

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCELO ALMIR LOPES

ESTUDO EMPÍRICO SOBRE OS FACILITADORES PARA ADEQUAÇÃO DOS
SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ÀS TECNOLOGIAS DA
INDÚSTRIA 4.0

São Carlos - SP

2023

MARCELO ALMIR LOPES

**ESTUDO EMPÍRICO SOBRE OS FACILITADORES PARA ADEQUAÇÃO DOS
SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ÀS TECNOLOGIAS DA
INDÚSTRIA 4.0**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão da Qualidade
Orientador: Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime
Coorientador: Prof. Dr. Roberto A. Martins

São Carlos - SP

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Marcelo Almir Lopes, realizada em 29/05/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime (UFSCar)



Documento assinado digitalmente
PEDRO CARLOS OPRIME
Data: 12/06/2023 17:24:11-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Antonio Martins (UFSCar)



Documento assinado digitalmente
ROBERTO ANTONIO MARTINS
Data: 12/06/2023 18:28:27-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Luiz César Ribeiro Carpinetti (USP)

Prof. Dr. Luis Antonio de Santa Eulalia (USHERBROOKE)

Luis Antonio de
Santa-Eulalia

Assinado digitalmente por Luis Antonio de Santa-Eulalia
Data: 12/06/2023 18:28:27-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Francisco Frederico (UFPR)



Documento assinado digitalmente
GUILHERME FRANCISCO FREDERICO
Data: 06/06/2023 16:08:15-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Profa. Dra. Marina Bouzon (UFSC)



Documento assinado digitalmente
Marina Bouzon
Data: 01/06/2023 18:53:19-0300
CPF: ***.726.119-**
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Dedico aos meus pais e minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu saúde, força, sabedoria e discernimento durante todo o doutorado.

À minha família pela ajuda e paciência.

Ao Prof. Dr. Roberto Antonio Martins, pelo tempo dedicado a orientação, pelos ensinamentos e pela confiança dedicada a mim.

Ao Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime, pela disponibilidade, compreensão e ajuda.

Aos professores Dr. Gilberto Miller Devós Ganga, Dr. Moacir Godinho Filho, Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti, Dr. Luis Antonio de Santa-Eulália, Dr. Guilherme Francisco Frederico, Dra. Marina Bouzon, Dra. Luciana Rosa Leite, Dr. Otavio José de Oliveira, Dr. Glauco H. de Souza Mendes e especialmente a Dra. Fabiane Letícia Lizarelli, pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

Aos amigos do PPGEP que estiveram sempre dando força e contribuindo para esse trabalho, principalmente Junior e Paulo.

Aos membros da secretaria do PPGEP, Robson e Lucas, pelo apoio e ajuda.

Ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos pela oportunidade.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente, sem medir esforços, para a realização desta tese.

“O importante é não parar de questionar; a curiosidade tem sua própria razão de existir.”

Albert Einstein

RESUMO

Os sistemas de medição de desempenho (SMDs) são elementos essenciais da gestão do desempenho. As rápidas transformações no ambiente interno e externo das organizações requerem SMDs mais dinâmicos e resilientes para acompanhar essas modificações. Nesse sentido, as tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) têm um potencial de aprimorar drasticamente os SMDs. No entanto, a implantação dessas tecnologias nos SMDs é um processo complexo e sujeito ao impacto negativo de uma série de barreiras. Diante disso, a identificação de facilitadores para esse processo de implantação é uma informação relevante para facilitar a adequação dos SMDs na I4.0. Dessa forma, o objetivo central desta tese é analisar os facilitadores mais relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs com a aplicação do método Fuzzy DEMATEL. Para tanto, inicialmente foram realizados um mapeamento científico e uma revisão sistemática da literatura para mapear o campo de pesquisa e identificar os principais estudos e contribuições das tecnologias da I4.0 nos SMDs, bem como os principais facilitadores envolvidos no processo de implantação dessas tecnologias nos SMDs. Na sequência, o método Fuzzy DEMATEL foi aplicado para selecionar e ordenar os facilitadores mais relevantes a partir da opinião de especialistas. Os resultados apontam que as tecnologias da I4.0 causam um impacto positivo nos SMDs. A adoção de tecnologias da I4.0 como *cyber-physical systems*, internet das coisas, *big data analytics*, simulação e técnicas de virtualização nos SMDs, pode colaborar para uma tomada de decisão inteligente, descentralizada, autônoma e em tempo real em uma rede mais ampla, envolvendo todos os *stakeholders*. A aplicação do método Fuzzy DEMATEL identificou que, para a amostra avaliada, os facilitadores mais relevantes e que podem ser priorizados em um processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs são, na ordem: “Acessibilidade e integração de dados” e “Qualidade dos dados” e “Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs”; “Suporte da alta administração”; “Infraestrutura digital adequada”; “Funcionários qualificados” e “Treinamento contínuo dos funcionários”; “Criação de políticas e incentivos governamentais”. Assim, este estudo auxilia o entendimento dos facilitadores para o emprego das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Palavras-chave: Sistemas de Medição de Desempenho; Tecnologias da Indústria 4.0; Indústria 4.0; Fuzzy; DEMATEL.

ABSTRACT

Performance measurement systems (PMS) are fundamental components of performance management, particularly in light of the rapid transformations occurring within organizations' internal and external environments. As a result, there is a growing need for dynamic and resilient PMS capable of adapting to these changes. Industry 4.0 (I4.0) technologies, in particular, hold significant potential for enhancing PMS. However, the implementation of these technologies within PMS is a complex process and is susceptible to various barriers. Consequently, it is essential to identify the enablers that facilitate this implementation process to effectively adapt PMS in the context of I4.0. Therefore, this thesis aims to analyze the most relevant enablers in the implementation process of I4.0 technologies in PMS, applying the Fuzzy DEMATEL method. For this purpose, a scientific mapping and systematic literature review were initially carried out to comprehensively understand the research field and identify the primary studies and contributions related to I4.0 technologies in PMS, as well as the key enablers involved in their implementation process. Subsequently, the Fuzzy DEMATEL method was applied to select and rank the most significant enablers based on expert opinion. The findings unfold that I4.0 technologies have a positive impact on PMS, specifically in terms of enhancing strategic management decisions. By leveraging I4.0 technologies such as cyber-physical systems, internet of things, big data analytics, simulation, and virtualization techniques within PMS, organizations can foster intelligent, decentralized, autonomous, and real-time decision-making in a broader network involving all stakeholders. The application of the Fuzzy DEMATEL method pointed out the most significant enablers for the implementation of I4.0 technologies in PMS and prioritized as follows: "Accessibility and data integration," "Data quality," and "Clarity on the economic benefits of implementing I4.0 technologies in PMS"; "Top management support"; "Adequate digital infrastructure"; "Qualified employees" and "Continuous training of employees"; and "Creation of government policies and incentives". In conclusion, this thesis contributes to understanding of the enablers required for the effective adoption of I4.0 technologies in PMS.

Keywords: Performance Measurement Systems; Industry 4.0 Technologies; Industry 4.0; Fuzzy; DEMATEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os três níveis dos SMDs.....	34
Figura 2 - <i>Performance Pyramid</i>	39
Figura 3 - As 4 perspectivas do <i>Balanced Scorecard</i>	40
Figura 4 - Processos de gestão para implantação e uso do BSC	42
Figura 5 - As cinco faces do <i>Performance Prism</i>	45
Figura 6 - As quatro revoluções industriais.....	46
Figura 7 - Desenvolvimento do volume e variedade da produção	47
Figura 8 - Tecnologias da Indústria 4.0.....	49
Figura 9 - Modelo conceitual de um CPS.....	52
Figura 10 - Tecnologias e dispositivos usados para formar uma rede de suporte à IoT	56
Figura 11 – Tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs	66
Figura 12 – Ordem de elaboração dos trabalhos para estudo da literatura.....	67
Figura 13 - Rede de coocorrência de palavras-chave (classificação por ano de publicação)...	70
Figura 14 - Rede de cocitação de documentos	72
Figura 15 - Rede de acoplamento bibliográfico	76
Figura 16 - Fluxograma PRISMA com as diferentes fases da RSL	83
Figura 17 - Produção científica anual e seu impacto.....	84
Figura 18 - Lei de Lotka para autores sobre a temática da pesquisa	88
Figura 19 - Localização geográfica das instituições dos autores dos documentos selecionados na RSL ..	90
Figura 20 - Tecnologias da I4.0 encontradas nos 62 documentos selecionados	91
Figura 21 - Número de referências por categoria de facilitadores	95
Figura 22 - Número de referências por fator (facilitador).....	95
Figura 23 - Fluxograma para aplicação do método DEMATEL.....	108
Figura 24 - Exemplo de matriz preenchida por uma especialista.....	108
Figura 25 - Exemplo de mapa da rede de influências.....	109
Figura 26 - Representação de um número fuzzy trapezoidal (PTFN).....	113
Figura 27 - Representação de um número fuzzy triangular (TFN)	114
Figura 28 - Estrutura sequencial dos procedimentos.....	117
Figura 29 - Representação gráfica dos termos linguísticos do Quadro 12.....	119
Figura 30 - Coeficiente alfa de Cronbach para cada parte do questionário.....	122

Figura 31 - Questionários enviados x respondidos (Brasil)	128
Figura 32 - Questionários enviados x respondidos (Exterior).....	128
Figura 33 - Nível de formação dos especialistas respondentes	130
Figura 34 - Curso da última formação dos especialistas respondentes	131
Figura 35 - Setor de atuação dos especialistas respondentes.....	131
Figura 36 - Experiência profissional dos especialistas respondentes	132
Figura 37 - Número de projetos relacionados a implantação de tecnologias da I4.0	133
Figura 38 - Diagrama de Causa e Efeito (Categorias).....	139
Figura 39 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica).....	145
Figura 40 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Técnicos: Gestão de Dados).....	149
Figura 41 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Sociais)	153
Figura 42 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Econômicos).....	157
Figura 43 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Gerenciais).....	161
Figura 44 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Normativos/Governamentais)	165
Figura 45 - Ordem de prioridade proposta para as categorias	170
Figura 46 - Ordem de prioridade proposta para os facilitadores mais relevantes de cada categoria.	171
Figura 47 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato - Acadêmicos).....	174
Figura 48 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato – Consultores).....	174
Figura 49 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato - Praticantes)	174
Figura 50 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato - Acadêmicos)	179
Figura 51 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato – Consultores)	179
Figura 52 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato - Praticantes)	179
Figura 53 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato - Acadêmicos)	183
Figura 54 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato – Consultores).....	183
Figura 55 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato - Praticantes)	183
Figura 56 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato - Acadêmicos).....	187
Figura 57 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato - Consultores).....	187
Figura 58 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato - Praticantes)	187

Figura 59 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato - Acadêmicos).....	192
Figura 60 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato - Consultores)	192
Figura 61 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato - Praticantes).....	192
Figura 62 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato - Acadêmicos.....)	196
Figura 63 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato - Consultores)	196
Figura 64 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato - Praticantes).....	196
Figura 65 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato - Acadêmicos)	200
Figura 66 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato – Consultores).....	200
Figura 67 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato - Praticantes)	200
Figura 68 - Diagrama de causa e efeito - Fatores Sociais (valor limite = 2,022).....	300
Figura 69 - Diagrama de causa e efeito - Fatores Sociais (valor limite = 2,134).....	300

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura de um SMD	33
Quadro 2 – Comparação entre medidas de desempenho tradicionais e não tradicionais	37
Quadro 3 – Principais propostas de modelos de SMDs.....	38
Quadro 4 – Protocolo da coleta de dados para análise bibliométrica.....	69
Quadro 5 – Etapas da revisão sistemática da literatura	81
Quadro 6 – Protocolo da coleta de dados nos indexadores científicos <i>Web of Science</i> e <i>Scopus</i> ..	82
Quadro 7 – Critérios de inclusão e exclusão e suas explicações	82
Quadro 8 – Tecnologias da I4.0 abordadas nos 62 documentos selecionados na RSL.....	92
Quadro 9 – Descrição das categorias dos facilitadores	95
Quadro 10 – Descrição dos facilitadores encontrados nos documentos das Tabelas 5 e 9	96
Quadro 11 – Os correspondentes termos linguísticos	107
Quadro 12 – Termos linguísticos para avaliação das relações entre categorias e entre facilitadores	119
Quadro 13 – Informações dos especialistas respondentes.....	129
Quadro 14 – Fatores-causa e fatores-efeito (Categorias)	141
Quadro 15 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem as categorias.....	141
Quadro 16 – Fatores-causa e fatores-efeito (“Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”).....	146
Quadro 17 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”	146
Quadro 18 – Fatores-causa e fatores-efeito (“Fatores Técnicos: Gestão de Dados”)	149
Quadro 19 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”	150
Quadro 20 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Sociais)	154
Quadro 21 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Sociais”	154
Quadro 22 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Econômicos).....	158
Quadro 23 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Econômicos”	158
Quadro 24 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Gerenciais).....	162

Quadro 25 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Gerenciais”	162
Quadro 26 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Normativos/Governamentais)	166
Quadro 27 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”	166
Quadro 28 – Ranqueamento das categorias mais importantes para cada estrato da amostra .	175
Quadro 29 – Fatores-causa e fatores-efeito entre as “Categorias” para cada estrato	175
Quadro 30 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem as “Categorias” de cada estrato	176
Quadro 31 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra	180
Quadro 32 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para os estratos da amostra	180
Quadro 33 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de cada estrato	181
Quadro 34 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra.....	184
Quadro 35 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para os estratos da amostra	184
Quadro 36 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de cada estrato	185
Quadro 37 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra.....	188
Quadro 38 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Sociais” para os estratos da amostra	188
Quadro 39 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Sociais” de cada estrato	189
Quadro 40 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra.....	193
Quadro 41– Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Econômicos” para os estratos da amostra	193
Quadro 42 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Econômicos” de cada estrato	194

Quadro 43 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra.....	197
Quadro 44 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Gerenciais” para os estratos da amostra	197
Quadro 45 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Gerenciais” de cada estrato.....	198
Quadro 46 – Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra.....	201
Quadro 47 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para os estratos da amostra.....	201
Quadro 48 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Normativos/Governamentais” de cada estrato.....	202
Quadro 49 – Lista das categorias dos facilitadores (no idioma inglês)	230
Quadro 50 – Lista de categorias e facilitadores levantados na RSL (no idioma inglês)	231

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da literatura da análise de cocitação.....	72
Tabela 2 - Principais documentos de cada <i>cluster</i>	73
Tabela 3 - Classificação da literatura da análise de acoplamento bibliográfico.....	77
Tabela 4 - Principais artigos de cada <i>cluster</i>	77
Tabela 5 - Documentos obtidos na RSL.....	85
Tabela 6 - Autores mais produtivos da amostra	89
Tabela 7 - As fontes com maior número de publicações.....	90
Tabela 8 - Setores de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs dos 24 documentos da RSL ...	93
Tabela 9 - Documentos obtidos na pesquisa bibliográfica complementar	94
Tabela 10 - Número de questionários enviados e recebidos no Brasil e no exterior.....	127
Tabela 11 - Matriz resposta do especialista respondente n°1	134
Tabela 12 - Matriz resposta do especialista respondente n° 1 com códigos transformados em TFN	135
Tabela 13 - Valores normalizados do TFN da matriz de resposta colhida para $j = 1$	135
Tabela 14 - Valores normalizados à esquerda e à direita, x_{sl} e x_{sr} para $j = 1$	135
Tabela 15 - Cálculo do x_{crisp} normalizado para $j = 1$	136
Tabela 16 - Valor crisp não normalizado para $j = 1$	136
Tabela 17 - Resultado da defuzzificação para a matriz resposta do especialista respondente n° 1 ...	136
Tabela 18 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	137
Tabela 19 - Matriz Normalizada de Relação Direta Inicial (D)	137
Tabela 20 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	137
Tabela 21 - Relações finais entre as categorias	138
Tabela 22 - Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,498).	139
Tabela 23 - Ranqueamento das relações mais importantes entre as categorias.....	140
Tabela 24 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	144
Tabela 25 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	144
Tabela 26 -Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos:Infraestrutura Tecnológica”	144
Tabela 27 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”	145
Tabela 28 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	148
Tabela 29 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	148

Tabela 30 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”	148
Tabela 31 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”	149
Tabela 32 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	152
Tabela 33 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	152
Tabela 34 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais”	152
Tabela 35 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais”	153
Tabela 36- Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	156
Tabela 37 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	156
Tabela 38 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos”	156
Tabela 39 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos” ..	157
Tabela 40 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	160
Tabela 41 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	160
Tabela 42 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” ..	160
Tabela 43 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais”	161
Tabela 44 - Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes	164
Tabela 45 - Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci	164
Tabela 46 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” ..	164
Tabela 47 - Ranqueamento das relações mais importantes entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”	165
Tabela 48 - Lista final com categorias e fatores ranqueados por nível de importância e impacto	169
Tabela 49 - Relações finais entre as categorias de cada estrato	173
Tabela 50 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra	178
Tabela 51 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra	182
Tabela 52 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra.....	186
Tabela 53 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra	191
Tabela 54 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra	195
Tabela 55 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra	199

Tabela 56- Categorias e fatores ranqueados por nível de importância de acordo com cada estrato da amostra	204
Tabela 57 - Classificação da confiabilidade a partir do coeficiente α de Cronbach.....	298
Tabela 58 - Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,022).....	299
Tabela 59 - Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,134).....	299
Tabela 60 - Matrizes de Relação Direta (Z) para análise entre as categorias de acordo com cada estrato da amostra.....	301
Tabela 61 - Matrizes de Relação Total (T) entre as categorias de acordo com cada estrato da amostra.....	301
Tabela 62 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de acordo com cada estrato da amostra	302
Tabela 63 - Matrizes de Relação Total (T) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de acordo com cada estrato da amostra	302
Tabela 64 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de acordo com cada estrato da amostra	303
Tabela 65 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de acordo com cada estrato da amostra	303
Tabela 66- Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” de acordo com cada estrato da amostra	304
Tabela 67 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” de acordo com cada estrato da amostra	304
Tabela 68 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” de acordo com cada estrato da amostra.....	305
Tabela 69 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” de acordo com cada estrato da amostra.....	305
Tabela 70 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” de acordo com cada estrato da amostra	306
Tabela 71 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” de acordo com cada estrato da amostra	306
Tabela 72 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” de acordo com cada estrato da amostra.	307
Tabela 73 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” de acordo com cada estrato da amostra.	307

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*
ANP - *Analytic Network Process*
BDA - *Big Data Analytics*
BDAC - *Big Data Analytics Capability*
BDBA - *Big Data Business Analytics*
BDDSC - *Big Data-Driven Supply Chain*
BDPA - *Big Data and Predictive Analytics*
BI&A - *Business Intelligence and Analytics*
BPA - *Business Performance Analytics*
BSC - *Balanced Scorecard*
CFCS - *Converting fuzzy Data into Crisp Scores*
CPS - *Cyber-Physical Systems*
DA - *Digital Alphabetization*
DD - *Digital Divide*
DEMATEL - *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*
FPER - *Firm Performance*
FST - *Fuzzy Set Theory*
Gbps – *Gigabits per second*
I4.0 – *Indústria 4.0*
IIoT - *Industrial Internet of Things*
IoS - *Internet of Services*
IoT – *Internet of Things*
IPv6 - *Internet Protocol version 6*
JIT – *Just in Time*
KPI – *Key Performance Indicator*
MADA - *Managerial Accounting Data Analytics*
MADM - *Multiple Attribute Decision Making*
MCDM - *Multiple Criteria Decision-Making*
MODM - *Multiple Objective Decision Making*
NFC - *Near Field Communication*

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

P&G - Procter & Gamble

PaaS - *Product-as-a-Service*

PODC - *Process Oriented Dynamic Capabilities*

PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*

PTFN - *Trapezoidal Fuzzy Numbers*

RFID - *Radio-Frequency Identification*

RSL - *Revisão Sistemática da Literatura*

SMART - *Strategic Measurement Analysis and Reporting Technique*

SoS – *System of Systems*

SMD – *Sistema de Medição de Desempenho*

TFN- *Triangular Fuzzy Numbers*

WSN - *Wireless Sensor Networks*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E PROBLEMÁTICA.....	24
1.2	OBJETIVO	26
1.3	JUSTIFICATIVA	27
1.4	ESTRUTURA DA TESE	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.1	MEDIÇÃO DO DESEMPENHO	30
2.2	SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO (SMD).....	31
2.2.1	Níveis de um SMD	34
2.2.1.1	Medidas de Desempenho Individuais.....	34
2.2.2	A evolução dos SMDs	35
2.2.3	Modelos de SMDs	38
2.2.3.1	<i>Performance Measurement Matrix</i>	39
2.2.3.2	<i>Performance Pyramid</i>	39
2.2.3.3	<i>Balanced Scorecard (BSC)</i>	40
2.2.3.4	<i>Performance Prism</i>	43
2.3	INDÚSTRIA 4.0.....	45
2.3.1.	Evolução e Conceitos	45
2.3.2	Componentes e Tecnologias da Indústria 4.0	49
2.3.3	Indústria 5.0	62
2.4	RELAÇÕES ENTRE TECNOLOGIAS DA I4.0 E SMDs	63
3	ESTUDO DA LITERATURA	67
3.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA LITERATURA	68
3.1.1	Análise de Redes e Interpretação dos Resultados	69
3.1.1.1	Rede de Coocorrência de Palavras-Chave	70
3.1.1.2	Rede de Cocitação de Documentos	71
3.1.2.3	Acoplamento Bibliográfico de Documentos	76
3.1.2	Principais Conclusões da Análise Bibliométrica e Mapeamento Científico	79
3.2	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL).....	79
3.2.1	Discussão dos Resultados da RSL	84
3.2.1.1	Contribuição das Tecnologias da I4.0 no Desenvolvimento dos SMDs	84

3.2.1.2	Facilitadores no Processo de Implantação das Tecnologias da I4.0 nos SMDs.....	93
3.2.2	Principais Conclusões da RSL.....	98
4	MÉTODO DE PESQUISA	101
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	101
4.2	ESCOLHA DA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO	102
4.2.1	Tomada de Decisão Multicritério.....	104
4.2.2	Método DEMATEL.....	106
4.2.3	A Lógica Fuzzy.....	111
4.2.4	Fuzzy DEMATEL.....	115
4.3	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS.....	116
4.3.1	Definição das Categorias e Facilitadores por Meio da RSL - Etapa 1.....	118
4.3.2	Estabelecimento dos Termos Linguísticos para o Fuzzy DEMATEL- Etapa 2..	118
4.3.3	Elaboração e Envio dos Questionários para Coletar a Avaliação do Grau de Influência entre os Fatores pelos Especialistas Respondentes – Etapa 3	119
4.3.4	Avaliações do Grau de Influência entre os Fatores pelos Especialistas Respondentes - Etapa 4	121
4.3.4.1	Confiabilidade do Questionário.....	121
4.3.5	Aplicação do Método <i>fuzzy</i> DEMATEL - Etapa 5.....	122
4.3.6	Construir o Diagrama de Relacionamento e Analisar Resultados - Etapa 6.....	125
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	127
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	127
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO NÍVEL DE INFLUÊNCIA ENTRE CATEGORIAS E ENTRE OS FATORES (ESTUDO GLOBAL DA AMOSTRA)	133
5.2.1	Resultados do Nível Influência entre as Categorias	134
5.2.2	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”.....	144
5.2.3	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”.....	148
5.2.4	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Sociais”	152
5.2.5	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Econômicos”.....	156
5.2.6	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Gerenciais”	160

5.2.7	Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Normativos/Governamentais”	164
5.2.8	Lista Final com Categorias e Fatores Ranqueados por Nível de Importância e Impacto	168
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO NÍVEL DE INFLUÊNCIA ENTRE CATEGORIAS E ENTRE OS FATORES (ESTUDO POR ESTRATOS DA AMOSTRA)	172
5.3.1	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Categorias”)	173
5.3.2	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”)	178
5.3.3	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Gestão de Dados”)	182
5.3.4	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Sociais”)	186
5.3.5	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Econômicos”)	191
5.3.6	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Gerenciais”)	195
5.3.7	Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Normativos/Governamentais”)	199
5.3.8	Categorias e Fatores Ranqueados por Nível de Importância de acordo com Cada Estrato da Amostra	203
6	CONCLUSÕES	206
	REFERÊNCIAS	213
	APÊNDICE A - Lista com as categorias e lista com os facilitadores no idioma inglês	230
	APÊNDICE B - Questionários da pesquisa para coleta de dados nos idiomas português e inglês	232
	APÊNDICE C - Matrizes de avaliação obtidas dos questionários dos 68 especialistas	273
	APÊNDICE D - Análise da confiabilidade do questionário conforme o coeficiente alfa de Cronbach	298
	APÊNDICE E - Escolha do valor limite para construção do mapa de influências nos Diagramas de Causa e Efeito	299

APÊNDICE F - Matrizes de Relação Direta (Z) e Matrizes de Relação Total (T) para análise estratificada por setor de atuação dos especialistas respondentes	.301
APÊNDICE G - Comprovante de doação ao Hospital de Amor de Barretos – SP 308

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são abordados os tópicos pertinentes à apresentação da pesquisa, incluindo a contextualização do tema e problemática, os objetivos principal e específicos desta pesquisa, a justificativa e a estrutura da tese.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E PROBLEMÁTICA

A capacidade de medir o desempenho, transformando os dados em informação relevante para os tomadores de decisão, é um fator importante para a gestão do desempenho das organizações. Nesse sentido, o sistema de medição de desempenho (SMD) é um elemento essencial e consiste em um conjunto multidimensional de medidas que são capazes de quantificar a eficiência e eficácia das ações tomadas nas operações de uma organização (BOURNE et al., 2018; MELLO; MARTINS, 2019; NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016; RAJI et al., 2021).

O conceito da Indústria 4.0 (I4.0) vem sendo considerado como uma estratégia competitiva em um mercado globalizado e pode levar a geração de novos modelos de negócios e novas formas de criar valor nas organizações, mas para serem competitivas nesse cenário emergente, em que a economia global é volátil com demanda flutuante, devido a mudança de requisitos de clientes e condições econômicas variáveis, as organizações são obrigadas a monitorar, analisar e redesenhar continuamente seus processos, bem como quantificar a eficiência e eficácia dessas ações (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016; HWANG, 2017; LI et al., 2016; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016; TÜRKEŞ et al., 2019). Assim, para acompanhar os avanços das tecnologias e mudanças radicais e significativas nos processos e na gestão de negócios é necessário também que os SMDs estejam alinhados a chamada quarta revolução industrial para que a organização tenha capacidade reativa e proativa rápida (HWANG, 2017; KHAN; CHAABANE; DWEIRI, 2020; KLOVIENE; UOSYTE, 2019; KUMARAGURU; KULVATUNYOU; MORRIS, 2014).

Essas rápidas transformações no ambiente de negócios e nos requisitos dos *stakeholders* contribuem para o aumento da complexidade dos SMDs. Além disso, a necessidade de atualizações e melhorias constantes está levando os SMDs, ainda estáticos, a se tornarem dinâmicos e resilientes para acompanhar as mudanças que ocorrem no ambiente externo e interno das organizações (DWEKAT; AL-AOMAR, 2018; KAMBLE; GUNASEKARAN, 2020; MELLO; MARTINS, 2019; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016).

A conectividade e o intercâmbio aprimorado de dados e informações viabilizados pelas tecnologias digitais da I4.0 entre elas, a Internet das Coisas, *Big Data Analytics* e sistemas ciberfísicos podem melhorar os SMDs e o processo de tomada de decisão (GENOVESE et al., 2014; JUNG et al., 2017; LU, 2017; NAEEM; GARENGO, 2022). Com a aplicação das tecnologias da I4.0, as organizações também podem ampliar a avaliação do desempenho com um escopo mais amplo, envolvendo todos os *stakeholders*, dentro e fora das fronteiras organizacionais da empresa (LOPES; MARTINS, 2021; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016).

A coleta, armazenamento, processamento e análise otimizada de um grande volume de dados variados, especialmente em prazo muito curto, para fornecer informações significativas aos tomadores de decisões são, no entanto, um processo complexo e dinâmico para os novos SMDs (KIBIRA; MORRIS; KUMARAGURU, 2016; LOPES; MARTINS, 2021; MELLO; LEITE; MARTINS, 2014). Além disso, estudos mostraram que a implantação de tecnologias da I4.0 é um processo complexo e muitas empresas em diferentes países enfrentam problemas nesta fase (DALENOGARE et al., 2018; GHADGE et al., 2020; LUTHRA; MANGLA, 2018). Uma série de barreiras como a falta de pessoal qualificado, falta de recursos financeiros, infraestrutura digital inadequada, má qualidade dos dados e problemas de privacidade e cibersegurança também podem causar um impacto negativo na implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs e afetar o processo de adequação dos SMDs à I4.0 (ELTAYEB; MOHAMED; BTE MASROM, 2021; GIUSTI et al., 2018; GOVINDAN et al., 2022; KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019).

Diante deste cenário, um bom ponto de partida para a organização na elaboração de estratégias para adequação dos SMDs às tecnologias da I4.0 é a identificação de facilitadores (fatores que impulsionam e colaboram para que os resultados sejam alcançados) para o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. O conhecimento destes facilitadores permite o direcionamento de ações e investimentos em recursos que facilitam o processo de implantação, proporcionando um caminho mais suave e menos oneroso para adequação dos SMDs às tecnologias da I4.0. Logo, considerando o contexto apresentado, a pergunta que norteia o desenvolvimento desta pesquisa é:

Quais são os facilitadores mais relevantes para a adequação dos SMDs às tecnologias da I4.0?

Para responder essa questão de pesquisa, será necessário considerar a visão dos especialistas da área ou tomadores de decisão, que realizaram na prática o processo de implantação e possuem conhecimento no assunto. Entretanto quando eles precisam escolher a

melhor alternativa diante de várias, muitas vezes conflitantes e com pesos diferentes, a tomada de decisão se torna mais complexa e é necessário fazer uso de métodos mais sofisticados (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004; TZENG; CHIANG; LI, 2007). A tomada de decisão multicritério (*Multiple Criteria Decision-Making* – MCDM) pode auxiliar os tomadores de decisão nesse sentido (GONÇALVES; DIAS; MACHADO, 2015). Inúmeros métodos de decisão multicritério vem sendo propostos nas últimas décadas com objetivo de permitir a avaliação das melhores alternativas para uma decisão (SAATY; ERGU, 2015). Nesta tese será utilizado o método Fuzzy DEMATEL. A principal característica do método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) é permitir a identificação de relações (que podem ser causais ou não) entre os fatores (facilitadores) por meio da coleta de informações (conhecimento) de um grupo, além disso, o método pode auxiliar a estruturação da hierarquia dos fatores (KOUHIZADEH; SABERI; SARKIS, 2021; SANTOS; MARTINS, 2020; TZENG; CHIANG; LI, 2007). O método DEMATEL utiliza uma escala qualitativa na comparação de fatores, assim o método está sujeito à imprecisão e subjetividade no julgamento do tomador de decisão, desse modo a lógica *fuzzy* incorporada ao método DEMATEL é uma técnica apropriada para atenuar tal limitação (SI et al., 2018).

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa é analisar os facilitadores mais relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs com a aplicação do método Fuzzy DEMATEL.

Os objetivos específicos que contribuem para o alcance do objetivo principal são:

- Identificar na literatura e estruturar os facilitadores envolvidos no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs;
- Coletar as avaliações do grau de influência entre os facilitadores junto à especialistas que possuem conhecimento/experiência no processo de implantação das tecnologias da I4.0;
- Aplicar o método multicritério de tomada de decisão baseado no modelo estrutural Fuzzy DEMATEL e analisar as relações de causa e efeito entre esses facilitadores para ordenar e identificar os facilitadores mais relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs;

- Analisar como diferentes grupos de especialistas (acadêmicos, consultores e praticantes) percebem a importância e as relações causais entre os facilitadores.

1.3 JUSTIFICATIVA

As rápidas transformações no ambiente de negócios e nos requisitos dos *stakeholders* aumentam a complexidade dos SMDs. Isso requer que os SMDs tradicionais se adequem ao ambiente da I4.0 (HWANG et al., 2017; KUMARAGURU; KULVATUNYOU; MORRIS, 2014). Nesse sentido, a adoção de tecnologias da I4.0 permite uma profunda transformação das organizações e impactam positivamente nos SMDs (LOPES; MARTINS, 2021). A internet das coisas, por exemplo, permite a conectividade e integração entre os processos. Os dispositivos IoT industriais podem proporcionar a captura de dados em tempo real do sistema de manufatura para retratar situações reais, permitindo o desenvolvimento de SMDs para medição de desempenho em tempo real (BABICEANU; SEKER, 2016; HWANG et al., 2017; KUMARAGURU; KULVATUNYOU; MORRIS, 2014). Já o *big data analytics* pode identificar e monitorar problemas de desempenho em processos de negócio pela análise de dados e disseminação de informações dos SMDs, pois tem a capacidade de extrair informações valiosas de uma grande quantidade de dados, estruturados e não estruturados, gerados em alta velocidade e disseminar informações adequadas para suportar os processos de tomada de decisão (MELLO; MARTINS, 2019; SILVA, 2018).

As oportunidades geradas com o uso das tecnologias da I4.0 podem aprimorar os SMDs e apoiar a tomada de decisão para melhorar o desempenho organizacional. No entanto, existe uma lacuna na literatura científica sobre um quadro completo das contribuições das tecnologias da I4.0 para os SMDs e como elas estão afetando as maneiras que as organizações medem e gerenciam o desempenho (GOVINDAN et al., 2022; KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019). Assim, este trabalho pretende, primeiramente, trazer contribuições para o campo de SMD ao identificar os principais estudos que tratam dessa temática e disponibilizar esse conhecimento científico e *insights* para profissionais da área de gestão e também para apoiar pesquisadores no desenvolvimento de estudos mais aprofundados.

Embora o interesse no campo de pesquisa que envolve tecnologias da I4.0 associadas aos SMDs seja crescente, ele ainda está em seu estado inicial de maturidade (LOPES; MARTINS, 2021). Pesquisadores destacam a necessidade de mais estudos, principalmente empíricos, sobre medição de desempenho no contexto de mudança da I4.0 e sistemas de manufatura inteligentes (CHAUHAN; SINGH, 2019; FREDERICO et al., 2019; GHADGE et

al., 2020; KAMBLE et al., 2020). Apesar dos benefícios que as tecnologias da I4.0 podem gerar para as organizações, a escassez de estudos envolvendo implantações dessas tecnologias nos SMDs, ainda está inibindo sua disseminação (GIUSTI et al., 2018). Diante desse estágio inicial de maturidade, observa-se na literatura uma lacuna na falta de estratégias para o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Nesse sentido, a contribuição principal deste trabalho é identificar, por meio de um estudo empírico, quais são os facilitadores mais relevantes que podem impulsionar esse processo de implantação. A identificação dos facilitadores pode fornecer informações valiosas que podem servir de guia para os gestores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. O conhecimento de potenciais facilitadores e o relacionamento existente entre eles pode contribuir para a concepção de estratégias e direcionamento de ações e investimentos em recursos que facilitam o processo de implantação, proporcionando um caminho mais suave e menos oneroso para adequação dos SMDs à I4.0. Além disso, o conhecimento desses facilitadores também pode apoiar os tomadores de decisão e profissionais para que esse objetivo seja alcançado de uma forma mais rápida e eficiente.

Com a intenção de confirmar a originalidade deste trabalho, foi realizada uma revisão sistemática da literatura apresentada de forma resumida na subseção 3.2 desta tese. Foram selecionados nesse estudo 62 documentos, porém nenhum deles envolve diretamente as contribuições pretendidas nesta tese, confirmando a existência das lacunas na literatura e uma oportunidade de pesquisa para explorar de forma mais profunda os temas em questão.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A pesquisa está estruturada em seis capítulos principais: (i) introdução, (ii) fundamentação teórica, (iii) estudo da literatura, (iv) método de pesquisa, (v) resultados e (vi) conclusões.

Este **Capítulo 1** apresenta a contextualização do tema e a problemática, os objetivos principal e específicos da pesquisa, bem como a justificativa e a estrutura e a organização do trabalho.

A revisão bibliográfica que dá embasamento para o desenvolvimento da pesquisa está dividida em duas partes. A primeira parte está descrita no **Capítulo 2** e apresenta uma fundamentação teórica dos principais temas envolvidos na pesquisa. Assim, a revisão bibliográfica buscou compreender como a literatura retrata os SMDs e as tecnologias da I4.0, além de caracterizar os estudos que englobam as duas temáticas.

O **Capítulo 3**, a segunda parte da revisão bibliográfica, apresenta o estudo da literatura nos assuntos foco da tese. Este estudo foi realizado utilizando dois métodos: bibliometria e revisão sistemática, e forneceu subsídios para a etapa seguinte.

No **Capítulo 4**, é descrito o método de pesquisa e sua caracterização; as etapas que foram seguidas para sua execução; os procedimentos executados para lidar com o problema proposto e a forma de coleta de dados. Além disso, o capítulo procurou apresentar os conceitos principais envolvendo métodos multicritério para tomada de decisão, lógica fuzzy e o método DEMATEL.

No **Capítulo 5**, são apresentados, analisados e discutidos os resultados da pesquisa. Por fim, no **Capítulo 6**, são apresentadas as conclusões do trabalho, limitações e sugestões de trabalhos futuros.

Para dar suporte à pesquisa, alguns apêndices foram elaborados. O **Apêndice A** apresenta a lista de categorias e a lista de lista de facilitadores no idioma inglês. O **Apêndice B** apresenta os questionários da pesquisa elaborados no *Google Forms*, nos idiomas português e inglês, enviados aos especialistas para coleta de dados para aplicação do método Fuzzy DEMATEL nesta pesquisa. Já o **Apêndice C** apresenta as matrizes de avaliação obtidas dos questionários dos 68 especialistas respondentes. Uma breve apresentação do método alfa de Cronbach para análise da confiabilidade do questionário utilizado na pesquisa é mostrada no **Apêndice D**. O **Apêndice E** mostra o procedimento para escolha do valor limite utilizado na construção dos mapas de influências nos Diagramas de Causa e Efeito. As Matrizes de Relação Direta (Z) e as Matrizes de Relação Total (T) com os valores limite para a análise realizada entre os estratos da amostra é apresentada no **Apêndice F**. Por fim, o **Apêndice G** apresenta o comprovante de doação ao Hospital de Amor de Barretos/SP do valor correspondente ao recebimento de 68 questionários válidos preenchidos pelos especialistas para aplicação do método Fuzzy DEMATEL nesta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma fundamentação teórica dos principais temas envolvidos na pesquisa. Esta primeira parte da revisão bibliográfica têm a finalidade de construir uma base teórica mais completa para dar suporte a pesquisa. A fundamentação teórica desse capítulo está organizada em dois grandes temas. O primeiro trata dos SMDs. Neste campo, são discutidas as definições de SMD e os trabalhos que relatam a evolução dos mesmos, bem como os principais modelos de SMDs. O segundo campo trata da I4.0 e suas principais tecnologias, em que são abordados os principais conceitos e as contribuições das tecnologias da I4.0 mais relevantes para os SMDs. Cabe deixar claro que não é objetivo desta tese realizar uma exaustiva revisão de literatura sobre os temas, mas sim elucidar os assuntos que estão relacionados com a pesquisa aqui desenvolvida.

2.1 MEDIÇÃO DO DESEMPENHO

Os termos dados, medidas, métricas e indicadores, às vezes, são usados indistintamente, porém tecnicamente eles são diferentes (KIBIRA; MORRIS; KUMARAGURU, 2016). Segundo Uchoa (2013), “dado” é uma informação disponível, mas ainda não organizada ou manipulada, não possui foco na gestão. Pode ser um número, um texto, uma imagem, um som, um vídeo ou alguma outra mídia. Segundo Hubbard (2009), “medida” é um número ou uma quantidade que registra um valor ou o desempenho diretamente observáveis. Todas as medidas são compostas de um número e uma unidade de medida. O número fornece magnitude (quanto) para a medida, enquanto a unidade dá um significado ao número (o que). Exemplos de medidas de unidade são: reais, horas, metros, temperatura e distância. De acordo com Bendle et al. (2015), “métrica” é um sistema de mensuração que quantifica uma tendência, uma dinâmica ou uma característica. Segundo Feng (2010), uma “métrica” pode ser composta por duas ou mais medidas. Um exemplo seria o número de defeitos identificados em um lote de produtos finalizados (defeitos [número] / total do lote [número]). Já um “indicador” é um parâmetro que aponta, fornece informações ou descreve o estado de um fenômeno com significância e relevância para objetivos de desempenho. Indicadores representam informações a partir das quais é possível avaliar uma situação e sua evolução histórica comparada a uma referência ou alvo. Nesse sentido, Kaplan e Norton (2001) especificam que os indicadores considerados representativos e críticos para a estratégia da organização, nas várias dimensões (financeiras e

não financeiras), são denominados “indicadores chave de desempenho” (*Key Performance Indicators* – KPI).

