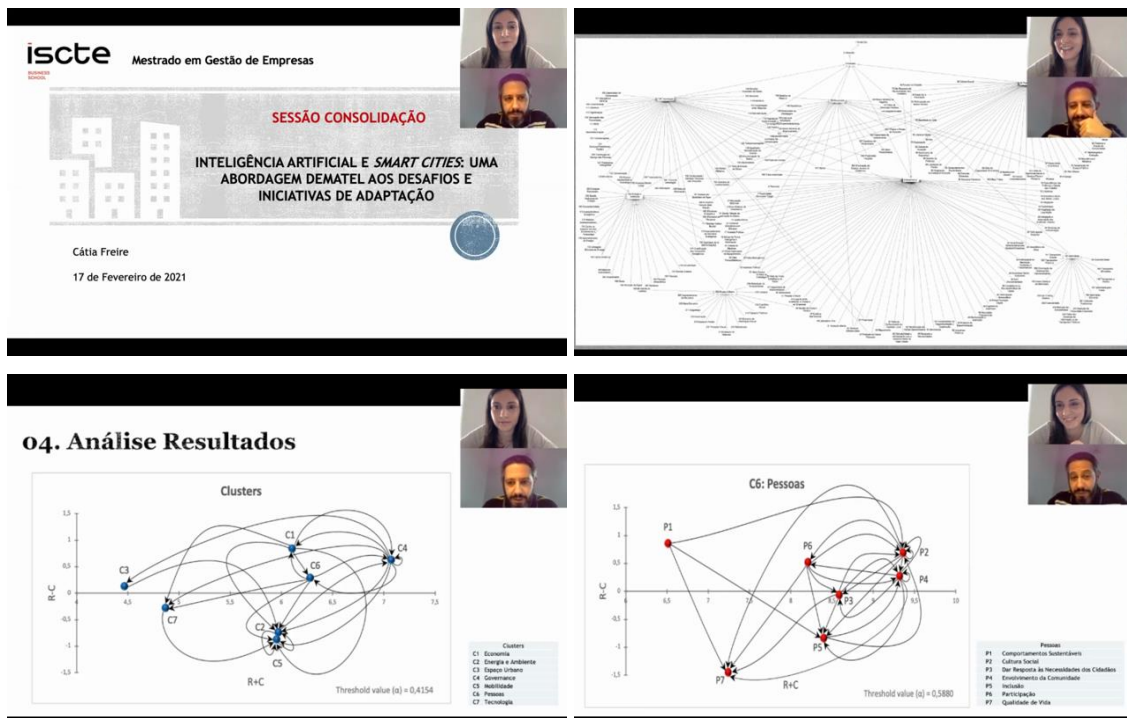


Figura 4.12: Instantâneos da Sessão de Consolidação

Questionado sobre as metodologias adotadas, nomeadamente o mapeamento cognitivo e a técnica DEMATEL, o decisor identificou-se com processo e considerou que a interpretação do posicionamento de cada um dos elementos no gráfico é muito interessante. É uma “*forma mais acessível de visualizar as relações que nem sempre são óbvias e que são difíceis de expressar*” (nas suas palavras). O decisor concordou com os resultados finais alcançados, referindo que teve a perceção que todos faziam sentido de alguma forma. Acrescentou ainda que estas metodologias permitem interpretações diferentes, até mesmo suas ao longo do tempo. Esta referência advém da perceção de evolução e aprendizagem constantes. De facto, a metodologia proposta, por ser orientada para o processo e incentivar uma participação dos atores envolvidos, nomeadamente para atingir uma linguagem de comunicação comum, fomenta aprendizagem e evolução. As recomendações que proporciona não são mandatórias, mas permitem ter uma visão mais consciente e holística do problema em estudo, aquando de processos de tomada de decisão. Concretamente, com a utilização da técnica DEMATEL, foi possível não só perceber quais os critérios críticos neste processo, mas refletir e tirar ilações sobre todos os *clusters* avaliados e pensar no todo, para o problema em análise. Por exemplo, a tecnologia que é apontada como a base na implementação e no funcionamento de uma *smart city* tem, neste mesmo contexto de estudo (*i.e.*, a adaptação da *smart city* a tecnologias de AI), um papel independente e de suporte, sendo influenciada pelos fatores centrais. A reflexão sobre a

interligação entre critérios, proporcionada pela técnica DEMATEL, tornou mais claro que não basta dispor de tecnologia de ponta, mas é fundamental enquadrá-la ao contexto da cidade, aos serviços que presta e aos seus *stakeholders*. É fundamental perceber que valor vai trazer e como é percebido o seu valor. Com efeito, uma das grandes vantagens desta metodologia, em relação a outras abordagens MCDA, é conseguir relacionar critérios e perceber a direção e intensidade dessas relações.