Existe uma diversidade de significados para o termo desempenho. Nas áreas de gestão e engenharia o desempenho pode estar relacionado à eficácia, robustez, resistência ou retorno sobre investimento. Cada empresa, por diferentes motivos, têm a sua própria definição de desempenho, que deve estar de acordo com suas metas, estratégias e visões específicas (LEBAS, 1995). A partir de algumas definições de desempenho, Lebas e Euske (2002) chegaram a uma definição que concentra os gestores na antecipação do desempenho. O desempenho é “a soma de todos os processos que irão levar os gestores a tomar ações apropriadas no presente que criarão uma organização realizadora no futuro”. Ele trata do realizado, mas tem conexões com o prometido e influencia o desempenho futuro (LEBAS; EUSKE, 2002, p. 68).

A medição do desempenho é um campo diversificado e multidisciplinar (FRANCO-SANTOS et al., 2007; NEELY, 1998) que é descrita como o processo de quantificar ações passadas, em que medir é o processo de quantificação e a ação passada determina o desempenho atual (NEELY, 1998). Medição de desempenho também pode ser definida como a aquisição e análise das informações sobre a realização atual dos objetivos e planos da empresa e sobre os fatores que podem influenciar a realização dos planos (KERSSENS-VAN DRONGELEN; COOK, 1997).

Medir o desempenho em si não gera melhorias no desempenho, mas proporciona muitos benefícios para as organizações uma vez que identifica as prioridades, recompensa os resultados medidos, gera progresso explícito e, embora esse processo seja empregado para quantificar, seu efeito é de estimular ação (NEELY, 1998). Medir o desempenho organizacional representa uma parte muito importante na tradução da estratégia corporativa em resultados (PUN; WHITE, 2005).

2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO (SMD)

Pesquisadores das mais diversas áreas abordam os SMDs de diferentes pontos de vista. Isso leva a uma falta de definição única do SMD (FRANCO-SANTOS et al., 2007). Um SMD pode ser definido como um conjunto de medidas usado para quantificar a eficácia e eficiência de ações passadas por meio da aquisição, compilação, classificação, análise, interpretação e disseminação dos dados apropriados. Eficácia é entendida como o nível alcançado em relação às necessidades dos *stakeholders*. Já eficiência refere-se ao uso econômico dos recursos da

empresa para fornecer um certo nível de satisfação para esses mesmos *stakeholders* (NEELY, 1998; NEELY; GREGORY; PLATTS, 1995; NUDURUPATI et al., 2011).

No entanto, o desempenho aferido no momento da medição trata dos resultados e impactos das ações passadas e também influenciará o desempenho esperado futuro (LEBAS; EUSKE, 2002). Nesse sentido, Bourne et al. (2003) apresentam uma proposta mais abrangente, em que um SMD pode ser descrito como um conjunto de medidas de desempenho multidimensionais utilizadas para o planejamento e gestão de uma organização, sendo que esse conjunto de medidas pode incluir aquelas que quantificam o que foi realizado, aquelas que são usadas para prever o futuro e ainda aquelas que avaliam o impacto de ação nos *stakeholders* da organização.

Franco-Santos, Lucianetti e Bourne (2012) definem um SMD como sendo um sistema que facilita a implantação de estratégias e eleva do nível de desempenho, utilizando em conjunto medidas financeiras e não financeiras, conectadas as estratégias de negócio da organização.

Segundo Bititci (2015) um SMD pode ser definido ainda como um processo ou conjunto de processos que envolvem: o estabelecimento de metas, o desenvolvimento de um conjunto de medidas de desempenho, a coleta, análise, divulgação, interpretação, revisão e ação sobre os dados de desempenho.

O SMD é um dos sistemas de informação centrais do processo de gestão de desempenho, é o fator crítico para o funcionamento eficiente e eficaz do sistema. Ele é importante porque fornece uma indicação da sua atual posição no mercado e ajuda a desenvolver futuras estratégias e operações, além de otimizar a alocação de recursos e apoiar a tomada de decisões (BERRAH; MAURIS; VERNADAT, 2004; BITITCI et al., 2012). O SMD pode ser utilizado para comunicar a estratégia e as metas de uma organização e alinhar os objetivos dos funcionários com os objetivos organizacionais. Desta forma, pode induzir a comportamentos desejados e indesejados. Também permite que os gerentes acompanhem o próprio desempenho e avaliem o desempenho dos funcionários de uma forma eficaz e eficiente (FRANCO-SANTOS; LUCIANETTI; BOURNE, 2012; MAESTRINI et al., 2017; NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; TUNG; BAIRD; SCHOCH, 2011). Do ponto de vista SoS (*System of Systems*), um SMD é um subsistema da gestão do desempenho e o conjunto de medidas de desempenho do SMD é um subsistema dele (BOURNE et al., 2018).

Franco-Santos et al. (2007) observaram a falta de padronização existente e conduziram uma ampla pesquisa bibliográfica sobre definições de SMDs e analisaram grande diversidade

de conceitos. Como resultado, concluíram que para definir e implantar um SMD, é necessária uma combinação de recursos, propósitos e processos, que estão detalhados no Quadro 1.

Quadro 1 – Estrutura de um SMD

Item	Categoria	Definição
RECURSOS (Propriedades ou elementos que compõem o SMD)	Medidas/Indicadores	Corresponde as medidas, métricas e dados
	Infraestrutura de suporte	Métodos e sistemas de coleta de dados, incluindo procedimentos relacionados a coleta, compilação, armazenamento, análise, interpretação e divulgação dos dados, além dos recursos humanos para suportar o processo
PROPÓSITOS (Propostas ou funções que são desempenhadas pelo SMD)	Medir o desempenho	É o propósito fundamental. Medir e avaliar o desempenho e monitorar o seu progresso
	Gestão estratégica	Planejamento, formulação, implantação e execução da estratégia
	Comunicação	Comunicação interna e externa, benchmarking e conformidade com leis e normas
	Influenciar o comportamento	Reconhecimento e recompensa, controle e gestão do relacionamento
	Aprendizado e melhoria	Processo de feedback e melhoria do desempenho
PROCESSOS (Conjunto de ações que se combinam para constituir o SMD)	Seleção e desenvolvimento das medidas	Identificação das necessidades e desejos dos <i>stakeholders</i> , planejamento, especificar os objetivos, selecionar e desenvolver as medidas e definição de metas
	Coleta e manipulação de dados	Coleta e análise de dados
	Gestão da informação	Provisão e interpretação de informação e tomada de decisão
	Avaliação do desempenho e recompensas	Avaliação do desempenho e conexão com as recompensas
	Revisão do sistema	Procedimentos de revisão para prover feedback e melhoria de todo o sistema

Fonte: Adaptado de Franco-Santos (2007).

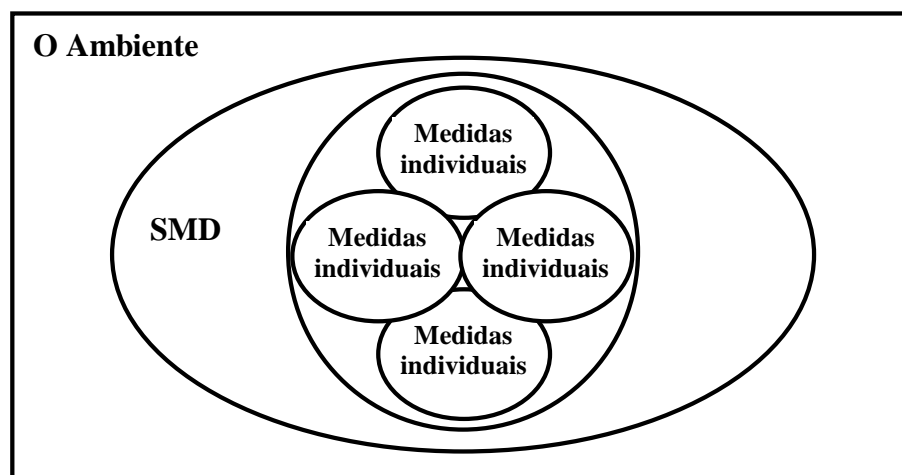
Assim, Franco-Santos et al. (2007) definem o SMD como um conjunto de processos que uma organização usa para gerir a implantação da sua estratégia, comunicar sua posição e progresso, e influenciar o comportamento e ações dos seus funcionários.

A estruturação de SMD apresentada por Franco-Santos et al. (2007), será a base para o modelo conceitual utilizado nesta tese, visto que trata-se de uma proposta bem completa que condensa todos os componentes de um SMD. A base estabelecida por Franco-Santos et al. (2007) fornece subsídios para uma investigação aprofundada pois, considera todos os aspectos que fazem parte de um SMD. Os facilitadores para o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs também estão fortemente associados a infraestrutura de suporte e aos processos dos SMDs.

2.2.1 Níveis de um SMD

Após estabelecer a definição de SMD é necessário estabelecer como um SMD pode ser analisado. De acordo com Neely, Gregory e Platts (1995) os SMDs podem ser analisados por em três níveis diferentes: as medidas de desempenho individuais, o conjunto de medidas de desempenho que formam o SMD, e a relação entre o SMD e os ambientes, interno e externo, que fornecem a estrutura de suporte para que este possa operar. Essas dimensões podem ser verificadas na Figura 1.

Figura 1 - Os três níveis dos SMDs



Fonte: Neely, Gregory e Platts (1995).

Uma medida de desempenho individual é o menor elemento da medição de desempenho. Como medidas individuais entendem-se os indicadores de desempenho específicos para uma determinada ação. Estes indicadores devem estar associados às estratégias, para que o desempenho esteja alinhado com os objetivos da organização. O agrupamento destas medidas de acordo com uma lógica de seleção forma o SMD. Por fim, o último nível se refere a interação desse sistema com os ambientes interno e externo da organização. Como dimensão interna, destaca-se a necessidade de o sistema de medição estar alinhado à cultura organizacional, o que torna mais fácil a operacionalização do mesmo. Sobre a dimensão externa, dois elementos devem ser considerados prioritariamente, os clientes e os concorrentes, pois tratam-se de dois importantes *stakeholders* para qualquer organização (MERGULHÃO; MARTINS, 2008; NEELY; GREGORY; PLATTS, 1995).

2.2.1.1 Medidas de Desempenho Individuais

Uma medida de desempenho é uma métrica usada para quantificar a eficiência e/ou eficácia de uma ação. Sendo assim, as medidas de desempenho devem ser desenvolvidas com

um valor prático, ou seja, precisam ser simples, análogas às atividades, úteis para os tomadores de decisão e fáceis de serem implantadas (NEELY, 1998, 2005).

Bourne et al. (2003) fizeram uma síntese em relação a características que devem possuir as medidas de desempenho no contexto do SMD, orientando para um sistema abrangente e completo:

- As medidas devem ser multidimensionais, incluindo financeiras e não financeiras, internas e externas, incluir medidas que quantificam o que foi atingido, bem como medidas utilizadas para ajudar a realizar previsões;
- As medidas devem ser parte de um *framework* que orienta a estratégia da organização e em relação ao qual a eficiência e a eficácia das ações devem ser julgadas;
- As medidas devem fazer parte do contexto da gestão do desempenho e do planejamento da organização;
- É importante que as medidas permitam medir decisões e respectivas ações que têm impacto na satisfação dos *stakeholders*.

No processo de construção do SMD, é fundamental que as medidas de desempenho sejam criadas corretamente, pois sua inadequação pode levar a decisões erradas e influenciar comportamentos inadequados. A necessidade de criação de uma medida de desempenho é usualmente relacionada a questões como “o que deve ser medido” e “como deve ser medido”. No entanto, existem vários outros fatores importantes tais como: o propósito de uso da medida, a frequência de medição e a origem dos dados. Como elementos importantes para definir a medida de desempenho podemos citar (NEELY et al., 1997): nome da medida, propósito de uso, objetivos de negócio relacionados com a medida, meta, fórmula para o cálculo, frequência de medição, responsável por realizar a medida, fonte de dados, quem realiza a ação e o que deve ser feito.

2.2.2 A evolução dos SMDs

Existem diferentes visões da evolução dos SMDs. Alguns autores usam a ênfase em tipo de medidas de desempenho como critério para separar as eras - financeiras e não financeiras (GHALAYINI; NOBLE, 1996; KAPLAN; NORTON, 1992). Outros autores tem uma visão diferente e fornecem uma visão mais abrangente dos fatores que afetaram a evolução dos SMDs. Segundo estes autores os SMDs evoluíram através das fases: gestão da produtividade; controle orçamentário; medição de desempenho integrado e gestão de desempenho integrado (BITITCI et al., 2012).

Na visão de Ghalayini e Noble (1996) a literatura sobre SMDs é dividida em duas grandes fases, que acompanham a evolução dos sistemas de manufatura. A primeira fase, que começou em 1880 e durou até o início de 1980, teve ênfase nas medidas financeiras e de produtividade. Segundo Nudurupati et al. (2011), os SMDs tradicionais, como são chamados os SMDs dessa época, eram baseados em indicadores do tipicamente financeiros, baseados em normas de contabilidade e medidas de produtividade. Naquela época, o sucesso era determinado pela maneira de como se aproveitavam dos benefícios da economia de escala e produção em massa. Os sistemas com esse enfoque funcionavam bem e forneciam informações relevantes sobre eficiência e lucratividade para a tomada de decisões (JOHNSON; KAPLAN, 1991).

Entretanto, no início dos anos 80 do século passado, com o aumento da complexidade das organizações e dos mercados, percebeu-se que não era mais adequado utilizar somente os critérios financeiros para avaliar o sucesso dos negócios (KENNERLEY; NEELY, 2002). Johnson e Kaplan (1991) afirmam que os métodos tradicionais de contabilidade perderam sua relevância porque foram desenvolvidos para uma era em que as organizações geravam valor através da sua mão de obra em vez da aplicação de tecnologia e conhecimento. Outro aspecto falho desses SMDs é seu foco histórico, ou seja, o foco em medir o que havia acontecido na semana, mês ou ano anterior, mas não forneciam nenhum indicativo do que pudesse vir a ocorrer na semana seguinte. Além disso, as empresas começaram a perder mercado para seus concorrentes que forneciam produtos de alta qualidade com custos baixos e variedade. Para isso as empresas mudaram suas prioridades estratégicas de baixo custo de produção para qualidade, flexibilidade, tempo de entrega curto e entrega confiável. Elas também implantaram novas tecnologias e filosofias de gestão de produção, sistemas flexíveis de manufatura, *just in time* (JIT), tecnologia de produção otimizada e gestão da qualidade total. Além disso, há outros elementos como sustentabilidade e gestão da cadeia de suprimentos que requerem a medição de outras características. Portanto, a implantação dessas mudanças mostrou que as medidas de desempenho tradicionais apresentam muitas limitações e o foi necessário o desenvolvimento de novos SMDs (GHALAYINI; NOBLE, 1996).

Dessa forma, a segunda fase tem início no fim da década de 1980. Começaram, então, a emergir SMDs com características mais focadas em medidas não financeiras e mais abrangentes (GHALAYINI; NOBLE, 1996). De acordo com Bititci et al. (2012), o foco da medição de desempenho mudou acompanhando uma mudança na economia da época. Para esses autores, os SMDs adotaram novas dimensões de desempenho, como qualidade, tempo, flexibilidade e satisfação do cliente. Estas mudanças levaram a uma medição de desempenho multidimensional. A tecnologia da informação também teve um papel importante nesse

processo. *Hardwares* mais baratos e o avanço na tecnologia em *softwares* e banco de dados, ajudam as organizações a gerar, disseminar, analisar e armazenar mais informações de fontes distintas, de maneira cada vez mais rápida e barata (ECCLES, 1991).

As principais diferenças entre as medidas de desempenho tradicionais e não tradicionais foram resumidas por Ghalayini e Noble (1996) e estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Comparação entre medidas de desempenho tradicionais e não tradicionais

<i>Medidas de Desempenho Tradicionais</i>	<i>Medidas de Desempenho não Tradicionais</i>
Baseadas em sistema de contabilidade tradicional desatualizado	Baseadas na estratégia da organização
Principalmente medidas financeiras	Principalmente medidas não financeiras
Destinadas à média e alta gerência	Destinadas a todos os funcionários
Difícil e confuso	Simple, precisas e fáceis de usar
Métricas atrasadas (semanais ou mensais)	Métricas dentro do prazo (a cada hora ou diárias)
Causam frustração aos funcionários	Causam satisfação aos funcionários
Não variam entre locais	Variam entre locais
Não mudam ao longo do tempo	Mudam ao longo do tempo
Possuem formato fixo	Não possuem formato fixo, depende das necessidades
Desenvolvidas principalmente para monitorar o desempenho	Desenvolvidas para melhorar o desempenho
Não utilizadas no chão de fábrica	Frequentemente utilizadas no chão de fábrica
Impedem a melhoria contínua	Ajudam a alcançar a melhoria contínua
Não aplicáveis para novas abordagens de melhorias (JIT, GQT)	Aplicáveis para novas abordagens de melhorias (JIT, GQT)

Fonte: Adaptado de Ghalayini e Noble (1996).

Já na visão de Bititci et al. (2012), o campo de medição de desempenho evoluiu em resposta as tendências globais e de negócios. Por volta de 1900, os SMDs começaram a suprir uma necessidade criada pelo aumento da industrialização e a necessidade de gerenciar a produtividade dos processos. Com o advento de organizações mais complexas, Bititci et al. (2012) destacam que os SMDs continuaram focando na produtividade, porém houve uma preocupação crescente com o controle orçamentário. Nos anos seguintes, com a concorrência global acirrada e a evolução do mercados, os SMDs começaram a se comportar como um sistema de gestão integrada de desempenho, consolidando vários objetivos em um único sistema de gestão e medição.

Neste século, o nível de a complexidade aumentou devido a pressões por sustentabilidade e o conjunto multidimensional de métricas incorporou medidas de desempenho ambiental e social (LEITE; VAN AKEN; MARTINS, 2013).

A medição de desempenho continua evoluindo, alinhada à necessidade se adaptar e fazer frente a novos desafios como: mercados emergentes, a crescente globalização, novos modelos de negócio e o grande volume e variedade de dados (MELLO; MARTINS, 2019; MELNYK et al., 2014; NUDURUPATI et al., 2011; TATICCHI; TONELLI; PASQUALINO, 2013). Isso significa que os SMDs das organizações devem ser dinâmicos e resilientes para acompanhar essas modificações, a fim de fornecer dados e informações relevantes para a tomada de decisão. Sendo assim, a revisão periódica do SMD é muito importante para avaliar o alinhamento entre a estratégia e o conjunto de medidas de desempenho, pois sem a atualização constante, é possível que esse sistema entre em conflito com os objetivos da empresa, e forneça medidas que não representem a realidade (BOURNE et al., 2003; KENNERLEY; NEELY, 2003; NUDURUPATI et al., 2011).

2.2.3 Modelos de SMDs

As inadequações apontadas nos SMDs tradicionais, em meados da década de 80, motivaram uma série de inovações no campo da medição do desempenho com o objetivo de facilitar a maneira de medir o desempenho organizacional. Devido à necessidade de SMDs mais relevantes, estratégicos, balanceados, integrados, dinâmicos e orientados para a melhoria, vários modelos de medição de desempenho foram desenvolvidos (NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007). Martins, Mergulhão e Canaverollo (2004) apresentam no Quadro 3 os modelos de SMDs considerados mais relevantes na literatura e suas características mais importantes.

Quadro 3 - Principais propostas de modelos de SMDs

<i>Modelos de SMD</i>	<i>Principais Características</i>
<i>Performance Measurement Matrix</i> (Keegan, Eiler e Jones, 1989)	- medidas de desempenho internas e externas, financeiras e não-financeiras - medidas de desempenho ligadas à estratégia
SMART – <i>Performance Pyramid</i> (Cross e Lynch, 1990)	- medidas de desempenho de eficiência interna e eficácia externa - medidas de desempenho desdobradas da estratégia da empresa
<i>Balanced Scorecard</i> (Kaplan e Norton, 1992, 1996)	- medidas de desempenho agrupadas em quatro perspectivas - relação de causa e efeito entre as perspectivas reflete a estratégia
<i>Performance Prism</i> (Neely e Adams, 2000; Neely et al., 2002)	- medição de desempenho da satisfação dos stakeholders - comunicação da estratégia - abordagem pela gestão de processos de negócio

Fonte: Adaptado de Martins, Mergulhão e Canaverollo (2004).

2.2.3.1 Performance Measurement Matrix

O *Performance Measurement Matrix* de Keegan, Eiler e Jones (1989) foi um dos primeiros modelos que ganhou reconhecimento. Baseado em uma linguagem simples e no equilíbrio das medidas de desempenho, esse modelo busca integrar as diferentes dimensões de desempenho e utilizar medidas genéricas como “financeiras”, “não financeiras”, “internas” e “externas”, aumentando sua flexibilidade e possibilitando acomodar qualquer tipo de medida (NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005). Devido ao formato de matriz, o modelo também facilita que a organização visualize os ajustes na medição de desempenho (NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007). As medidas devem ser utilizadas de forma hierárquica e alinhadas com a estratégia de negócios, além de serem integradas através das funções da empresa (KEEGAN; EILER; JONES, 1989).

2.2.3.2 Performance Pyramid

Observa-se na Figura 2, a sistemática SMART (*Strategic Measurement, Analysis, and Reporting Technique*) – *Performance Pyramid*, proposta por Cross e Lynch (1990), une a visão hierárquica de medição de desempenho de negócios com a visão de processos de negócios, incentivando os executivos a observarem também os fluxos horizontais de materiais e informações dentro da organização (NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005). As medidas de desempenho externas focam a eficácia e as internas focam a eficiência. Essas medidas estão inter-relacionadas verticalmente pelos níveis hierárquicos, e horizontalmente entre os departamentos e os centros de trabalho (CROSS; LYNCH, 1990).

Figura 2 – *Performance Pyramid*



Fonte: Cross e Lynch (1990).

O modelo em forma de pirâmide permite levar a visão corporativa, traduzida em objetivos financeiros e de mercado, até os departamentos e centros de trabalho, onde está o

fluxo de trabalho do dia a dia (MARTINS, 1998). Cross e Lynch (1990) destacam que a frequência de coleta, processamento e divulgação devem ser adequadas às necessidades de cada nível hierárquico. Além disso, a divulgação dos resultados precisa ser simples e com apelo visual para facilitar o entendimento e consequente tomada de decisão ou ação.

2.2.3.3 *Balanced Scorecard* (BSC)

Dos modelos apresentados no Quadro 3, o mais conhecido e difundido, tanto na academia quanto nas organizações é o BSC, proposto pela primeira vez por Kaplan e Norton (1992). O BSC é um modelo de SMD que fornece uma visão ampla do desempenho de uma organização, por meio de um sistema balanceado de medidas que integra indicadores financeiros com indicadores não financeiros. Assim, o foco unidimensional em indicadores baseados em uma perspectiva financeira, uma das fraquezas dos SMDs tradicionais, seria equilibrado com indicadores não financeiros, sob três outras perspectivas: clientes, processos internos e aprendizado e crescimento (KAPLAN; NORTON, 2004; NEELY et al., 2000).

O equilíbrio entre as medidas de desempenho é representado por um balanceamento entre: medidas externas, como de acionistas e clientes; medidas internas, como de processos críticos de negócios, inovação, aprendizado e crescimento; medidas de resultado, consequências dos esforços passados (*lagging*); e medidas que impulsionam o desenvolvimento futuro (*leading*). O BSC procura traduzir a visão e a estratégia da organização em objetivos, medidas, metas e iniciativas sob a ótica destas quatro perspectivas distintas, conforme a Figura 3 (KAPLAN; NORTON, 1997).

Figura 3 – As 4 perspectivas do *Balanced Scorecard*



Fonte: Adaptado: Kaplan e Norton (1997).

A **perspectiva financeira** resume as consequências das ações tomadas de uma forma econômica, além de mostrar se a estratégia da empresa, bem como sua implantação e execução estão contribuindo para a melhoria de resultados. A maioria das medidas de desempenho financeiras são relacionadas a rentabilidade e são metas finais para os objetivos e para as medidas de desempenho das outras perspectivas (KAPLAN; NORTON, 1997).

A **perspectiva do cliente** permite que a organização identifique os segmentos de clientes e mercados em que competirá e desenvolva medidas de desempenho apropriadas. Além de medidas essenciais de resultado, é necessário que a proposta de valor seja traduzida também em medidas específicas que reflitam os fatores que realmente importam aos clientes (KAPLAN; NORTON, 1997).

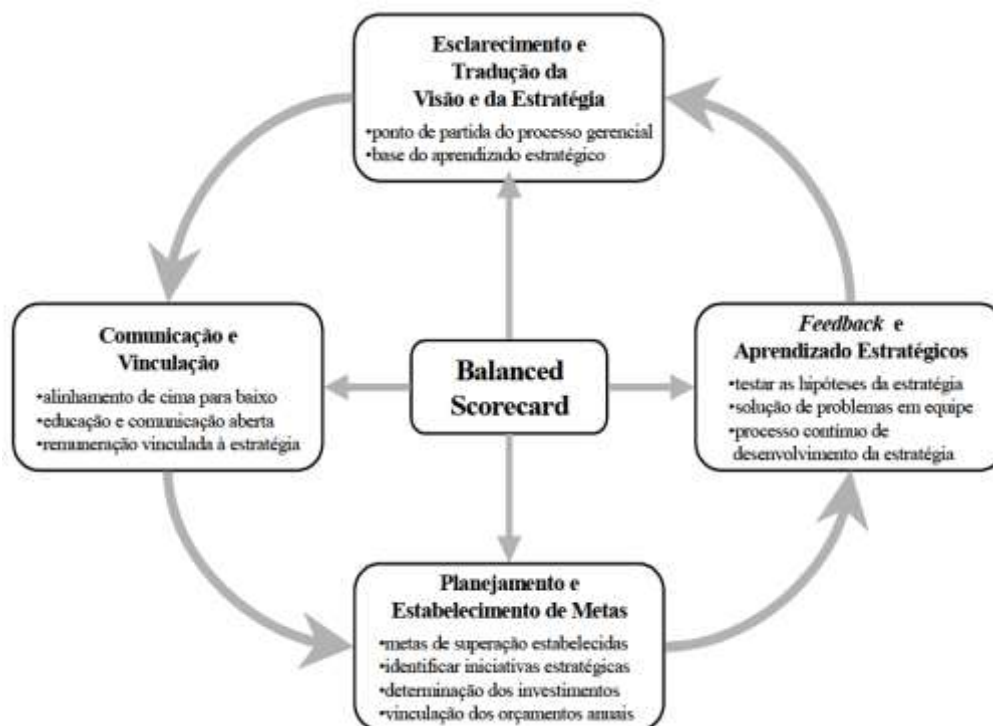
A **perspectiva dos processos internos** foca os processos de negócios (existentes ou não) com maior impacto na satisfação dos clientes. As organizações devem decidir quais processos devem ter excelência para entregar valor para os clientes e satisfazer os acionistas e especificar indicadores para cada um deles (KAPLAN; NORTON, 1997).

A **perspectiva de aprendizagem e crescimento** identifica a infra-estrutura que a empresa deve construir para crescer e melhorar continuamente sua capacidade de oferecer valor a clientes e acionistas. A habilidade de uma empresa em inovar, melhorar e aprender está ligada diretamente com seu valor de mercado. Ou seja, somente pela habilidade de lançar novos produtos, criar mais valor para os consumidores e melhorar a eficiência operacional continuamente, a empresa pode entrar em um novo mercado e crescer, aumentando o valor dos acionistas (KAPLAN; NORTON, 1997).

Para desenvolver, implantar e utilizar o *Balanced Scorecard*, quatro novos processos de gestão são introduzidos, formando um ciclo, como ilustrado na Figura 4. Esses processos contribuem para unir os objetivos estratégicos de longo prazo com ações de curto prazo (KAPLAN; NORTON, 1996).

O **esclarecimento e tradução da visão e da estratégia** constrói um consenso quanto à visão e à estratégia da empresa. As declarações de visão e estratégia devem ser expressas como um conjunto integrado de objetivos e medidas. A **comunicação e vinculação dos objetivos e medidas estratégicas** garante que todos os níveis da organização entendam a estratégia de longo prazo ligando os objetivos estratégicos aos objetivos dos departamentos e dos indivíduos. O **planejamento e estabelecimento de metas** alinha as iniciativas estratégicas e integra o plano do negócio ao planejamento orçamentário. Por fim, o processo de **feedback e aprendizado estratégico** permite um feedback e uma revisão para ver o quanto a empresa, seus departamentos e funcionários atingiram seus objetivos (KAPLAN; NORTON, 1996).

Figura 4 – Processos de gestão para implantação e uso do BSC



Fonte: Adaptado: Kaplan e Norton (1997).

A estratégia é um conjunto de hipóteses (relações) sobre causas e efeitos, assim o SMD deve refletir a estratégia da empresa tornando explícitas as relações de causa e efeito entre as medidas de desempenho que interligam as quatro perspectivas. (KAPLAN; NORTON, 1997). A representação visual dessa estrutura de relações causa e efeito, interligando as quatro perspectivas, é a estrutura em torno da qual se desenha o mapa estratégico, uma maneira uniforme e coerente de descrever as estratégias de uma organização. A construção do mapa estratégico é a base para tornar as estratégias da empresa mais explícitas e força a organização a esclarecer a lógica de como ela criará valor e para quem (KAPLAN; NORTON, 2004).

Ao descrever a estratégia em uma arquitetura lógica e abrangente de um mapa estratégico, as organizações criam um ponto de referência comum e compreensível para todos departamentos e funcionários. As organizações constroem seus mapas estratégicos de cima para baixo, começando com o destino e desenhando as rotas que conduzem até o final. A estratégia é descrita em termos de objetivos, metas e as ações gerenciais para cada uma das quatro perspectivas do BSC, alinhando todos os níveis estratégicos na busca dos resultados desejados (KAPLAN; NORTON, 2001).

Portanto, a evolução do BSC pode ser apresentada de forma resumida em três gerações. Na primeira geração, o BSC era um SMD composto de medidas financeiras e não-financeiras,

permitindo uma visão mais completa do desempenho competitivo da empresa. Na segunda geração, o BSC foi considerado um sistema de gestão de desempenho com o balanceamento de medidas de desempenho orientado pelas relações de causa-efeito entre as quatro perspectivas. Na terceira geração, como consequência da prática da implantação e uso do BSC nas empresas, o foco foi centralizado na implantação da estratégia (ATTADIA; CANEVAROLO; MARTINS, 2003)

Apesar do seu sucesso e uso amplamente difundido, diversos autores identificaram deficiências no BSC por não considerar algumas características de outros modelos. Um exemplo é a ausência no BSC de uma perspectiva dos concorrentes, pois o modelo não faz nenhuma menção sobre o desempenho da organização em relação aos seus concorrentes (NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007). O modelo também é considerado pouco aplicável no chão de fábrica (GHALAYINI; NOBLE, 1996; MARTINS, 1998). Outra crítica em relação ao modelo é não levar em consideração a perspectiva de outros *stakeholders* como fornecedores, funcionários e órgãos reguladores, considerando somente acionistas e clientes (NEELY; ADAMS; CROWE, 2001). Attadia, Canevarolo e Martins (2003) ainda citam algumas falhas estruturais no BSC como: a grande dificuldade em definir medidas de desempenho não-financeiras e preditivas (medidas *leading*); a falta de integração das perspectivas por meio de relações de causa e efeito; e a dificuldade em utilizar o mapa estratégico.

2.2.3.4 *Performance Prism*

O sucesso competitivo das organizações no futuro dependerá de uma abordagem de gestão que reflita a necessidade de levar em consideração os requisitos de todos os *stakeholders* como centrais para as atividades de gestão e de medição de desempenho (RSA, 1995). Para acompanhar a crescente importância de satisfazer os requisitos dos *stakeholders*, Neely e Adams (2000) desenvolveram o *Performance Prism*.

Diferente de outros SMDs que desdobram as medidas de desempenho da estratégia, o *Performance Prism* possui uma visão centrada nos *stakeholders*. Nesse modelo, o primeiro passo é identificar claramente quais os desejos e necessidades dos *stakeholders* e somente depois disso as estratégias podem ser formuladas, pois a principal razão de uma organização ter uma estratégia é para entregar valor para suas partes interessadas (NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007).

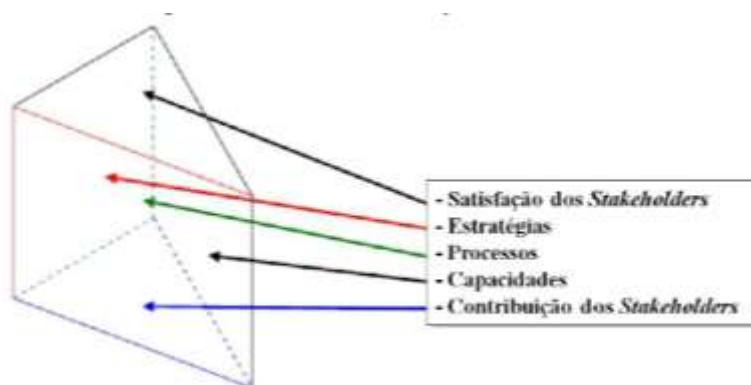
Apesar de diferentes *stakeholders* não terem a mesma importância e dos acionistas continuarem sendo o mais importante, novos *stakeholders* agora são levados em consideração (funcionários, fornecedores, reguladores e parceiros), diferentemente dos outros modelos desenvolvidos até então, que os deixavam de lado durante o desenvolvimento de novas medidas de desempenho (NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007).

A estrutura do *Performance Prism*, representada pela Figura 5, sugere que o SMD deve ser organizado ao redor de cinco facetas (perspectivas de desempenho) inter-relacionadas. Cada faceta identifica uma questão sobre o processo de desenvolvimento das medidas de desempenho, descritas a seguir (NEELY; ADAMS; CROWE, 2001):

- **Satisfação dos Stakeholders** – Essa faceta é ampla e leva em consideração os desejos e necessidades de todos os *stakeholders*, incluindo além dos acionistas e clientes, funcionários, fornecedores, parceiros, órgãos reguladores, comunidade local, entre outros. Busca responder a questão “Quem são os *stakeholders*-chave e quais seus desejos e necessidades?”
- **Estratégias** – Depois de saber quem são os *stakeholders* e quais são seus desejos e necessidades é possível definir quais as estratégias devem ser colocadas em prática pela organização para garantir que os desejos e necessidades sejam satisfeitas. Assim, a pergunta da segunda faceta é “Quais estratégias são necessárias para satisfazer os desejos e necessidades dos *stakeholders*?”
- **Processos** – Os processos e os recursos necessários para operá-los devem estar alinhados com as estratégias, assim devem ser desenvolvidas medidas de desempenho específicas para permitir o gerenciamento dos mesmos. Assim, a questão a se responder é “Quais processos devem ser implantados para que as estratégias sejam entregues?”
- **Capacidades** – Essa faceta envolve as competências da organização, que correspondem a combinação de pessoas, procedimentos, tecnologias e infraestrutura que em conjunto permitem a execução dos processos de negócios de uma organização. São partes fundamentais da habilidade da organização em competir. A pergunta chave associada a essa faceta é “Quais as capacidades exigidas para operar os processos?”
- **Contribuição dos Stakeholders** – Não é somente as organizações que devem agregar valor para seus *stakeholders*, mas também entrar em um relacionamento que permite

que os *stakeholders* contribuam para a organização, permitindo assim trocas recíprocas. Nessa faceta procura-se responder a seguinte pergunta: “O que a organização demanda e necessita dos *stakeholders* para viabilizar todas as necessidades levantadas?”

Figura 5 - As cinco faces do *Performance Prism*



Fonte: Adaptado de Neely, Adams e Crowe (2001).

Responder as questões relacionadas a cada faceta do prisma força os envolvidos na concepção do SMD a articularem de que forma a organização criará valor para seus *stakeholders*. Além disso, as respostas podem fornecer uma visão geral do desempenho da organização (NEELY; KENNERLEY; ADAMS, 2007).

Striteska e Spickova (2012) apontam alguns pontos fracos do *Performance Prism* como a falta de informação sobre como as medidas de desempenho devem ser implantadas e a falta de lógica entre as medidas, pois não existem ligações suficientes entre os resultados e os *drivers*.

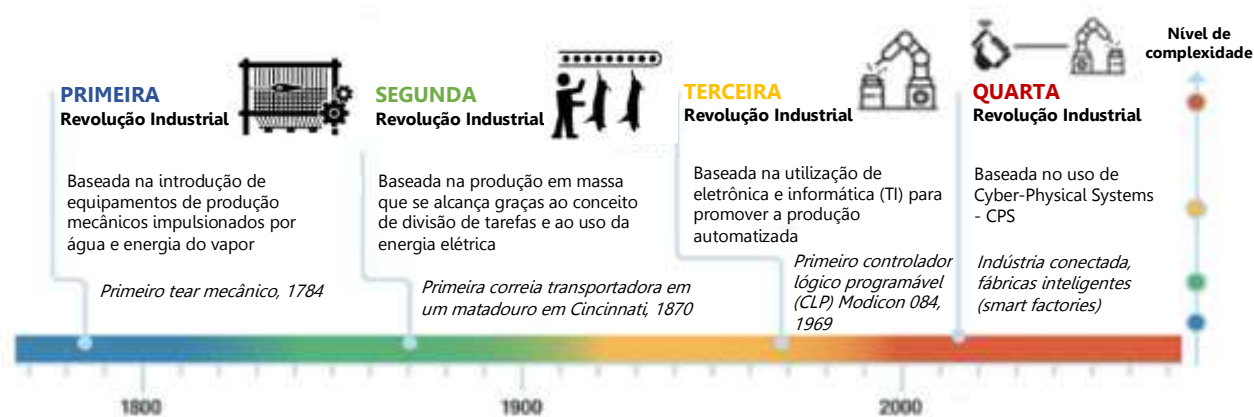
2.3 INDÚSTRIA 4.0

Nessa subseção será abordado o histórico das quatro revoluções industriais, os principais conceitos da Indústria 4.0 e uma breve descrição de suas tecnologias.

2.3.1. Evolução e Conceitos

Para um melhor entendimento sobre como a evolução tecnológica vem mudando o mundo da indústria de maneira impactante e rápida faz-se necessário uma breve contextualização sobre o histórico das revoluções industriais. A Figura 6 mostra as quatro revoluções industriais.

Figura 6 - As quatro revoluções industriais



Fonte: adaptado de LSN Research (2017).

A primeira revolução industrial surgiu por volta do século XVIII, entre os anos de 1760 e 1840 na Inglaterra. Os métodos artesanais foram substituídos progressivamente por máquinas e ferramentas, a exploração do carvão surgia como energia alternativa à madeira e outros biocombustíveis e o uso crescente da energia do vapor favoreceu o desenvolvimento dos motores a vapor e das ferrovias (COELHO, 2016; SCHWAB, 2016).

A segunda revolução industrial aconteceu no século XIX, onde se destaca a utilização da energia elétrica como principal recurso e o surgimento das linhas de produção que, apoiadas na divisão do trabalho, permitiram a produção em massa e a baixos custos. Além disso, o aumento na capacidade das instalações de produção e a redução de custos de produção favoreceram um rápido desenvolvimento industrial e um maior crescimento da qualidade de vida da população (GIUSTI et al., 2018; SABO, 2015; SCHWAB, 2016).

A evolução do mundo tecnológico na indústria começa aparecer mais durante a terceira revolução industrial, onde os principais recursos para alavancar a indústria e melhorar a sua eficiência foram a utilização da tecnologia eletrônica e da informação para automatização da produção, principalmente de processos repetitivos. Embora não seja possível precisar a data exata desta revolução, estima-se seu início nas décadas de 1940 e 1950, tendo seu maior impacto no último quarto do século XX (GALAMBOS, 2005; GIUSTI et al., 2018). A tecnologia digital foi guia para as mudanças dessa época, assim como a tecnologia de comunicação, em que fábricas adotaram circuitos lógicos digitais marcando o início da era da informação (SABO, 2015).

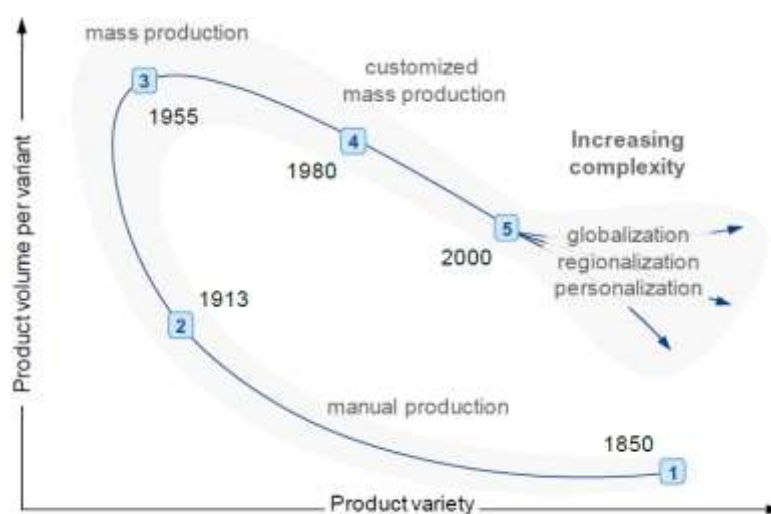
A temática da I4.0, considerada também como a quarta revolução industrial, começou a surgir a partir do resultado de um projeto entre o governo alemão, empresas e universidades para desenvolver a competitividade e modernizar a indústria alemã a partir de 2010, porém o

termo tornou-se conhecido a partir de 2011 na feira CeMAT em Hannover na Alemanha (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; LERHER, 2018; SCHWAB, 2016).

A quarta revolução industrial envolve a conexão e integração entre um mundo digital/virtual e um mundo real/físico, em que máquinas e dispositivos inteligentes constantemente se comunicam e se interagem, definindo de forma autônoma o curso das ações e criando as chamadas “fábricas inteligentes” (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019; ÖBERG; GRAHAM, 2016; ZAWADZKI; ZYWICKI, 2016). Nessa revolução, as tecnologias emergentes e as inovações são difundidas de uma forma mais rápida e ampla do que nas anteriores (SCHWAB, 2016).

Na manufatura, por exemplo, as mudanças são impulsionadas pelas necessidades sociais emergentes ou novas condições de mercado. A Figura 7 mostra que atualmente a globalização impulsiona a regionalização (customização regional) e a produção personalizada, em que a sociedade exige uma maior variedade e menores volumes por variante de produto. O crescente aumento de flutuações do mercado, força os fabricantes a produzir volumes ainda menores para cada variante de produto, exigindo das empresas tempos de ciclo de desenvolvimento e planejamento mais curtos e maior flexibilidade das linhas de produção. A I4.0 é considerada uma solução para responder esses desafios crescentes da manufatura, além disso pode proporcionar aumento da produtividade e da eficiência no uso de recursos e capacitar as empresas a se integrarem em cadeias globais de valor (CNI, 2016; JOPPEN et al., 2019; KOREN, 2010).

Figura 7 – Desenvolvimento do volume e variedade da produção



Fonte: Joppen et al. (2019)

A I4.0 pode resultar em novas formas de criar valor na manufatura e gerar de novos modelos de negócios (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016; LI et al., 2016). Com o auxílio de sensores e sistemas embutidos em todas os processos da manufatura, os produtos podem definir a melhor maneira de serem produzidos, comunicando-se com todas as máquinas e equipamentos presentes na linha de produção. Em um ambiente altamente flexível e autônomo, as decisões descentralizadas favorecem o correto funcionamento do sistema. Todos os objetos, equipamentos e pessoas são conectados pela IoT e os CPS (*Cyber-Physical Systems*). Outro fator importante são as máquinas existentes no processo produtivo, que são capazes de gerar e receber informações, realizar análises e tomar decisões com base na situação existente na fábrica, sem a necessidade de interrupções e perdas de tempo e produtividade (ALMADA-LOBO, 2015; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Muitas definições de Indústria 4.0 são propostas, assim torna-se relevante apresentar a visão de diferentes autores sobre o que é a Indústria 4.0 (LUKASIK; STACHOWIAK, 2020; STENTOFT et al., 2020): o paradigma da Indústria 4.0 descreve a iminente quarta revolução industrial e vislumbra as *smart factories* nas quais humanos e robôs trabalharão cada vez mais próximos (WEISS et al., 2016). Na visão da Indústria 4.0 as empresas estarão conectadas formando redes globais que incorporarão suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações (de produção) na forma de *Cyber-Physical Systems*. Isso permitirá respostas autônomas e rápidas tomadas de decisão dos sistemas de produção. Deste modo, progressos significativos serão observados na gestão das empresas, uma vez que cada sistema terá tomada de decisão independente, sendo capaz de analisar suas especificações e se comunicar com outros sistemas, transferindo informações úteis (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A quarta revolução industrial é caracterizada pelas tendências tecnológicas de digitalização, autonomização, transparência, disponibilidade de informação em tempo real e colaboração (PFOHL; YAHSI; KURNAZ, 2017). O conceito de Indústria 4.0 combina as conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de futuro onde há sistemas de produção inteligentes e automatizados, nos quais um mundo real está ligado a um mundo virtual, assegurando um uso mais eficiente da informação disponível (ZAWADZKI; ZYWICKI, 2016). A Indústria 4.0 compreende o desenvolvimento e integração de informações e tecnologias de comunicação em processos de negócios (DALENOGARE et al., 2018). “Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor” (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, p. 11). De maneira geral, nota-se certa convergência entre as definições desses autores no que diz respeito às “fábricas inteligentes”, à articulação entre o mundo físico e digital e ao uso de informação em tempo real.

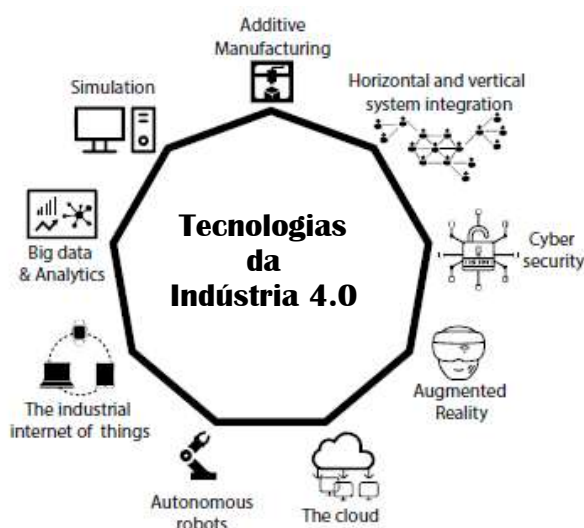
2.3.2 Componentes e Tecnologias da Indústria 4.0

Quatro componentes são considerados a base da I4.0: os Sistemas Físico-Cibernéticos (do inglês, *Cyber Physical Systems - CPS*), a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things - IoT*), a Internet dos Serviços (do inglês, *Internet of Services - IoS*) e as Fábricas Inteligentes (do inglês, *Smart Factories*) (HERMANN; PENTTEK; OTTO, 2015; HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Não existe um consenso sobre quais tecnologias compõe a I4.0 (RAJI et al., 2021; TORTORELLA; GIGLIO; VAN DUN, 2019). Na visão de alguns autores, nove tecnologias fundamentais estão transformando as relações tradicionais da produção industrial (Figura 8): realidade aumentada, robôs autônomos, simulação, manufatura aditiva, *big data and analytics*, computação em nuvem, internet industrial das coisas, segurança cibernética e integração horizontal e vertical de sistemas (RÜBMANN et al., 2015; SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018).

Na sequência, serão apresentados os componentes e as tecnologias que são particularmente significativas para a I4.0 (SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018). No entanto, a cobertura das tecnologias facilitadoras nesta subseção não é de forma alguma destinada a ser exaustiva.

Figura 8 – Tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: adaptado de Saucedo-Martínez et al. (2018).

Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*)

Profissionais e acadêmicos definem o termo “fábrica inteligente” de diversas formas (HOZDIĆ, 2015). Uma fábrica inteligente é uma solução de manufatura que fornece processos

de produção flexíveis e adaptáveis que podem resolver problemas que surgem em uma instalação de produção devido às rápidas e dinâmicas mudanças provocadas pelo aumento da complexidade de um mercado globalizado. Esta solução especial pode, por um lado, estar relacionada à automação, entendida como uma combinação de *software*, *hardware* e/ou mecânica, que deve levar à otimização da fabricação, resultando em redução de trabalho desnecessário e desperdício de recursos. Por outro lado, pode ser vista como uma perspectiva de colaboração entre diferentes parceiros industriais e não industriais, onde a capacidade de reagir com rapidez e inteligência às mudanças é alcançada pela formação de uma organização dinâmica (RADZIWON et al., 2014). Uma fábrica inteligente também é definida como um conjunto de sistemas totalmente integrados e interoperáveis e capazes de funcionar em tempo real em resposta a demandas variáveis, circunstâncias na cadeia de suprimentos e requisitos dos clientes. Essa fábrica inteligente e independente é orientada para o suporte de pessoas e máquinas no desempenho de suas tarefas (ODWAŻNY; SZYMAŃSKA; CYPLIK, 2018).

As principais características das fábricas inteligentes são (SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014):

- customização em massa: os processos de produção devem atender a diversos requisitos das ordens de produção. A produção deve atender às necessidades específicas de cada cliente;
- flexibilidade: processos de produção inteligentes devem considerar diferentes aspectos como tempo, qualidade, preço e aspectos ecológicos;
- visibilidade e tomada de decisão otimizada: visibilidade dos processos em tempo real permite a otimização e melhoria da produção e da tomada de decisão a qualquer momento;
- criação de valor a partir da coleta e análise de *big data*: novas melhorias e valor podem ser fornecidos pela análise de grandes quantidades de dados coletados por dispositivos IoT;
- monitoramento remoto: a tecnologia IoT permitirá o envolvimento de terceiros (por exemplo, fornecedores) no monitoramento, operação e manutenção de fábricas com novos serviços;
- automação e mudança do papel do homem: as operações de produção podem ser otimizadas com uma intervenção mínima do ser humano. Isso pode melhorar a eficiência e reduzir erros e desperdício de energia e outros recursos;
- manutenção proativa: acompanhamento do sistema de produção e coleta dos dados

de desempenho em tempo real têm impacto positivo na melhoria da manutenção proativa. Na visão habilitada para IoT, as máquinas prevêem falhas e acionam processos de manutenção de forma autônoma;

- visão da cadeia de suprimentos: a IoT ajudará os *stakeholders* a obter uma melhor compreensão das informações da cadeia de suprimentos que podem ser entregues em tempo real;
- gerenciamento da energia: a melhoria da eficiência energética requer consciência do comportamento do consumo de energia na linha de produção e no nível da máquina. Os medidores inteligentes podem fornecer dados em tempo real e tomar decisões com base em suas capacidades e em colaboração com serviços externos.

Sistemas Ciberfísicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*)

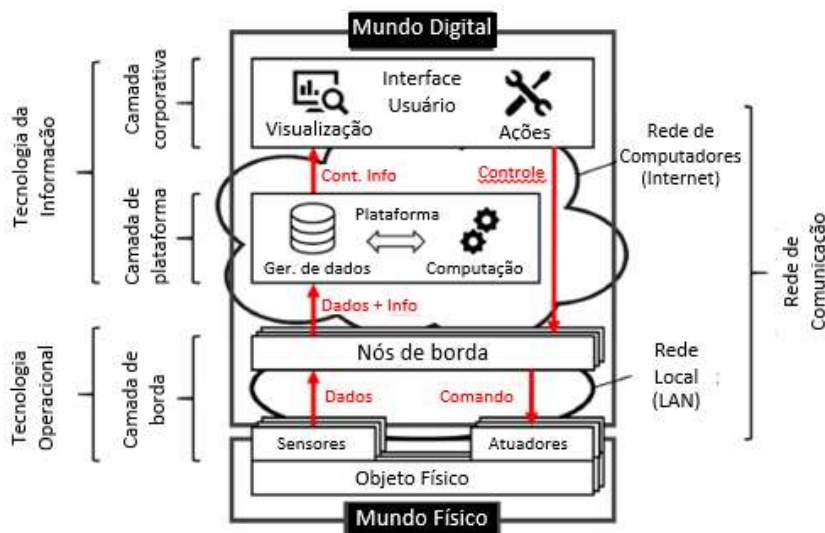
CPS é a base principal da I4.0. O CPS conecta o espaço virtual à realidade física, integrando computação, redes comunicação e recursos de armazenamento. O CPS é considerado uma tecnologia que habilita a I4.0 que mesclará os mundos virtual e físico, fazendo desaparecer as fronteiras entre esses dois mundos (COSTA; MENDES; OSAKI, 2017; LEE; BAGHERI; KAO, 2015; XU; XU; LI, 2018). Por meio de aquisição e processamento de dados, os CPSs podem gerenciar de forma autônoma certas tarefas e se comunicar com humanos por meio de interfaces (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018).

A implantação do CPS reúne benefícios da conectividade e interação. Enquanto a IoT se concentra na conectividade de objetos, em um CPS os componentes físicos e digitais são profundamente entrelaçados, cada um operando em diferentes escalas espaciais e temporais e interagindo entre si (MÖRTH et al., 2020; ZHANG; XU; CHEN, 2020).

O coração do CPS são os sistemas embarcados. A integração e a conexão em rede entre sistemas embarcados e a Internet resultou na fusão do mundo virtual (ciberespaço) e mundo físico, gerando os CPSs (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018). Os sistemas embarcados são sistemas de processamento de informações incorporados a outros produtos ou equipamentos importantes, ou seja, é um sistema computacional embutido em um sistema físico (COSTA; MENDES; OSAKI, 2017). Em geral, um sistema embarcado possui dois requisitos funcionais principais: (1) o nível avançado de rede para fornecer processamento de dados em tempo real da infraestrutura física e feedback de informações da estrutura digital; e (2) processamento inteligente de dados, tomada de decisão e capacidade computacional que dá suporte à infraestrutura física (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). Para isso, os sistemas embarcados consistem em tecnologias RTLS, sensores, atuadores, controladores e sistemas que trabalham

em rede onde os dados ou informações estão sendo transformados e transferidos de todos os dispositivos (SALKIN et al., 2018). A Figura 9 apresenta um modelo conceitual geral de um CPS, adaptado de Gilchrist (2016).

Figura 9 – Modelo conceitual de um CPS



Fonte: adaptado de Gilchrist (2016).

A estrutura básica está alinhada a outras arquiteturas similares, como por exemplo, linhas de montagem, logística de produção e automação industrial. Adotando uma arquitetura de três camadas, objetos físicos equipados com sensores e atuadores compõem a camada inferior ou de borda. A conectividade da rede estabelece dados e comunicações de comando entre os nós da borda, mas também entre a camada de borda e as camadas de nível superior. Nós de borda representam unidades de controle e podem ser desde computadores de placa única, controles lógicos programáveis (CLPs) até computadores *desktop*. Eles gerenciam os sensores e atuadores conectados, bem como desempenham um primeiro nível de processamento de dados. Isso permite uma redução significativa no volume e largura de banda necessários para que os dados sejam transmitidos para camadas superiores. Uma plataforma recebe dados de vários nós de borda através da rede e é responsável por sua transformação, armazenamento e processando na nuvem. A camada final ou corporativa fornece as principais interfaces de usuário, incluindo aplicativos para visualizar informações obtenção de conhecimentos potencialmente novos. A tomada de decisão surge da aplicação do conhecimento e pode levar à tomada de ações corretivas ou preventivas que podem afetar diretamente a camada de borda e conseqüentemente o mundo físico (MÖRTH et al., 2020).

Alguns exemplos de CPS são sistemas robóticos, sistemas automotivos autônomos, sistemas de controle de processo, monitoramento médico e piloto automático de aviões (JENA;

MISHRA; MOHARANA, 2020). Um robô, por exemplo, tem componentes físicos claros que podem detectar, agarrar, transportar e posicionar objetos dentro do seu ambiente. Ele possui um sistema computadorizado, que trabalha em rede e componentes físicos capazes de executar um software para realizarem suas tarefas, como ler dados de sensores, aplicar algoritmos e enviar informações de controle para servomotores e atuadores que controlam seus braços, alavancas e mecanismos. Os robôs também se comunicam com servidores no domínio de operações e gerenciamento e com dispositivos de segurança da linha de produção (GILCHRIST, 2016).

Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*)

O termo *Internet of Things* (IoT) foi inicialmente introduzido por Kevin Ashton em 1999 para referir-se a objetos identificáveis, interoperáveis e conectados de maneira única usando a tecnologia de identificação por radiofrequência RFID na P&G (Procter & Gamble) (ASHTON K., 2009; XU; HE; LI, 2014).

A IoT está presente em fábricas inteligentes e sistemas ciberfísicos automatizando processos e coletando informações (DUARTE et al., 2018). A base da IoT pode ser considerada uma infraestrutura de rede global composta por vários dispositivos conectados que dependem de tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações (XU; XU; LI, 2018). A IoT define um ambiente global onde a Internet é o centro de conectividade para todos esses dispositivos inteligentes e permite que eles se comuniquem entre si ou com o meio ambiente externo e compartilhem a formação e coordenação de decisões (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018; GIUSTI et al., 2018; MOEUF et al., 2018). A comunicação em tempo real desses dispositivos inteligentes pode ser explorada para reunir uma quantidade enorme de dados e monitorar vários produtos e estados do sistema em tempo real e também para facilitar a descentralização da tomada de decisão (GIUSTI et al., 2018; MOEUF et al., 2018)

Vários benefícios são possibilitados pela comunicação aprimorada e integração dentro das fábricas (GIUSTI et al., 2018). A IoT pode criar uma rede inteligente ao longo da cadeia de valor, na qual máquinas conectadas, produtos e os sistemas podem se conectar e controlar uns aos outros de forma autônoma. Além disso, os recursos preditivos na visão habilitada para IoT podem permitir máquinas prevenir falhas e, de forma autônoma, tomarem decisões rápidas e ações corretivas (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018)

A IoT no contexto da I4.0 é comumente chamada de Internet Industrial das Coisas (*Industrial Internet of Things* - IIoT) e aborda a aplicação da IoT na indústria. A IIoT baseia-se na filosofia de que as máquinas inteligentes superam os humanos na captura e comunicação de

dados de maneira precisa e consistente (GHOBAKHLOO, 2018). IIoT oferece uma melhor visibilidade e percepção nas operações e ativos da empresa por meio da integração de sensores de máquinas, interfaces, equipamentos de transporte, equipamentos da *cloud computing* e sistemas de armazenamento (GILCHRIST, 2016). A análise dos dados gerados pelos vários dispositivos IIoT pode fornecer informações mais precisas e em tempo real sobre os recursos que compõem os sistemas de manufatura (GIUSTI et al., 2018).

Para que aplicações massivas de IoT sejam alcançadas, a interoperabilidade e a padronização entre as várias tecnologias de comunicação são de grande importância (AKPAKWU et al., 2017). De acordo com Saldivar et al. (2015), a interoperabilidade é a capacidade de equipamentos e componentes se interconectarem e se comunicarem uns com os outros e com os humanos através da internet. A interoperabilidade é um fator chave para o sucesso da implantação da IoT e de outras tecnologias da I4.0, considerando que mesmo que as melhores tecnologias sejam implantadas, a falta de integração entre elas não vai gerar a melhoria planejada para os processos da organização (FREDERICO et al., 2020). Um dos principais problemas na implantação é estabelecer a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes. A agregação de dados de várias fontes heterogêneas em condições de tempo real e a falta de padronização de protocolos também representam um desafio considerável nesse processo (BURNS; COSGROVE; DOYLE, 2019; MAHMOODPOUR et al., 2018). Outros problemas ligados a segurança e sincronização de dados também precisam ser superados no processo de implantação e uso da IoT (SAEZ et al., 2018).

A internet dos serviços (*Internet of Services* - IoS) é uma evolução natural da IoT e pode abrir um novo mundo de oportunidades e desafios. A IoS se preocupa com o uso sistemático da internet para novas formas de criação de valor por meio da materialização do modelo de negócio *Product-as-a-Service* (PaaS). Nesse modelo, os fabricantes de produtos de consumo procuram estabelecer uma ligação direta com os consumidores, oferecendo serviços complementares a venda dos produtos, assim eles conseguem obter fontes adicionais de receita e fortalecem a sua posição competitiva. A IoS fornece a infraestrutura tecnológica necessária para esse fim. Nessa infraestrutura, os sensores conectados ao produto fornecem continuamente as informações sobre uso e condição do produto para o fabricante, que pode aproveitar os dados para um variedade de finalidades, como, por exemplo, oferecer ao consumidor um serviço de manutenção preventiva e proativa para o produto com base no nível de uso do produto (COSTA; MENDES; OSAKI, 2017; GHOBAKHLOO, 2018).

Tecnologias relacionadas a IoT

Identificação por radiofrequência (*radio-frequency identification* – RFID) e as redes de sensores sem fio (*wireless sensor networks* - WSN) são vistos como os dois dispositivos mais importantes que habilitam a rede IoT. Os avanços na RFID e na WSN contribuem significativamente para o desenvolvimento da IoT (XU; HE; LI, 2014).

A tecnologia RFID permite que os *microchips* transmitam as informações de identificação a um leitor por meio de comunicação sem fio (XU; HE; LI, 2014). Usando leitores RFID, os usuários podem distinguir, rastrear e monitorar em tempo real qualquer objeto marcado com etiquetas RFID automaticamente (GHOBAKHLOO, 2018; XU; HE; LI, 2014).

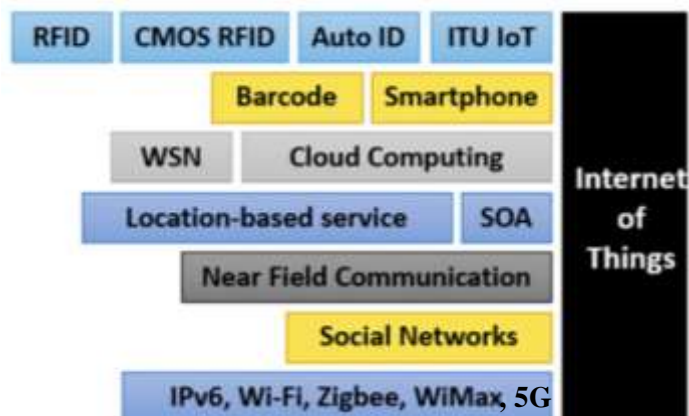
A WSN aplica sensores inteligentes interconectados para detecção e monitoramento. Várias aplicações da WSN foram relatadas, incluindo monitoramento industrial, monitoramento ambiental, monitoramento de transporte, monitoramento de saúde e outros. Vários hardwares e softwares estão disponíveis para WSNs: (1) *Internet Protocol* versão 6 (IPv6) permite conectar um número ilimitado de dispositivos. Um único esquema de numeração, incluindo o IPv6, possibilita a identificação de cada objeto; (2) WiFi e o Wimax fornecem comunicação de alta velocidade e baixo custo; (3) Zigbee, *Bluetooth* e RFID fornecem uma comunicação local e de baixa velocidade; (4) Uma plataforma móvel oferece comunicação a qualquer momento, em qualquer lugar, sobre qualquer coisa (XU; XU; LI, 2018).

As tecnologias sem fio 3G e 4G não são totalmente otimizadas para aplicações IoT (AKPAKWU et al., 2017). O desenvolvimento da rede 5G aumenta significativamente a capacidade e a velocidade para fornecer conectividade confiável e rápida para a IoT e atender às necessidades da I4.0 (NUNEZ, 2016). A rede 4G pode fornecer uma velocidade de transmissão de 1 Gbps, no entanto, o sinal 4G pode ser facilmente interrompido por interferências, como sinais Wi-Fi, edifícios, micro-ondas, etc. Já as redes mais flexíveis 5G são capazes de fornecer aos usuários uma velocidade mais rápida (até 10 Gbps) e uma conexão confiável que suporta milhares de dispositivos ao mesmo tempo (AKPAKWU et al., 2017). A rede 5G é fundamental para o futuro da IoT e para a infraestrutura da I4.0, pois pode conectar bilhões de dispositivos inteligentes e criar uma IoT massiva real, na qual os dispositivos inteligentes interagem mutuamente e compartilham dados sem qualquer assistência humana (LI; XU; ZHAO, 2018)

A Figura 10 ilustra tecnologias e dispositivos usados para oferecer suporte à IoT. As principais tecnologias incluem RFID e WSN e outras tecnologias relevantes, como códigos de

barras, smartphones, computação em nuvem, serviço baseado em localização, SOA, 5G, comunicação de campo próximo (NFC) e redes sociais.

Figura 10 - Tecnologias e dispositivos usados para formar uma rede de suporte à IoT



Fonte: Adaptado de Xu, Xu e Li (2018).

Big Data e Analytics

O conceito de *big data*, cujas origens remontam a meados da década de 1990, foi definido de várias maneiras na literatura (HOSSAIN et al., 2016). Segundo Jeble et al. (2018), *big data* é definido como um termo abrangente para qualquer coleção de grandes conjuntos de dados complexos que são difíceis de armazenar, processar e analisar com sistemas tradicionais de processamento de dados. Wamba et al. (2015) definem *big data* como uma abordagem para gerenciar, processar e analisar dados disponíveis de diferentes formas, ou seja, 5Vs (volume, variedade, velocidade, veracidade e valor) para fornecer valor, medindo o desempenho e criando vantagens competitivas. Volume refere-se à quantidade de dados produzidos, que têm aumentado drasticamente nos últimos anos. Velocidade significa adquirir, armazenar e analisar uma enorme quantidade de dados em um determinado período. A variedade está relacionada a diferentes tipos de dados. Eles podem ser estruturados ou não estruturados, como texto, áudio, vídeo e dados de imagens, bem como a mistura de informações coletadas de fontes tão diversas como transações de mensagens, códigos, imagens publicadas em redes sociais, leituras de sensores e sinais GPS de telefones celulares. Veracidade destaca a importância da qualidade e confiabilidade dos dados para a tomada de decisão. Valor reflete os benefícios proporcionados pelo uso dos dados e sua contribuição para a organização, operações e estratégias (MELLO; MARTINS, 2019; MISHRA et al., 2017).

Os principais desafios do *big data* são processar, agregar, filtrar e organizar grandes quantidades de dados para transformá-los em informações úteis para a tomada de decisão em

tempo real. A capacidade de criar valor a partir dos dados permite que as organizações obtenham vantagem competitiva em um mundo altamente competitivo (MELLO; LEITE; MARTINS, 2014).

Big data analytics é um campo que consiste de *big data*, ferramentas analíticas e técnicas para entregar valor sustentável, melhorar o desempenho dos negócios e fornecer vantagem competitiva (WAMBA et al., 2017). Entre as técnicas analíticas mais utilizadas estão as análises estatísticas, análise de *cluster*, mineração de dados (*data mining*), aprendizagem de máquina (*machine learning*), mineração de texto (*text mining*) e visualização de dados (*data visualization*) (DE MELLO; XAVIER; MARTINS, 2015).

Big data analytics permite as organizações extrair valor, por meio de informações valiosas, de grandes volumes de uma ampla variedade de dados para apoiar a tomada de decisões, minimizar os riscos, melhorar a eficiência e o desempenho de processos, aumentar a flexibilidade e agilidade, aprimorar a personalização do produto, melhorar a qualidade e economizar recursos (DAVENPORT; BARTH; BEAN, 2012; GHOBAKHLOO, 2018; MANYIKA et al., 2011; RÜBMANN et al., 2015; WU et al., 2016).

Os tipos mais comuns de *analytics* são: descritiva, preditiva e prescritiva. A análise descritiva é o tipo de análise mais comum usado pelas empresas e resume o que aconteceu no passado. A análise preditiva prevê comportamentos e fatos futuros para apoiar a tomada de decisões com base em informações sobre o passado. A análise prescritiva orienta ações futuras para atingir objetivos de desempenho e apoiar o processo de tomada de decisão. A análise prescritiva vai além da descritiva e preditiva, recomendando uma ou mais soluções e mostrando a probabilidade do resultado de cada uma (APPELBAUM et al., 2017; JEBLE et al., 2018; MELLO; MARTINS, 2019). Em sua essência, a análise prescritiva é uma análise preditiva que usa inteligência artificial, algoritmos de otimização e sistemas especialistas em um contexto probabilístico (LEPENIOTI et al., 2020).

Na cadeia de suprimentos, por exemplo, o *big data analytics* oferece vantagens significativas na redução dos custos, resposta rápida às mudanças no ambiente de mercado, melhor controle das relações com parceiros e fornecedores e melhorias no planejamento de vendas e operações (GAWANKAR; GUNASEKARAN; KAMBLE, 2020).

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*)

A computação em nuvem não é um conceito completamente novo e não existe um conceito universal ou padrão para a definição de computação em nuvem. A definição do NIST, continua sendo uma das mais utilizadas. De acordo com o NIST, a computação em nuvem é um

modelo para habilitar o acesso por rede ubíquo, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação (como redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços) que possam ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços (DIABY; RAD, 2017). Esta tecnologia evoluiu com base nos avanços recentes em *hardware*, tecnologia de virtualização, computação distribuída e entrega de serviços na internet (GHOBAKHLOO, 2018).

O uso das tecnologias da computação em nuvem favorece a expansão da comunicação e a troca de informações, fornecendo meios fáceis de conectividade de rede. Com tempo de reação de alguns milissegundos e grandes larguras de banda, o compartilhamento de informações em vários sistemas e redes em tempo real garante que os dados e aplicativos estejam disponíveis em qualquer lugar, o tempo todo e de qualquer terminal (MOEUF et al., 2018).

Simulação e Gêmeo Digital

Nas fábricas inteligentes, simulação e modelagem serão necessárias para alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos (RÜBMANN et al., 2015). A simulação é amplamente utilizada para aproveitar os dados disponíveis em tempo real e simular o funcionamento do mundo real em um ecossistema virtual. A simulação realiza a integração de diferentes ferramentas computacionais permitindo que gerentes e designers simulem os desempenhos de todos os aspectos de um sistema de produção. A simulação fornece a capacidade de modelar, analisar e testar iterativamente os sistemas de produção em um ambiente virtual para otimizar os planos antes da implantação (CAGGIANO; BRUNO; TETI, 2015; KIBIRA; MORRIS; KUMARAGURU, 2016).

No contexto de sistemas de produção, *Digital Twin* (Gêmeo Digital) é uma tecnologia emergente e pode ser vista como uma evolução da ferramenta de modelagem e simulação de processos (FULLER et al., 2020; WATANABE, 2019). O conceito de *Digital Twin* foi apresentado inicialmente em 2002 por Michael Grieves em um curso ministrado por ele sobre gerenciamento do ciclo de vida de um produto na Universidade de Michigan (GRIEVES; VICKERS, 2016). Esse conceito é mais um dos que ganharam força com a transformação digital, uma realidade com a I4.0. No sistema de manufatura inteligente com internet industrial como estrutura e plataforma, o gêmeo digital desempenha um papel fundamental em todo o processo (LI; LEI; MAO, 2022).

Um gêmeo digital é uma representação virtual de um objeto ou processo físico que pode coletar informações do ambiente real para representar, validar e simular o comportamento atual e futuro do gêmeo físico. É um fator chave na tomada de decisão baseada em dados, monitoramento de sistemas complexos, validação e simulação de produtos e gerenciamento do ciclo de vida de objetos (BOTÍN-SANABRIA et al., 2022). Um ambiente *Digital Twin* permite análises rápidas e decisões em tempo real feitas por meio de análises precisas (FULLER et al., 2020).

Tecnologias de Virtualização (Realidade Aumentada e Realidade Virtual)

Realidade virtual, realidade aumentada e suas variações representam técnicas de interface computacional que levam em conta o espaço tridimensional. Nesse espaço, o usuário atua de forma multisensorial, explorando aspectos deste espaço por meio da visão, audição e tato, sendo possível também explorar o olfato e tato, dependendo da tecnologia disponível. (KIRNER; KIRNER, 2011). Com as tecnologias de virtualização, a informação virtual pode ser englobada na apresentação do mundo real com o objetivo de enriquecer a percepção humana da realidade com objetos e elementos aumentados (SALKIN et al., 2018). Diferentemente da realidade virtual, que procura transportar o usuário para o ambiente virtual, a realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, por meio de algum dispositivo tecnológico (KIRNER; KIRNER, 2011).

Influenciadas pelo desenvolvimento da computação, essas tecnologias evoluíram muito desde o surgimento na década 60 e atualmente merecem destaque dentro da I4.0. A disponibilidade de dados em um sistema embarcado fornece novos meios de acesso à informação. Óculos inteligentes e outras tecnologias de Realidade Aumentada e Realidade Virtual estão sendo cada vez mais usadas em processos de fabricação e na simulação de ambientes contendo dados reais e simulados. Objetos que podem ser usados para aprimorar os processos de design e fabricação (MOEUF et al., 2018). A indústria pode usar a realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Relatórios industriais indicam que os modernos fabricantes implementaram a Realidade Aumentada em apoio ao treinamento de funcionários, simplificação de tarefas de manutenção, gestão de qualidade e práticas de controle e design de produto entre outros (GHOBAKHLOO, 2018).

Segurança Cibernética

Com a implantação da I4.0 em uma escala mais ampla, as ameaças de cibersegurança aumentam drasticamente. A segurança cibernética é um elemento chave da I4.0, uma vez que todas as organizações que lidam com a Internet sofrem em risco de ataque. Com o aumento da conectividade e do uso de protocolos de comunicação padrão, que acompanham a I4.0, tornou-se necessário proteger os sistemas industriais críticos e as linhas de fabricação de ameaças de cibersegurança (GHADGE et al., 2020; SADEGHI; WACHSMANN; WAIDNER, 2015).

O ambiente da I4.0, com um grande número de “coisas” interconectadas, requer uma comunicação segura e confiável para que quaisquer decisões e ações tomadas sejam baseadas em informações devidamente autorizadas (GHOBAKHLOO, 2018). A I4.0 também requer atividades intensivas de armazenamento, transferência e processamento de dados, porém vários estudos apontam a falta de privacidade e segurança nessas atividades como uma das principais barreiras na implantação da I4.0 (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; REZQIANITA; ARDI, 2020).

Robôs Autônomos

Utilizar robôs na indústria não é um conceito novo, pois eles já são utilizados em muitas indústrias para realizar tarefas complexas e em áreas que limitam a presença de humanos, como insalubres ou perigosas. O uso de robôs permite maior automação dos processos de produção, que significativamente alivia os funcionários em seu trabalho e aumenta seu desempenho. Benefícios gerais resultantes da aplicação de robôs incluem, entre outros, aumentar rapidez e eficiência de produção, melhorar o desempenho e otimizar os processos de produção. Na I4.0, com o uso de inteligência artificial os robôs ganham habilidades além dos seus antecessores, eles estão se tornando cada vez mais autônomos, flexíveis, comunicativos, cooperativos, além de interagirem com outras máquinas e humanos (LUKASIK; STACHOWIAK, 2020; MOEUF et al., 2018; RÜBMANN et al., 2015; SCHWAB, 2016).

Os chamados robôs colaborativos (*Cobots*) e robôs móveis estão sendo introduzidos maciçamente nas fábricas inteligentes. O principal motivo para seu sucesso é a combinação da força e resistência do robô com a destreza e a flexibilidade do operador humano. Eles são fáceis de programar, interagem de forma segura com humanos e podem compartilhar o mesmo espaço de trabalho com outros humanos e robôs, sem necessidade de local de trabalho fixo cercado por cercas, portanto significa que os *cobots* são facilmente móveis (ALIEV et al., 2019).

As fábricas inteligentes da I4.0 também requerem sistemas robóticos capazes de adaptarem às flutuações na eficiência e na demanda de produção, tanto por causas internas quanto externas. Sistemas robóticos, dentro de processos de produção, com habilidades auto-

configuração, auto-ajuste para variações e auto-ajuste otimização realizarão a visão dos *Cyber-Physical Systems* (BONCI; PIRANI; LONGHI, 2017).

Integração Vertical e Horizontal

As principais características da I4.0 são a colaboração e integração de sistemas, tanto horizontais quanto verticais.

Na integração vertical, a tecnologia de informação e comunicação (TIC) é integrada em diferentes níveis hierárquicos da organização desde o controle de nível de chão de fábrica até os níveis de produção, operações e gerenciamento. Esta rede de integração vertical permite o uso de sistemas ciber-físicos de produção para responder à variação da demanda ou às flutuações e falhas nos níveis de estoque (DALENOGARE et al., 2018). Na integração horizontal, as TIC são usadas para trocar informações entre diferentes participantes (às vezes concorrentes) dentro de uma rede. A integração desses sistemas para uma perfeita colaboração, integração e troca de dados com todos os *stakeholders* é um cenário complicado (GHADGE et al., 2020). Além disso, o suporte à automação da I4.0 exige também uma integração de software e hardware, bem como um integração eficiente de dados e informações em tempo real (XU; XU; LI, 2018).

A integração horizontal e vertical permite o compartilhamento de dados em tempo real, produtividade na alocação de recursos, unidades de negócios de trabalhando com coerência e planejamento preciso, o que é crucial para dispositivos conectados dentro da I4.0 (SALKIN et al., 2018).

Manufatura Aditiva

A produção de peças por meio de impressoras 3D (manufatura aditiva) refere-se a um conjunto de tecnologias que produzem objetos por meio da adição de material, no lugar da remoção mecânica ou da conformação. A manufatura aditiva é iniciada pela construção de um projeto auxiliado por computador (CAD) e modelagem que organiza um conjunto de recursos digitais do produto e envia as informações dos itens às máquinas industriais. O processo executado pelas máquinas envolve a construção de um produto em camadas pela deposição de um pó, muito fino, ou de um material líquido, o qual é então fundido ou solidificado (GHOBAKHLOO, 2018; SALKIN et al., 2018). A manufatura aditiva pode apoiar a ideia de "fábrica inteligente" por meio de velocidade de produção, liberdade de design de manufatura, reduções da cadeia de suprimentos, prototipagem rápida e experimentos de produção em pequena escala (LASI et al., 2014).

2.3.3 Indústria 5.0

Embora a temática da chamada Indústria 5.0 não esteja envolvida diretamente com esta tese, cabe aqui uma breve apresentação desse novo termo e seu relacionamento com a Indústria 4.0.

Não existe ainda um consenso conceitual do termo “Indústria 5.0” (GHOBAKHLOO et al., 2022; MAESTRI et al., 2021). No entanto, é possível identificar um alinhamento entre as perspectivas de vários autores em torno da Indústria 5.0. Essas perspectivas consideram a sustentabilidade, a centralidade no ser humano, a resiliência organizacional e a colaboração ser humano-máquina como uma tendência para o futuro da indústria (BREQUE; NUL DE; PETRIDIS, 2021; DI NARDO; YU, 2021).

Alguns autores definem a Indústria 5.0 como uma atualização evolutiva e incremental da Indústria 4.0, porém existem diferenças consideráveis entre esses dois conceitos. A Indústria 4.0 se concentra em melhorar a produtividade e o desempenho tornando a “fabricação inteligente” por meio da conexão entre máquinas e dispositivos que podem controlar uns aos outros. A automação de processos reduz a intervenção humana no processo de fabricação (MADDIKUNTA et al., 2022). Na Indústria 5.0 as máquinas inteligentes são projetadas para trabalhar colaborativamente com seres humanos, e este trabalho colaborativo aumentará significativamente a eficiência da fabricação e melhorará a qualidade da produção ao atribuir tarefas repetitivas e monótonas aos robôs/máquinas e as tarefas que requerem pensamento crítico aos humanos (MADDIKUNTA et al., 2022).

Embora o mecanismo de produtividade interna da Indústria 4.0 melhore algumas métricas de sustentabilidade microambiental, como eficiência de produção ou redução de emissões, ela não possui uma abordagem direta em relação a sustentabilidade ambiental. Já a Indústria 5.0 apresenta um futuro mais positivo para o planeta, com modelos de produção circulares e uma mudança para o uso mais eficiente dos recursos naturais.(GHOBAKHLOO et al., 2022)

Assim, os estudiosos acreditam que a Indústria 5.0 tem o potencial de ir além da produtividade centrada no lucro da Indústria 4.0 e promover objetivos de desenvolvimento sustentável, como a centralidade no ser humano, a sustentabilidade socioambiental e a resiliência organizacional (GHOBAKHLOO et al., 2022). Nesse sentido, estudos para o estabelecimento de SMDs para avaliar como os ecossistemas de manufatura colaborativa podem apoiar a sustentabilidade podem ser relevantes (GRAÇA; CAMARINHA-MATOS, 2022).

2.4 RELAÇÕES ENTRE TECNOLOGIAS DA I4.0 E SMDs

Segundo Lopes e Martins (2022), entre as tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs estão: internet das coisas, *big data analytics*, *cyber-physical systems*, *big data*, simulação, e realidade aumentada ou virtual. A seguir, uma breve apresentação das principais relações entre essas tecnologias e os SMDs.

Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*)

A tecnologia IoT pode diminuir o tempo de coleta de dados para quase zero (dados em tempo real), aumentar a eficiência de processos que podem lidar com os dados (armazenamento, acesso, filtragem, compartilhamento, etc.) e permitir a comunicação entre todos os objetos e sistemas em tempo real, entre eles, os SMDs (DWEEKAT; HWANG; PARK, 2017; HWANG, 2017; KUMARAGURU; KULVATUNYOU; MORRIS, 2014).

Na manufatura, o desafio que os SMDs enfrentam é a falta de informações oportunas, precisas e consistentes de fabricação e recursos durante a fase de fabricação (ZHANG et al., 2015). Este desafio é mais significativo quando os sistemas de produção formam uma rede compartilhada por várias empresas. A visibilidade e rastreabilidade dos indicadores de desempenho permitem que os tomadores de decisão tomem decisões inteligentes no chão de fábrica. A IoT permite o monitoramento em tempo real e ajuda a visualizar os dados coletados e os KPIs para avaliar o desempenho do sistema (LEE; LEE, 2015). O monitoramento contínuo de indicadores e métricas em diferentes níveis da organização, em tempo real, permite o detalhamento das causas raiz dos problemas de desempenho (KIBIRA; MORRIS; KUMARAGURU, 2016). Além disso, essas tecnologias avançadas de monitoramento podem identificar áreas com potencial de melhoria, prever resultados futuros e otimizar operações, resultando em custos menores e maior produtividade (LEE; LEE, 2015).

Os SMDs para a gestão da cadeia de suprimentos e da logística interna das empresas podem ser afetados significativamente pela evolução da internet das coisas (DWEEKAT; PARK, 2016). Novas abordagens, habilitadas pela IoT, podem estabelecer conectividade aprimorada em todo o sistema de logística interna e na cadeia de suprimentos (MÖRTH et al., 2020). SMDs habilitados por tecnologias IoT podem ser usados para monitorar, gerenciar e controlar a cadeia de suprimentos em tempo real de forma mais integrada e cooperativa, permitindo respostas rápidas às mudanças condições (DWEEKAT; HWANG; PARK, 2017). A visibilidade e rastreabilidade em tempo real baseado em IoT ao longo da cadeia permitem

que os SMDs capturem as mudanças de desempenho repentinas e forneçam informações mais rápidas e oportunas para os tomadores de decisão (REZAEI; SHIRAZI; KARIMI, 2017).

Big Data e Big Data Analytics

A adição de novas dimensões de desempenho às tradicionais dimensões financeiras aumentou a quantidade de dados a serem adquiridos, processados e analisados pelos SMDs para fornecer informações significativas aos tomadores de decisão. Além disso, as organizações, clientes e fornecedores também estão produzindo uma grande quantidade de dados estruturados e não estruturados que precisam ser absorvidos pelos SMDs, tornando-os a cada dia mais complexos (DE MELLO; XAVIER; MARTINS, 2015). Esse volume de dados complexos e heterogêneos gerados em grandes quantidades e alta velocidade, conhecido como *big data*, pode permitir o projeto de SMDs capazes de coletar uma ampla gama de dados de desempenho para alcançar uma vantagem competitiva (SARDI et al., 2020).

A combinação de tecnologias de *big data* com a aplicação de análises avançadas de dados define o conceito de *big data analytics* (BDA), que tem uma influência positiva sobre o desempenho das empresas, pois possui um potencial enorme para melhorar a análise de desempenho e, conseqüentemente, aprimorar os SMDs (DEV et al., 2019; GUNASEKARAN et al., 2017; GUPTA; GEORGE, 2016; JEBLE et al., 2018; WAMBA et al., 2017). A incorporação de ferramentas de BDA pelos SMDs pode guiar esta transformação de dados em informações úteis e inteligentes que fornecem conhecimento (DUARTE et al., 2018). BDA desempenha um importante papel na ligação entre *big data* e a gestão do desempenho, pois tem um grande potencial para melhorar os SMDs no fornecimento de informações significativas aos tomadores de decisão. BDA ajuda a identificar como ações passadas podem influenciar o desempenho futuro e pode tornar o processo de tomada de decisão mais eficiente e eficaz (MELLO; MARTINS, 2019).

Os SMDs tradicionais buscam descobrir o que aconteceu no passado e as razões para as mudanças. Esses SMDs se baseiam em informações históricas que são isoladas, estáticas e são menos eficientes na entrega de informações aos tomadores de decisão, porém em um ambiente altamente volátil que muda rapidamente, espera-se que os SMDs sejam altamente proativos, antecipando o desempenho futuro em vez de reagir aos problemas depois que eles ocorrem (KAMBLE; GUNASEKARAN, 2020). Nesse sentido, IoT e BDA atuam em conjunto realizando um monitoramento em tempo real dos processos, visando detectar desvios e tendências da evolução dos KPIs dos SMDs ao longo do tempo (LEITAO et al., 2019). A análise

preditiva por meio de simulação também está expandindo seu escopo e pode auxiliar as análises de *big data analytics* e os SMDs (DEV et al., 2019).

Com origem na década de 1950, a inteligência artificial consiste na capacidade de sistemas de computador ou máquinas aprenderem e agirem de forma autônoma. Em sua forma mais básica, a inteligência artificial coleta dados, aplica algumas regras de cálculo (ou algoritmos) aos dados e, em seguida, toma decisões ou prevê resultados (MARR, 2019). Estudos mostram uma tendência na evolução do uso de tecnologia de inteligência artificial em BDA e SMDs (SAHLIN; ANGELIS, 2019; TAMBARE et al., 2022). Uma forma de inteligência artificial e *machine learning*, definida como *deep learning*, uma das técnicas analíticas de BDA, pode contribuir na utilização de dados não estruturados pelos SMDs, entre os dados estão imagens de vídeo, arquivos de áudio e dados de redes sociais (ASSANDRE, 2022).

Simulação

A simulação é frequentemente criticada por não fornecer diretamente as soluções ideais. No entanto, é um dos métodos mais amplamente aplicados para garantir o desempenho de fabricação (BRYNER, 2012; SHIPP et al., 2012). Interligada aos SMDs, a simulação pode fornecer uma visão do desempenho desejado de todo o sistema em qualquer momento, ao realizar uma comparação entre ambientes reais e virtuais, auxiliando o tomador de decisão a estabelecer e avaliar as consequências de suas decisões (SAEZ et al., 2018).

Os modelos de simulação também podem ser usados como uma ferramenta analítica para prever o efeito do desempenho após mudanças nos sistemas já existentes e também em novos sistemas sujeitos a diferentes conjuntos de circunstâncias (DEV et al., 2019).

Tecnologias de Virtualização (Realidade Aumentada e Realidade Virtual)

As tecnologias de virtualização podem permitir uma melhor visualização de dados dos SMDs, sendo importantes na divulgação e interpretação do desempenho para uma melhor tomada de decisão (MAHMOODPOUR et al., 2018).

Imagens com marcadores de realidade aumentada estão sendo utilizadas nos SMDs em ambientes industriais para reduzir tempo e mão de obra na coleta de dados (CHOI; SEO, 2020).

A visualização de KPIs fornecidos por SMDs que operam em tempo real em linhas de produção utilizando realidade aumentada, pode identificar gargalos em um ambiente de produção complexo e volátil por meio de dispositivos móveis carregados pelos tomadores de decisão que interagem perfeitamente com esse ambiente (HOFMANN et al., 2019).

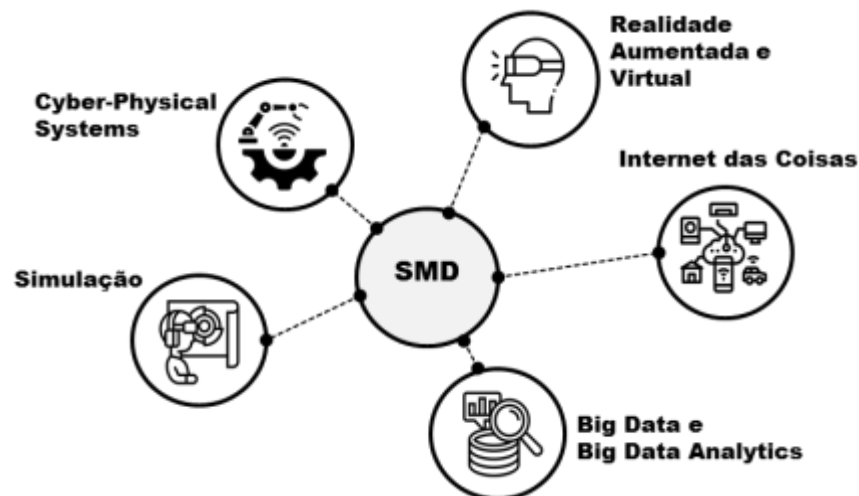
Sistemas Ciberfísicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*)

O uso de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) permite a integração dos SMDs com as máquinas e sistemas robóticos e possibilita a melhoria da medição de desempenho do sistema de produção, com o monitoramento em tempo real (BONCI; PIRANI; LONGHI, 2017; KIPPER et al., 2020).

A implantação de CPS reúne os benefícios da conectividade e interação e pode capturar e comunicar dados de forma precisa e consistente (MORELLA et al., 2020). O uso de CPS compostos por sistemas de visão e dispositivos IoT integrados as estações de trabalho das linhas de produção, por exemplo, podem capturar, armazenar e transmitir dados de imagem automaticamente aos SMDs, sem interferências dos operadores. Além de detectar eventos anormais na linha de produção, o CPS recebe informações dos KPIs calculados e transmite as informações de desempenho em um painel de controle para visualização dos operadores em tempo real (BAUTERS et al., 2018; MÖRTH et al., 2020). Um outro exemplo é descrito por Morella et al. (2020) que utiliza um CPS composto de uma máquina ferramenta, um sistema de monitoramento e um computador industrial que pode capturar dados em tempo real e armazená-los na nuvem, na sequência os dados adquiridos são tratados e utilizados para calcular KPIs, via software, que podem ser visualizados em tempo real por meio de painéis.

Segundo Lopes e Martins (2022), a Figura 11 apresenta as tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs.

Figura 11 - Tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs



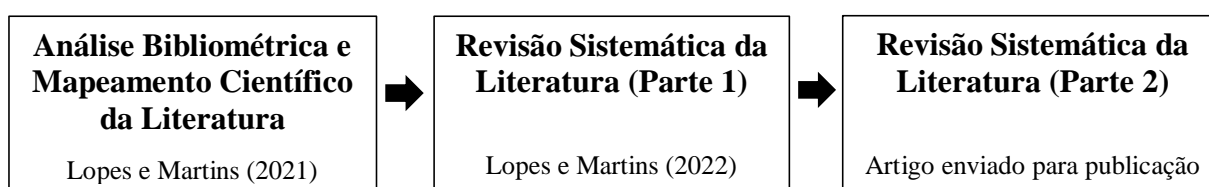
Fonte: Elaborado pelo autor ("ícones: Flaticon.com").

3 ESTUDO DA LITERATURA

O estudo da literatura é considerado um passo inicial para qualquer pesquisa científica, pois serve para delimitar fronteiras do que será investigado, proporcionar o suporte teórico para pesquisa e explicitar o grau de evolução (estado da arte) sobre o tema estudado (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; MIGUEL; SOUSA, 2012).

Neste sentido, esse capítulo apresenta a síntese de dois trabalhos publicados pelo autor desta tese, Lopes e Martins (2021) e Lopes e Martins (2022), e de um terceiro trabalho já finalizado e enviado para publicação. A Figura 12 apresenta a ordem de elaboração desses trabalhos.

Figura 12 – Ordem de elaboração dos trabalhos para estudo da literatura



Fonte: elaborado pelo autor.

O primeiro trabalho elaborado por Lopes e Martins (2021) foi uma análise bibliométrica e mapeamento da produção científica sobre os impactos da I4.0 nos SMDs. Esse trabalho permitiu uma visualização mais ampla do emprego das tecnologias da Indústria 4.0 em SMDs em vários campos de pesquisa. As “estruturas de conhecimento” visualizadas por meio de redes bibliométricas permitem compreender, em uma escala mais abrangente, as principais tendências, os principais trabalhos e o relacionamento entre autores e entre documentos no campo de pesquisa, ou seja, é uma ferramenta importante para o pesquisador no início de um novo trabalho, pois fornece uma visão geral do campo de pesquisa. Os resultados dessa etapa fornecem conhecimento e *insights* para uma posterior análise mais detalhada na revisão da literatura.

O segundo trabalho, uma revisão sistemática da literatura (RSL), dá continuidade ao estudo desenvolvido por Lopes e Martins (2021) e foi dividida em duas partes, devido à grande quantidade de informações e a data distinta de coleta dos documentos. Na primeira parte deste segundo trabalho, apresentado por Lopes e Martins (2022), buscou-se coletar, identificar, selecionar e analisar os estudos envolvidos na contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs e na segunda parte do trabalho o objetivo foi coletar, identificar, selecionar e analisar os facilitadores envolvidos na implantação das tecnologias da I4.0 nos

SMDs. Os trabalhos relatam estudos na literatura pesquisada referente a tecnologias da I4.0 e SMDs, que tinham como objetivo maior compreender como esses dois temas em conjunto são tratados nas publicações científicas.

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA LITERATURA

Embora as tecnologias da I4.0 tenham potencial de melhorar os SMDs, existe uma lacuna na literatura sobre como elas estão afetando as maneiras que as organizações medem e gerenciam o desempenho (MELLO; MARTINS, 2019; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016). Nesse sentido, o objetivo do trabalho de Lopes e Martins (2021) foi realizar uma análise bibliométrica e um mapeamento da produção científica sobre os impactos da I4.0 nos SMDs. Três questões de pesquisa guiaram o desenvolvimento do trabalho: **(RQ1) qual o estado atual das pesquisas sobre SMDs na I4.0? (RQ2) quais as estruturas de conhecimento formadas em torno dessa temática? (RQ3) quais as tendências e oportunidades relacionadas a essa temática identificadas na literatura existente?**

O método de pesquisa utilizado no trabalho foi a análise bibliométrica e mapeamento científico. A bibliometria é adequada para estudar a produção científica num determinado campo de saber e vislumbrar problemas a serem investigados por pesquisas futuras (CAVIGGIOLI; UGHETTO, 2019; CHUEKE; AMATUCCI, 2015). As etapas da análise bibliométrica, adaptada de Zupic e Cater (2015), foram as seguintes: (1) *design* do estudo; (2) coleta e tratamento dos dados; (3) análise de dados; (4) interpretação.

O mapeamento científico trata de três “estruturas de conhecimento” para investigar o conhecimento científico num domínio do saber. A primeira estrutura é a conceitual que permite entender os principais temas e tendências abordados por um campo de pesquisa. A segunda estrutura é a intelectual que revela como os trabalhos dos autores influenciam a comunidade científica num campo. Por fim, a terceira estrutura é a social que apresenta como autores, instituições e países se relacionam em um campo de pesquisa científica (ARIA; CUCCURULLO, 2017; KIPPER et al., 2020; MORRIS; VAN DER VEER MARTENS, 2008).

O pacote R *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017; MATLOFF, 2011) foi utilizado juntamente com o software *VOSviewer* (VAN ECK; WALTMAN, 2010) para dar suporte às análises bibliométricas nas três estruturas de conhecimento. As técnicas de análise bibliométrica utilizadas no trabalho foram determinadas de acordo com cada estrutura de conhecimento: análise de coocorrência (estrutura conceitual), análise de cocitação e acoplamento bibliográfico (estrutura intelectual). A coleta de dados foi realizada em 22/05/2020

e o Quadro 4, adaptado de Leite (2012), apresenta o protocolo para a coleta de dados para a análise bibliométrica com a escolha da base de dados e dos devidos filtros.

Quadro 4 - Protocolo da coleta de dados para análise bibliométrica

Filtros	Especificações
Tipo de documento	<i>Articles, Review, Early Access</i>
Termos de busca pesquisados	Grupo 1: <i>industry 4.0; smart manufactur*; smart factor*; digital manufactur*; cyber-physical system*; cyber physical system*; digitalization; digitalisation; digital ubiquity; internet of things; big data*</i> Grupo 2: <i>performance measur*; performance metric*; key-performance indicator*; measur* performance; performance indicator*; KPI*</i>
Operador booleano	<i>AND</i> entre grupos. <i>OR</i> entre os termos de busca.
Indexador Científico	<i>Web of Science</i>
Campos de busca	Título, resumo e palavras-chave
Áreas de pesquisa	<i>Engineering or Business Economics or Operations Research Management Science</i> . Na seleção dessas áreas, utilizou-se a opção “Refinar”.
Idioma	Inglês
Anos de publicação	Sem janela de tempo.
Observações	As palavras apresentadas nos termos de busca foram pesquisadas no título, resumo e palavras-chave dos documentos. O símbolo * em alguns termos de busca pesquisados significa que o sufixo dessas palavras pode variar, por isso esse recurso foi utilizado para abranger derivações dos termos de busca e aumentar o retorno de documentos.

Fonte: Adaptado de Leite (2012).

A busca nas áreas de pesquisa escolhidas no indexador científico *Web of Science*, conforme o protocolo da análise bibliométrica (Quadro 4), resultou em uma amostra com 325 documentos.

Os detalhes de todas as análises realizadas, bem como de todo o trabalho estão disponíveis no artigo de Lopes e Martins (2021). A seguir serão apresentados de uma forma resumida os resultados mais relevantes para esta tese com foco na segunda questão de pesquisa do artigo de Lopes e Martins (2021), ou seja, as estruturas de conhecimento formadas em torno da temática I4.0 e SMDs.

3.1.1 Análise de Redes e Interpretação dos Resultados

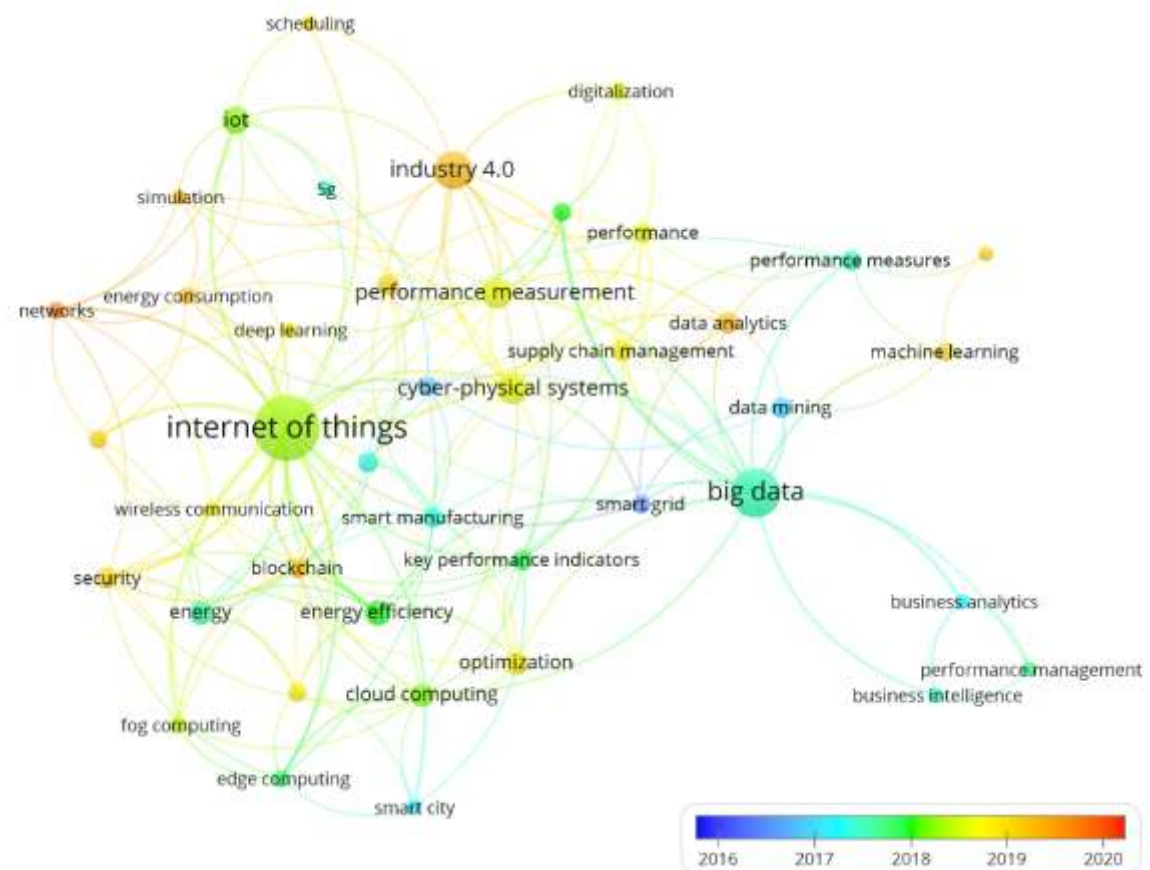
Três redes foram construídas e analisadas com o uso do *software VOSviewer*: rede de coocorrência de palavras-chave, rede de cocitação de documentos e rede de acoplamento bibliográfico de documentos.

3.1.1.1 Rede de Coocorrência de Palavras-Chave

A análise *co-word* é uma técnica de análise de conteúdo que utiliza padrões de coocorrência de pares de itens (ou seja, palavras ou frases nominais) em um corpo de texto para identificar as relações entre as ideias dentro das áreas apresentadas nesses textos (HE, 1999). A relação de coocorrência entre duas palavras-chave é determinada pelo número de artigos em uma base de documentos em que ambas são utilizadas conjuntamente, seja no título, no resumo ou na lista de palavras-chave. O mapeamento com uso dessas redes pode revelar possíveis temáticas de pesquisa sobre um determinado assunto (LEUNG; SUN; BAI, 2017).

A Figura 13 apresenta a rede de coocorrência das principais palavras-chave (nós) usadas pelos autores dos artigos da amostra. As cores dos nós são atribuídas em função do ano médio das publicações. Assim, é possível identificar os termos usados mais recentemente. O tamanho do nó indica a frequência de ocorrência de uma palavra-chave, e a ligação entre os nós é proporcional à coocorrência (VAN ECK; WALTMAN, 2014).

Figura 13 - Rede de coocorrência de palavras-chave (classificação por ano de publicação)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede de coocorrência, construída com o uso do software *VOSviewer*, tem 42 nós, 162 *links* e 6 *clusters*. Observa-se na rede que as palavras-chave *internet of things*, *big data*, *industry 4.0*, *performance measurement* e *cyber-physical systems* estão entre as cinco palavras da amostra com maior frequência de ocorrência, o maior número de ligações e as ligações mais fortes. Isso indica uma forte relação entre as pesquisas que utilizam essas temáticas. Além disso, essas palavras-chave de maior ocorrência apresentam ligações com *supply chain management*, *data analytics*, *simulation*, *digitalization* e *deep learning*. Tal resultado é uma evidência que a pesquisa nesses temas é contemporânea, palavras-chave usadas por publicações mais recentes (2017 a 2020). Isso significa uma utilização da análise inteligente de dados com uso do *big data analytics* nos SMDs e a sua importância no aprendizado de máquinas para tomada de decisão. Também se observa o uso da simulação na melhoria de processos.

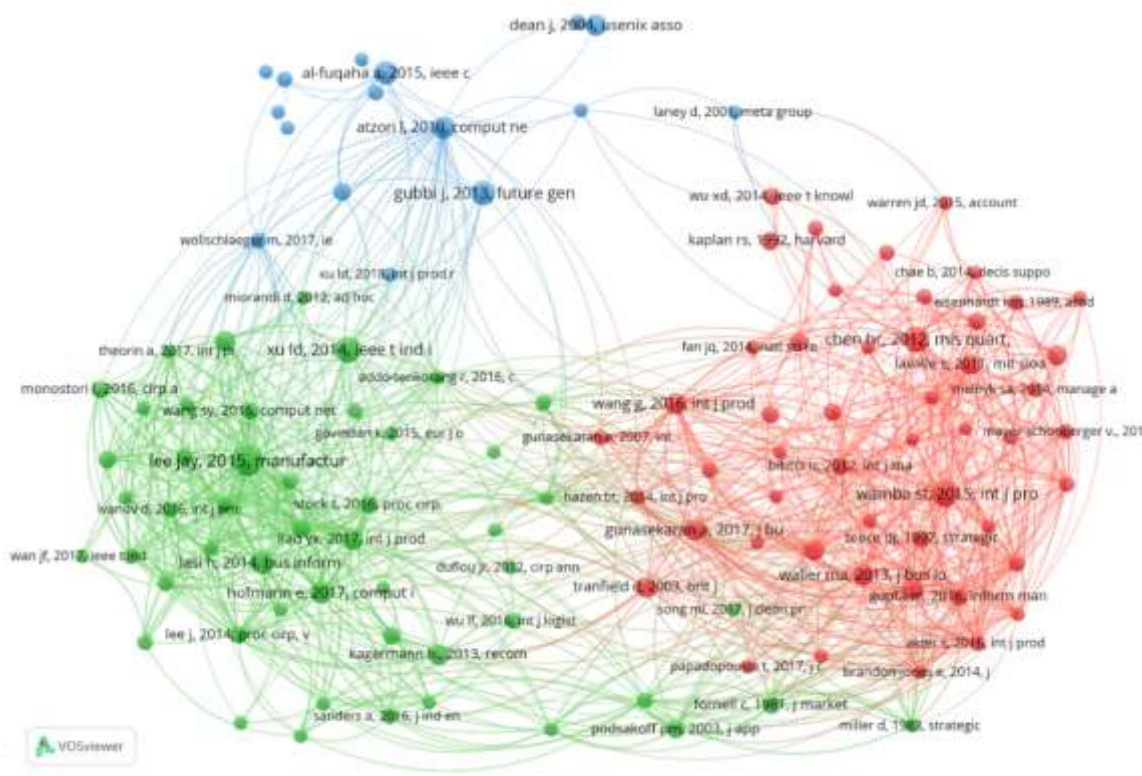
Por fim, a rede de coocorrência de palavras-chave mostra ainda que *supply chain management* é a área das organizações que vem atraindo maior interesse dos pesquisadores na atualidade.

3.1.1.2 Rede de Cocitação de Documentos

A premissa fundamental da análise de cocitação é que, quando dois ou mais documentos ou autores são citados juntos, em uma pesquisa posterior, há uma proximidade temática, conceitual e/ou metodológica entre os citados, na visão do autor citante (SMIRAGLIA, 2011; XU et al., 2018). Desse modo, quanto maior o número de vezes que dois documentos são citados juntos, mais provável que eles sejam relacionados em conteúdo (BELLARDO, 1980).

A Figura 14 apresenta a rede de referências cocitadas nos documentos da amostra. Quanto maior o nó (documento), mais as citações recebidas por um documento e quanto mais espesso o *link*, mais os nós conectados foram cocitados e maior a força total de ligação (do inglês, *total link strenght*) entre eles (VAN ECK; WALTMAN, 2014). A força total de ligação é representada por um valor numérico positivo. Quanto maior esse valor, mais forte será o *link*. A rede de cocitação mostra 119 nós, 2202 *links* e 3 *clusters*.

Figura 14 - Rede de cocitação de documentos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 1 apresenta o número total de documentos em cada *cluster* e a temática central, elaborada a partir da análise de conteúdo dos principais documentos de cada *cluster*.

Tabela 1 - Classificação da literatura da análise de cocitação

<i>Cluster</i>	Cor do <i>cluster</i>	Número de documentos	Temática do <i>cluster</i>
1	Azul	16	Impactos da interconectividade digital da internet das coisas na comunicação industrial.
2a	Vermelho	52	A gestão da medição do desempenho frente aos negócios emergentes.
2b			A análise inteligente de dados agregando valor para a tomada de decisão.
2c			O uso do <i>big data analytics</i> na melhoria da performance organizacional com ênfase na área de <i>supply chain management</i> .
3	Verde	51	Conceitos, tendências e oportunidades da I4.0 e suas tecnologias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido ao alto número de documentos em cada *cluster*, são apresentados na Tabela 2 somente os principais documentos de cada *cluster*, considerando as maiores forças totais de ligação dentro do *cluster*. A Tabela 2 também mostra os documentos mais bem classificados, em termos de força total de ligação, entre todos os documentos da rede. Os documentos do

cluster 2 estão mais alinhados a área de gestão e aos SMDs. Por isso, ele foi subdividido para uma análise mais minuciosa.

Tabela 2- Principais documentos de cada *cluster*

<i>Cluster 1</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 2a</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 2b</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 2c</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 3</i>	<i>Total link strenght</i>
Wollschlaeger et al. (2017)	62	Beamon (1999)	70	Chen et al. (2012)	98	Gunasekaran A. (2017)	144 (1°)	Lasi et al. (2014)	123 (3°)
Gubbi et al. (2013)	57	Melnyk et al. (2014)	54	Lavalle et al. (2011)	85	Wamba et al. (2015)	141 (2°)	Lee et al. (2015)	121 (4°)
Atzori et al. (2010)	62	Neely et al. (2005)	53	Mcafee e Brynjolfsson (2012)	61	Wang et al. (2016)	123 (3°)	Hofmann e Rüschi (2017)	117 (5°)
		Kaplan e Norton (1996)	49	Mayer-Schönberger e Cukier (2013)	51	Wamba et al. (2017)	116 (6°)	Liao et al. (2017)	106 (8°)
		Bititci et al. (2012)	48	Davenport T.H. (2014)	40	Waller e Fawcett (2013)	109 (7°)	Lee et al. (2014)	101 (9°)
		Bourne et al (2000)	46			Hazen et al. (2014)	88	Hermann et al. (2016)	100 (10°)
		Kennerly e Neely (2003)	42			Akter et al. (2016)	86	Ivanov et al. (2016)	88
		Neely et al. (1999)	41			Gupta e George (2016)	82	Schmidt et al. (2015)	84
		Franco-Santos et al. (2012)	37					Sanders et al. (2016)	59
		Nudurupati et al. (2011)	28					Kagermann et al. (2013)	56
		Taticchi et al (2010)	26						
		Kaplan e Norton (1992)	19						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Análise de Conteúdo da Rede de Cocitação de Documentos

A seguir foi feita uma análise de conteúdo dos documentos do *cluster 2*, pois esses documentos estão mais alinhados a temática da pesquisa desta tese e podem contribuir com o seu desenvolvimento. Os documentos dos clusters 1 e 3 são importantes, mas envolvem somente aspectos tecnológicos da Indústria 4.0 e não estão alinhados a temática desta pesquisa, mas podem ser consultados no trabalho de Lopes e Martins (2021).

No *cluster 1*, são tratadas as tecnologias digitais e, mais especificamente, as pesquisas envolvendo implantação, problemas e tendências sobre a Internet das Coisas (IoT).

No *cluster 2a*, as principais referências citadas são sobre gestão e medição de desempenho. Em geral, discutem a importância, a evolução, desafios e tendências desse campo de pesquisa frente aos negócios emergentes.

Kaplan e Norton (1996) tratam do *Balanced Scorecard* (BSC), um conhecido e muito aplicado sistema de gestão e medição de desempenho estratégico. Por sua vez, Neely et al. (1999) revisam a literatura à época acerca de sete vetores de mudança dos SMDs, entre os quais merece destaque o poder da tecnologia da informação. Mais especificamente, Beamon (1999)

é um dos trabalhos pioneiros sobre medidas de desempenho para gestão da cadeia de suprimentos.

Kennerley e Neely (2003) tratam da evolução dos SMDs para que eles provenham informações adequadas aos tomadores de decisão. Nesse sentido, Melnyk et al. (2014) relatam que os SMDs precisam ser revisados corretamente e periodicamente para acompanhar as mudanças em ambientes dinâmicos e turbulentos, mantendo assim um alinhamento entre a estratégia e o conjunto de medidas de desempenho. Nessa mesma linha, Bititci et al. (2012) revisam o campo da medição de desempenho, apresentam a evolução e tendências das pesquisas relacionadas aos SMDs e discutem os principais desafios no campo.

Taticchi et al. (2010) revisam a literatura sobre gestão e medição de desempenho para pequenas e médias empresas (PMEs) e grandes empresas e revelam uma lacuna na literatura sobre o tema relacionado às PMEs. Já Franco-Santos et al. (2012) abordam as consequências da medição de desempenho contemporânea no comportamento das pessoas, nas capacidades organizacionais e no desempenho em todos os níveis da organização.

Bourne et al. (2000) analisam as fases de *design*, implantação, uso e atualização dos SMDs e destacam que para manter um alinhamento com a estratégia, os SMDs devem ser revistos e atualizados continuamente. Nessa mesma linha, Nudurupati et al. (2011) revisam a literatura à época sobre o papel dos sistemas de informação gerenciais e a gestão de mudanças ao longo do ciclo de vida da medição de desempenho. Além disso, discutem os SMDs em ambientes de negócios emergentes.

No cluster 2b, o destaque é o uso do *big data* como fonte de vantagem competitiva dada a sua importância para a tomada de decisão e o direcionamento de novas pesquisas na área de *business intelligence and analytics* (BI&A).

Lavalle et al. (2011) exploram os desafios e as oportunidades associadas ao uso do *business analytics* e avaliam como as organizações mais inteligentes estão incorporando a análise de dados para transformar informações em ideias e ações, agregando valor para a tomada de decisão. Nesse sentido, Chen et al. (2012) analisam a evolução, aplicação e as áreas emergentes de pesquisa em *business intelligence and analytics* (BI&A) mostrando a sua relevância para as empresas e como o *big data analytics* pode oferecer novas direções para a pesquisa em BI&A.

Mcafee e Brynjolfsson (2012) abordam a vantagem competitiva com o uso do *big data* e seu potencial para revolucionar a gestão no processo de tomada de decisão. Conceituam três características do *big data* (volume, velocidade e variedade) e apontam a mudança na cultura de tomada de decisão como um dos maiores desafios para sua implantação. Já Mayer-

Schönberger e Cukier (2013) apresentam estudos empíricos sobre uso do *big data* e destacam o futuro potencial, as ressalvas e preocupações em relação a tecnologia. Por fim, Davenport (2014) explica como o *big data* pode ser usado pelas empresas para promover uma melhor tomada de decisão, especialmente sobre inovação.

No *cluster 2c*, os autores analisam e interpretam informações envolvendo *big data analytics* e suas derivações para descobrir padrões e identificar informações úteis para a tomada de decisão e melhoria do desempenho organizacional, principalmente da área de *supply chain management*.

Wamba et al. (2015) analisam as perspectivas de definição e as aplicações de *big data* e fornecem informações sobre a geração de valor por meio da implantação dessa tecnologia da I4.0. Nessa mesma linha, Wang et al. (2016) descrevem a importância do *big data business analytics* (BDBA) e revisam e classificam a literatura sobre a aplicação do BDBA em logística e gestão da cadeia de suprimentos. Além disso, apresentam o uso de métodos e técnicas para coletar, disseminar, analisar e usar informações oriundas do *big data*.

Waller e Fawcett (2013) mostram a importância e as implicações das pesquisas envolvendo *data science*, *predictive analytics* e *big data* para a tomada de decisões na cadeia de suprimentos. Nesse sentido, Gunasekaran et al. (2017) abordam o impacto da apropriação do *big data and predictive analytics* (BDPA) na gestão da cadeia de suprimentos e no desempenho da organização. Os resultados da pesquisa sugerem que a conectividade e compartilhamento de informações sob o efeito da mediação e comprometimento da alta gerência são positivamente relacionados à aceitação do BDPA.

Akter et al. (2016) propõe um modelo de *big data analytics capability* (BDAC) fundamentada na teoria baseada em recursos e na visão do sociomaterialismo para melhorar o desempenho das empresas. O modelo hierárquico destaca o papel da capacidade da gestão, capacidade tecnológica e talento na melhoria do desempenho da empresa. Nessa mesma base, Wamba et al. (2017) propõe um modelo de BDAC e examinam o impacto desse modelo na *firm performance* (FPER), bem como os efeitos mediadores do *process oriented dynamic capabilities* (PODC) na relação entre BDAC e FPER e descobrem que três componentes do BDAC (infraestrutura, gestão e recursos humanos) influenciam fortemente a FPER. Já Gupta e George (2016) identificam vários recursos que, em conjunto, criam uma capacidade de *big data analytics* (BDA) e verificam que essa capacidade leva a um desempenho superior da empresa. Hazen et al. (2014) introduzem o problema da qualidade dos dados no contexto da gestão da cadeia de suprimentos e propõe métodos para monitorar e controlar a qualidade dos dados, explorando diferentes teorias.

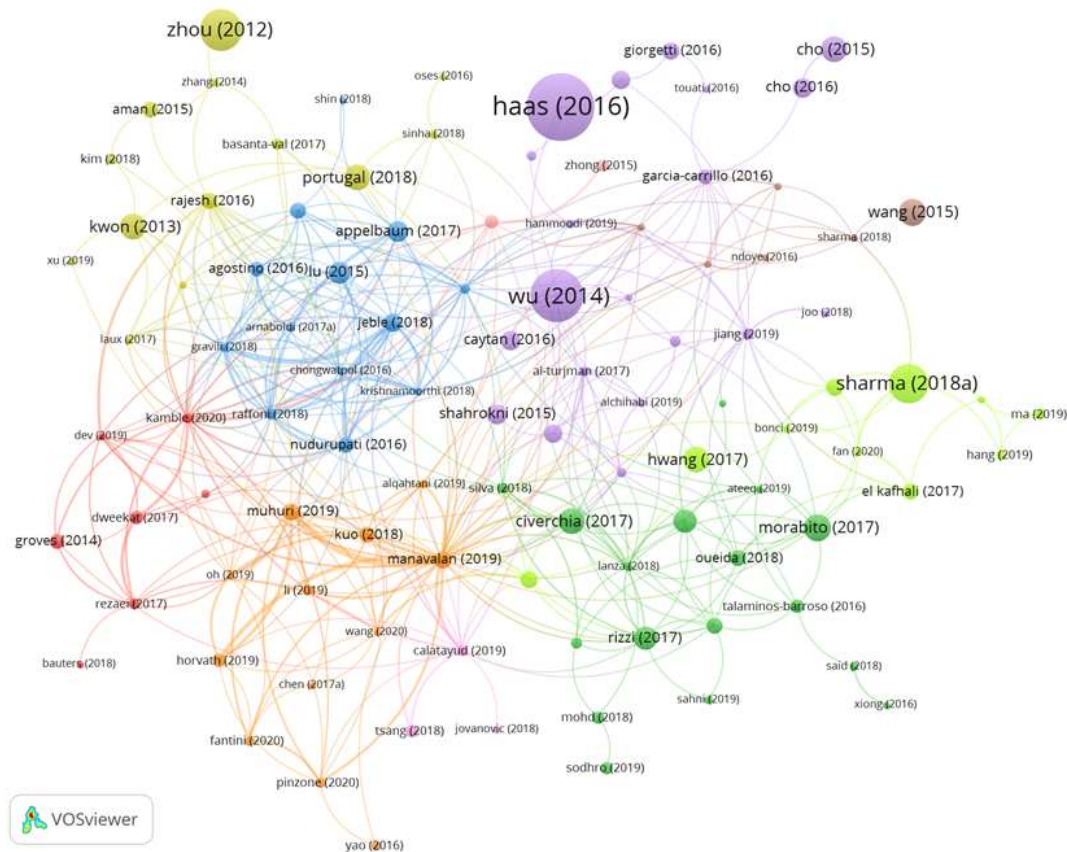
No *cluster 3*, os autores tratam dos conceitos, da evolução, dos problemas, das tendências e oportunidades relacionadas à I4.0 e suas tecnologias, bem como os princípios para sua implantação.

3.1.1.3 Acoplamento Bibliográfico de Documentos

O acoplamento bibliográfico mensura a proximidade entre dois artigos comparando suas referências e quanto maior o número de referências que compartilham, maior a similaridade entre eles, que pode ser temática, teórico, metodológica ou outra particularidade compartilhada (LUCAS; GARCIA-ZORITA; SANZ-CASADO, 2013).

A Figura 15 apresenta a rede de acoplamento bibliográfico dos documentos mais importantes da amostra formada por 103 nós (documentos), 412 *links* e 10 *clusters*. O tamanho do nó indica a quantidade de citações de cada documento da amostra e quanto maior o número de referências que os documentos compartilham, maior a força de ligação entre eles em termos da base teórica (VAN ECK; WALTMAN, 2014).

Figura 15 - Rede de acoplamento bibliográfico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da grande quantidade de citações de alguns documentos como Haas et al. (2016), Wu et al. (2014a), Zhou et al. (2012) e Sharma et al. (2018), a maior parte dos acoplamentos estão relacionados a estudos técnicos envolvendo I4.0 ou suas tecnologias. Assim, serão analisados somente os *clusters* 1 e 2, pois são os que apresentam acoplamentos mais alinhados com a área de gestão e SMDs na Indústria 4.0.