No que respeita às desvantagens que vê na prática, nas palavras do decisor, estas “*estão relacionadas com impossibilidade de caracterizar e definir todos os duzentos e vinte critérios com exatidão, até porque alguns são abstratos*”. No entanto, o decisor referiu compreender e aceitar esta limitação, já que a aceitação da subjetividade é também uma vantagem em si mesmo, bem como a forma de apresentação dos resultados, que aporta bastante informação. Na sua opinião, a implementação deste processo na prática deve variar de acordo com as características individuais de cada cidade e deverá contar com vários *stakeholders*, alguns externos à cidade.

Em conclusão, as metodologias adotadas permitem visualizar temáticas complexas, simplificando-as e permitindo a sua discussão. Mediante a utilização de metodologias MCDA, como a técnica DEMATEL, é possível apoiar processos de tomada de decisão mais informados no âmbito de *smart cities*. Ainda assim, é importante ressaltar o carácter idiossincráticos dos resultados alcançados, já que advêm de uma metodologia orientada para o processo e que é, inevitavelmente, influenciada pelos atores envolvidos, o contexto de decisão e fio condutor ao longo de todo o estudo. É pertinente a adaptação da *smart city* à AI, mas parece relevante que os demais *stakeholders*, nomeadamente investigadores, continuem a aportar conhecimento para a sua implementação prática. Nas palavras do decisor, e numa perspetiva de investigação futura, seria interessante prosseguir este estudo olhando para a vertente pessoas, bem como procurar perceber junto delas qual a sua interpretação sobre a AI e sobre cada um dos critérios identificados, recorrendo, por exemplo, a técnicas de AI.

SINOPSE DO CAPÍTULO 4

O presente capítulo diz respeito à aplicação da metodologia adotada, à análise dos resultados obtidos e à sessão de validação e consolidação do estudo. Numa primeira etapa (*i.e.*, estruturação do problema de decisão), foi impreterível reunir elementos de avaliação que fossem adequados ao estudo – *i.e.*, avaliação das iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI. Para o efeito, procuraram-se estudos anteriores que fossem suficientemente extensos e complexos para cobrir a temática em análise, selecionando-se um mapa cognitivo com duzentos e vinte critérios. Assim, esta etapa ficou concluída procurando saber junto de um decisor com elevado poder de decisão e que já tinha participado no processo de mapeamento cognitivo anterior, estando por isso familiarizado com os critérios, quais os elementos dentro de cada *cluster* mais importantes para avaliar a temática em estudo. A segunda etapa da abordagem MCDA correspondeu à avaliação dos elementos identificados na etapa anterior. Uma vez selecionada a técnica DEMATEL para desenvolver esta etapa, foi pedida uma segunda intervenção do decisor. O objetivo foi perceber qual o grau de influência que cada *cluster* exerce nos restantes *clusters*, utilizando uma escala que varia entre 0 (*i.e.*, sem influência) e 4 (*i.e.*, influência muito alta). O mesmo exercício foi feito de forma particularizada para cada um dos *clusters*, tendo em conta as relações de influência para os critérios identificados em cada *cluster*. As matrizes iniciais de influência direta obtidas foram devidamente tratadas até construir os diagramas DEMATEL finais. A análise dos mapas de relações causa-efeito tornou possível destacar quais os critérios com maior ou menor proeminência e relação no sistema em estudo, permitindo fazer recomendações em conformidade. Por fim, de forma a ser possível desenvolver a terceira etapa da abordagem MCDA (*i.e.*, recomendações), foi realizada uma sessão de consolidação e formuladas recomendações do estudo com o decisor. O decisor enfatizou, desde logo, a forma de apresentação dos resultados, que aporta muita informação. Por outras palavras, uma das grandes vantagens destacadas foi, precisamente, conseguir visualizar e tornar perceptíveis relações complexas e que são, muitas vezes, difíceis de expressar verbalmente. Na opinião do decisor, este tipo de metodologias torna mais fácil discutir temas complexos e é extremamente interessante o seu carácter construtivista. Ou seja, existe a noção de aprendizagem entre os atores envolvidos e de que a opinião dos mesmos pode mudar ao longo do tempo. Foram, ainda, abordadas as limitações da metodologia. Embora tenha sido destacado que ainda existe um caminho a percorrer para adaptação das *smart cities* à AI, na opinião do decisor, o estudo apresentado é pertinente e constitui um dos passos necessários para implementar esta abordagem futuramente.

O presente capítulo consagra três pontos principais para concluir a presente dissertação, nomeadamente: (1) os principais resultados alcançados e as limitações da aplicação; (2) reflexões e implicações teórico-práticas para a gestão; e, por fim (3) recomendações para futura investigação.

5.1. Principais Resultados e Limitações da Aplicação

Como referido, a personalização e as possibilidades de melhoria contínua de uma *smart city*, enquadrada no seu ecossistema, motivam e atraem a atenção de investigadores e de outros *stakeholders*. Impera a convicção de que a evolução de uma *smart city* é indissociável de tecnologia. Em maior ou menor escala, parece inevitável a relação *smart city*-AI. A presente dissertação recorreu a uma abordagem de análise multicritério tendo como principal objetivo desenvolver ***um modelo de análise dinâmica entre iniciativas e desafios de adaptação da smart city à AI através da aplicação da técnica DEMATEL***. De facto, espera-se que uma *smart city*, enquanto abordagem futurística, proporcione um ambiente sustentável, competitivo, produtivo e com foco nas pessoas e na comunidade. Para isso, pode ser suportada pela AI, um *hot topic* no momento no mundo da tecnologia. A metodologia adotada permite ter uma visão holística da problemática em estudo.

A dissertação foi dividida em cinco capítulos: (1) no primeiro, a *introdução*, foi realizado um enquadramento do tema, propondo os principais objetivos de investigação, a metodologia e resultados esperados; (2) no segundo, desenvolveu-se a *revisão da literatura*, aprofundando conceitos relativos à *smart city*, tecnologia e AI. Foi realizado um levantamento de estudos existentes, incluindo as suas vantagens e limitações e ficou sustentada a utilização da abordagem MCDA; (3) no terceiro, apresentou-se a *metodologia* proposta, concretamente a técnica DEMATEL; (4) no quarto capítulo, procedeu-se à materialização da componente empírica, *i.e.*, *resultados e análise*; e, por fim (5) no quinto capítulo, reuniram-se as principais conclusões e propuseram-se sugestões de investigação futura. Deste modo, na sequência de estudos anteriores dos quais emergiram mapas cognitivos complexos e extensos, elaborados por painéis de especialistas multidisciplinares para a temática *smart city*, a presente dissertação

priorizou a presença de um especialista com elevado poder de decisão. Acreditando que a sua vasta experiência na área poderia trazer *insights* adicionais, procurámos obter resultados relevantes dada a complexidade e atualidade do tema em estudo.

As *smart cities* são apontadas como a solução para a maioria dos problemas decorrentes da urbanização, sendo a tecnologia vista como um elemento central para o desenvolvimento e prosperidade das mesmas. Se é possível afirmar que a tecnologia está na base do desenvolvimento da *smart city*, não é possível esquecer que a sua existência deve ocorrer ao serviço da cidade. Na realidade, os resultados alcançados demonstram que outros fatores imperam no processo de adaptação da *smart city* à AI. As pessoas são preponderantes neste processo, sendo potencialmente necessário garantir um progresso de *AI user-friendly*. O seu papel neste contexto decorre quer do ponto de vista de aceitação de tecnologias de AI, quer do ponto de vista de as utilizarem e de aportarem conhecimento adicional para a evolução das mesmas. Estes argumentos foram, inclusive, apresentados na revisão da literatura e são espelhados no diagrama DEMATEL para o *cluster Pessoas*, através dos fatores centrais – *i.e.*, *cultura social* e *envolvimento da comunidade*. Por outro lado, a economia também tem um peso fundamental para a adaptação da *smart city* à AI, destacando-se a *criatividade na abordagem*, a qual é relevante em lógicas de adaptação e de evolução. Além disso, com elevada proeminência no sistema, mas ainda assim como fatores efeito (*i.e.*, influenciados), surgem o *empreendedorismo* e os *novos modelos de negócio*. Por fim, como não poderia deixar de ser, no topo da *smart city* encontra-se *Governance*, com elevada proeminência também no sistema em análise. A *colaboração*, a *inexistência de silos* e a *articulação multinível* apresentam-se como elementos motores para conseguir uma adaptação mais célebre da *smart city* à AI.