A Tabela 3 apresenta o número total de documentos dos *clusters* 1 e 2 e a temática central, elaborada a partir da análise de conteúdo dos principais documentos de cada *cluster*. O *cluster* 1 foi subdividido após a análise de conteúdo de seus artigos, pois eles abordam temáticas diferentes, apesar de apresentarem uma certa conexão, que é o fornecimento de informações para a tomada de decisão.

Tabela 3 - Classificação da literatura da análise de acoplamento bibliográfico

<i>Cluster</i>	<i>Cor do cluster</i>	<i>Número de artigos</i>	<i>Temática do cluster</i>
1a	Azul	13	Medição e gestão do desempenho com <i>business analytics</i> .
1b			<i>Big data analytics</i> no suporte à tomada de decisões em <i>supply chain management</i> .
2	Vermelho	7	Medição do desempenho em tempo real na cadeia de suprimentos usando internet das coisas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma análise mais objetiva, a Tabela 4 apresenta somente os acoplamentos mais relevantes de cada *cluster* de acordo com a força total de ligação, ou seja, a similaridade temática entre eles. Também são apresentados os documentos mais bem classificados, em termos de força total de ligação, entre os documentos de toda a rede de acoplamento bibliográfico.

Tabela 4 - Principais artigos de cada *cluster*

<i>Cluster 1a</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 1b</i>	<i>Total link strenght</i>	<i>Cluster 2</i>	<i>Total link strenght</i>
Raffoni et al. (2018)	58 (5°)	Jeble et al. (2018)	78 (2°)	Dweekat et al. (2017)	20
Nudurupati et al. (2016)	48 (6°)	Kamble e Gunasekaran (2020)	70 (3°)	Rezaei et al. (2017)	24
Krishnamoorthi e Mathew (2018)	40 (7°)	Gravili et al. (2018)	70 (3°)		
Appelbaum et al. (2017)	30 (10°)				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Análise de Conteúdo da Rede de Acoplamento Bibliográfico

A seguir foi feita uma análise de conteúdo dos documentos da Tabela 4.

No cluster 1a, os artigos são sobre o uso da *business analytics* na medição do desempenho e fornecimento de informações para a tomada de decisão. Appelbaum et al. (2017) criam um *framework Managerial Accounting Data Analytics* (MADA) baseado no *Balanced Scorecard* e utilizam *business analytics* em dados contábeis para realizar a medição de desempenho corporativo e fornecer informações para a tomada de decisão. Por sua vez, Krishnamoorthi e Mathew (2018) ampliam o uso do *business analytics* para capturar como os recursos analíticos contribuem para o desempenho dos negócios.

Existe uma forte ligação entre os estudos de Nudurupati et al. (2016) e Raffoni et al. (2018). Nudurupati et al. (2016) exploram como os modelos e práticas de PMM devem ser renovados para serem resilientes e refletirem os avanços nas economias digitais e concluem que as organizações devem incorporar a avaliação do desempenho em uma rede mais ampla, envolvendo várias partes interessadas e que elas precisam entender como os desenvolvimentos tecnológicos poderão criar vantagens competitivas. Nesse sentido, Raffoni et al. (2018) mostram que além de incentivar o diálogo, o *business performance analytics* (BPA) pode colaborar com a medição e gestão do desempenho na identificação de variáveis críticas de desempenho, fontes potenciais de risco e interdependências relacionadas. Destacam também questões críticas na implantação de abordagens baseadas em dados.

No cluster 1b, os documentos mostram a importância do *big data analytics* como suporte à tomada de decisão na gestão da cadeia de suprimentos. Kamble e Gunasekaran (2020) identificam os vários PMMs usados para avaliar o *big data-driven supply chain* (BDDSC) e propõe um SMD do BDDSC que guiará os gerentes a ter um SMD robusto.

Jeble et al. (2018) e Gravili et al. (2018) são os mais fortemente acoplados entre os documentos de todos os *clusters*. Jebble et al. (2018) desenvolvem um modelo teórico para explicar o impacto do *big data* e *big data and predictive analytics* (BDPA) nas metas de desenvolvimento sustentável de negócios da organização e para guiar pesquisas sobre o processo de geração do *big data*. Já Gravili et al. (2018) examinam a influência do *digital divide* (DD) e da *digital alphanetization* (DA) nesse processo e buscam obter informações sobre como o *big data* poderia ser útil na tomada de decisões na gestão da cadeia de suprimentos.

No cluster 2, os dois artigos apresentam uma grande semelhança teórica e tratam do uso da internet das coisas nos SMDs para a gestão da cadeia de suprimentos.

Dweekat et al. (2017) apresentam a prática na cadeia de suprimentos e descrevem como

a abordagem proposta pode ajudar a desenvolver SMDs e aplicativos habilitados pela IoT. Esses SMDs podem ser usados para gerenciar a cadeia de suprimentos em tempo real de forma mais integrada e cooperativa. Nesse sentido, Rezaei et al. (2017) desenvolvem um *framework* baseado na IoT para medição do desempenho da cadeia de suprimentos com alinhamento das decisões estratégicas e operacionais em tempo real.

3.1.2 Principais Conclusões da Análise Bibliométrica e Mapeamento Científico

Os resultados da análise bibliométrica e mapeamento científico da produção revelaram impactos positivos das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Com o uso das tecnologias da I4.0 é possível ter SMDs mais autônomos e heterogêneos, com medidas de desempenho capazes de capturar contextos locais do ambiente e uma ampla gama de fenômenos do ambiente externo e a análise de uma grande quantidade e variedade de dados contribuirá na descoberta de padrões que auxiliarão os tomadores de decisão.

Uma tendência significativa é a integração das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento de SMDs inteligentes que forneçam informações adequadas para a tomada de decisões em tempo real com extensão para toda a cadeia de suprimentos. A utilização nos SMDs de informações adequadas fornecidas pela aplicação de *big data analytics* e a interconectividade digital da internet das coisas são essenciais nesse processo. O interesse pelos pesquisadores pela área de *supply chain* mostra que a aplicação estratégica das tecnologias da I4.0 na gestão da cadeia de suprimentos possibilita a ampliação da avaliação do desempenho em uma rede mais ampla considerando toda cadeia de valor. O monitoramento contínuo do desempenho dessa rede feita pelos novos SMDs é essencial em um ambiente dinâmico com alta complexidade, incerteza e variabilidade.

3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

Apesar de algumas tecnologias da I4.0 terem potencial para o aperfeiçoamento dos SMDs, a literatura científica ainda carece de pesquisas que possam divulgar um quadro completo da contribuição dessas tecnologias para os SMDs (KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019; NUDURUPATI; TEBBOUNE; HARDMAN, 2016). Estudos também mostram que o processo de implantação de tecnologias da I4.0 é complexo e enfrenta uma série de barreiras (DALENOGARE et al., 2018; LUTHRA; MANGLA, 2018). Diante disso, a definição de um conjunto de facilitadores relevantes para esse processo é uma estratégia

inicial que pode facilitar o direcionamento de ações e recursos e tornar o processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs mais rápido e eficaz para a organização. Considerando essas duas lacunas na literatura, o objetivo do segundo trabalho, foi realizar uma RSL para **identificar, selecionar e analisar os estudos envolvidos na contribuição das tecnologias da Indústria 4.0 no desenvolvimento dos SMDs e os facilitadores envolvidos no processo de implantação dessas tecnologias nos SMDs.**

Cabe destacar que esta subseção é continuidade ao estudo desenvolvido por Lopes e Martins (2021), pois visa estudar a literatura com mais foco sobre o assunto pesquisado, com aplicação de outro método de análise, e ainda identificar na literatura os facilitadores mais relevantes que podem impulsionar a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

A RSL proposta nesse segundo trabalho foi dividida em duas partes e cada parte foi efetuada em momentos distintos. A primeira parte da RSL que envolve identificar, selecionar e analisar os estudos que envolvem a contribuição das tecnologias da I4.0 para os SMDs está detalhada no artigo Lopes e Martins (2022) e foi orientada por três questões de pesquisa: **(RQ1) na literatura existente, quais os estudos que envolvem a contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs? (RQ2) qual a evolução em termos de produção científica relacionada a esses estudos? (RQ3) quem está desenvolvendo esses estudos, quando e onde?** A segunda parte do trabalho que envolve identificar, selecionar e analisar os facilitadores envolvidos no processo para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, já produzida e enviada para publicação, foi orientada por duas questões de pesquisa: **(RQ1) na literatura existente, quais estudos estão contribuindo para a implantação da I4.0 nos SMDs? (RQ2) quais os facilitadores envolvidos no processo para implantação das tecnologias digitais da I4.0 nos SMDs?**

Algumas etapas da RSL são comuns as duas partes desse segundo trabalho, porém a coleta de dados da primeira parte da RSL para elaboração do artigo Lopes e Martins (2022) foi realizada no dia 01/02/2022 e a coleta de dados da segunda parte da RSL foi realizada no dia 01/10/2022, assim para agrupar e sintetizar as duas partes desse segundo trabalho e facilitar a sua compreensão, a primeira parte da RSL foi também atualizada até o dia 01/10/2022, sendo assim alguns resultados apresentados nesta tese podem não ser exatamente iguais aos do artigo de Lopes e Martins (2022).

A RSL pode ser definida como um processo em que o pesquisador coleta, compreende, analisa, sintetiza e avalia um conjunto de artigos científicos com o objetivo de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) de modo a permitir conclusões claras e confiáveis sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado (CONFORTO; AMARAL;

SILVA, 2011; DENYER; TRANFIELD, 2009). A RSL não é apenas uma revisão de publicações anteriores, mas sim uma revisão que responde a questões específicas, e que difere das revisões tradicionais, pois adota um processo de revisão metódico, abrangente, transparente e replicável, assim para a condução desse tipo de pesquisa é utilizado um conjunto de passos bem definidos e planejados de acordo com um protocolo previamente estabelecido (BIOLCHINI et al., 2007; SIDDAWAY; WOOD; HEDGES, 2019; THOMÉ; SCAVARDA; SCAVARDA, 2016)

A RSL do segundo trabalho seguiu as fases e passos definidos no Quadro 5 e foi baseada no procedimento adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011) e Denyer e Tranfield (2009).

Quadro 5 - Etapas da revisão sistemática da literatura

Fases		Passos	Aplicação na Pesquisa
Planejamento da Pesquisa		Identificação da necessidade de uma revisão da literatura	Definição do objetivo e das questões de pesquisa
		Desenvolvimento de um protocolo da revisão da literatura	Definição das fontes, tipos de documentos, palavras chaves, critérios de inclusão e exclusão
Condução	Coleta e seleção	Localização e coleta dos documentos	Busca de documentos nas fontes e indexadores científicos de acordo com o protocolo estabelecido
		Seleção dos documentos relevantes para a pesquisa	Leitura de títulos e resumos, aplicação de critérios de inclusão e exclusão
	Análise	Extração de dados	Extrair e armazenar informações nos formulários de extração de dados
		Síntese dos dados	Análise de conteúdo. Similaridades e diferenças entre os estudos serão destacadas
Resultados		Apresentação e análise dos resultados encontrados	Apresentação e discussão das descobertas.

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011) e Denyer e Tranfield (2009).

Nesta fase do estudo, os dois indexadores científicos utilizados para coleta de dados foram *Scopus* e *Web of Science*. Essa escolha ampliou a base de coleta de dados utilizada no trabalho de Lopes e Martins (2021). Além disso, uma abordagem *snowball* também foi adotada para garantir que uma quantidade maior de documentos fosse encontrada.

O Quadro 6 apresenta o protocolo de coleta de dados para a RSL nos indexadores científicos *Web of Science* e *Scopus*. A coleta de dados foi realizada no dia 01/10/2022.

Cabe destacar que as tecnologias da I4.0 escolhidas como termos de busca no Grupo 1 do protocolo de coleta de dados, são as que estão mais associadas aos SMDs, de acordo com os resultados da análise bibliométrica e mapeamento científico da literatura realizado na subseção 3.1. e do trabalho de Lopes e Martins (2021).

Quadro 6 - Protocolo da coleta de dados nos indexadores científicos *Web of Science e Scopus*

Filtros	Especificações
Tipo de documento	<i>Articles, Conference Paper, Proceedings Paper, Review, Book, Book Chapter, Early Access</i>
Termos de busca pesquisados	Grupo 1: <i>industry 4.0; smart manufactur*; smart factor*; digital manufactur*; cyber-physical system*; cyber physical system*; digitalization; digitalisation; digital ubiquity; internet of things; big data*; cloud computing</i> Grupo 2: <i>performance measur*; performance metric*; key-performance indicator*; measur* performance; performance indicator*; KPI*</i>
Operador boleano	AND entre grupos. OR entre os termos de busca
Campos de busca	Título, resumo e palavras-chave
Indexadores Científicos	<i>Web of Science e Scopus</i>
Áreas de pesquisa	Web of Science: <i>Engineering or Business Economics or Operations Research Management Science.</i> Na seleção dessas áreas, utilizou-se a opção “Refinar”. Scopus: <i>Business, Management and Accounting or Decision Sciences or Engineering, Economics, Econometrics and Finance.</i> Na seleção dessas áreas, utilizou-se a opção “Limited to”.
Idiomas	Inglês, espanhol ou português.
Anos de publicação	Sem janela de tempo.
Observações	As palavras apresentadas nos termos de busca foram pesquisadas no título, resumo e palavras-chave dos documentos. O símbolo * em alguns termos de busca pesquisados significa que o sufixo dessas palavras pode variar, por isso esse recurso foi utilizado para abranger derivações dos termos de busca e aumentar o retorno de documentos.

Fonte: Adaptado de Leite (2012).

Para selecionar os estudos de maior relevância e auxiliar adequadamente no esclarecimento das questões de pesquisa, após a coleta de dados foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão do Quadro 7 nos documentos selecionados.

Quadro 7 - Critérios de inclusão e exclusão e suas explicações

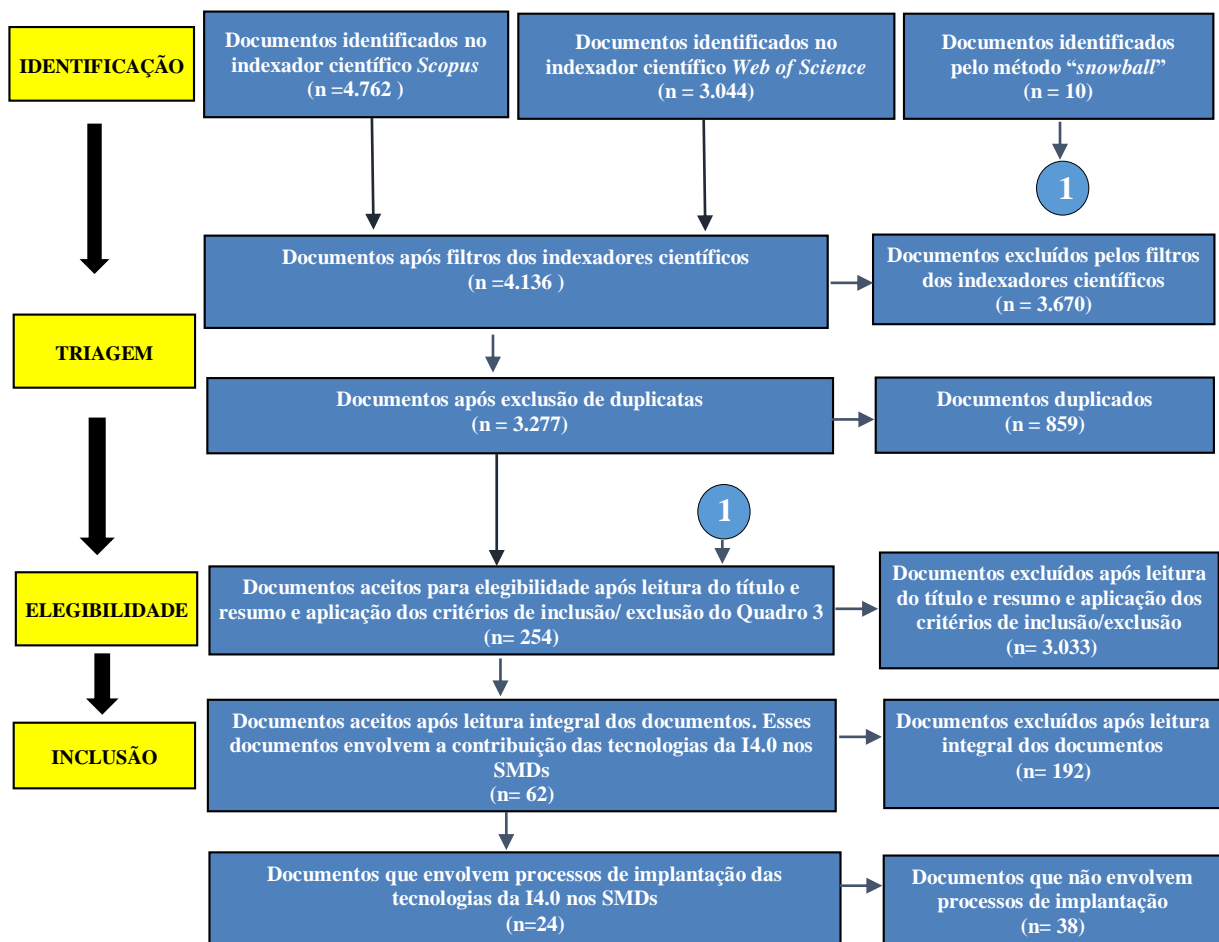
I/E	Critério	Explicação do critério
Exclusão	Sem texto completo (STC)	STC1- O documento não apresenta texto completo a ser avaliado, possui conteúdo ou resultados incompletos ou não está disponível em formato eletrônico na web para <i>download</i> .
	Não relacionado (NR)	NR-1: O documento não é um artigo acadêmico ou é curto. Por exemplo, pôsteres, materiais editoriais, prefácios.
	Pouco relacionado (PR)	PR-1: O documento trata a questão do desempenho relacionado a utilização de indicadores, medidas, métricas e KPIs para expressar o desempenho de tecnologias ou mesmo da I4.0.
		PR-2: O documento trata os SMDs e as tecnologias da I4.0 de forma isolada ou associados a outros campos de pesquisa, por exemplo, Indústria 4.0 e <i>Supply Chain</i> .
	PR-3: Os termos SMD ou Indústria 4.0 somente aparecem nas palavras-chave ou no resumo.	
Inclusão	Parcialmente relacionado (PaR)	PaR-1: A contribuição das tecnologias da I4.0 nos SMDs é um dos vários objetos que devem ser revisados, pesquisados ou discutidos.
	Totalmente relacionado (TR)	TR- Os esforços de pesquisa do documento são explicitamente e especificamente dedicados a contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs.

Fonte: Adaptado de Liao et al. (2017).

A Figura 16 mostra um fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*) elaborado para dar uma visão geral e relatar as diferentes fases da coleta e seleção de dados da RSL (MOHER et al., 2009).

Os documentos foram localizados por meio de uma busca nos indexadores científicos *Scopus* e *Web of Science* e realizada de acordo com o protocolo de coleta estabelecido no Quadro 6. Os documentos identificados foram coletados e transportados para a ferramenta computacional *StArt* (*State of the Art through Systematic Reviews*) que auxiliou na organização e triagem dos documentos selecionados e na geração de relatórios (FABBRI et al., 2016). O pacote bibliográfico *Mendeley* também foi útil no gerenciamento das referências.

Figura 16 - Fluxograma PRISMA com as diferentes fases da RSL



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o processo de seleção dos documentos, foram encontrados **62 documentos** que envolvem a contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs. Dentre esses 62 documentos, foram encontrados **24 documentos** que envolvem processos de implantação dessas tecnologias nos SMDs.

3.2.1 Discussão dos Resultados da RSL

Como descrito anteriormente, nesta tese são discutidos apenas os resultados mais relevantes para a pesquisa. O detalhe sobre todas as análises realizadas na primeira parte da RSL estão disponíveis no artigo Lopes e Martins (2022) e os detalhes da segunda parte da RSL estarão disponíveis em um artigo que futuramente será publicado.

Na subseção 3.2.1.1, são apresentados os resultados da primeira parte da RSL, após análise dos 62 documentos envolvendo a contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs. Em seguida, na subseção 3.2.1.2, são apresentados os resultados da segunda parte da RSL, após análise dos 24 documentos envolvendo a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs

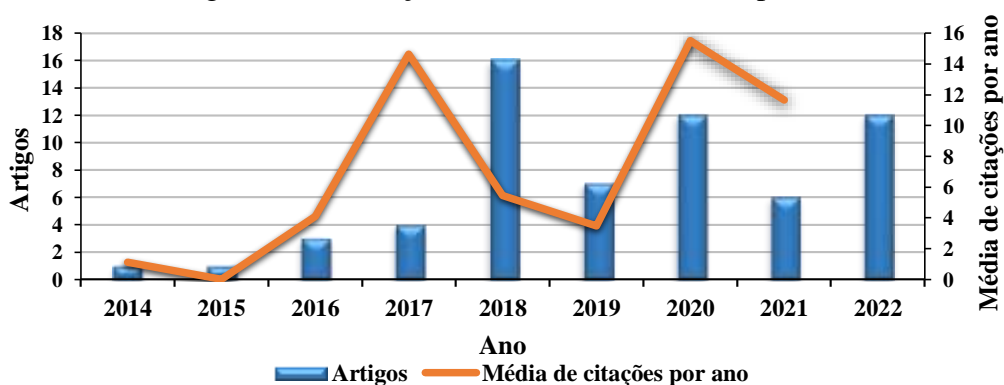
3.2.1.1 Contribuição das Tecnologias da I4.0 no Desenvolvimento dos SMDs

A análise dos metadados dos 62 documentos encontrados foi feita com o uso do pacote R *Bibliometrix* rodado no software *RStudio* com interface *Biblioshiny* para tratamento e execução de parte das análises bibliométricas.

A Figura 17 apresenta a evolução do número de publicações ao longo do tempo dos 62 documentos selecionados na RSL e seu impacto, em termos de média de citações por ano. Essa métrica é a razão entre a média de citações dos artigos publicados no ano dividido pelo número de anos que os artigos foram publicados. Assim, há uma compensação do tempo em que as publicações estão ativas e a comparação entre os anos é mais adequada.

Pode-se observar na Figura 17 que o maior número de publicações entre 2018 e 2022 indicam um aumento do interesse de pesquisadores e profissionais no uso das tecnologias da I4.0 nos SMDs nos últimos anos. Observa-se ainda um maior impacto nos anos de 2017 e 2020. Os artigos que mais causaram impacto no período são Hwang et al. (2017), Appelbaum et al. (2017) e Kamble et al. (2020) com 109, 107 e 101 citações respectivamente.

Figura 17 - Produção científica anual e seu impacto



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 complementa a Figura 17 e apresenta algumas informações dos documentos que envolvem a contribuição das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs encontrados na RSL como: o número atribuído ao documento dentro do estudo, os autores e ano de publicação, o título do documento, o total de citações (TC) e na última coluna o resultado da análise se o documento trata também de um processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Tabela 5 - Documentos obtidos na RSL

(continua)				
Nº	Referência	Título	TC	Implantação
1	Supekar et al. (2019)	A framework for quantifying energy and productivity benefits of smart manufacturing technologies	5	✓
2	Duarte et al. (2018)	A framework to integrate performance measurement systems with data analytics	1	✓
3	Leitão et al. (2019)	A Lightweight Dynamic Monitoring of Operational Indicators for a Rapid Strategical Awareness	0	✓
4	Mahmood et al. (2018)	A Performance Evaluation Concept for Production Systems in an SME Network	9	
5	Kamble et al. (2020)	A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation	101	
6	Wang et al. (2021)	A proactive manufacturing resources assignment method based on production performance prediction for the smart factory	9	✓
7	Choi e Seo (2020)	A Real-Time Physical Progress Measurement Method for Schedule Performance Control Using Vision, an AR Marker and Machine Learning in a Ship Block Assembly Process	5	✓
8	Gawankar, Gunasekaran e Kamble (2020)	A study on investments in the big data-driven supply chain, performance measures and organisational performance in Indian retail 4.0 context	70	
9	Dweekat, Hwang e Park (2017)	A supply chain performance measurement approach using the internet of things Toward more practical SCPMS	48	
10	García-Miranda et al. (2018)	AIRPORTS Metrics: A Big Data application for computing flights' performance indexes based on flown trajectories	2	✓
11	Hwang et al. (2018)	An IoT data anomaly response model for smart factory performance measurement	3	
12	Dweekat e Al-Aomar (2018)	An IoT-Enabled Framework for Dynamic Supply Chain Performance Management	6	
13	Hofmann et al. (2019)	Augmented Go & See: An approach for improved bottleneck identification in production lines	14	
14	Bauters et al. (2018)	Automated work cycle classification and performance measurement for manual work stations	22	
15	Ilmudeen (2021)	Big data analytics capability and organizational performance measures: The mediating role of business intelligence infrastructure	1	
16	Sardi et al. (2020)	Big data and performance measurement research: trends, evolution and future opportunities	19	
17	Kamble e Gunasekaran (2020)	Big data-driven supply chain performance measurement system: a review and framework for implementation	79	
18	Krishnamoorthi e Mathew (2018)	Business analytics and business value: A comparative case study	39	
19	Raffoni et al. (2018)	Business Performance Analytics: exploring the potential for Performance Management Systems	32	
20	Mello e Martins (2019)	Can Big Data Analytics Enhance Performance Measurement Systems?	11	✓
21	Lindegren et al. (2022)	Combining simulation and data analytics for OEE improvement	0	✓

Tabela 5 - Documentos obtidos na RSL

(continua)				
Nº	Referência	Título	TC	Implantação
22	Nudurupati, Tebboune e Hardman (2016)	Contemporary performance measurement and management (PMM) in digital economies	49	
23	Mörth et al. (2020)	Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics	26	✓
24	Giusti et al. (2018)	Data analytics and production efficiency evaluation on a flexible manufacturing cell	5	✓
25	Parhi, Joshi e Akarte (2022)	Decision-making in smart manufacturing: A framework for performance measurement	2	
26	Ante et al. (2018)	Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems	40	✓
27	Hwang et al. (2017)	Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment	109	✓
28	Bhadani et al. (2020)	Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation	14	✓
29	Morella et al. (2020)	Development of a New KPI for the Economic Quantification of Six Big Losses and Its Implementation in a Cyber Physical System	2	✓
30	Yadav, Garg e Luthra (2020)	Development of IoT based data-driven agriculture supply chain performance measurement framework	24	
31	Kloviene e Uosyte (2019)	Development of Performance Measurement System in the Context of Industry 4.0: a Case Study	7	✓
32	Rasool, Grego e Grimaldi (2021)	Digital supply chain performance metrics: a literature review	6	
33	Korsen e Ingvaldsen (2021)	Digitalisation and the performance measurement and management system: reinforcing empowerment	1	✓
34	Jeble et al. (2018)	Impact of big data and predictive analytics capability on supply chain sustainability	87	
35	Appelbaum eta al. (2017)	Impact of business analytics and enterprise systems on managerial accounting	107	
36	Venuta et al. (2021)	Implementation of IoT Platforms Dashboards for the Visualisation of Dynamic KPIs: Insights from a Case Study	0	✓
37	Raji et al. (2021)	Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation	13	
38	Stadnicka et al. (2018)	Information management and decision making supported by an intelligence system in kitchen fronts control process	13	
39	El Abdellaoui et al. (2019)	Integrated decision process to design manufacturing systems towards industry 4.0	2	
40	Xie et al. (2020)	Intelligent supply chain performance measurement in Industry 4.0	23	
41	Dweekat e Park (2016)	Internet of Things-Enabled Supply Chain Performance Measurement Model	0	
42	Rezaei, Shirazi e Karimi (2017)	IoT-based framework for performance measurement A real-time supply chain decision alignment	35	
43	Mello, Leite e Martins (2014)	Is big data the next big thing in performance measurement systems?	10	
44	Samir et al. (2018)	Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems	7	✓
45	Zhou, Wang e Chua (2020)	Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment	1	✓
46	Lopes e Martins (2021)	Mapping the Impacts of Industry 4.0 on Performance Measurement Systems	8	
47	Kibira, Morris e Kumaraguru (2016)	Methods and tools for performance assurance of smart manufacturing systems	27	
48	Dev et al. (2019)	Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply chain with consideration of big data architecture	34	✓
49	Demartini e Taticchi (2021)	Performance measurement and management. A literature review focussed on the role played by management theories with a deep dive into the industry 4.0 environment	2	

Tabela 5 - Documentos obtidos na RSL

N°	Referência	Título	TC	(conclusão)
				Implantação
50	Hidalgo Martins et al. (2022)	Performance measurement based on machines data: Systematic literature review	1	
51	Frederico et al. (2020)	Performance measurement for supply chains in the Industry 4.0 era: a balanced scorecard approach	35	
52	Tambare et al. (2022)	Performance measurement system and quality management in data-driven industry 4.0: A review	11	
53	Saez et al. (2018)	Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things	60	✓
54	Mahmoodpour et al. (2018)	Role-based visualization of industrial IoT-based systems	6	✓
55	Parhi, Joshi e Akarte (2021)	Smart manufacturing: a framework for managing performance	13	
56	Govindan et al. (2022)	Supply Chain 4.0 performance measurement: A systematic literature review, framework development, and empirical evidence	1	
57	Khan, Chaabane e Dweiri (2020)	Supply chain performance measurement systems: A qualitative review and proposed conceptual framework	9	
58	Gravili et al. (2018)	The influence of the Digital Divide on Big Data generation within supply chain management	23	
59	Naeem e Garengo (2022)	The interplay between industry 4.0 maturity of manufacturing processes and performance measurement and management in SMEs	2	
60	Thekkoote (2021)	Understanding big data-driven supply chain and performance measures for customer satisfaction	2	
61	De Mello; Xavier e Martins (2015)	Use of big data analytics in performance measurement systems	1	✓
62	Lambán et al. (2022)	Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system	1	✓

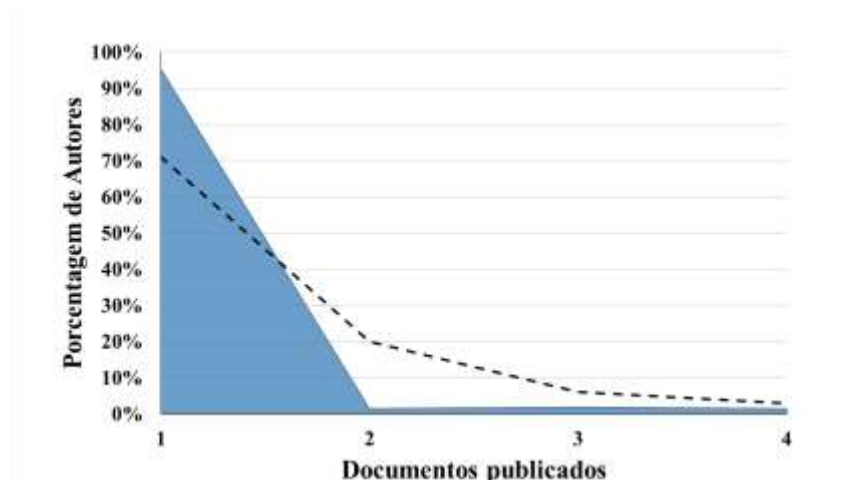
Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos 10 documentos mais citados da Tabela 5 mostra que o documento de maior impacto é “*Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment*” de Hwang et al. (2017), com 109 citações. Esse artigo trata da aplicação da internet das coisas para capturar dados em tempo real utilizados em indicadores de desempenho no processo de produção. Appelbaum et al. (2017) propõem o *framework Managerial Accounting Data Analytics* (MADA), baseado no *Balanced Scorecard*, que utiliza *business analytics* na medição de desempenho corporativo para fornecer informações de qualidade para a tomada de decisão. Kamble et al. (2020) identificam medidas de desempenho relevantes e propõem um SMD para orientar e avaliar os investimentos em sistemas de manufatura inteligentes para médias, pequenas e microempresas. Jeble et al. (2018) desenvolvem um modelo teórico para explicar o impacto do *big data and predictive analytics* (BDPA) em três medidas de desempenho de sustentabilidade na cadeia de suprimentos. Kamble e Gunasekaran (2020) identificam as várias medidas de desempenho usadas para avaliar o *big data-driven supply chain* (BDDSC) e propõem um SMD da cadeia de suprimentos baseada em BDDSC que pode prever o desempenho futuro e apoiar a tomada de decisão proativa nas

organizações. Gawankar, Gunasekaran e Kamble (2020) investigam como as tecnologias digitais da I4.0 influenciam as medidas de desempenho e transformam as cadeias de suprimentos tradicionais, bem como o efeito dessas transformações sobre o desempenho organizacional. Saez et al. (2018) desenvolvem um *framework* que permite a avaliação e comparação, por meio de simulação, do desempenho de sistemas de manufatura complexos em ambientes reais e virtuais em tempo real. Nudurupati, Tebboune e Hardman (2016) exploram como os modelos e práticas de PMM devem acompanhar os avanços nas economias digitais e concluem que as organizações precisam entender como os desenvolvimentos tecnológicos poderão criar vantagens competitivas e também como incorporar a avaliação do desempenho em uma rede mais ampla, envolvendo vários *stakeholders*. Dweekat, Hwang e Park (2017) tratam do uso da internet das coisas nos SMDs para a gestão da cadeia de suprimentos em tempo real e propõem uma abordagem mais prática para selecionar atributos estratégicos da cadeia de suprimentos e escolher métricas de desempenho do ponto de vista dos dados. Ante et al. (2018) propõem uma estrutura hierárquica de KPIs, nos níveis estratégico, tático e operacional, para descrever o SMD de um sistema de manufatura enxuta da indústria automotiva auxiliado por tecnologias da I4.0.

A Lei de Lotka prevê que uma pequena quantidade de autores tende a publicar uma grande quantidade artigos num domínio. Isso geralmente ocorre quando o campo atinge maturidade com o estabelecimento dos principais autores (LEIMKUHNER; CHEN, 1986; OSAREH; MOSTAFAVI, 2011). A Figura 18 oferece uma comparação entre a produtividade dos autores do campo com o modelo da Lei de Lotka para os dados da amostra.

Figura 18 – Lei de Lotka para autores sobre a temática da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área escura da Figura 18 representa a frequência da porcentagem de autores da amostra que publicaram um, dois ou mais artigos. A linha tracejada representa a frequência

esperada de acordo com a Lei de Lotka. A amostra de documentos selecionados na RSL apresenta uma frequência, além da esperada devido aos autores "ocasionais", i.e., aqueles que publicaram apenas um documento (95,3% do total) e menor que a esperada para autores que publicaram dois ou mais documentos. O resultado evidencia que não existem autores com alta produtividade em relação a temática desta pesquisa, típica característica de um campo em desenvolvimento. Complementando a Figura 18, a Tabela 6 apresenta os autores dos documentos da RSL com mais de três publicações.

Tabela 6- Autores mais produtivos da amostra

Autor	País da instituição do autor	Artigos	Artigos fracionados	Total de citações
Jinwoo Park	Coréia do Sul	4	1,28	160
Abdallah Dweekat	Coréia do Sul	4	1,53	57
Roberto Martins	Brasil	4	1,67	28
Hwang Gyusun	Coréia do Sul	3	0,78	154
Angappa Gunasekaran	E.U.A.	3	1,08	250
Sachin Kamble	Índia	3	1,08	150
Raquel Mello	Brasil	3	1,17	20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 6 que os resultados corroboram com os estudos de Lopes e Martins (2021) e mostram que o campo de pesquisa está em desenvolvimento. Os autores mais produtivos são Jinwoo Park e Abdallah Dweekat, pesquisadores da *Seoul National University*, na Coréia do Sul e Roberto A. Martins, pesquisador da Universidade Federal de São Carlos, no Brasil. Jinwoo Park e Abdallah Dweekat são coautores juntamente com Hwang Gyusun em três documentos que envolvem pesquisas sobre medição de desempenho da manufatura e da cadeia de suprimentos habilitada pela internet das coisas. Angappa Gunasekaran causou o maior impacto com 250 citações, sendo que seu artigo mais citado (101 citações) foi “*Performance Measurement System for Industry 4.0 Enabled Smart Manufacturing System in SMMES- A Review and Empirical Investigation*” (KAMBLE et al., 2020).

A Tabela 7 apresenta as fontes em que os autores dos documentos selecionados publicaram sua produção com o total de documentos publicados e respectivo impacto em termos de citações. Foram consideradas somente as fontes com mais de dois documentos publicados. Observa-se na Tabela 7 que não existe uma fonte com produção destacada e que existe um equilíbrio entre o número de documentos publicados em fontes ligadas as áreas técnicas como Engenharia, Tecnologia e Ciência da Informação e o número de documentos publicados em fontes mais próximas as áreas de gestão, principalmente a gestão das operações.

Contudo, os documentos publicados nas fontes da área de gestão possuem maior impacto, como o periódico *International Journal of Production Research*, conceituado nas áreas de manufatura, engenharia industrial, pesquisa operacional e gestão, é o periódico com maior impacto com 252 citações.

Tabela 7 – As fontes com maior número de publicações

Fontes	Documentos	Total de citações
International Journal of Productivity and Performance Management	4	40
International Journal of Production Research	3	252
International Journal of Logistics Management	3	123
Computers and Industrial Engineering	3	61
Procedia CIRP	3	21
Industrial Management and Data Systems	2	83
Production Planning and Control	2	81
Measuring Business Excellence	2	25
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	2	15

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 apresenta informações sobre localização geográfica das instituições dos autores dos documentos selecionados na RSL. Observa-se que cerca de 71% dos documentos selecionados são de autores de instituições europeias. Observa-se no mapa que na Europa existe um interesse de vários países pela temática dessa pesquisa, sendo que os principais são Itália e Reino Unido com 16,1% (10 artigos) e 14,5% (9 artigos) respectivamente. Na Ásia, a Índia e a Coreia do Sul são os países mais relevantes com 17,7% (11 artigos) e 11,3% (7 artigos) respectivamente. Nas Américas, as instituições estão concentradas nos Estados Unidos e Brasil com 14,5% (9 artigos) e 11,3% (7 artigos) respectivamente.

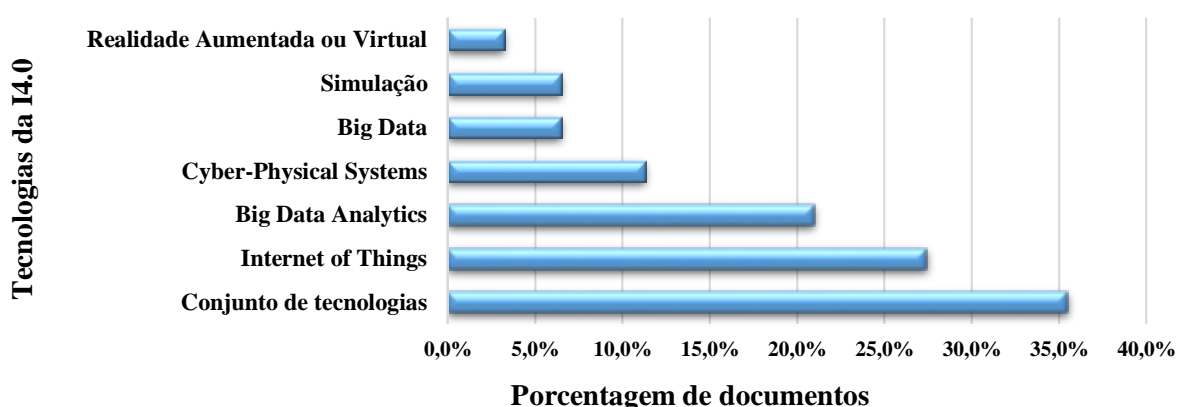
Figura 19 – Localização geográfica das instituições dos autores dos documentos selecionados na RSL



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 apresenta as principais tecnologias da I4.0 que podem contribuir para o desenvolvimento dos SMDs encontradas nos 62 documentos selecionados na RSL. Alguns documentos empregam mais de duas tecnologias da I4.0, principalmente naqueles que envolvem *smart manufacturing*. Nesses casos foi considerado que esses estudos utilizam um “conjunto de tecnologias”.

Figura 20 – Tecnologias da I4.0 encontradas nos 62 documentos selecionados na RSL



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 mostra que as tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs são: *internet of things*, *big data analytics* e *cyber-physical systems*, *big data*, simulação, realidade aumentada ou virtual. Nessa lista, destacam-se as tecnologias *internet of things* e *big data analytics*, presentes exclusivamente em 27,4% e 21% dos documentos selecionados respectivamente. Como descrito na subseção 2.4, estas duas tecnologias possuem um enorme potencial de melhorar os processos dos SMDs, principalmente a coleta e processamento dos dados e o gerenciamento das informações em tempo real, bem como a análise inteligente dos dados para a tomada de decisão. Esses resultados estão bem próximos daqueles encontrados por Lopes e Martins (2021).

O Quadro 8 complementa a Figura 20 e apresenta as tecnologias da I4.0 abordadas em cada documento selecionado na RSL.

Quadro 8 – Tecnologias da I4.0 abordadas nos 62 documentos selecionados na RSL

Nº	Referência	Conjunto de tecnologias	Internet das coisas	Big Data Analytics	Cyber-Physical Systems	Big Data	Simulação	Realidade Aum. ou Virtual
1	Supekar et al. (2019)				•			
2	Duarte et al. (2018)			•				
3	Leitão et al. (2019)	•						
4	Mahmood et al. (2018)		•					
5	Kamble et al. (2020)	•						
6	Wang et al. (2021)	•						
7	Choi e Seo (2020)		•					•
8	Gawankar, Gunasekaran e Kamble (2020)		•	•				
9	Dweekat, Hwang e Park (2017)		•					
10	García-Miranda et al. (2018)					•		
11	Hwang et al. (2018)		•					
12	Dweekat e Al-Aomar (2018)		•					
13	Hofmann et al. (2019)							•
14	Bauters et al. (2018)		•		•			
15	Ilmudeen (2021)			•				
16	Sardi et al. (2020)					•		
17	Kamble e Gunasekaran (2020)			•				
18	Krishnamoorthi e Mathew (2018)			•				
19	Raffoni et al. (2018)			•				
20	Mello e Martins (2019)			•				
21	Lindegren et al. (2022)						•	
22	Nudurupati, Tebboune e Hardman (2016)	•						
23	Mörth et al. (2020)		•		•			
24	Giusti et al. (2018)		•					
25	Parhi, Joshi e Akarte (2022)	•						
26	Ante et al. (2018)	•						
27	Hwang et al. (2017)		•					
28	Bhadani et al. (2020)						•	
29	Morella et al. (2020)		•		•			
30	Yadav, Garg e Luthra (2020)		•			•		
31	Kloviene e Uosyte (2019)	•						
32	Rasool, Grego e Grimaldi (2021)	•						
33	Korsen e Ingvaldsen (2021)	•						
34	Jeble et al. (2018)				•			
35	Appelbaum eta al. (2017)				•			
36	Venuta et al. (2021)		•					
37	Raji et al. (2021)	•						
38	Stadnicka et al. (2018)				•			
39	El Abdellaoui et al. (2019)	•						
40	Xie et al. (2020)	•						
41	Dweekat e Park (2016)		•					
42	Rezaei, Shirazi e Karimi (2017)		•					
43	Mello, Leite e Martins (2014)					•		
44	Samir et al. (2018)				•			
45	Zhou, Wang e Chua (2020)	•						
46	Lopes e Martins (2021)	•						
47	Kibira, Morris e Kumaraguru (2016)	•						
48	Dev et al. (2019)						•	
49	Demartini e Taticchi (2021)	•						
50	Hidalgo Martins et al. (2022)		•					
51	Frederico et al. (2020)	•						
52	Tambare et al. (2022)	•						
53	Saez et al. (2018)						•	
54	Mahmoodpour et al. (2018)		•					
55	Parhi, Joshi e Akarte (2021)	•						
56	Govindan et al. (2022)	•						
57	Khan, Chaabane e Dweiri (2020)	•						
58	Gravili et al. (2018)			•				
59	Naeem e Garengo (2022)	•						
60	Thekkoote (2021)			•				
61	De Mello; Xavier e Martins (2015)			•				
62	Lambán et al. (2022)				•			

3.2.1.2 Facilitadores no Processo de Implantação das Tecnologias da I4.0 nos SMDs

Observa-se na Tabela 5 que foram selecionados na RSL 24 documentos que contribuem para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Conforme a Tabela 8, desses 24 documentos selecionados, 15 documentos tratam diretamente de pesquisas relacionadas a implantação das tecnologias da I4.0 em SMDs no setor industrial e 1 documento no setor de serviços. Os outros 8 documentos tratam de estudos sobre implantação das tecnologias da I4.0 em SMDs realizados em laboratórios de aprendizagem de instituições de ensino ou em ambientes controlados e específicos para testes/treinamento dentro de indústrias. Embora esses últimos documentos tratem a implantação em pequena escala e não apresentem estudos aprofundados sobre o assunto, eles também foram selecionados para análise, pois podem trazer informações importantes para essa pesquisa exploratória, assim como o documento envolvendo o setor de serviço.

Tabela 8 – Setores de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs dos 24 documentos da RSL

Setor de implantação	Número de documentos	Referência (Tabela 5)
Indústria	15	1, 2, 3, 6, 7, 20, 21, 26, 28, 31, 33, 36, 44, 45, 61
Serviço	1	10
Indústria (Ambiente controlado para testes e treinamentos) ou Instituições de ensino (Laboratório de aprendizagem)	8	23, 24, 27, 29, 48, 53, 54, 62

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a análise de conteúdo dos 24 documentos que envolvem implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs da Tabela 5, foi feito o levantamento dos facilitadores (fatores que colaboram para que os resultados sejam alcançados) mais relevantes nesse processo. Após esse levantamento, fatores (facilitadores) econômicos, gerenciais e normativos/governamentais, reconhecidamente relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nas organizações, não foram apontados nos 24 documentos selecionados da RSL, portanto para que esses fatores fossem considerados também no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, foi feita uma pesquisa bibliográfica no *Google Scholar* para complementar a RSL. Nessa busca foram selecionados os documentos da Tabela 9, que envolvem facilitadores para a implantação das tecnologias da I4.0 nas organizações e possuem um bom impacto em termos de números de citações.

Tabela 9: Documentos obtidos na pesquisa bibliográfica complementar

Nº	Referência	Título	TC
63	Neto et al. (2020)	Digital twins in manufacturing: An assessment of drivers, enablers and barriers to implementation	19
64	Stentoft et al. (2020)	Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers	146
65	Rezqianita e Ardi (2020)	Drivers and Barriers of Industry 4.0 Adoption in Indonesian Manufacturing Industry	8
66	Horváth e Szabó (2019)	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?	574
67	Ghadge et al. (2020)	The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains	200
68	Schröder (2016)	The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises	286

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, após a análise dos 30 documentos selecionados (24 documentos da Tabela 5 mais 6 documentos da Tabela 9), foi elaborada uma lista com os facilitadores encontrados nesses documentos. Os facilitadores que tinham uma proximidade semântica foram considerados como um único termo. Após essa seleção, foi observado que vários facilitadores ainda poderiam ser unidos por apresentarem algum grau de similaridade. Depois disso, com base nas categorias propostas por Neto et al. (2020) e Kennerley e Neely (2003) e na “clusterização” dos facilitadores, os facilitadores foram agrupados em seis categorias. Após esse processo, a lista com as categorias e seus respectivos facilitadores foi submetida a análise crítica de três especialistas acadêmicos, professores universitários, que possuem experiência de mais de cinco anos na condução e publicação de pesquisas relacionadas a área de gestão e Indústria 4.0. Após as adequações sugeridas pelos especialistas acadêmicos para correção de erros, inconsistências, redundâncias e também para melhoria na organização dos facilitadores dentro das categorias, os quadros de categorias e facilitadores foram revisados e finalizados.

O Quadro 9 apresenta as categorias e uma breve descrição de cada categoria. Já o Quadro 10 apresenta a lista final com os 24 facilitadores encontrados nos 30 documentos selecionados e agrupados dentro das respectivas categorias. Na última coluna do Quadro 10 estão os números das referências bibliográficas onde os facilitadores foram encontrados (Tabelas 5 e 9).

Quadro 9 – Descrição das categorias dos facilitadores

Categoria	Descrição
Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica	A infraestrutura tecnológica é constituída por tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações que contribuem para a interoperabilidade e conectividade entre os sistemas e dispositivos inteligentes.
Fatores Técnicos: Gestão de dados	A gestão de dados consiste no uso de recursos para identificação, coleta, armazenamento, compilação, análise e proteção de dados confiáveis e de boa qualidade para gerar informações precisas disponibilizadas por meio de ferramentas de visualização que facilitem a sua divulgação e interpretação pelos tomadores de decisão.
Fatores sociais	Os fatores sociais são fatores associados ao comportamento humano no meio organizacional. A necessidade de funcionários mais qualificados e flexíveis para lidar com mudanças frequentes no ambiente da I4.0 e a presença de uma cultura organizacional aberta facilitam o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
Fatores econômicos	O processo de implantação--o de tecnologias da I4.0 nos SMDs requer das empresas um compromisso de longo prazo, altos investimentos financeiros em pessoas, processos e tecnologias e um certo nível de incerteza em relação ao retorno desse investimento.
Fatores gerenciais	Os fatores gerenciais estão ligados à forma com que o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs é planejado e colocado em prática pelos seus responsáveis. Um planejamento claro e bem definido de implantação, o apoio e o suporte ativo e contínuo da alta administração são instrumentos valiosos para tornar o caminho de implantação um sucesso.
Fatores normativos/governamentais	Os fatores normativos/governamentais remetem as políticas e regulamentações desenvolvidas pelo governo para criar um ambiente amigável para atrair as empresas a adotarem as novas tecnologias da I4.0.

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 21 apresenta o número de referências por categoria de facilitadores, de acordo com o Quadro 10. A Figura 22 apresenta o número de referências por fator (facilitador), de acordo com o Quadro 10.

Figura 21 - Número de referências por categoria de facilitadores



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 22 - Número de referências por fator (facilitador)



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 10: Descrição dos facilitadores encontrados nos documentos das Tabelas 5 e 9

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)	Referência
Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica	F1	Infraestrutura digital adequada: Presença de infraestrutura de TI e outros recursos tecnológicos básicos e adequados para suportar a aplicação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	20, 31, 23, 61
	F2	Interoperabilidade: O uso de interfaces e protocolos de comunicação padronizados facilitam a conectividade e interoperabilidade, importante para a comunicação e troca de dados entre vários sistemas.	3, 27, 54
	F3	Conectividade aprimorada: Uma boa infraestrutura de rede global composta de dispositivos inteligentes conectados entre si ou com o ambiente externo, permite mapear o estado de subsistemas individuais e do sistema como um todo e a monitorar e analisar o desempenho em tempo real.	23, 24
	F4	Cibersegurança: A implementação de estratégias de segurança cibernética são essenciais para garantir a proteção de computadores, servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrônicos, redes e dados contra ataques maliciosos.	20, 63
Fatores Técnicos: Gestão de Dados	F5	Qualidade dos dados: Dados confiáveis e de boa qualidade geram informações precisas para os SMDs e para os tomadores de decisão.	1, 20, 61
	F6	Acessibilidade e integração de dados: Possibilidade de acessar, coletar e integrar dados de múltiplas fontes de dados heterogêneas ou de sistemas legados com protocolos de comunicação de diferentes fabricantes. Softwares de código aberto facilitam a aquisição de dados.	3, 54
	F7	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível: O projeto deve permitir o armazenamento escalável e flexível, permitindo armazenar qualquer tipo de dado sem restrições.	10
	F8	Boas ferramentas de visualização dos dados: Ferramentas de visualização de um grande volume de dados colaboram na divulgação e interpretação do desempenho.	20, 54
Fatores Sociais	F9	Funcionários qualificados: Funcionários com competências interdisciplinares e necessárias para análise e gestão de dados e para trabalhar com as tecnologias da I4.0 e SMDs.	20, 23, 28, 31, 68
	F10	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0: Conhecimento sobre a I4.0 e suas tecnologias. Habilidade para identificar oportunidades/benefícios da I4.0.	3
	F11	Treinamento contínuo dos funcionários: Funcionários devem receber treinamento contínuo para utilizar novas ferramentas e tecnologias. Programas de qualificação e requalificação ajudam a desenvolver as competências dos funcionários e facilitam a adaptação dos mesmos a I4.0.	31, 61, 65
	F12	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas: Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas no treinamento e implantação podem ajudar as empresas na adoção de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	65
	F13	Flexibilidade dos funcionários para mudanças: Flexibilidade dos funcionários para mudanças e capacidade de adaptação a novos processos (aprender a usar novas tecnologias e práticas a elas associadas).	31
	F14	Cultura organizacional aberta: Cultura da organização deve estar aberta a inovação e a experimentação.	67
Fatores Econômicos	F15	Capacidade de fazer investimentos financeiros: O compromisso das empresas com investimentos financeiros é um dos facilitadores cruciais na implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	63, 64, 65, 66, 67
	F16	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs: Clareza quanto ao custo-benefício e ganhos monetários nos investimentos em tecnologias da I4.0 nos SMDs. Erros durante a fase de projeto, queima de etapas e falta de estudos empíricos podem causar incertezas em uma avaliação dos benefícios da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	63, 67
	F17	Disposição em assumir riscos financeiros: Disposição para assumir alguns riscos com o investimento em novas tecnologias que ainda não estão plenamente desenvolvidas.	64
Fatores Gerenciais	F18	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido: O planejamento adequado para implantação da I4.0 é um facilitador. É preciso definir objetivos, as etapas e recursos necessários para alcançá-los. Na implantação, as empresas devem seguir etapas incrementais.	63, 66
	F19	Suporte da alta administração: O suporte ativo e contínuo da alta administração é crucial para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	63, 65, 64
	F20	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo: O compromisso da gestão com projetos de longo prazo são fundamentais para o sucesso da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	63, 65
Fatores normativos/ Governamentais	F21	Criação de normas e regulamentos: As inovações tecnológicas desafiam continuamente os reguladores e legisladores. A emissão de normas e regulamentos proporcionam segurança jurídica aos investidores e uma estrutura regulatória incentiva a disponibilidade e a adoção das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	65, 68
	F22	Criação de políticas e incentivos governamentais: As políticas e incentivos do governo como acesso a linhas de crédito influenciam positivamente a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	65, 67, 68
	F23	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0: O fornecimento de uma infraestrutura para o mundo digital pelo governo (como 5G e sistemas de comunicação), facilita a implantação da I4.0 nos SMDs.	65, 68
	F24	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico: Criação de programas de aprendizagem pelo governo voltados para a I4.0 e adaptação de currículo acadêmico para satisfazer demandas da I4.0 facilitam a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	65

Nota: as referências citadas nessa tabela podem ser consultadas nas Tabelas 5 e 9

Em relação as categorias (Figura 21), verifica-se que as categorias “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” e “Fatores Sociais” possuem a maior quantidade de referências.

A presença de uma infraestrutura de suporte adequada para as tecnologias da I4.0, que engloba tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações e também a disponibilidade de sistemas flexíveis com interfaces que facilitem a conectividade e interoperabilidade de máquinas e equipamentos são fatores que colaboram para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (LEITAO et al., 2019; MELLO; MARTINS, 2019). A maior conectividade e uso de protocolos padrão de comunicações aumentam o risco de invasões cibernéticas nos sistemas das organizações, podendo causar interrupções das operações, perda de dados e conseqüentemente enormes prejuízos as organizações, portanto essa é uma preocupação que aumenta drasticamente e a implantação de estratégias de segurança são cruciais para o sucesso do processo de implantação e uso das tecnologias da I4.0 nos SMDs (MELLO; MARTINS, 2019; NETO et al., 2020).

Os fatores sociais associados ao comportamento humano são muito relevantes no processo de implantação. A mudança de atividades pouco qualificadas para aquelas que requerem um maior envolvimento cognitivo e que necessitam de maiores habilidades e competências interdisciplinares como por exemplo, a capacidade de realizar a análise crítica dos dados disponíveis em tempo real para uma tomada de decisão e a própria gestão desses dados, exige funcionários qualificados para trabalhar com essas novas demandas, assim é essencial a necessidade de treinamento contínuo para capacitação destes funcionários (KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019; MÖRTH et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020). Essas novas formas de trabalho podem ter efeitos positivos e negativos sobre os funcionários. Mudanças nas condições de trabalho podem ser acompanhadas de conflitos nas organizações. Como em qualquer processo de mudança organizacional, há a possibilidade de resistência à adoção de novas tecnologias. Essa pode ser uma barreira poderosa e se não for tratada adequadamente, pode prejudicar significativamente a adoção bem-sucedida de novas tecnologias (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; REZQIANITA; ARDI, 2020). A resistência organizacional pode vir de funcionários que temem perder seus empregos ao longo do tempo ou que não possuem as habilidades exigidas pelas novas tecnologias. Portanto, a organização deve promover programas de qualificação e requalificação para ajudar os funcionários a desenvolver as competências dos necessárias e facilitar a adaptação dos mesmos a I4.0. Além disso, deve promover uma discussão aberta e esclarecedora com todos os funcionários, para que eles contribuam com esse processo (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KLOVIENE; UOSYTE, 2019; REZQIANITA; ARDI, 2020).

Verifica-se na Figura 22 que entre os facilitadores mais citados está a capacidade da organização em fazer investimentos financeiros. Os altos custos de implantação das tecnologias da I4.0, principalmente na capacitação de funcionários e na construção de uma ampla infraestrutura digital que inclui também sistemas complexos de segurança cibernética, requer que as organizações sejam capazes de fazer investimentos substanciais, dependendo do nível atual de digitalização em que ela se encontra. Os investimentos não são apenas a curto prazo, mas devem ser organizados e monitorados por meio de um planejamento de longo prazo. A implantação de tecnologias da I4.0 em pequenas e médias empresas de manufatura pode ser bem mais lenta em comparação a grandes multinacionais, principalmente devido a relativa falta de recursos financeiros, além da falta de experiência e limitações de capacidade (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; NETO et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020).

A criação de políticas e incentivos governamentais também influenciam positivamente a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs. O termo Indústria 4.0 surgiu em 2011 como uma iniciativa governamental da Alemanha para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã (LERHER, 2018; SCHWAB, 2016). Nos anos seguintes, governos de outros países também tiveram as suas próprias iniciativas com nomes diferentes para promover essa progressão, como “*Advanced Manufacturing Partnership*” nos EUA em 2011, “*Future of Manufacturing*” no Reino Unido em 2013, “*Made in China 2025*” na China em 2015 e “Manufatura Avançada e Sistemas Inteligentes” no Brasil em 2016, além disso existem mais de 30 iniciativas nacionais e regionais na Europa (LIAO et al., 2017; STENTOFT et al., 2020). Quando o governo cria políticas coordenadas para alocar mais recursos para inovação, as organizações são mais propensas a responder e adotar novas tecnologias. Várias ações governamentais podem estimular e suportar a adoção de tecnologias da I4.0 nos SMDs pelas organizações. Dentre essas ações podemos citar: a) a nacionalização da legislação; b) a criação de normas e regulamentos que protejam dados corporativos e pessoais; c) a regulamentação tributária; d) a criação de incentivos fiscais e programas de financiamento; e) a criação de padrões industriais; f) o desenvolvimento de uma infraestrutura técnica de suporte para o mundo digital; g) a criação de programas de aprendizagem e centros de pesquisas e desenvolvimento voltados para a I4.0 (GHADGE et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020; SCHRÖDER, 2016).

3.2.2 Principais Conclusões da RSL

Os resultados das análises da primeira parte da RSL apresentados em Lopes e Martins (2021) mostraram que embora o interesse seja crescente pelo tema SMDs associados a I4.0,

ainda não temos no campo uma quantidade de autores com produção crescente e destacada. Esses resultados evidenciam que o campo ainda está em seu estado inicial de maturidade, o que é uma oportunidade para os pesquisadores. Além disso, a primeira parte da RSL também mostra que a adoção de tecnologias da I4.0 como internet das coisas, *big data analytics*, *cyber-physical systems*, *big data*, simulação e técnicas de virtualização nos SMDs, pode colaborar para uma tomada de decisão inteligente, descentralizada, autônoma e em tempo real dentro da rede que pode ultrapassar também os limites da organização. Esses resultados estão bem próximos daqueles encontrados por Lopes e Martins (2021). A tomada de decisão em tempo real é possível graças à disponibilidade a qualquer momento de dados massivos e apropriados coletados por sensores e dispositivos baseados em tecnologia IoT e algoritmos de processamento de dados eficientes. *Big data analytics* também pode melhorar o processo de tomada de decisão, pois consegue extrair informações de uma grande quantidade de dados e oferecer cenários do que pode acontecer com o desempenho futuro para que os tomadores de decisão escolham as melhores alternativas minimizando os riscos (análise preditiva), e ainda pode recomendar soluções otimizadas para a gestão do desempenho (análise prescritiva).

Em relação aos facilitadores para o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, encontrados na segunda parte da RSL, merecem destaque as seguintes observações:

- a) os investimentos em uma infraestrutura digital integrada aos SMDs com disponibilidade de interfaces padronizadas que facilitem a conectividade e a interoperabilidade e a utilização de ferramentas de visualização dos dados são facilitadores relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs;
- b) sistemas operacionais e de gestão estão ficando mais complexos com a expansão global das redes e mercados de negócios. Os recursos humanos são um elemento crítico nesse processo. A integração entre as tecnologias da I4.0 e os SMDs exige uma equipe multifuncional e muito qualificada, sejam líderes ou trabalhadores, principalmente no processamento e análise inteligente dos dados, dessa forma, governo, instituições de ensino e empresas precisam unir esforços para prepararem novos profissionais para as “fábricas inteligentes”. As ações governamentais devem ser voltadas para a criação de programas de aprendizagem e centros de pesquisas e desenvolvimento em torno da I4.0. As instituições de ensino, além do desenvolvimento de pesquisas nesse campo, podem adaptar o currículo acadêmico, principalmente de cursos na área de engenharia e computação, para satisfazer demandas específicas da I4.0, como oferecer uma aprendizagem interdisciplinar

necessária para lidar com tecnologias híbridas da Indústria 4.0 com ênfase em tecnologia da informação e *data analytics*, por exemplo. Já as empresas precisam fornecer programas de qualificação e requalificação para os seus atuais funcionários, além disso, nas futuras contratações, devem reconhecer aqueles profissionais com habilidades digitais, mas isso também é um grande desafio, sobretudo para pequenas e médias empresas, pois envolve tempo e investimentos de longo prazo que devem ser considerados no processo de implantação;

- c) a preocupação com cibersegurança no armazenamento, transferência e processamento de dados tem se intensificado nos últimos anos e impõe um grande desafio para as organizações. A implantação de estratégias de cibersegurança para garantir a proteção de computadores, servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrônicos, redes e dados contra ataques maliciosos são essenciais no processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs;
- d) um planejamento estratégico bem definido para investir em recursos adequados são essenciais no processo de implantação. Apoio de empresas de consultoria ou de instituições acadêmicas podem ajudar as organizações a priorizar a alocação de seus recursos nesse processo, principalmente em pequenas e médias empresas, pois envolve tempo e investimentos de longo prazo que devem ser considerados no processo de implantação.

A identificação dos principais facilitadores fornece informações valiosas que podem ajudar os gestores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Isso pode contribuir para que as organizações criem estratégias para um processo de implantação mais eficiente e eficaz, fazendo com que as tecnologias da I4.0 possam ser mais exploradas e utilizadas nos SMDs.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Método é o caminho ou maneira para chegar a determinado fim ou objetivo (RICHARDSON, 1999). Portanto, a descrição do método traça o caminho que será seguido pelo cientista, auxiliando na detecção de erros e nas tomadas de decisão. Assim, esse capítulo apresenta a caracterização metodológica da pesquisa, os motivos para a escolha do modelo Fuzzy DEMATEL e as etapas para aplicação do modelo visando alcançar os objetivos da pesquisa.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para alinhar e fundamentar este trabalho, foi necessário realizar uma classificação da pesquisa quanto à concepção metodológica, abordagem de pesquisa, aos seus objetivos e ao método de pesquisa. Apresenta-se também a técnica utilizada para coleta de dados.

Segundo Martins (MARTINS, 2012a), a concepção metodológica é válida para dar suporte e validade ao trabalho e expor a pesquisa como significativa dentro da escolha do caminho científico percorrido. Esse autor aponta quatro tipos de concepção: indutivismo, falsificacionismo, paradigmas de pesquisa e programa de pesquisa de Lakatos.

Para posicionar qual é a concepção metodológica deste trabalho, é importante considerar o objetivo proposto. Este trabalho não realizou vários testes com a intenção de produzir conhecimento de caráter geral e fazer generalizações, pois o assunto abordado não está consolidado ainda e, por isso, ele não é indutivista. Existe também uma dificuldade em encontrar profissionais que implantaram tecnologias da I4.0 em SMDs de forma a constituir uma amostra representativa. Devido à falta de conhecimento estruturado sobre a relação entre as tecnologias da I4.0 e os SMDs, não é possível apresentar uma hipótese falsificável para ser colocada à refutação. Assim, não é intenção deste trabalho refutar qualquer teoria e, por isso, o falsificacionismo não pode ser considerado. A concepção metodológica desta pesquisa foi o Programa de Pesquisa de Lakatos uma vez que os resultados atingidos contribuem para a heurística negativa do tema pesquisado. Vale ressaltar que a heurística negativa é composta por um núcleo irreduzível que contém suposições subjacentes ao programa e a heurística positiva orienta a condução do programa de pesquisa e de como serão propostas modificações no cinturão protetor (MARTINS, 2012a). Logo, esta pesquisa busca contribuir para a evolução do conhecimento e os seus resultados podem colaborar para a expansão ou modificação do cinturão protetor ao oferecer novas descobertas no campo de pesquisa.

A escolha da abordagem de pesquisa deve estar relacionada ao objetivo da pesquisa e a forma como o pesquisador pretende atingi-lo. Considera-se que ao propor um método estruturado como o Fuzzy DEMATEL, no qual há necessidade direta em valorar requisitos e variáveis, a abordagem quantitativa se torna evidente (MARTINS, 2012b).

O objetivo da pesquisa é de caráter descritivo. Esse tipo de estudo pretende descrever o estado do fenômeno num determinado instante de tempo (GANGA, 2011). Nesse caso, visa descrever o estabelecimento de relações entre fatores pelo método Fuzzy DEMATEL.

O método mais apropriado para condução dessa pesquisa é a aplicação de uma *survey*. A pesquisa *survey* procura obter dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de um determinado grupo de interesse (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). No caso desta pesquisa, buscou-se capturar as opiniões de profissionais sobre o grau de influência entre facilitadores para o processo de implantação de tecnologias da I4.0 em SMDs. No que se refere ainda à tipologia, a *survey* foi classificada como de corte-transversal, uma vez que a coleta de dados ocorreu em um período único (GANGA, 2011).

Quanto ao instrumento de coleta de dados, foi utilizado um questionário estruturado, operacionalizado na forma de *websurveys* autoaplicáveis com questionário desenvolvido com uso do aplicativo *Google Forms*. Os questionários foram aplicados em uma amostra de conveniência, considerando a dificuldade de se identificar a população de profissionais que vivenciaram projetos de implantação de tecnologias da I4.0 em suas carreiras. Como a população desses especialistas é desconhecida e o fato da probabilidade de serem convidados para responder não ser homogênea, a amostragem é não probabilística por julgamento, na qual a definição dos critérios pelos pesquisadores orienta a seleção dos participantes (BOLFARINE; BUSSAB, 2005).

4.2 ESCOLHA DA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Ozernoy (1992) orienta que é necessário identificar qual o método de apoio à decisão é mais adequado ao problema, uma vez que os métodos podem representar diferentes soluções para um mesmo problema e a escolha de um método não adequado pode vir a resultar em uma alternativa não justificável. A escolha de um determinado método depende do problema específico e das demandas dos usuários. À medida que o número de métodos já existentes é bastante grande e ainda está aumentando, a escolha do método "correto" não é uma tarefa fácil (MUNIER, 2011). Figueira et al. (2005) reforçam que não há métodos que possam ser

considerados de forma unânime, ou seja, melhores em relação aos outros, já que em cada situação um diferente método de apoio à decisão pode ser melhor aplicado.

O método DEMATEL é um método bem conhecido e abrangente para obter um modelo estrutural que fornece relações causais entre os facilitadores para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. O DEMATEL é um método por meio do qual se coleta o conhecimento do grupo, analisa-se as inter-relações entre os fatores e se visualiza a estrutura do diagrama de relacionamento causa e efeito. Além disso, o método ajuda na compreensão e análise de problemas mais complexos, pois gera uma hierarquia entre os fatores, bem como a direção e intensidade dos relacionamentos, por meio de análises visuais e numéricas, fornecendo informações valiosas para os tomadores de decisão (GABUS; FONTELA, 1972; MENTES; AKYILDIZ; HELVACIOGLU, 2014; ULLAH et al., 2021).

O método DEMATEL possui vantagens importantes em relação a outras metodologias de tomada de decisão multicritério tradicionais, como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP), já que oferece uma abordagem mais holística, uma vez que leva em conta a interdependência entre os fatores de um sistema via diagrama causal, o que tende a ser mais realista em cenários práticos como o deste estudo (KOUHIZADEH; SABERI; SARKIS, 2021; MENTES; AKYILDIZ; HELVACIOGLU, 2014; ULLAH et al., 2021). Neste estudo é utilizado uma pequena amostra composta de especialistas para responderem o questionário e o método DEMATEL é eficaz mesmo nesse cenário (LEE et al., 2013). Pretende-se ainda separar as causas dos efeitos, o que é um dilema para os tomadores de decisão, pois uma causa pode ter vários efeitos e vice-versa, esse é um problema que pode ser abordado pelo DEMATEL e é mais uma vantagem desse método frente a outras metodologias (ULLAH et al., 2021). Além disso, existe uma forte relação das pesquisas envolvendo o método DEMATEL e a Engenharia de Produção nos últimos anos, existindo aplicações do método em estudos da gestão da cadeia de suprimentos, SMDs, inovação e avaliação de riscos (SANTOS; MARTINS, 2020).

Nos métodos clássicos do MCDM, as classificações e os pesos (importância) dos critérios são conhecidos com precisão, enquanto no mundo real, em um ambiente impreciso e incerto, esta é uma suposição irrealista, pois o conhecimento e a representação de um decisor ou especialista não são tão precisos (SAYADI; HEYDARI; SHAHANAGHI, 2009). A hibridização do método DEMATEL com a teoria *fuzzy* é uma prática crescente (SANTOS; MARTINS, 2020). Assim, o método Fuzzy DEMATEL, selecionado para essa tese, faz com que a imprecisão, incerteza e subjetividade natural dos tomadores de decisão, seja contemplada resultando em um método mais preciso e eficaz. A inclusão dos TFN (*Triangular Fuzzy*

Numbers) representados por variáveis linguísticas é uma solução para que cada comparação tenha um nível de incerteza, possibilitando assim uma visão mais assertiva dos relacionamentos encontrados.

A seguir, será feita uma abordagem mais detalhada sobre a tomada de decisão multicritério, o método DEMATEL, a lógica *fuzzy* e o método Fuzzy DEMATEL.

4.2.1 Tomada de Decisão Multicritério

A tomada de decisão é o estudo da identificação e escolha de alternativas para encontrar a melhor solução com base em diversos fatores e considerando as expectativas dos avaliadores. Cada decisão é feita dentro de um ambiente de decisão, que é definida como a recolha de informação, alternativas, valores e preferências disponíveis no momento em que a decisão deve ser tomada (GOMES; GOMES, 2014).

A tomada de decisão é extremamente intuitiva quando considera-se apenas um critério de um problema, onde tem-se que escolher a melhor alternativa. Entretanto, quando tomadores de decisão querem escolher a melhor alternativa diante várias, múltiplos critérios (muitas vezes conflitantes), qualitativos ou quantitativos, com mais de um problema, e levando em consideração pesos diferentes, é inerente afirmar que a tomada de decisão se tornará mais complexa e é preciso fazer uso de métodos mais sofisticados, para assegurar alta efetividade e baixo risco (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004; KAHRAMAN, 2008; TZENG; HUANG, 2011; YAZDANI, 2014).

Com o avanço dos problemas logísticos militares no fim da Segunda Guerra Mundial, um grande número de organizações de pesquisa dedicou-se à análise e à preparação de decisões, surgindo a Pesquisa Operacional para a otimização de recursos. Desta forma, a partir da década de 1970 começaram a surgir os primeiros métodos de apoio ou auxílio multicritério para a tomada de decisão (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

A tomada de decisão multicritério (*Multiple Criteria Decision-Making – MCDM*) é um ramo da pesquisa operacional que busca encontrar resultados ótimos em cenários complexos, com vários objetivos e critérios conflitantes a serem levados em consideração (KUMAR et al., 2017). A tomada de decisão multicritério, em suma, consiste em uma sequência de atividades que utiliza modelos matemáticos e a compilação de informações para obter respostas a partir de um conjunto de alternativas, critérios ou atributos pré-estabelecidos (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004). Seu objetivo é auxiliar os tomadores de decisão quando várias alternativas relevantes são avaliadas por critérios múltiplos, que muitas vezes são conflitantes

(GONÇALVES; DIAS; MACHADO, 2015). Segundo Figueira, Greco e Ehr Gott (2005), os métodos MCDM ajudam a melhorar a qualidade das decisões, tornando-as mais explícita, racional e eficiente.

Numerosos métodos de decisão multicritério têm sido propostos nas últimas décadas considerando a questão da medição de prioridades dos critérios tangíveis ou intangíveis conflitantes, com objetivo de permitir a avaliação das melhores alternativas para uma decisão (SAATY; ERGU, 2015).

Para que a maioria dos fatores mencionados sejam levados em consideração, para se ter uma decisão mais assertiva, o processo de tomada de decisão envolve uma série de passos. O primeiro passo é identificar o problema e as variáveis que influenciam na decisão. Posteriormente é preciso construir preferências e estabelecer os critérios que agreguem valor à decisão, levando em consideração sua natureza, avaliar alternativas com atribuição de pesos, ou não, e determinar a melhor escolha para garantir que o objetivo seja atingido. Também é importante determinar previamente quais os tipos de decisões a serem tomadas e o número de tomadores de decisões, fazendo com que o problema a ser resolvido seja o mais completo possível, refletindo a realidade (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004; SHIMIZU, 2006; TZENG; HUANG, 2011).

Para facilitar esta análise sistemática de critérios, foi sugerido que os problemas MCDM fossem divididos em duas categorias principais, dependendo do número de alternativas consideradas: tomada de decisão multiobjetivo (*Multiple Objective Decision Making – MODM*) e tomada de decisão multiatributo (*Multiple Attribute Decision Making – MADM*) (KAHRAMAN, 2008; ÖNÜT; KARA; IŞIK, 2009; TZENG; HUANG, 2011).

Os problemas do tipo MODM são voltados para projetos, em que as alternativas não são pré-determinadas. Os métodos de MODM fornecem uma estrutura matemática que permite esboçar um conjunto viável de alternativas, que uma vez identificadas, serão julgadas por quão próximas satisfizerem múltiplos objetivos. Por isso, o número de alternativas é grande, potencialmente infinito (KAHRAMAN, 2008).

De acordo com Kahraman (2008), a MADM é o ramo mais conhecido da MCDM. Os problemas MADM são limitados, ou seja, têm um número pré-determinado de alternativas. Associados a essas alternativas, existem atributos, não necessariamente quantificáveis, com base nos quais a decisão deve ser feita. A seleção final da melhor alternativa é feita com comparações entre estes atributos que podem ser classificados e agrupados (TZENG; HUANG, 2011).

Assim, diante dos conceitos expostos, pode-se afirmar que os métodos utilizados na presente pesquisa são do tipo MADM, por tratar de seleção de facilitadores, com múltiplos fatores e análises, levando em consideração mais de um tomador de decisão.

4.2.2 Método DEMATEL

No final de 1971, o método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) foi empregado pela primeira vez por Gabus e Fontela pelo Instituto Memorial Battelle de Genebra no Programa de Ciência e Assuntos Humanos para um problema com estrutura e problemática complexa. Como um tipo de abordagem de modelagem estrutural, usando-se este método, pode-se extrair inter-relações quantitativas entre múltiplos fatores para se resolver um problema (FALATOONITOOSI; AHMED; SOROOSHIAN, 2014; GHARAKHANI, 2012; PANAHI FAR, 2015).

Para Gabus e Fontela (1972) o método DEMATEL permite coletar o conhecimento de um grupo e analisar as inter-relações entre os fatores, visualizando uma estrutura de relacionamento de causa e efeito. Shimizu (2006) considera que o método é destinado à elaboração e avaliação de uma estrutura hierárquica com base em opiniões de tomadores de decisão para se obter: (a) o nível de relacionamento que um elemento *i* exerce sobre outro elemento *j*; e (b) o nível de relacionamento que um elemento *j* recebe de outro elemento *i*. Este método vem sendo considerado para resolver problemas complexos e pode ser usado para o entendimento de estruturas complexas, fornecendo opções viáveis para a solução de problemas (CHEN; TZENG; CHANG, 2015).

Seyedhosseini et al. (2011) consideram que o DEMATEL é uma ferramenta adequada quando se pretende identificar as possíveis relações entre componentes de um sistema e quando é desejável determinar as relações de causa e efeito e dependência entre os componentes.

Uma vez que o método facilita a tomada de decisão estratégica, o DEMATEL tem sido utilizado nos campos de marketing, educação, gestão da cadeia de suprimentos, gestão de resíduos e gestão tecnológica (KAMBLE et al., 2019). Santos e Martins (2020), por meio de uma análise bibliométrica no indexador científico *Web of Science* com a palavra DEMATEL, obtiveram uma amostra de 1.304 documentos entre métodos combinados e utilizando-se apenas o DEMATEL. Dentre os resultados, destaca-se o papel de Gwo-Hshiung Tzeng no campo. Ele apresenta a maior constância em publicações e é o autor mais produtivo e mais influente. O artigo de Tzeng, Chiang e Li (2007) foi o mais citado da amostra. Trata-se de uma proposta de método híbrido, que inclui DEMATEL clássico, AHP e lógica *fuzzy* para avaliação de

aprendizado online. O artigo de Wu e Lee (2007) foi o segundo artigo mais citado. Os autores utilizam o Fuzzy DEMATEL para definir as competências requeridas para melhor promover o desenvolvimento de competências de gestores globais. Entre os mais citados também está o estudo de Chia-Wei Hsu et al. (2013), que utiliza o DEMATEL para reconhecer os critérios influentes da gestão do carbono na cadeia de abastecimento verde para melhorar o desempenho geral dos fornecedores. Como pode-se notar, as aplicações são vastas e o conteúdo é diverso, fazendo com que o DEMATEL seja empregado em inúmeros campos de pesquisa.

Vale destacar que, para as avaliações qualitativas, os gestores precisam mensurar suas escolhas de acordo com os critérios escolhidos para a solução do problema abordado. Para isto, é utilizada uma escala qualitativa categórica ordinal, com termos linguísticos, para expressar diferentes graus de influência ou causalidades. Estes termos podem ser escolhidos pelo pesquisador, e a maioria dos trabalhos que abordaram o método DEMATEL utiliza uma escala numérica de 0 a 4 para representar os termos linguísticos escolhidos para a pesquisa. O Quadro 11 mostra um exemplo de variáveis linguísticas abordadas e a escala numérica correspondente (FALATOONITOOSI; AHMED; SOROOSHIAN, 2014; HSU et al., 2013; MIGUEL; LINDA, 2012; TZENG; CHIANG; LI, 2007).

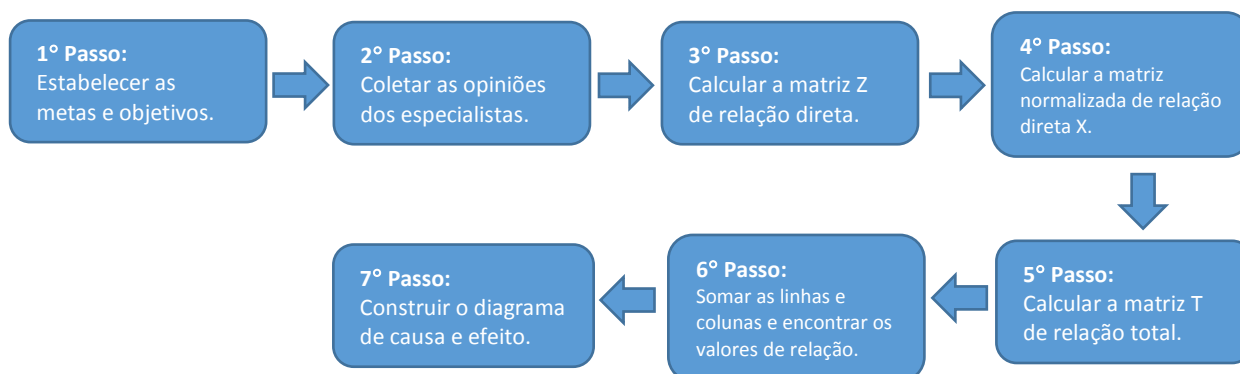
Quadro 11 – Os correspondentes termos linguísticos

Termos Linguísticos	Código	Números representativos
Influência Muito Alta	MA	4
Influência Alta	A	3
Influência Média	M	2
Influência Baixa	B	1
Influência Nula	N	0

Fonte: Adaptado de Falatoonitoosi, Ahmed e Sorooshian (2014).