Relativamente a limitações, evidencia-se o carácter idiossincrático do estudo e a não superioridade de nenhuma técnica ou método MCDA. Outros estudos podem aportar conhecimentos adicionais para esta visão holística da adaptação da *smart city* à AI, nomeadamente realizando um mapeamento cognitivo com outro painel decisor e/ou direcionado especificamente para outra *trigger question* relativa a esta temática. De facto, estas abordagens são influenciadas pelo contexto e pelo conjunto de decisores selecionados para o efeito, incluindo as suas experiências e os seus valores. Destaca-se ainda o facto de a pandemia COVID-19 ter enaltecido a importância de ter disponíveis alguns critérios do domínio da tecnologia, designadamente a conectividade, permitindo que mesmo perante confinamento e face à presença dos atores envolvidos em diferentes pontos do País, fosse possível concluir a dissertação sem comprometer os objetivos pretendidos. A adaptação foi também uma presença na execução desta dissertação.

5.2. Reflexões e Implicações Teórico-Práticas para a Gestão

Reforçando o argumento de Davenport e Ronanki (2018, p. 110), apresentado no *Capítulo 2*, “*it is useful for companies to look at AI through the lens of business capabilities rather than technologies*”. Quer isto dizer que, transpondo para o contexto de *smart cities*, a integração de tecnologias de AI não se traduz somente nos benefícios de utilizar tecnologias de ponta, mas poderá vir a ser um trunfo para alcançar vantagem competitiva sustentável em vários domínios da *smart city*. A AI parece aportar várias vantagens para os ademais *stakeholders* das cidades, incluindo os cidadãos que nela habitam, nomeadamente por permitir gestões mais informadas e eficazes. Conforme foi referido, é possível melhorar o tempo de resposta na resolução de problemas, incluindo os mais complexos. Adicionalmente, é possível tirar melhor partido dos dados que são produzidos em massa nas *smart cities*.

Deste modo, se já existem várias iniciativas de AI propostas e/ou implementadas em contexto de *smart cities*, na verdade esta simbiose – ou sinergia em muitos contextos – parece ainda uma realidade distante. Todos os contributos de investigação são relevantes para continuar a desenvolver estes temas e auxiliar processos de tomada de decisão mais conscientes e informados. Neste ponto, importa referir as vantagens de metodologias mais robustas que façam análise dinâmica entre critérios identificados como relevantes para o contexto em estudo, sejam eles tangíveis ou intangíveis. A presente dissertação propôs a utilização de uma abordagem multicritério para avaliar iniciativas e desafios de adaptação da *smart city* à AI. A sua utilização é justificada logo à partida pela sua complexidade do tema, a presença de critérios subjetivos e a atualidade desta problemática. Perante a orientação construtivista desta metodologia, foi fomentado o pensamento crítico dos atores envolvidos. Concretamente, a técnica DEMATEL permitiu interligar os critérios avaliados, através de relações de causa-efeito, estruturando-os em termos de *ranking*. Ainda que seja importante ressaltar o carácter idiossincrático destas metodologias, na verdade a adaptabilidade das mesmas para a especificidade de um contexto de decisão, torna-as apelativas como recurso de suporte no planeamento estratégico a curto e médio-longo prazo das *smart cities*.

5.3. Futura Investigação

Ao longo da dissertação foram expostos argumentos fortes que motivam um olhar atento para a abordagem *soft* de OR. Os resultados alcançados espelham o *know-how* e as convicções do

decisor – ou grupo de decisores – de forma mais estruturada e acessível. Tal é possível porque estas metodologias são orientadas para o processo e incentivam, inclusive, um caminho de aprendizagem. Daqui resultam recomendações e reflexões que podem ser tidas em consideração em processos de decisão, nomeadamente para definir e cumprir os objetivos estratégicos da(s) *smart city(ies)*.