A Figura 23 apresenta o passo a passo para a aplicação do método DEMATEL para apoio à tomada de decisão (AMIRI et al., 2011; FALATOONITOOSI; AHMED; SOROOSHIAN, 2014; HSU et al., 2013; SUMRIT; ANUNTAVORANICH, 2013; TZENG; CHIANG; LI, 2007):

Figura 23 – Fluxograma para aplicação do método DEMATEL



Fonte: Adaptado de Sumrit e Anuntavoranich (2013).

Os 7 passos apresentados na Figura 23 norteiam a execução do método DEMATEL e são detalhados na sequência:

- **1º Passo:** Elaborar o modelo de decisão e validar as metas, critérios e fatores que serão analisados pelos tomadores de decisão. Definir as características e escalas de medição dos atributos. Neste passo, várias ferramentas e métodos, como *brainstorming*, opinião de especialistas, e revisão da literatura podem ser utilizados para listar e definir os atributos;
- **2º Passo:** No passo anterior são selecionados n fatores e/ou critérios para se resolver o problema em questão. Este grupo, de p especialistas, é questionado sobre o grau de influência direta que o fator i afeta no fator j (os termos das linhas em relação às colunas) de acordo com o Quadro 11, sempre de par em par. A Figura 24 exemplifica uma matriz de relação direta preenchida por um especialista;

Figura 24 – Exemplo de matriz preenchida por uma especialista

	C_1	C_2	C_3	...	C_{j-2}	C_{j-1}	C_j
C_1	-	M	B	...	N	M	B
C_2	MA	-	MA	...	MA	A	MA
C_3	A	MA	-	...	A	MA	M
...
C_{i-2}	A	MA	B	...	-	N	B
C_{i-1}	MA	M	A	...	MA	-	A
C_i	N	B	M	...	N	M	-

Fonte: desenvolvido pelo autor.

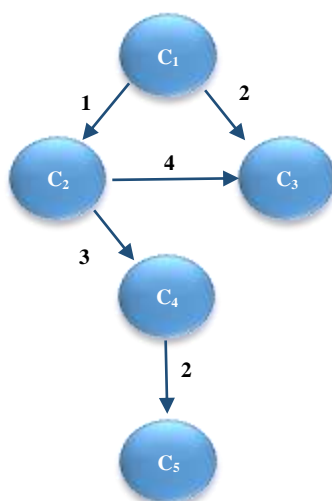
- **3º Passo:** Transformar os valores linguísticos em termos numéricos, segundo o Quadro 11. Depois disso, fazer a média (1) entre os valores dos especialistas entrevistados, criando a matriz Z de relação direta, sendo z_{ij} os itens da matriz Z , z_{ij}^k o valor representado pelos termos numéricos de cada especialista e p é igual ao número de especialistas entrevistados.

$$z_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p z_{ij}^k, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

A matriz de relação direta inicial Z , representada em (2), indica os efeitos diretos iniciais que cada critério exerce e recebe de outros critérios. Além disso, neste passo, obtém-se o efeito causal entre cada par de parâmetros, assim pode-se criar um mapa de influência para melhor entendimento dos critérios e suas relações de acordo com as escolhas dos especialistas. A Figura 25 ilustra uma rede de relacionamentos entre 5 critérios.

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & 0 & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Figura 25 - Exemplo de mapa da rede de influências



Fonte: Falatoonitoosi et al. (2014).

- **4º Passo:** Calcular a matriz normalizada de relação direta D , em (3), onde $D = [d_{ij}]$, utilizando as fórmulas (4), (5) e (6). Esta matriz é obtida a partir da normalização da matriz média Z com os valores dos elementos entre 0 a 1.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$s = \frac{1}{\max \left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij} \right)} \quad (4)$$

$$D = [d_{ij}] = [s \times z_{ij}], \text{ para } (s > 0 \text{ e } i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} D^m = [0]_{n \times n}, \text{ onde } D = [d_{ij}] \quad (6)$$

Dada a matriz Z (2), os componentes de cada linha i são somados ($\sum_{j=1}^n z_{ij}$). Esta soma representa o efeito direto total que cada fator em i **exerce** nos fatores em j . Desta forma, dentre todas as somatórias resultantes, o maior valor ($\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}$) representa o fator i que **mais influencia** nos fatores em j . Por conseguinte, a soma dos componentes de cada coluna de Z ($\sum_{i=1}^n z_{ij}$) traduz os efeitos diretos **recebidos** dos fatores i por cada fator j . Ou seja, o valor máximo das somas das colunas ($\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij}$) representa o fator j que **mais recebe influência** dos fatores i .

- **5º Passo:** Após a etapa anterior, utilizando a fórmula (7) é obtida a matriz de relação total T (8). A matriz identidade é indicada pela letra ' I ', da mesma ordem que a matriz D apresentada anteriormente.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (7)$$

$$T = [t_{ij}], i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

- **6º Passo:** Esse passo visa obter os valores normalizados do relacionamento total. A Equação 9 calcula o vetor L . Este vetor representa o valor do relacionamento total, direto e indireto, que o fator i exerce sobre os outros fatores, ou seja, é a soma dos elementos

da linha i em T (7). A Equação 10 calcula o vetor C , o qual representa o valor do relacionamento total que o fator j recebe dos outros fatores, ou seja, é a soma da coluna j , transposta $[c_j]'$, para que esta fique no mesmo formato do vetor L .

$$L = [l_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (9)$$

$$C = [c_j]'_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]'_{1 \times n} \quad (10)$$

Calculados (9) e (10), a soma e subtração dos dois vetores é executada. A somatória dos dois vetores $j = i$, $(Li + Ci)$ fornece uma medida da força de influência dada e recebida, isto é $(Li + Ci)$ mostra o grau de importância que o fator i desempenha no problema. Já na subtração, se $(Li - Ci)$ for positivo, o fator i está afetando outros fatores, e se $(Li - Ci)$ for negativo, este fator i está sendo influenciado pelos outros fatores. Desta forma o fator $(Li + Ci)$ é chamado de “Relação de Importância” e o fator $(Li - Ci)$ é chamado de “Relação de Influência”.

- **7º Passo** – Construir o diagrama da relação de causa e efeito.

Para esta análise, a maioria dos autores recomenda fazer um diagrama causal. Este é construído com o eixo horizontal (x) sendo os valores de $(Li + Ci)$ com o nome de ‘RDI – Relação de Importância’ e o eixo vertical (y) com os valores de $(Li - Ci)$ com o nome de ‘Relação de Influência’. O eixo ‘RDI’ mostra quão relevante são os fatores, enquanto o eixo vertical pode ser dividido em dois grupos: grupo das causas e grupo dos efeitos. Quando $(Li - Ci)$ é positivo, o fator pertence ao grupo ‘causas’, caso contrário, o fator pertence ao grupo ‘efeitos’. Assim, diagramas de relação causa e efeito permitem visualizações entre as relações causais complexas de fatores em um modelo estrutural visível, fornecendo informações valiosas para a solução de problemas. Além disso, com a ajuda de um diagrama causal, podemos tomar decisões adequadas ao reconhecer a diferença entre os fatores estudados e sua influência no problema a ser resolvido.

4.2.3 A Lógica Fuzzy

A utilização das técnicas que empregam uma escala com valores pontuais (números *crisp*) tem sido criticada, visto que a escala usada sofre de algumas limitações, como a subjetividade e imprecisão das respostas qualitativas (ANVARI et al., 2014; VINODH;

PRAKASH; SELVAN, 2011). Susilawati *et al.* (2015) confirmam este argumento, afirmando que, devido à classificação ser atribuída de modo subjetivo e conforme a perspectiva humana, os números pontuais são imprecisos, pois é difícil determinar um valor exato que realmente defina um elemento avaliado. As fontes de imprecisão incluem: informações não quantificáveis, informações incompletas, informações não obtidas e ignorância parcial (WU; LEE, 2007).

Desse modo, um sistema de medição mais adequado a essas fontes de imprecisão é necessário (VIMAL; VINODH, 2013). Assim, a lógica *fuzzy* surge como uma potencial solução para atenuar tal limitação. Nela, um único valor é convertido em um número *fuzzy* para eliminar ou reduzir desvantagens com essas fontes de imprecisão (SUSILAWATI *et al.*, 2015; VINODH; VIMAL, 2012). Proposta por Zadeh (1965), a Teoria dos Conjuntos *fuzzy* (*fuzzy Set Theory* - FST) tem sido usada nos mais diversos campos de pesquisa, com variáveis linguísticas, resolvendo problemas do mundo real. Por lidar com ambiguidades, subjetividades, incertezas e imprecisões o uso da Teoria dos Conjuntos *fuzzy* tornou-se popular entre pesquisadores na solução de problemas onde normalmente não há uma solução bem definida e ponderada, e as restrições e consequências possíveis das ações não são conhecidas com exatidão. A implantação computacional de variáveis linguísticas (qualitativas) é uma tarefa complexa, assim a FST também pode auxiliar neste sentido (KAHRAMAN, 2008; SINGH *et al.*, 2018).

O conceito de variável linguística é muito útil para lidar com situações que são muito complexas ou não bem definidas para serem razoavelmente descritas em expressões quantitativas convencionais (ZIMMERMANN, 2001). Por variável linguística, Zadeh (1965) entende como uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em uma linguagem natural ou artificial, por exemplo, idade é uma variável linguística se seus valores são linguísticos e não numéricos, ou seja, jovens, não jovens, muito jovens, bastante jovens, idosos, não muito idosos e pouco jovens.

Na teoria clássica, ou lógica booleana, as fronteiras são bem definidas, cada termo ou declaração é verdadeiro ou falso, ou seja, quando é verdadeiro tem se atribuído o valor 1, caso contrário 0. Em outro sentido, a FST permite que um termo seja “mais ou menos” falso ou “mais ou menos” verdadeiro, permitindo uma adesão parcial ao conjunto, levando em consideração a subjetividade humana (KAHRAMAN, 2008).

Números *fuzzy* e Operações

Em muitas situações, valores pontuais são insuficientes para modelar o mundo real, onde a maioria das situações envolve imprecisão, incerteza e subjetividade natural do pensamento humano (SHEN *et al.*, 2013). Números *fuzzy* representam um tipo especial de

conjuntos *fuzzy*, cujo valor é algo incerto, expressados em termos linguísticos, os quais são representados por funções de pertinência (KANNAN; JABBOUR; JABBOUR, 2014). Desta forma, na prática os valores linguísticos podem ser representados por números *fuzzy*.

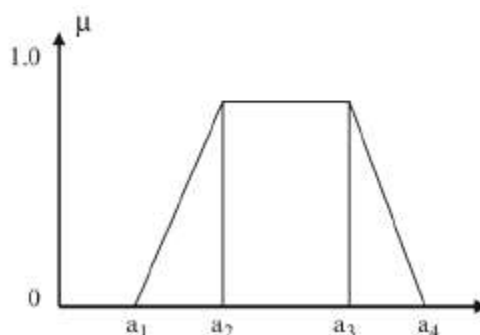
Os números *fuzzy* podem ser triangulares (TFN - *Triangular fuzzy Numbers*) ou trapezoidais (PTFN - *Trapezoidal fuzzy Numbers*). Estes são expressos por uma função de pertinência e expressam a indecisão e incerteza de um determinado termo ou pensamento. As definições são apresentadas a seguir (CHEN, 2000; KAHRAMAN, 2008):

- Número *fuzzy* trapezoidal (PTFN): é representado por um grupo de quatro números, como visto em (11) e é definido pela função de pertinência dada em (12). Pode-se entender melhor visualizando a Figura 26.

$$\hat{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad (11)$$

$$\mu_{\hat{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x \geq a_4 \end{cases} \quad (12)$$

Figura 26 – Representação de um número *fuzzy* trapezoidal (PTFN)

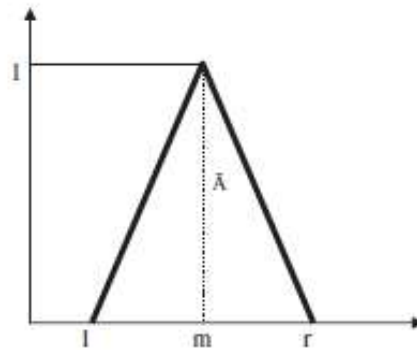


Fonte: Kahraman (2008)

Número *fuzzy* triangular (TFN): é mostrado como um conjunto de três números (l , m , r), onde l , m e r são números reais e $l \leq m \leq r$. A Figura 27 faz a representação o gráfica de um TFN, e esse é descrito por uma função de pertinência $\mu_{\hat{A}}(x)$, como mostrado em (13).

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{r-x}{r-m}, & m \leq x \leq r \\ 0, & x > r \end{cases} \quad (13)$$

Figura 27 – Representação de um número *fuzzy* triangular (TFN)



Fonte: Chen (2000)

Os números *fuzzy* triangulares (TFN- *Triangular fuzzy Numbers*) estão entre os mais utilizados (WU; LEE, 2007). Este trabalho faz uso dos TFN, sendo assim, é preciso destacar as principais operações realizadas com estes números. Considerando dois números *fuzzy* triangulares $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, r_1)$ e $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, r_2)$, e k uma constante qualquer, as operações são destacadas a seguir de (14) a (18) segundo (CHEN, 2000):

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, r_1) + (l_2, m_2, r_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (14)$$

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, r_1) - (l_2, m_2, r_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, r_1 - r_2) \quad (15)$$

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, r_1) \times (l_2, m_2, r_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, r_1 r_2) \quad (16)$$

$$k\tilde{A}_1 = k \cdot (l_1, m_1, r_1) = (k.l_1, k.m_1, k.r_1) \quad (17)$$

$$\tilde{A}_1^{-1} = (l_1, m_1, r_1)^{-1} = (1/l_1, 1/m_1, 1/r_1) \quad (18)$$

Conjuntos *fuzzy* também podem ser representados por termos linguísticos, os quais incorporam subjetividade e imprecisão. Desta forma, FST aplicados e transformados em variáveis linguísticas auxiliam os métodos de decisão multicritério (MCDM). Esta aplicação conjunta auxilia na tomada de decisão em qualquer área do conhecimento aplicada (KANNAN; JABBOUR; JABBOUR, 2014). Assim, os julgamentos dos especialistas serão em uma escala TFN para selecionar os facilitadores para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs

segundo o método Fuzzy DEMATEL. Na subseção 4.3.2 são apresentados os termos linguísticos utilizados nesta tese.

4.2.4 Fuzzy DEMATEL

No DEMATEL original, as relações de fatores de decisão são avaliadas por valores pontuais. No entanto, em muitas aplicações do mundo real, os julgamentos humanos muitas vezes não são claros e valores numéricos exatos são inadequados para estimar o valor das relações de interdependência entre os critérios. Assim, o conceito de conjuntos *fuzzy* é aplicado ao método DEMATEL para resolver um problema MCDM (SI et al., 2018).

O método Fuzzy DEMATEL é usado por muitos pesquisadores em diversos campos de pesquisa. Mohammadi, Nouri e Ehsanifar (2013) e Chang, Chang e Wu (2011) utilizam o Fuzzy DEMATEL para descobrir os fatores mais influentes na seleção de fornecedores. Wu e Lee (2007) utilizam o Fuzzy DEMATEL para definir as competências requeridas para melhor promover o desenvolvimento de competências de gestores globais. Zhou, Huang e Zhang (2011) utilizam o método para identificar fatores críticos de sucesso na gestão de emergências. Seker e Zavadskas (2017) aplicam o Fuzzy DEMATEL para analisar os riscos ocupacionais na construção civil.

Geralmente, dois tipos de modelos Fuzzy DEMATEL são apresentados na literatura, ou seja, lógica *fuzzy* e DEMATEL e *fuzzy-based* DEMATEL. No primeiro tipo, a lógica *fuzzy* e DEMATEL são combinados em um modelo de decisão, mas são implementados de forma independente. Este primeiro modelo emprega conjuntos *fuzzy* para lidar com julgamentos e avaliações vagas dos especialistas nos níveis de impacto entre os fatores e converte números *fuzzy* em valores pontuais para a matriz de influência direta do grupo e então executa o procedimento DEMATEL clássico (LIOU; YEN; TZENG, 2008; TSENG, 2009a; WU; LEE, 2007). No modelo *fuzzy-based* DEMATEL, a lógica *fuzzy* é empregada primeiro para lidar com a incerteza e imprecisão envolvida na estimativa do grau de influência, então a análise DEMATEL é concluída e, finalmente, os números *fuzzy* resultantes são convertidos em valores numéricos para a tomada de decisões (HSU; CHEN; TZENG, 2007; LIN; WU, 2008). A principal vantagem na utilização do modelo lógica *fuzzy* e DEMATEL é que ele emprega uma quantidade menor de cálculos, já que o processo de defuzzificação é realizado antes da aplicação do método DEMATEL, dessa forma as operações com os números *fuzzy* triangulares não precisam ser executadas até o final do método. Portanto, nesta tese será utilizado o modelo

lógica *fuzzy* e DEMATEL e o modelo será chamado de Fuzzy DEMATEL. Os procedimentos do método Fuzzy DEMATEL são descritos na subseção 4.3.5.

Uma vez que a forma de números *fuzzy* não é adequada para operações com matrizes, um algoritmo de defuzzificação é necessário para agregação adicional. Defuzzificação é um método de conversão de números *fuzzy* em um número pontual (*crisp*) ou único valor (OPRICOVIC; TZENG, 2003).

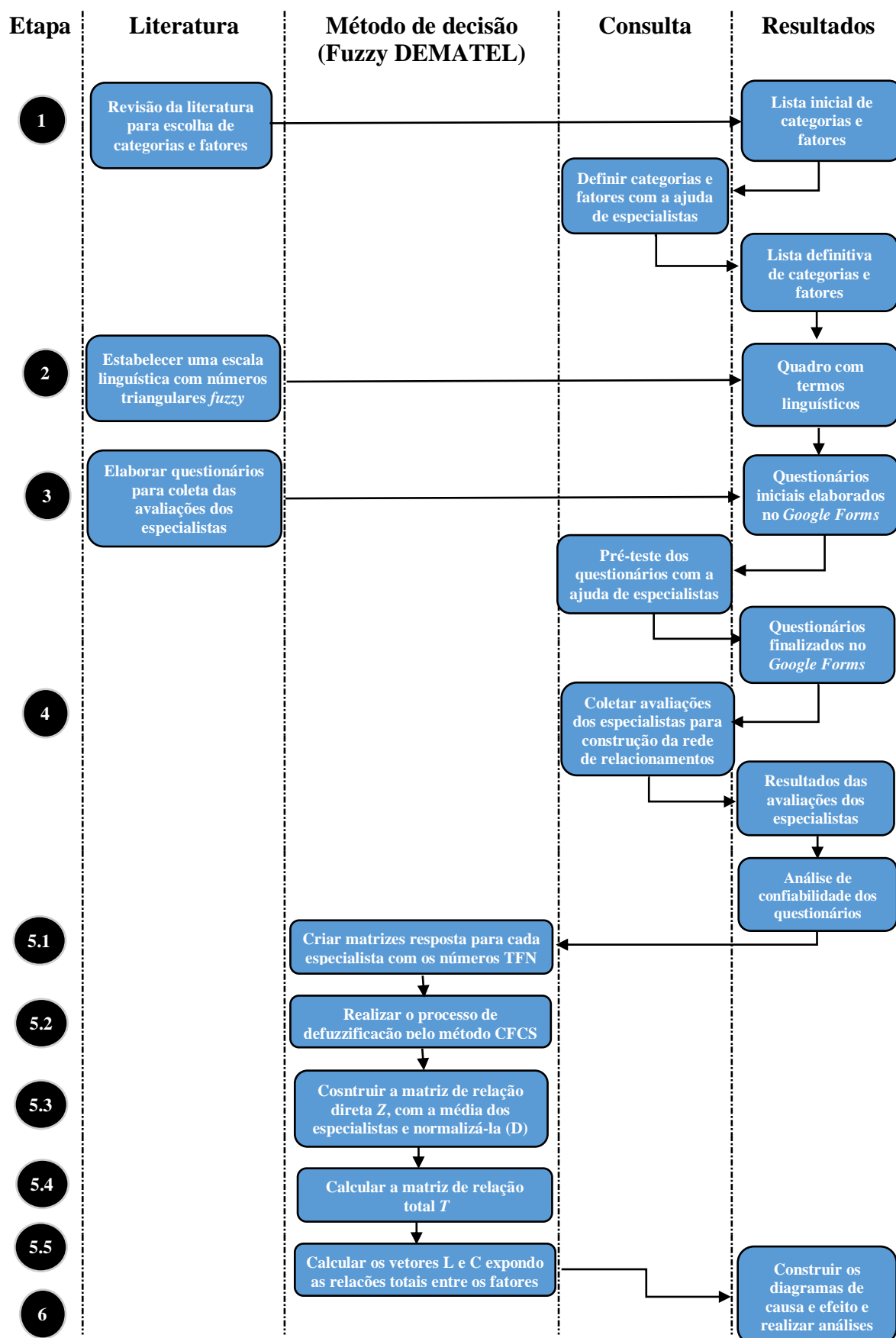
Existem vários métodos de defuzzificação na literatura: Média dos Máximos (MeOM), Primeiro dos Máximos (FOM), Centróide (COG), Centro de Área (COA), Média Ponderada, entre outros (OUSSALAH, 2002). Um dos métodos mais utilizados é o método Centróide (*Center of gravity* – COG) (YAGER; FILEV, 1994). Porém, esse método não distingue entre dois números *fuzzy* que têm o mesmo valor pontual apesar das diferentes formas (WU; LEE, 2007).

Uma pesquisa sobre algoritmos de defuzzificação conduzida por Sheng-Li et al. (2018) indica que o método CFCS (*Converting fuzzy Data into Crisp Scores*) proposto por Opricovic e Tzeng (2003) não apresenta a problemática do método Centróide e também é o algoritmo de defuzzificação mais adotado em modelos que utilizam lógica *fuzzy* e DEMATEL, portanto esta tese utilizará o método CFCS. A sequência desse método é descrita na subseção 4.3.5.

4.3 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

A Figura 28 apresenta uma estrutura sequencial dos procedimentos adotados por esta pesquisa, consistindo de 6 etapas. Na sequência, os objetivos de cada etapa são descritos.

Figura 28 – Estrutura sequencial dos procedimentos



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 Definição das Categorias e Facilitadores por Meio da RSL - Etapa 1

O Quadro 9 e o Quadro 10 da subseção 3.2.1.2 desta tese apresentam, respectivamente, a lista de categorias escolhidas para agrupar os facilitadores (fatores que colaboram para que os resultados sejam alcançados) e a lista com os facilitadores encontrados nos documentos selecionados a partir da RSL, ambas com uma breve descrição de cada item para facilitar o entendimento do especialista respondente no momento de preenchimento do questionário desta pesquisa na etapa 4. Como foi apresentado na subseção 3.2.1.2, as duas listas foram obtidas após um processo de adequações feito pelo autor desta pesquisa e especialistas acadêmicos da área de gestão e Indústria 4.0. As mesmas listas no idioma inglês são descritas no **Apêndice A**.

Vale destacar que este estudo foi concebido para analisar as relações entre os grupos (categorias) e entre os constituintes de cada grupo (facilitadores), a fim de obter uma compreensão global do problema, ou seja, definir quais são os grupos focais e internamente aos grupos, quais facilitadores devem receber um maior esforço da gestão das empresas no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Esse formato possibilita uma quantidade menor de julgamentos das relações entre os fatores feitos pelos especialistas, tornando esse processo menos exaustivo e possibilitando melhores resultados.

4.3.2 Estabelecimento dos Termos Linguísticos para o Fuzzy DEMATEL – Etapa 2

A discussão sobre a adoção da lógica *fuzzy* e a necessidade da criação de termos linguísticos para auxiliar o método de decisão multicritério DEMATEL foi descrita na subseção 4.2.3. A adoção de termos linguísticos facilitará o entendimento dos especialistas na avaliação do relacionamento entre as categorias e entre os fatores para posterior aplicação dos resultados no método DEMATEL, possibilitando assim uma visão mais assertiva dos relacionamentos encontrados. Desta forma, a escala linguística para utilização na próxima etapa, precisa ser definida. Assim, neste trabalho serão utilizados números *fuzzy* triangulares (TFN - *Triangular fuzzy Numbers*) para representar os termos linguísticos e eliminar ou reduzir as imprecisões subjetividades, ambiguidades e incertezas nos julgamentos feitos pelos especialistas. O Quadro 12 apresenta os termos linguísticos sugeridos para avaliação das relações entre categorias e entre facilitadores. As cores de cada termo correspondem a interpretação da Figura 29.

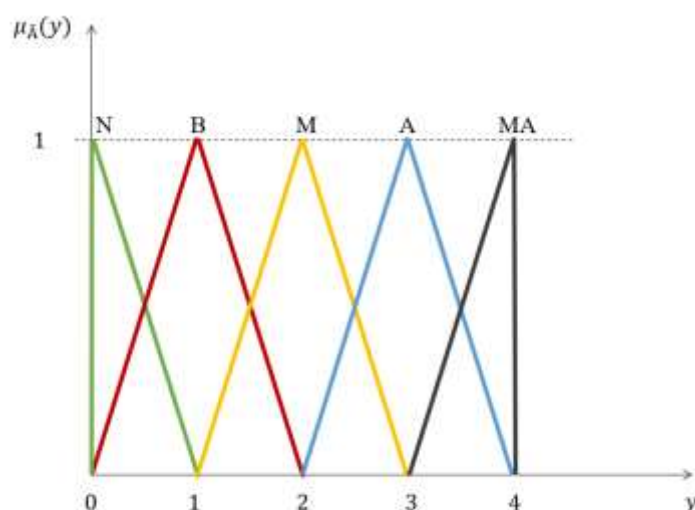
Na escolha desses termos linguísticos buscou-se manter uma quantidade adequada de termos, já que uma grande quantidade de termos pode tornar o processo de avaliação mais complicado e exaustivo para o respondente do questionário.

Quadro 12 – Termos linguísticos para avaliação das relações entre categorias e entre facilitadores

Termos Linguísticos para avaliação das categorias e fatores	Código	TFN
Nenhuma influência	N	(0, 0, 1)
Influência baixa	B	(0, 1, 2)
Média influência	M	(1, 2, 3)
Influência alta	A	(2, 3, 4)
Influência muito alta	MA	(3, 4, 4)

Fonte: adaptado de Govindan, Khodaverdi e Vafadarnikjoo (2015).

Figura 29 – Representação gráfica dos termos linguísticos do Quadro 12



Fonte: adaptado de Lin e Wu (2008).

4.3.3 Elaboração e Envio dos Questionários para Coletar a Avaliação do Grau de Influência entre os Fatores pelos Especialistas Respondentes – Etapa 3

Na coleta de dados da avaliação do grau de influência entre os fatores, uma grande parte dos estudos que utilizam o método DEMATEL, recorrem à modelos de matrizes n por n que são enviadas para um grupo de especialistas para preenchimento. Porém, o preenchimento dessas matrizes, em muitas ocasiões, pode-se tornar cansativa e confusa para o especialista respondente devido ao grande número de relações e a presença de todas as relações em uma só matriz, além da dificuldade de visualização das descrições dos fatores para auxiliá-lo no momento do preenchimento. Sendo assim, para tentar diminuir esses efeitos, nesta tese foram construídos dois questionários por meio da ferramenta *Google Forms*, um no idioma português e outro no idioma inglês. Cada questionário foi dividido em 8 partes, sendo a primeira parte

constituída de questões gerais dos respondentes para caracterização da pesquisa e as outras 7 partes para que os especialistas respondentes avaliem o grau de influência entre as categorias e entre os facilitadores. A avaliação de cada relacionamento entre os fatores é individualizada para o respondente por meio de uma pergunta com as possíveis respostas posicionadas em uma grade de múltipla escolha.

Os questionários foram primeiramente submetidos a um pré-teste para garantir a sua exequibilidade, verificando possíveis inconsistências e equívocos em sua elaboração. O pré-teste foi realizado por três especialistas acadêmicos, professores universitários, que possuem experiência de mais de cinco anos na condução e publicação de pesquisas relacionadas a área de gestão e Indústria 4.0. Esses especialistas foram os mesmos que participaram das adequações dos quadros de categorias e facilitadores. Após os ajustes necessários no pré-teste, os questionários foram finalizados (**Apêndice B**). Foram elaborados também dois convites para o preenchimento do questionário, um no idioma português e outro no idioma inglês, com as informações básicas da pesquisa e seu propósito juntamente com as diretrizes e um *link* do respectivo questionário no *Google Forms* para o seu devido preenchimento. Esses convites foram enviados para especialistas (acadêmicos, consultores e praticantes) no Brasil e no exterior por meio da rede social LinkedIn e por e-mail. Os especialistas selecionados no Brasil e no exterior apresentam no seu perfil o conhecimento e/ou experiência em projetos de implantação de tecnologias da I4.0. O Quadro 13 apresenta as informações de cada especialista respondente e a subseção 5.1 apresenta a caracterização completa da amostra selecionada de especialistas respondentes. Como discutido na subseção 4.1, foi utilizada uma amostra de conveniência desses especialistas para a realização do estudo e a amostragem é não probabilística por julgamento.

A técnica DEMATEL não precisa de uma grande quantidade de dados (CHANG; CHANG; WU, 2011). Segundo Teng (2002), a quantidade de questionários mais adequada para a realização desse tipo de estudo varia entre 5 a 15 questionários, no entanto, como este trabalho pretende coletar as opiniões de especialistas que atuam em diferentes setores (acadêmico, consultoria e industrial), a estratégia foi consultar especialistas suficientes desses setores no Brasil e em outros países para o retorno de pelo menos 45 questionários válidos, ou seja, pelo menos 15 questionários válidos para cada um dos três setores (estratos da amostra).

O questionário no idioma português enviado para a os especialistas selecionados no Brasil e Portugal ficou aberto para o recebimento de respostas no *Google Forms* no período de 05/10/2022 a 05/12/2022, já o questionário no idioma inglês para os especialistas selecionados em outros países, ficou aberto de 08/11/2022 a 08/12/2022. Durante o período em que o

questionário ficou aberto para recebimento das respostas, foram enviados ainda mais dois lembretes aos especialistas selecionados, além do convite inicial.

Para estimular o preenchimento dos questionários, o autor desta pesquisa se comprometeu a doar R\$ 5,00 de fundos próprios para o Hospital de Amor, instituição filantrópica especializada no combate ao câncer, localizada no Município de Barretos, no Estado de São Paulo. O comprovante de doação está no **Apêndice G** desta tese.

4.3.4 Avaliações do Grau de Influência entre os Fatores pelos Especialistas Respondentes - Etapa 4

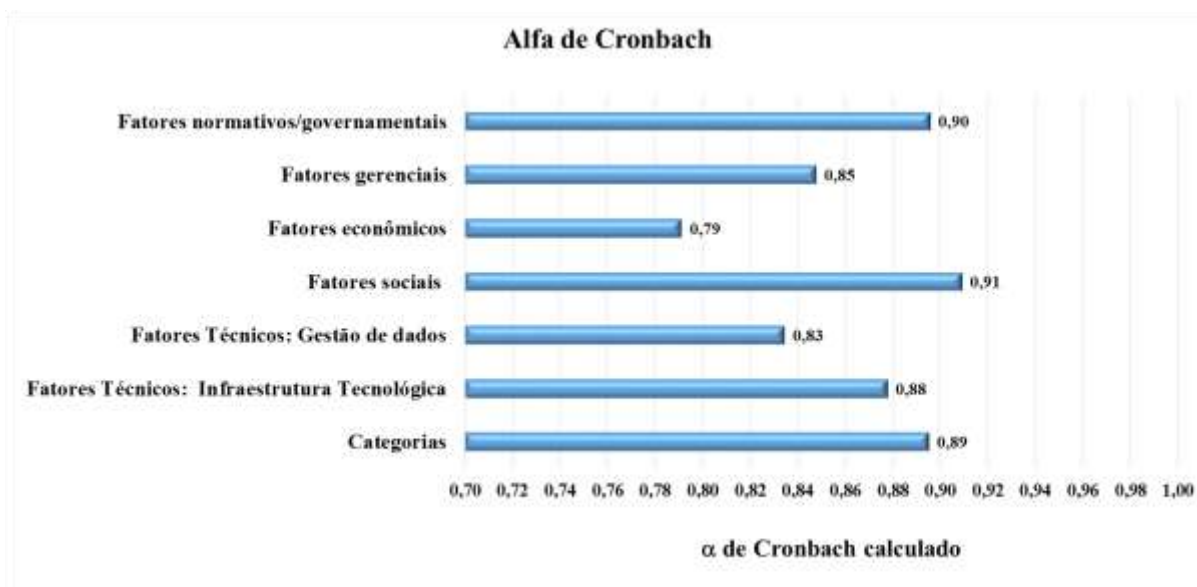
Após a definição das categorias e fatores, da escala linguística com os números triangulares *fuzzy* e da elaboração e envio dos questionários nas etapas 1, 2 e 3, os especialistas realizaram, nesta etapa, os julgamentos do nível de influência entre categorias e entre os facilitadores, por meio da comparação par a par dos termos. Os julgamentos foram feitos de acordo com os termos linguísticos definidos no questionário.

Após o término do período de recebimento dos questionários estipulado na subseção 4.3.3, foi feito o *download* dos dados coletados dos questionários no *Google Forms* para planilhas eletrônicas do *software* Microsoft Excel. Nas planilhas, os dados foram manipulados para criação das matrizes de avaliação dos especialistas respondentes, disponibilizadas no **Apêndice C**. Todas as respostas de cada questionário recebido foram analisadas para a verificação de inconsistências, antes da aplicação do método Fuzzy DEMATEL. Os resultados dessa análise são apresentados na subseção 5.1.

4.3.4.1 Confiabilidade do Questionário

A confiabilidade do questionário (instrumento de medição) desta pesquisa foi testada por meio do coeficiente alfa de Cronbach. Uma breve descrição dessa metodologia é apresentada no **Apêndice D**. A Figura 30 apresenta os resultados dos valores do alfa de Cronbach para as respostas das avaliações entre categorias e entre fatores de cada categoria fornecidas pelos especialistas respondentes em cada parte do questionário apresentadas no **Apêndice C**. A análise de confiabilidade considerou somente as respostas dos questionários considerados válidos conforme os resultados da análise apresentada na subseção 5.1.

Figura 30 - Coeficiente alfa de Cronbach para cada parte do questionário



Fonte: elaborado pelo autor.

Verifica-se na Figura 30, que todas as partes do questionário possuem um alto nível de confiabilidade ($\alpha > 0,75$) de acordo com Tabela 57 do **Apêndice D**, portanto o questionário é considerado satisfatório em relação a sua confiabilidade.

4.3.5 Aplicação do Método Fuzzy DEMATEL - Etapa 5

Após a etapa 4, o método Fuzzy DEMATEL foi aplicado. O método é semelhante ao método exposto na seção 4.2.2, em que se descreveu o passo a passo do DEMATEL sem a abordagem *fuzzy*. O que muda com a abordagem *fuzzy* é que inicialmente os termos linguísticos são transformados em números triangulares *fuzzy* (TFN), por meio da escala linguística definida na subseção 4.3.2 e utilizando-se as operações com números *fuzzy*. Na sequência o processo de defuzzificação é aplicado e os TFN são transformados em números únicos (*Crisp*) para a interpretação qualitativa. O passo a passo é abordado a seguir.

O fluxograma com o passo a passo para a aplicação do método DEMATEL foi apresentado na Figura 23 da subseção 4.2.2. Os dois primeiros passos do fluxograma já foram discutidos nas subseções 4.3.1 a 4.3.4. O restante dos passos que tratam especificamente de procedimentos matemáticos é discutido nesta subseção (LIN; WU, 2008).

Etapa 5.1 - Criação das Matrizes de Relação Direta

A cada questionário respondido por um especialista, foram produzidas 1 matriz de comparação entre categorias e 6 matrizes de comparação entre os facilitadores. Os termos linguísticos de cada matriz foram transformados em TFN, conforme o Quadro 12 definido na etapa 2. Estes números indicam o grau de influência de i em j . A fórmula (19) mostra um exemplo de matriz 'E' com termos linguísticos e transformados em números *fuzzy* triangulares (TFN), onde (0,0,0) não é necessário representar.

$$E = \begin{array}{c|ccccc} & F_1 & F_2 & \dots & F_{j-1} & F_j \\ \hline F_1 & 0 & M & \dots & B & B \\ F_2 & M & 0 & \dots & N & MA \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{i-1} & B & A & \dots & 0 & A \\ F_i & B & MA & \dots & MA & 0 \end{array} = \begin{array}{c|ccccc} & F_1 & F_2 & \dots & F_{j-1} & F_j \\ \hline F_1 & 0 & (1,2,3) & \dots & (0,1,2) & (0,1,2) \\ F_2 & (1,2,3) & 0 & \dots & (0,0,1) & (3,4,4) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{i-1} & (0,1,2) & (2,3,4) & \dots & 0 & (2,3,4) \\ F_i & (0,1,2) & (3,4,4) & \dots & & 0 \end{array} \quad (19)$$

Etapa 5.2 - Defuzzificação

Como já discutido na subseção 4.2.4, esta pesquisa utilizará o método de defuzzificação CFCS (*Converting fuzzy Data into Crisp Scores*) proposto por Opricovic e Tzeng (2003). Considerando que $\tilde{z}_{ij}^n = (l_{ij}^n, m_{ij}^n, r_{ij}^n)$ indica as avaliações *fuzzy* do avaliador n ($n=1, 2, \dots, p$) sobre o grau em que o critério i afeta o critério j , a sequência do CFCS é dada por 4 passos, detalhados na sequência:

- **Passo 1:** Normalização dos valores de l , m e n :

$$xl_{ij}^n = (l_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (20)$$

$$xm_{ij}^n = (m_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (21)$$

$$xr_{ij}^n = (r_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{min}^{max} \quad (22)$$

Onde: $\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^n - \min l_{ij}^n$ e n = número de avaliações

- **Passo 2:** Normalização dos valores de x_{sl} e x_{sr} :

$$xsl_{ij}^n = xm_{ij}^n / (1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n) \quad (23)$$

$$xsr_{ij}^n = xr_{ij}^n / (1 + xr_{ij}^n - xm_{ij}^n) \quad (24)$$

- **Passo 3:** Cálculo do valor único (*crisp*) normalizado total:

$$x_{ij}^n = [xsl_{ij}^n(1 - xsl_{ij}^n) + xsr_{ij}^n \times xsr_{ij}^n] / [1 - xsl_{ij}^n + xsr_{ij}^n] \quad (25)$$

- **Passo 4:** Estabelecimento do valor único (*Crisp*):

$$z_{ij}^n = \min l_{ij}^n + x_{ij}^n \Delta_{\min}^{max} \quad (26)$$

Etapa 5.3 - Construir a matriz de relação direta (Z) e normalizá-la

Esta etapa se resume em fazer a média das opiniões dos p especialistas que fizeram parte da pesquisa. A partir da matriz gerada por cada especialista, é projetada a matriz de relação direta (Z) (28), onde cada elemento z_{ij} é obtido através da média das respostas z_{ij}^p (obtidas na Etapa 5.2) dadas por p especialistas entrevistados (27).

$$z_{ij} = \frac{1}{p} (z_{ij}^1 + z_{ij}^2 + \dots + z_{ij}^p) \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (27)$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & 0 & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Após a criação da matriz de relação direta (Z), é necessário normalizar a matriz para que a soma de cada linha e coluna não ultrapasse o valor de 1. Portanto, a matriz normalizada D , em (29), é obtida através das fórmulas (30), (31) e (32).