Ainda assim, como referido, todas as metodologias têm limitações e a técnica DEMATEL não é exceção. Neste sentido, incentiva-se toda a investigação que possa dar robustez ao tema e que torne mais clara a adaptação da *smart city* à AI. Para encerrar a presente dissertação, propõem-se três linhas de futura investigação: (1) complementar os resultados alcançados com recurso a outra abordagem MCDA. Por exemplo, reproduzir o estudo, combinando a técnica DEMATEL com outra metodologia de avaliação que hierarquize as alternativas identificadas (*e.g.*, técnica ANP) e comparar os resultados com os obtidos nesta dissertação; (2) na revisão da literatura foram destacados como grandes desafios às tecnologias de AI, a privacidade, a ética e os valores humanos. Seria interessante criar um instrumento de análise dinâmica entre variáveis destes domínios, no âmbito das *smart cities*; e, por fim, (3) olhar para vertente *Pessoas*, conforme referiu o decisor deste estudo. Com efeito, seria interessante explorar a sua interpretação destas variáveis, bem como perceber o seu nível de aceitação de tecnologias AI, no âmbito das *smart cities*. Posteriormente, poder-se-ia recorrer aos métodos de avaliação multicritério para relacionar as pessoas com a adaptação da *smart city* à AI, do ponto de vista de gestão da cidade. Em última instância, pretendemos que a tomada de decisão no processo de integração de AI em *smart cities* seja sustentável e sustentada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackoff, R. (1979). The future of operational research is past. *The Journal of the Operational Research Society*, 30(2), 93–104.
- Ackoff, R. (2001). OR: After the post mortem. *System Dynamics Review*, 17(4), 341–346.
- Addae, B., Zhang, L., Zhou, P., & Wang, F. (2019). Analyzing barriers of smart energy city in Accra with two-step fuzzy DEMATEL. *Cities*, 89, 218–227.
- Akande, A., Cabral, P., Gomes, P., & Casteleyn, S. (2019). The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 44, 475–487.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21.
- Allam, Z., & Dhunny, Z. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89, 80–91.
- Amanullah, M., Habeeb, R., Nasaruddin, F., Gani, A., Ahmed, E., Nainar, A., Akim, N., & Imran, M. (2020). Deep learning and big data technologies for IoT security. *Computer Communications*, 151, 495–517.
- Angelidou, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, 95–106.
- Bana e Costa, C. (1993a). *Processo de Apoio à Decisão: Actores e Acções, Avaliação de Projectos e Decisão Pública*, Lisboa: AEIST/UTL.
- Bana e Costa, C. (1993b). *Três Convicções Fundamentais na Prática de Apoio à Decisão*, Lisboa: CESUR/UTL.
- Bana e Costa, C., Ensslin, L., Corrêa, É., & Vansnick, J. (1999). Decision support systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 315–335.
- 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*, 99(1), 28–37.
- Barão, M., Ferreira, F., Spahr, R., Sunderman, M., Govindan, K., & Meidutė-Kavaliauskienė, I. (2021). Strengthening urban sustainability: Identification and analysis of proactive measures to combat blight. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126026.
- Basori, A., Hamid, A., Mansur, A., & Yusof, N. (2019). IMars: Intelligent municipality augmented reality service for efficient information dissemination based on deep learning algorithm in smart city of Jeddah. *Procedia Computer Science*, 163, 93–108.
- Baudier, P., Ammi, C., & Deboeuf-Rouchon, M. (2020). Smart home: Highly-educated students' acceptance. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119355.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198–215.
- Behzadian, M., Otaghsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069.
- Belton, V., & Hodgkin, J. (1999). Facilitators, decision makers, D.I.Y. users: Is intelligent multicriteria decision support for all feasible or desirable? *European Journal of Operational Research*, 113(2), 247–260.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Beretta, I. (2018). The social effects of eco-innovations in Italian smart cities. *Cities*, 72, 115–121.

- Bottero, M., D'Alpaos, C., & Oppio, A. (2018). Multicriteria evaluation of urban regeneration processes: An application of PROMETHEE method in northern Italy. *Advances in Operations Research*, 2018, 1–12.
- Bouyssou, D. (2005). Review of “operational research in war and peace, the British experience from the 1930s to 1970” by Maurice W. Kirby, Imperial College Press, 2003. *European Journal of Operational Research*, 161(1), 292–294.
- Bouyssou, D., Perny, T., Pirlot, M., Tsoukiàs A., & Vincke, P. (1993). A manifesto for the new MCDA era. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2(3), 125–127.
- Braun, T., Fung, B., Iqbal, F., & Shah, B. (2018). Security and privacy challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 39, 499–507.
- Brito, V., Ferreira, F., Pérez-Gladish, B., Govindan, K., & Meidutė-Kavaliauskienė, I. (2019). Developing a green city assessment system using cognitive maps and the Choquet integral. *Journal of Cleaner Production*, 218, 486–497.
- Caird, S. (2018). City approaches to smart city evaluation and reporting: Case studies in the United Kingdom. *Urban Research & Practice*, 11 (2), 159-179.
- Camero, A., & Alba, E. (2019). Smart city and information technology: A review. *Cities*, 93, 84–94.
- Cao, G., Duan, Y., & Cadden, T. (2019). The link between information processing capability and competitive advantage mediated through decision-making effectiveness. *International Journal of Information Management*, 44, 121–131.
- Caragliu, A., Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82.
- Castanho, M., Ferreira, F., Carayannis, E., & Ferreira, J. (2021). SMART-C: Developing a “smart city” assessment system using cognitive mapping and the Choquet integral. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(2), 562–573
- Chen, N., Qiu, T., Zhou, X., Li, K., & Atiquzzaman, M. (2019). An intelligent robust networking mechanism for the internet of things. *IEEE Communications Magazine*, 57(11), 91–95.
- Chen, V., Lin, J., & Tzeng, G. (2019). Assessment and improvement of wetlands environmental protection plans for achieving sustainable development. *Environmental Research*, 169(33), 280–296.
- Cinelli, M., Kadziński, M., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega – The International Journal of Management Science*, 96, 102261.
- Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492.
- Costa, D., & Oliveira, F. (2020). A prioritization approach for optimization of multiple concurrent sensing applications in smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 108, 228–243.
- Davenport, T., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- Di Santo, K., Di Santo, S., Monaro, R., & Saidel, M. (2018). Active demand side management for households in smart grids using optimization and artificial intelligence. *Measurement – Journal of the International Measurement Confederation*, 115, 152–161.
- Din, I., Guizani, M., Rodrigues, J., Hassan, S., & Korotayev, V. (2019). Machine learning in the internet of things: Designed techniques for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 100, 826–843.

- Ding, R., Palomares, I., Wang, X., Yang, G., Liu, B., Dong, Y., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2020). Large-scale decision-making: Characterization, taxonomy, challenges and future directions from an artificial intelligence and applications perspective. *Information Fusion*, 59, 84–102.
- Dwivedi, Y., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., Duan, Y., Dwivedi, R., Edwards, J., Eirug, A., Galanos, V., Ilavarasan, P. V., Janssen, M., Jones, P., Kar, A., Kizgin, H., Kronemann, B., Lal, B., Lucini, B., ... Williams, M. (2021). Artificial intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, 101994.
- Eden, C., & Ackermann, F. (2004). Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 615–630.
- Eggers, B., Guszczka, J., & Greene, M. (2017). Making cities smarter better decision making. *Deloitte Review*, 20, 140–157.
- Ensslin, L., Dutra, A., & Ensslin, S. (2000). MCDA: A constructivist approach to the management of human resources at a governmental agency. *International Transactions in Operational Research*, 7(1), 79–100.
- Eremia, M., Toma, L., & Sanduleac, M. (2017). The smart city concept in the 21st century. *Procedia Engineering*, 181, 12–19.
- Faria, P., Ferreira, F., Jalali, M., Bento, P., & António, N. (2018). Combining cognitive mapping and MCDA for improving quality of life in urban areas. *Cities*, 78, 116–127.
- 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*, 25(3), 216–226.
- Ferreira, F. (2011). *Avaliação Multicritério de Agências Bancárias: Modelos e Aplicações de Decisão*, Faro: Universidade do Algarve.
- Ferreira, F., & Santos, S. (2021). Two decades on the MACBETH approach: A bibliometric analysis. *Annals of Operations Research*, 296, 901–925.
- Ferreira, F., Santos, S., & Rodrigues, P. (2011). From traditional operational research to multiple criteria decision analysis: Basic ideas on an evolving field. *Problems and Perspectives in Management*, 9(3), 114–121.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B., & Słowiński, R. (2013). An overview of ELECTRE methods and their recent extensions. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20, 61–85.
- Foresti, R., Rossi, S., Magnani, M., Bianco, C., & Delmonte, N. (2020). Smart society and artificial intelligence: Big data scheduling and the global standard method applied to smart maintenance. *Engineering*, 6(7), 835–846.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *World Problems: An Invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL*, Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Centre.
- Gölcük, I., & Baykasoğlu, A. (2016). An analysis of DEMATEL approaches for criteria interaction handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, 46, 346–366.
- Govindan, K., & Jepsen, M. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1–29.
- Greco, S., & Kadziński, M. (2018). Feature cluster: Learning perspectives in multiple criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 403–404.
- Gupta, A. (2018). Introduction to deep learning: Part 1. *Chemical Engineering Progress*, 114(6), 22–29.
- Gupta, P., Chauhan, S., & Jaiswal, M. (2019). Classification of smart city research: A descriptive literature review and future research agenda. *Information Systems Frontiers*, 21, 661–685.

- Ho, W., Tsai, C., Tzeng, G., & Fang, S. (2011). Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 16–25.
- Ilbahar, E., Cebi, S., & Kahraman, C. (2019). A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making. *Energy Strategy Reviews*, 25, 18–33.
- Iqbal, R., Doctor, F., More, B., Mahmud, S., & Yousuf, U. (2020). Big data analytics: Computational intelligence techniques and application areas. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119253.
- Ishizaka, A., & Siraj, S. (2018). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 462–471.
- Joshi, S.; Saxena, S.; Godbole, T., & Shreya (2016). Developing smart cities: An integrated framework, *Procedia Computer Science*, 93, 902–909.
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Rulers of the world, unite! The challenges and opportunities of artificial intelligence. *Business Horizons*, 63(1), 37–50.
- Keeney, R. (1996). Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, 92(3), 537–549.
- Kolajo, T., Daramola, O., & Adebisi, A. (2019). Big data stream analysis: A systematic literature review. *Journal of Big Data*, 6, 1–30.
- Kourtiti, K., Nijkamp, P., & Steenbruggen, J. (2017). The significance of digital data systems for smart city policy. *Socio-Economic Planning Sciences*, 58, 13–21.
- Kummitha, R. (2019). Smart cities and entrepreneurship: An agenda for future research. *Technological Forecasting and Social Change*, 149, 119763.
- Lee, H., Tzeng, G., Yeih, W., Wang, Y., & Yang, S. (2013). Revised DEMATEL: Resolving the infeasibility of DEMATEL. *Applied Mathematical Modelling*, 37(10/11), 6746–6757.
- Lee, W., Huang, A., Chang, Y., & Cheng, C. (2011). Analysis of decision making factors for equity investment by DEMATEL and analytic network process. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8375–8383.
- Lim, C., & Maglio, P. (2018). Data-driven understanding of smart service systems through text mining. *Service Science*, 10(2), 154–180.
- Lim, C., Kim, K., & Maglio, P. (2018). Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations. *Cities*, 82, 86–99.
- Lin, C., Hsieh, M., & Tzeng, G. (2010). Evaluating vehicle telematics system by using a novel MCDM techniques with dependence and feedback. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6723–6736.
- Lin, R. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of Cleaner Production*, 40, 32–39.
- Lo, H., Liou, J., Huang, C., Chuang, Y., & Tzeng, G. (2020). A new soft computing approach for analyzing the influential relationships of critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 28, 100336.
- Mateu, A. (2002). *ClusDM: A Multiple Criteria Decision-Making Method for Heterogeneous Data Sets*, Tese de Doutorado. Espanha: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Miguel, B., Ferreira, F., Banaitis, A., Banaitienė, N., Meidutė-Kavaliauskienė, I., & Falcão, P. (2019). An expanded conceptualization of “smart” cities: Adding value with fuzzy cognitive maps. *E a M: Economia e Management*, 22(1), 4–21.
- Mingers, J. (2011). Soft OR comes of age: But not everywhere! *Omega – The International Journal of Management Science*, 39(6), 729–741.
- Mingers, J., & Rosenhead, J. (2004). Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 530–554.

- Mohanty, B., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60–70.
- Nam, T., & Pardo, T. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times* (dg.o '11) (pp. 282-291), New York, Association for Computing Machinery.
- Nilssen, M. (2019). To the smart city and beyond? Developing a typology of smart urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 98–104.
- Nishant, R., Kennedy, M., & Corbett, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*, 53, 102104.
- Nunes, S. (2020). “*Cities Go Smart!*”: *Análise Dinâmica de Determinantes de Smart City*, Dissertação de Mestrado. Lisbon, Portugal: ISCTE Business School.
- Oliver Wyman Forum (2019). *Global Cities AI Readiness Index*. Disponível online em: <https://www.oliverwymanforum.com/city-readiness/global-cities-ai-readiness-index-2019.html> [16 Maio 2020].
- Pramanik, M., Lau, R., Demirkan, H., & Azad, M. (2017). Smart health: Big data enabled health paradigm within smart cities. *Expert Systems with Applications*, 87, 370–383.
- Rana, N., Luthra, S., Mangla, S., Islam, R., Roderick, S., & Dwivedi, Y. (2019). Barriers to the development of smart cities in Indian context. *Information Systems Frontiers*, 21(3), 503–525.
- Rosenhead J. (2013). Problem structuring methods. In: Gass, S., & Fu, M. (Eds.) *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (pp. 1162-1172), Boston: Springer.
- Rosenhead, J. (2006). Past, present and future of problem structuring methods. *Journal of the Operational Research Society*, 57(7), 759–765.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Roy, B. (2005). Paradigms and challenges. In: Greco S., Ehrgott M., Figueira J. (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. International Series in Operations Research and Management Science* (pp. 3-24). New York: Springer.
- Roy, B., & Vanderpooten, D. (1997). An overview on “the European school of MCDA: Emergence, basic features and current works”. *European Journal of Operational Research*, 99(1), 26–27.
- Saaty, R. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3/5), 161–176.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Sara, J., Stikkelman, R., & Herder, P. (2015). Assessing relative importance and mutual influence of barriers for CCS deployment of the ROAD project using AHP and DEMATEL methods. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 41, 336–357.
- Serrano, E., & Bajo, J. (2019). Deep neural network architectures for social services diagnosis in smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 100, 122–131.
- Shieh, J., Wu, H., & Huang, K. (2010). A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowledge-Based Systems*, 23(3), 277–282.
- Shmelev, S., & Shmeleva, I. (2019). Multidimensional sustainability benchmarking for smart megacities. *Cities*, 92, 134–163.
- 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*, 2018, 3696457.

- Singh, P., & Sarkar, P. (2020). A framework based on fuzzy Delphi and DEMATEL for sustainable product development: A case of Indian automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118991.
- Song, W., & Cao, J. (2017). A rough DEMATEL-based approach for evaluating interaction between requirements of product-service system. *Computers and Industrial Engineering*, 110, 353–363.
- Soni, N., Sharma, E., Singh, N., & Kapoor, A. (2020). Artificial intelligence in business: From research and innovation to market deployment. *Procedia Computer Science*, 167, 2200–2210.
- 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*, 4(2), 81–103.
- Taecharungroj, V., & Mathayomchan, B. (2020). The big picture of cities: Analysing Flickr photos of 222 cities worldwide. *Cities*, 102, 102741.
- Tsai, S. (2018). Using the DEMATEL model to explore the job satisfaction of research and development professionals in China's photovoltaic cell industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 62–68.
- Tsoukiàs, A. (2007). On the concept of decision aiding process: An operational perspective. *Annals of Operations Research*, 154(1), 3–27.
- Tuan, M., Thanh, N., & Tuan, L. (2019). Applying a mindfulness-based reliability strategy to the internet of things in healthcare: A business model in the Vietnamese market. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 54–68.
- 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*, 32(4), 1028–1044.
- Ullah, Z., Al-Turjman, F., Mostarda, L., & Gagliardi, R. (2020). Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Computer Communications*, 154, 313–323.
- Varakantham, P., An, B., Low, B., & Zhang, J. (2017). Artificial intelligence research in Singapore: Assisting the development of a smart nation. *AI Magazine*, 38(3), 102–105.
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega – The International Journal of Management Science*, 86, 107–124.
- Windén, W., & Buuse, D. (2017). Smart city pilot projects: Exploring the dimensions and conditions of scaling up. *Journal of Urban Technology*, 24(4), 51–72.
- Yan, J., Liu, J., & Tseng, F. (2020). An evaluation system based on the self-organizing system framework of smart cities: A case study of smart transportation systems in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 153(1), 119371.
- Yazdi, M., Khan, F., Abbassi, R., & Rusli, R. (2020). Improved DEMATEL methodology for effective safety management decision-making. *Safety Science*, 127, 104705.
- Yigitcanlar, T., & Kamruzzaman, M. (2015). Planning, development and management of sustainable cities: A commentary from the guest editors. *Sustainability*, 7(11), 14677–14688.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.
- Zhang, X., Ming, X., & Yin, D. (2020). Application of industrial big data for smart manufacturing in product service system based on system engineering using fuzzy DEMATEL. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121863.