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$s = \frac{1}{\max \left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij} \right)} \quad (30)$$

$$D = [d_{ij}] = [s \times z_{ij}], \text{ para } (s > 0 \text{ e } i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (31)$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} D^m = [0]_{n \times n}, \text{ onde } D = [d_{ij}] \quad (32)$$

Etapa 5.4 - Cálculo da Matriz de Relação Total (T)

Neste passo, a última matriz da etapa é calculada, utilizando-se a fórmula (33) é obtida a matriz de relação total (T) (34). A matriz identidade é indicada pela letra *I*, da mesma ordem que a matriz *D* apresentada anteriormente.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (33)$$

$$T = [t_{ij}], i, j = 1, 2, \dots, n \quad (34)$$

Etapa 5.5 – Resultado final

Esse passo visa obter os valores normalizados do relacionamento total. A Equação 35 calcula o vetor *L*. Este vetor representa o valor do relacionamento total, direto e indireto, que o fator *i* exerce sobre os outros fatores, ou seja, é a soma dos elementos da linha *i* em T. A Equação 36 calcula o vetor *C*, o qual representa o valor do relacionamento total que o fator *j* recebe dos outros fatores, ou seja, é a soma da coluna *j*, transposta $[c_j]'$, para que esta fique no mesmo formato do vetor *L*.

$$L = [l_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (35)$$

$$C = [c_j]'_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]'_{1 \times n} \quad (36)$$

4.3.6 Construir o Diagrama de Relacionamento e Analisar Resultados - Etapa 6

Após calculadas as equações (35) e (36), é realizada a soma ($Li+Ci$) e subtração ($Li-Ci$) desses dois vetores. A partir desses cálculos, é possível a construção do diagrama de relação causa e efeito. O diagrama é construído utilizando como o eixo horizontal (x) os valores de

($Li+Ci$), ou seja, a “Relação de Importância” e o eixo vertical (y) com os valores ($Li-Ci$), ou seja, a “Relação de Influência”. Após a construção do diagrama é possível realizar as análises de relacionamento, fazendo com que as interações entre os critérios sejam melhor exploradas. Para maior explicação do detalhamento dos resultados, veja a subseção 4.2.2, no sétimo passo.

A teoria das partes interessadas aponta que os facilitadores podem ser avaliados de forma diferente por diferentes grupos de tomadores de decisão por causa de suas perspectivas heterogêneas, antecedentes e experiências relacionadas a situação (ZHANG; DAWES; SARKIS, 2005). Dessa forma, a análise dos resultados é separada em duas partes. Na primeira parte, a análise é realizada a partir dos resultados da avaliação de todos os especialistas respondentes da amostra de modo a capturar uma perspectiva global dos relacionamentos entre os fatores. Na segunda parte, a análise é realizada a partir dos resultados da avaliação dos especialistas respondentes de determinados estratos da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes). O estrato de especialistas praticantes é formado praticamente por profissionais que atuam diretamente no setor industrial dentro das organizações. A intenção dessa segunda parte da análise dos resultados é verificar as semelhanças e diferenças entre as perspectivas dos especialistas da amostra como um todo e as perspectivas dos especialistas dos estratos da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo desta seção é apresentar os resultados dos procedimentos propostos na pesquisa e realizar a análise e discussão destes resultados. Primeiramente é apresentada a caracterização da amostra escolhida para aplicação do método. Na sequência são apresentados os resultados globais da aplicação do método Fuzzy DEMATEL, os diagramas de causa e efeito e as discussões acerca dos resultados. Por fim, são realizados os mesmos estudos e discussões da avaliação global, porém eles são direcionados para três estratos (acadêmicos, consultores e praticantes) da amostra que responderam o questionário.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A Tabela 10 apresenta um resumo da quantidade de formulários enviados e respondidos no Brasil e no exterior com as respectivas taxas de retorno. Cabe ressaltar que dos 71 questionários respondidos inicialmente, somente 68 questionários foram considerados válidos. Três questionários foram descartados porque os respondentes utilizaram a mesma resposta para praticamente todas as questões, o que não permite uma análise das relações causa e efeito entre as categorias ou fatores de acordo com o método DEMATEL.

Tabela 10 – Número de questionários enviados e recebidos no Brasil e no exterior

Item	Brasil	Exterior	Total
Nº de questionários enviados por email	6	36	42
Nº de questionários enviados pelo LinkedIn	116	132	248
Total de questionários enviados	122	168	290
Nº de questionários respondidos por email	2	1	3
Nº de questionários respondidos pelo LinkedIn	37	31	68
Nº de questionários inválidos	3	0	3
Total de questionários respondidos	36	32	68
Taxa de retorno dos questionários	29,5%	19,0%	23,4%

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 31 apresenta a distribuição da quantidade de questionários enviados e respondidos no Brasil de acordo com cada estado. Observa-se na Figura 31 que a maior parte dos questionários enviados (65,6%) e respondidos (65%) são do estado de São Paulo. Como a busca no LinkedIn não foi direcionada por estados, mas sim pelo perfil do especialista, o algoritmo de busca do LinkedIn encontra os profissionais mais relevantes para esse critério, assim os resultados encontrados podem indicar que o estado de São Paulo concentra a maior parte dos especialistas em tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil.

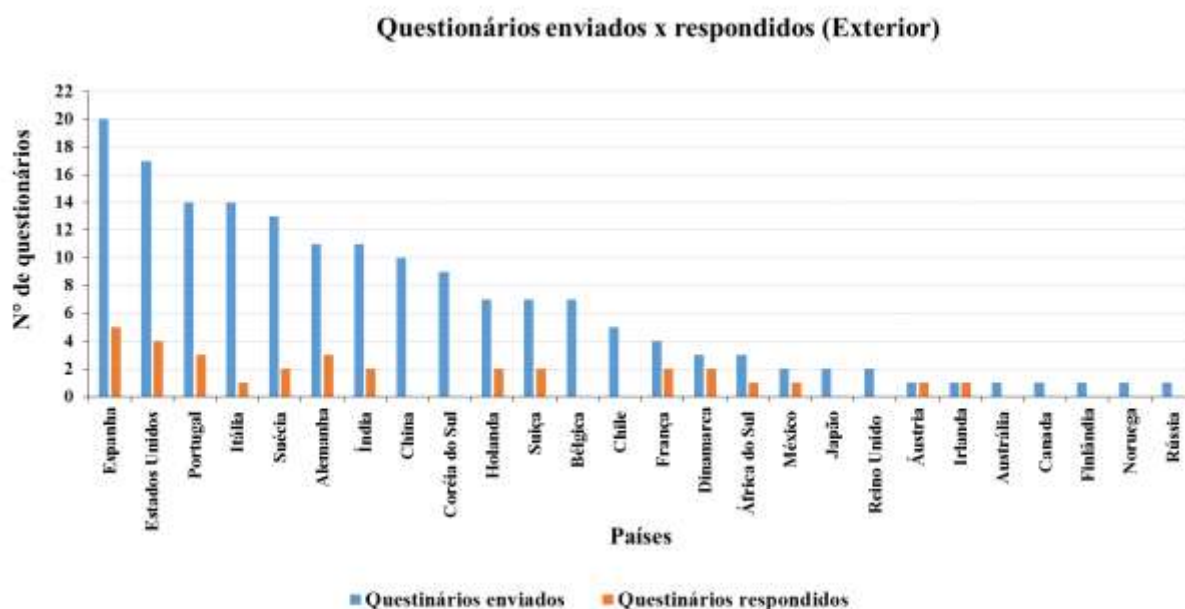
Figura 31 – Questionários enviados x respondidos (Brasil)



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 32 apresenta a distribuição da quantidade de questionários enviados e respondidos no exterior de acordo com cada país. Observa-se na Figura 32 que a maior parte dos questionários enviados e respondidos são da Espanha, Estados Unidos e Portugal.

Figura 32 – Questionários enviados x respondidos (Exterior)



Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 13 apresenta algumas informações extraídas dos questionários de cada especialista respondente. A primeira coluna (“Resp.”) do Quadro 13 apresenta o código de cada respondente na amostra, esse número identifica os respondentes nas matrizes de avaliação obtidas dos questionários e disponibilizadas no **Apêndice C**.

Quadro 13 – Informações dos especialistas respondentes

(continua)

Resp.	País	Nível de Formação	Última formação	Sector de atuação atual	Função atual
1	Brasil	Graduado	MIS - Arquitetura e Eng. de Software	Consultoria	TAM - Technical Account Manager
2	Brasil	Mestrado	Engenharia Elétrica	Indústrias em geral	Engenheiro de Manufatura Digital
3	Brasil	Doutorado	Engenharia Química	Consultoria	Especialista de Aplicação
4	Brasil	Pós-Doutorado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Acadêmico	Professor
5	Brasil	Mestrado	Engenharia de Produção	Consultoria	Diretor
6	Brasil	Graduado	Engenharia Elétrica	Consultoria	Sócio Consultoria
7	Brasil	Doutorado	Engenharia de Produção e Sistemas	Acadêmico	Professor
8	Brasil	Doutorado	Engenharia de Produção	Acadêmico	Professor
9	Brasil	Graduado	Engenharia de Controle e Automação	Indústrias em geral	Líder de Projetos de Transf. Digital
10	Brasil	Graduado	Engenharia Química	Indústrias em geral	Trainee Industrial
11	Brasil	Nível técnico	Técnico Mecatrônico	Indústrias em geral	Consultor Técnico
12	Brasil	Graduado	Processamento de Dados	Consultoria	Head Business Development & Innovación - Latam
13	Brasil	Mestrado	Gestão Empresarial	Indústrias em geral	Analista sênior de Digital
14	Brasil	Mestrado	Engenharia de Produção e Sistemas	Indústrias em geral	Consultor Técnico de Indústria 4.0
15	Brasil	Mestrado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Consultoria	Consultora
16	Brasil	Mestrado	Engenharia Química	Consultoria	Consultora Sênior
17	Brasil	Graduado	Engenharia Mecatrônica	Mercado Financeiro	Engenheira de Dados
18	Brasil	Graduado	Engenharia de Controle e Automação	Tecnologia	Gerente de Programas
19	Brasil	Graduado	Engenharia de Instrumentação, Automação e Robótica	Indústrias em geral	Engenheiro de Aplicação
20	Brasil	Graduado	Engenharia Elétrica	Consultoria	Pesquisador em Indústria 4.0
21	Brasil	Graduado	Gerenciamento de Redes de Computadores	Acadêmico	Diretor de TI e Transformação Digital
22	Brasil	Mestrado	Internet das Coisas	ONG	Gerente IoT e Transformação Urbana
23	Brasil	Graduado	Engenharia de Controle e Automação	Consultoria	Engenheiro de IIoT e Indústria 4.0
24	Brasil	Graduado	Especialização em Engenharia 4.0	Indústrias em geral	Engenheiro de Manufatura
25	Brasil	Graduado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Indústrias em geral	Engenheira de Suporte
26	Brasil	Graduado	Engenharia de Produção	Serviços em geral	Executivo de Vendas
27	Brasil	Graduado	Sistema de Informações	Indústrias em geral	Analista de dados
28	Brasil	Graduado	Engenharia de Produção	Serviços em geral	Gerente de Produto
29	Brasil	Graduado	Ciência da Computação	Consultoria	Gerente de Consultoria
30	Brasil	Graduado	Engenharia de Produção	Indústrias em geral	Especialista SAP PP
31	Brasil	Graduado	Engenharia de Controle e Automação	Indústrias em geral	Especialista de Manufatura Digital
32	Brasil	Graduado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Indústrias em geral	Analista de Automação e Digitalização
33	Portugal	Mestrado	Administração de Negócios	Indústrias em geral	Diretor de Dep. de Digitaliz. da Produção
34	Portugal	Mestrado	Engenharia Industrial	Indústrias em geral	Engenheiro Industrial
35	Brasil	Mestrado	Sistemas Eletrônicos	Indústrias em geral	Executivo de Inovação
36	Portugal	Mestrado	Gestão de Empresas	Acadêmico	Professor Assistente
37	Brasil	Pós-Doutorado	Engenharia de Computação	Acadêmico	Especialista em Laboratório/Pesquisador
38	Brasil	Mestrado	Engenharia de Produção	Consultoria	Consultor Associado
39	Brasil	Pós-Doutorado	Engenharia de Produção	Acadêmico	Professor Titular
40	Estados Unidos	Graduado	Engenharia Elétrica	Indústrias em geral	Diretor de Vendas
41	México	Mestrado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Consultoria	Diretor de Consultoria
42	Estados Unidos	Graduado	Engenharia Elétrica	Indústrias em geral	Nenhuma
43	França	Mestrado	Engenharia Industrial	Indústrias em geral	Chefe de Operações
44	Irlanda	Mestrado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Indústrias em geral	Líder Manufatura
45	Estados Unidos	Doutorado	Engenharia Industrial e Sistemas	Indústrias em geral	Engenheiro de Indústria 4.0
46	Alemanha	Pós-Doutorado	Engenharia Mecânica	Acadêmico	Professor
47	Espanha	Graduado	Engenharia Industrial	Indústrias em geral	Líder de Supply Chain e Indústria 4.0
48	Espanha	Mestrado	Engenharia Mecânica	Indústrias em geral	CEO
49	Países Baixos	Graduado	Administração Pública	Consultoria	Consultor em Indústria 4.0
50	Espanha	Doutorado	Engenharia Química	Acadêmico	Professor
51	Índia	Doutorado	Engenharia Mecânica	Acadêmico	Professor e Pesquisador
52	Suíça	Mestrado	Automação e Robótica	Indústrias em geral	Líder de Melhoria Contínua e Automação
53	Dinamarca	Doutorado	Engenharia Industrial	Acadêmico	Professor Associado
54	Itália	Nível técnico	Técnico em Elétrica e Eletrônica	Indústrias em geral	Gerente de Vendas em Indústria 4.0
55	Suíça	Pós-Doutorado	Robótica	Acadêmico	Professor
56	Austria	Pós-Doutorado	Engenharia Industrial	Acadêmico	Professor

Quadro 13 – Informações dos especialistas respondentes

(conclusão)

Resp.	País	Nível de Formação	Última formação	Sector de atuação atual	Função atual
57	França	Pós-Doutorado	Engenharia Industrial	Acadêmico	Professor Assistente
58	Índia	Mestrado	Engenharia Mecânica	Consultoria	Consultor em Indústria 4.0
59	Espanha	Mestrado	Engenharia Industrial	Indústrias em geral	Engenheiro de Transformação Digital
60	Suécia	Mestrado	Indústria 4.0 e Transformação Digital	Indústrias em geral	Data Scientist Senior
61	Alemanha	Doutorado	Engenharia de Manufatura	Acadêmico	Professor
62	Países Baixos	Graduado	Engenharia Industrial	Indústrias em geral	Engenheiro de Transformação Digital
63	Alemanha	Mestrado	Engenharia Mecânica	Indústrias em geral	Líder de Projetos
64	Espanha	Mestrado	Engenharia de Telecomunicações	Indústrias em geral	Chefe em Indústria 4.0
65	Estados Unidos	Mestrado	Saúde, Segurança e Meio Ambiente	Indústrias em geral	Gerente EHS/Líder Indústria 4.0
66	Dinamarca	Pós-Doutorado	Engenharia Industrial	Acadêmico	Professor Assistente
67	África do Sul	Graduado	Engenharia Elétrica	Indústrias em geral	Gerente de Sucesso do Cliente
68	Suécia	Doutorado	Engenharia de Manufatura	Acadêmico	Professor Associado

Fonte: elaborado pelo autor.

As Figuras 33 e 34 caracterizam a amostra pelo nível de formação e o curso da última formação dos 68 especialistas respondentes.

Observa-se na Figura 33 que 26 especialistas (38%) são graduados e que 40 especialistas (58,8%) possuem formação complementar a graduação. Esse fato mostra o elevado nível de conhecimento dos especialistas respondentes da amostra.

Figura 33 – Nível de formação dos especialistas respondentes



Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Figura 34 que a última formação dos 68 especialistas respondentes é majoritariamente na área de Engenharia, principalmente Engenharia Industrial e Engenharia de Produção. Cabe ressaltar que o curso de Engenharia Industrial, citado na maioria pelos especialistas respondentes do exterior, é ainda hoje nos Estados Unidos e Europa, uma

denominação clássica para o curso de Engenharia de Produção oferecido nas instituições brasileiras. O curso específico em Indústria 4.0 e Transformação Digital também está entre os mais citados.

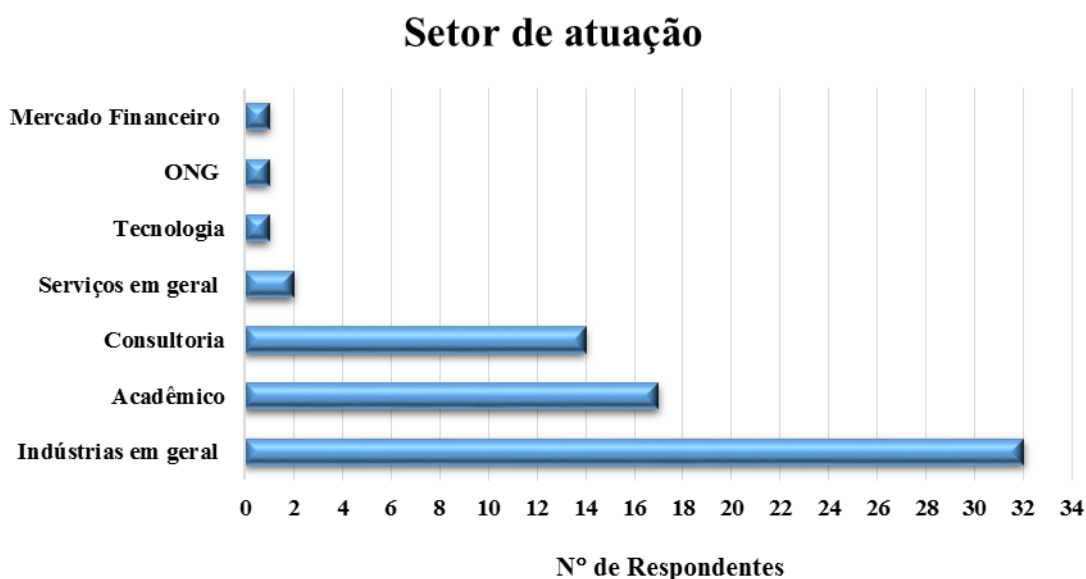
Figura 34 – Curso da última formação dos especialistas respondentes



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 35 apresenta a distribuição dos especialistas respondentes pelo setor de atuação e mostra que 93% dos respondentes da amostra (63 especialistas) estão concentrados em três setores: industrial (47%), acadêmico (25%) e de consultoria (21%).

Figura 35 – Setor de atuação dos especialistas respondentes



Fonte: elaborado pelo autor.

As Figuras 36 e 37 mostram que os especialistas respondentes apresentam boa experiência profissional inclusive relacionada a implantação de tecnologias da I4.0.

Observa-se na Figura 36 que 66% da amostra (45 especialistas) possuem mais de 10 anos de experiência profissional enquanto 6% da amostra (4 especialistas) possuem até 4 anos de experiência profissional. Já em relação a experiência profissional em implantação de tecnologias da I4.0, a Figura 36 apresenta um certo equilíbrio entre a experiência dos especialistas, sendo que 47% da amostra (32 especialistas) possuem até 4 anos de experiência e 53% da amostra (36 especialistas) possuem mais de 4 anos. Apenas 12% da amostra (8 especialistas) possuem mais de 10 anos de experiência em implantação das tecnologias da I4.0. Apenas 1 especialista respondeu não ter experiência em implantação de tecnologias da I4.0. Isso mostra que apesar da elevada experiência profissional dos especialistas respondentes, grande parte deles ainda está evoluindo na implantação e aplicação das tecnologias da I4.0, pois muitas dessas tecnologias estão ainda sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas e não alcançaram ainda um elevado nível de maturidade.

Figura 36 – Experiência profissional dos especialistas respondentes

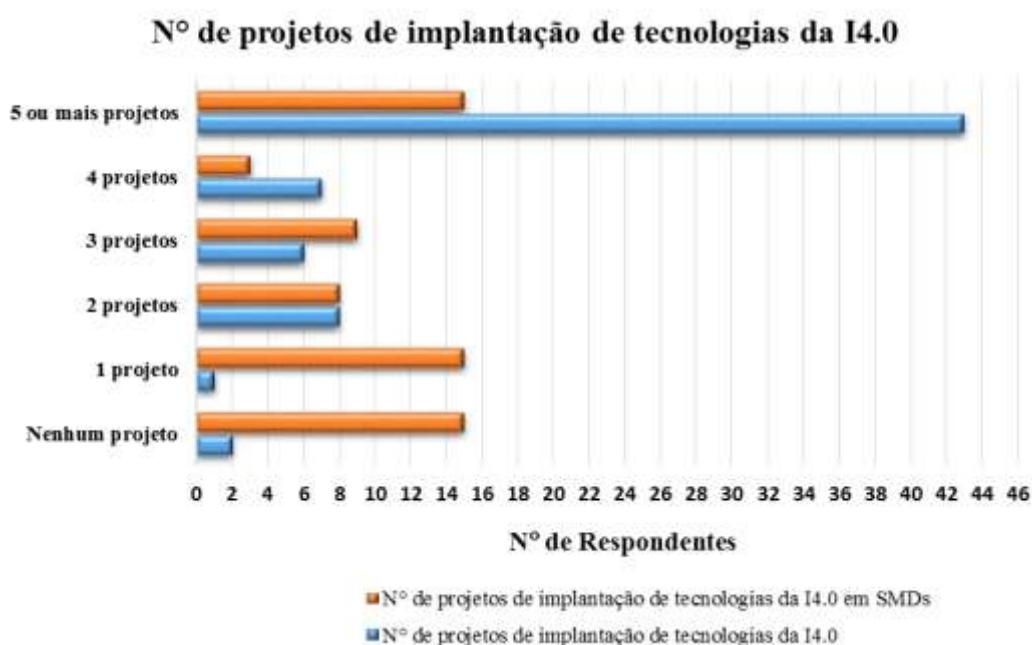


Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 37 mostra que 64% dos especialistas respondentes da amostra (43 especialistas) implantaram mais de 5 projetos envolvendo tecnologias da I4.0 e 23% dos especialistas respondentes da amostra (15 especialistas) implantaram mais de 5 projetos envolvendo tecnologias da I4.0 especificamente em SMDs. Apenas 3% da amostra (2

especialistas) responderam não ter implantado nenhum projeto de implantação de tecnologias da I4.0 e 23% da amostra (15 especialistas) responderam não ter implantado nenhum projeto especificamente em SMDs. Isso mostra que a maior parte dos respondentes possuem uma boa experiência em Indústria 4.0 e podem identificar bem os possíveis facilitadores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Figura 37 – Número de projetos relacionados a implantação de tecnologias da I4.0



Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES DO NÍVEL DE INFLUÊNCIA ENTRE CATEGORIAS E ENTRE OS FATORES (ESTUDO GLOBAL DA AMOSTRA)

Os julgamentos do nível de influência entre as categorias e entre os fatores foi feito por meio da comparação par a par dos termos pelos especialistas selecionados. Estes são julgados pelos 68 especialistas selecionados para a pesquisa, de acordo com os termos linguísticos definidos no Quadro 12 da subseção 4.3.2. A coleta dos julgamentos dos especialistas foi realizada por meio de questionários, descritos no **Apêndice B**, que contêm as comparações par a par de todas as categorias e de todos os fatores (facilitadores). No final desta subseção é apresentada a Tabela 48 e uma análise geral dos resultados baseada na importância e no impacto entre as categorias e entre os fatores de cada categoria, de acordo com as opiniões dos todos especialistas da amostra.

5.2.1 Resultados do Nível Influência entre as Categorias

Após o recebimento dos 68 questionários preenchidos, o método Fuzzy DEMATEL foi utilizado para analisar a relação de causa e efeito entre as categorias e entre os facilitadores selecionados para o estudo.

Os 68 questionários preenchidos forneceram dados para o preenchimento 476 matrizes resposta, ou seja, cada respondente forneceu 7 matrizes resposta, sendo a primeira matriz referente aos julgamentos de influência entre as categorias e as outras 6 matrizes referente ao julgamento das influência entre os facilitadores de cada categoria. As matrizes resposta de cada especialista respondente estão disponibilizadas no **Apêndice C**.

A seguir, um exemplo do cálculo será apresentado para evidenciar a sequência de resolução do método Fuzzy DEMATEL, além de todos os resultados. A sequência de resolução seguirá as etapas definidas na subseção 4.3.5. O *software* Microsoft Excel foi utilizado para realizar todos os cálculos envolvendo o método Fuzzy DEMATEL nesta pesquisa.

De acordo com a etapa 5.1 da subseção 4.3.5, primeiramente os códigos que representam os termos linguísticos são transformados em números *fuzzy* triangulares (TFN) de acordo com o Quadro 12 da subseção 4.3.2. A Tabela 11 apresenta a matriz de avaliação ou matriz resposta com os julgamentos do especialista respondente n° 1 para o relacionamento entre as categorias. A Tabela 12 apresenta a conversão dos códigos referentes aos termos linguísticos nos TFNs equivalentes conforme apresentado no Quadro 12.

Tabela 11 – Matriz resposta do especialista respondente n° 1

Resp.1	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	A	A	MA
C2	MA		MA	MA	MA	MA
C3	M	A		MA	MA	M
C4	A	A	MA		A	B
C5	M	M	MA	MA		M
C6	M	MA	M	A	A	

Legenda:

C1- Categoria: Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica	N- Nenhuma influência
C2- Categoria: Fatores Técnicos – Gestão de Dados	B- Influência baixa
C3- Categoria: Fatores Sociais	M- Influência média
C4- Categoria: Fatores Econômicos	A- Influência alta
C5- Categoria: Fatores Gerenciais	MA- Influência muito alta
C6- Categoria: Fatores Normativos/Governamentais	

Tabela 12 – Matriz resposta do especialista respondente nº1 com códigos transformados em TFN

Resp. 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		(3, 4, 4)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 4)
C2	(3, 4, 4)		(3, 4, 4)	(3, 4, 4)	(3, 4, 4)	(3, 4, 4)
C3	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)		(3, 4, 4)	(3, 4, 4)	(1, 2, 3)
C4	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 4)		(2, 3, 4)	(0, 1, 2)
C5	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(3, 4, 4)	(3, 4, 4)		(1, 2, 3)
C6	(1, 2, 3)	(3, 4, 4)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	

Com os termos linguísticos sendo transformados em TFNs, dá-se início a etapa 5.2 da subseção 4.3.5, ou seja, ao processo de defuzzificação pelo método do CFCS com o passo 1, a normalização dos valores do TFN. A tabela 13 apresenta os resultados do processo de normalização para $j = 1$ (coluna C1). Sendo: $\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^n - \min l_{ij}^n = 4$

Tabela 13 – Valores normalizados do TFN da matriz de resposta colhida para $j = 1$

Resp. 1	C1		
	xl	xm	xr
C1	0	0	0
C2	0,75	1	1
C3	0,25	0,5	0,75
C4	0,5	0,75	1
C5	0,25	0,5	0,75
C6	0,25	0,5	0,75

Após a normalização (passo 1), são calculados os valores normalizados à esquerda e à direita (passo 2). A tabela 14 apresenta os resultados também para $j = 1$ (C1).

Tabela 14 – Valores normalizados à esquerda e à direita, x_{sl} e x_{sr} para $j = 1$

Resp. 1	C1	
	x_{sl}	x_{sr}
C1	0	0
C2	0,8	1
C3	0,4	0,6
C4	0,6	0,8
C5	0,4	0,6
C6	0,4	0,6

Em seguida, o cálculo do valor único (*crisp*) normalizado pode ser realizado (passo 3). A Tabela 15 apresenta os valores encontrados.

Tabela 15 – Cálculo do x_{crisp} normalizado para $j = 1$

	C1
Resp. 1	x_{crisp}
C1	0,00
C2	0,97
C3	0,50
C4	0,73
C5	0,50
C6	0,50

Por fim, no passo 4, os valores da Tabela 15 são transformados em valores *crisp* não normalizados. A Tabela 16 apresenta os valores calculados para $j = 1$.

Tabela 16 – Valor *crisp* não normalizado para $j = 1$

	C1
Resp. 1	z
C1	0,00
C2	3,86
C3	2,00
C4	2,93
C5	2,00
C6	2,00

Após a realização dos quatro passos para todos $j = 1, 2, \dots, 6$, se chega à matriz com valores *crisp* que permite a aplicação do DEMATEL. A Tabela 17 apresenta o resultado da defuzzificação para a matriz resposta do especialista respondente n° 1.

Tabela 17 – Resultado da defuzzificação para a matriz resposta do especialista respondente n° 1

Resp. 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		3,87	2,93	2,93	2,93	3,87
C2	3,86		3,87	3,87	3,87	3,87
C3	2,00	2,93		3,87	3,87	2,00
C4	2,93	2,93	3,87		2,93	1,07
C5	2,00	2,00	3,87	3,87		2,00
C6	2,00	3,87	2,00	2,93	2,93	

Após a realização desses quatro passos para todas as 68 matrizes resposta, o método DEMATEL pode ser aplicado e a etapa 5.3 pode ser realizada. Primeiramente será feita a média dos valores de todas as 68 matrizes resposta defuzzificadas. A matriz resultante é a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) que pode ser observada na Tabela 18.

Tabela 18 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		3,40	2,20	2,84	2,53	1,74
C2	3,01		2,51	2,65	2,78	1,79
C3	2,14	2,51		2,43	2,83	1,84
C4	3,02	2,72	2,43		2,88	1,85
C5	2,61	2,61	2,88	2,88		1,72
C6	2,10	1,96	2,10	2,17	2,07	

A partir da Matriz Z, é possível calcular o valor de “s” e calcular a Matriz Normalizada de Relação Direta (D) (Tabela 19).

$$s = \frac{1}{\max \left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij} \right)} = \frac{1}{\max(13,20; 12,90)} = 0,8$$

Tabela 19 – Matriz Normalizada de Relação Direta Inicial (D)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		0,26	0,17	0,22	0,19	0,13
C2	0,23		0,19	0,20	0,21	0,14
C3	0,16	0,19		0,18	0,21	0,14
C4	0,23	0,21	0,18		0,22	0,14
C5	0,20	0,20	0,22	0,22		0,13
C6	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	

Na etapa 5.4 é possível calcular a Matriz de Relação Total (T) (Tabela 20) e na última etapa, a partir da Matriz de Relação Total, são calculados os dois vetores L_i (soma dos elementos da linha i) e C_i (soma dos elementos da coluna j).

Tabela 20 – Matriz de Relação Total (T) e vetores L_i e C_i

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	L_i
C1	2,320	2,577	2,336	2,503	2,507	1,791	14,03
C2	2,505	2,371	2,353	2,494	2,521	1,794	14,04
C3	2,299	2,366	2,044	2,322	2,362	1,682	13,08
C4	2,529	2,566	2,371	2,350	2,550	1,815	14,18
C5	2,474	2,526	2,364	2,496	2,338	1,784	13,98
C6	2,071	2,106	1,967	2,082	2,093	1,398	11,72
C_i	14,20	14,51	13,44	14,25	14,37	10,26	

Com a Matriz T calculada e finalizada, por meio das equações 33 e 34, os valores da soma ($Li+Ci$) e subtração ($Li-Ci$) podem ser calculadas e as análises de importância e influência podem ser realizadas. A Tabela 21 apresenta os valores de Li , Ci , ($Li+Ci$) e ($Li-Ci$).

Tabela 21- Relações finais entre as categorias

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
C1	14,03	14,20	28,23	-0,16
C2	14,04	14,51	28,55	-0,47
C3	13,08	13,44	26,51	-0,36
C4	14,18	14,25	28,43	-0,07
C5	13,98	14,37	28,35	-0,39
C6	11,72	10,26	21,98	1,45

Com os resultados de ($Li+Ci$) e ($Li-Ci$) da Tabela 21 é possível construir o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 38) e analisar mais detalhadamente como as importâncias e as relações de influência entre as categorias se comportam em um plano cartesiano. Por meio desse diagrama, a análise visual dos resultados torna-se mais clara e objetiva.

Um mapa de influências também pode ser construído no Diagrama de Relação Causa e Efeito. Esse mapa representa, por meio de linhas e setas, as relações de influência mais relevantes entre as categorias e indicam quais as categorias influenciam as outras em maior ou menor intensidade, a partir da comparação dos valores dos elementos da Matriz de Relação Total (T) com um valor limite (*threshold value*). O método para escolha do valor limite pode diferir entre pesquisadores, pois depende de vários fatores (LI; TZENG, 2009). Um valor limite muito baixo pode incluir muitas relações no Diagrama de Relação Causa e Efeito e tornar a análise mais complexa e confusa, por outro lado, um valor limite muito alto pode não mostrar algumas relações. Nesta pesquisa foram testados como valor limite, a média e o terceiro quartil dos valores encontrados na Matriz de Relação Total (T). O resultados da comparação, disponibilizados no **Apêndice E**, mostraram que o valor limite no terceiro quartil é mais adequado pois apresenta as relações mais relevantes, facilitando a análise e direcionando melhor as ações de implantação, portanto o terceiro quartil dos valores da Matriz de Relação Total (T) será utilizado nas próximas análises de relacionamento entre categorias e entre facilitadores deste estudo.

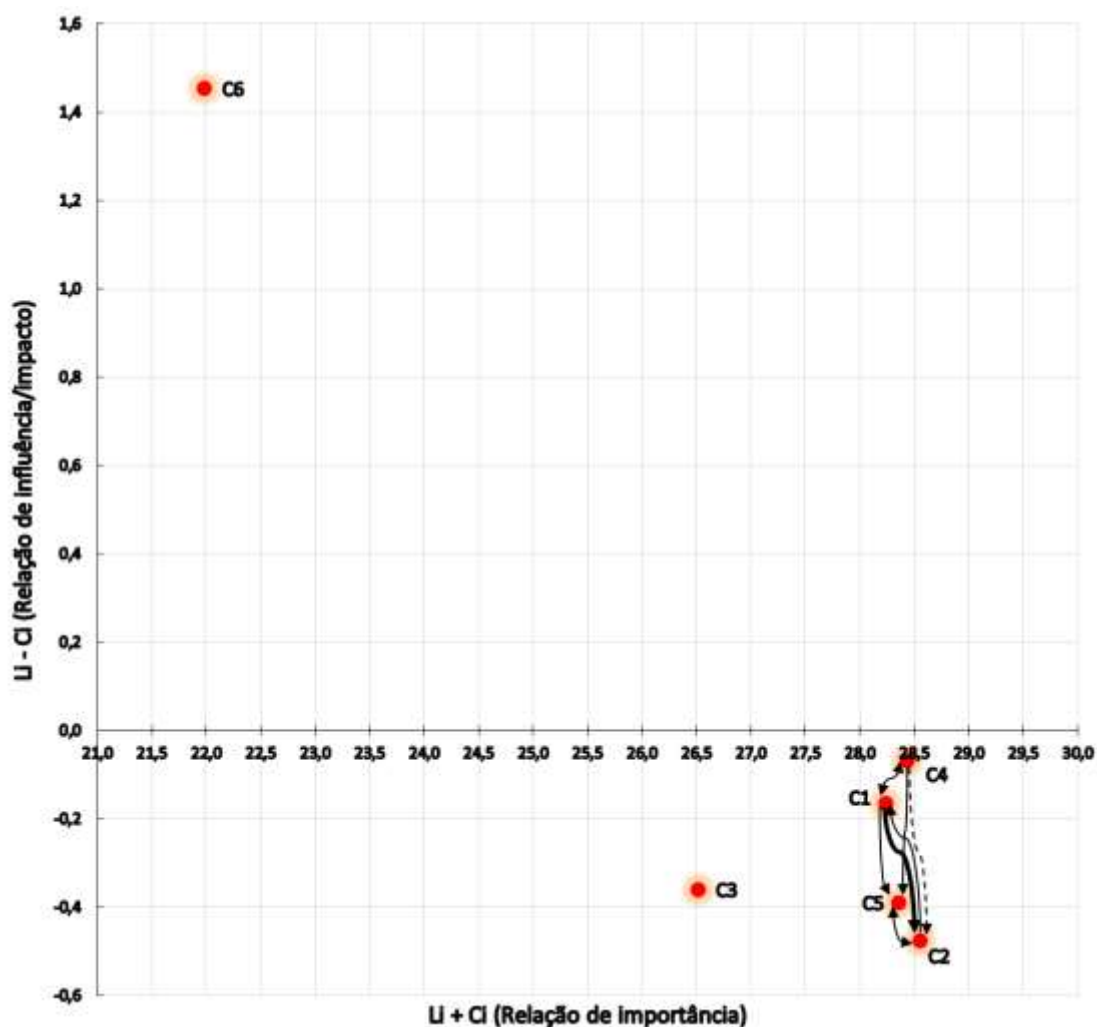
Assim, o resultado do cálculo do terceiro quartil dos elementos da Matriz de Relação Total (T) (Tabela 20) é 2,498. Portanto, os valores dos elementos da Matriz de Relação Total (T) que estão acima desse valor limite são utilizados para estabelecer as relações de influência

(setas) mais relevantes entre as categorias no Diagrama de Causa e Efeito (Figura 38). As células destacadas na Tabela 22 apresentam os valores dos elementos da matriz que estão acima do limite (2,498).

Tabela 22 – Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,498)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	2,320	2,577	2,336	2,503	2,507	1,791
C2	2,505	2,371	2,353	2,494	2,521	1,794
C3	2,299	2,366	2,044	2,322	2,362	1,682
C4	2,529	2,566	2,371	2,350	2,550	1,815
C5	2,474	2,526	2,364	2,496	2,338	1,784
C6	2,071	2,106	1,967	2,082	2,093	1,398

Figura 38 – Diagrama de Causa e Efeito (Categorias)



Legenda:

C1- Categoria: Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica

C3- Categoria: Fatores Sociais

C5- Categoria: Fatores Gerenciais

C2- Categoria: Fatores Técnicos – Gestão de Dados

C4- Categoria: Fatores Econômicos

C6- Categoria: Fatores Normativos/Governamentais

Observa-se na Tabela 23 que com os resultados da coluna ($Li+Ci$) da Matriz de Relação Total (T) é possível, por meio de um ranqueamento, verificar quais as categorias mais importantes na opinião dos 68 especialistas de acordo com o método Fuzzy DEMATEL. Esse ranqueamento também pode ser obtido de maneira gráfica a partir da observação do eixo “Relação de Importância” do Diagrama de Causa e Efeito (Figura 38). Quanto maior o valor de ($Li+Ci$) no eixo, maior a importância da categoria.

Tabela 23- Ranqueamento das relações mais importantes entre as categorias

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	(<i>Li + Ci</i>) (Importância)	Rank
C2	14,04	14,51	28,55	1°
C4	14,18	14,25	28,43	2°
C5	13,98	14,37	28,35	3°
C1	14,03	14,20	28,23	4°
C3	13,08	13,44	26,51	5°
C6	11,72	10,26	21,98	6°

Observa-se na Tabela 23, que a categoria mais importante na opinião dos 68 especialistas é a categoria C2 (Fatores Técnicos – Gestão de Dados), embora as categorias C4 (Fatores Econômicos), C5 (Fatores Gerenciais) e C1 (Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica) possuam valores de ($Li+Ci$) muito próximos a C2. Esse fato é melhor observado no Diagrama de Causa e Efeito (Figura 38). Isso não significa que as outras categorias não são importantes, mas somente que elas foram consideradas de menor relevância na visão dos respondentes da amostra. Assim, de acordo com o resultado do método Fuzzy DEMATEL, as categorias mais importantes são:

C2 (Fatores Técnicos – Gestão de Dados) > **C4** (Fatores Econômicos) > **C5** (Fatores Gerenciais) > **C1** (Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica) > **C3** (Fatores Sociais) > **C6** (Fatores Normativos/Governamentais)

A partir dos resultados da coluna ($Li-Ci$) da Tabela 21 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 38) é possível verificar também as relações causais, ou seja, quais são as categorias que exercem influência nas outras em maior grau do que são influenciadas na opinião dos 68 especialistas. Categorias que possuem **valores positivos** para ($Li-Ci$) na Tabela 21 ou no eixo “Relação de Influência/Impacto” da Figura 38 fornecem influência sendo considerados “**fatores-causa**” enquanto as categorias com **valores negativos** da coluna ($Li-Ci$) da Tabela 21 ou no eixo “Relação de Influência/Impacto” da Figura 38 são influenciados e considerados como “**fatores-efeito**”. O Quadro 14 apresenta as categorias separadas de acordo com esses dois grupos.


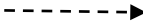
Quadro 14 – Fatores-causa e fatores-efeito (Categorias)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Fatores normativos-governamentais (C6)	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)
	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
	Fatores Sociais (C3)
	Fatores Econômicos (C4)
	Fatores Gerenciais (C5)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (2,498) nas células destacadas na Tabela 22 (2,577 e 2,566) representam as duas relações de influência mais significativas entre as categorias e são apresentadas no Quadro 15. As relações representadas por esses dois valores são destacadas no Diagrama de Causa e Efeito por meio de setas em formato diferenciado conforme apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem as categorias

Rank	Categoria que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Categoria influenciada
1º	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)	 Linha mais espessa	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
2º	Fatores Econômicos (C4)	 Linha tracejada	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)

Fonte: elaborado pelo autor.

O objetivo de destacar somente as duas relações de influência é dar mais foco as relações de maior impacto, embora os outros valores que estão acima do valor limite também sejam importantes e representados no Diagrama de Causa e Efeito (Figura 38) por setas com linha com traço mais fino.

A análise global dos resultados das relações entre as categorias, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre as categorias no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- a) Importância: de acordo com a Tabela 23 e a Figura 38, a categoria mais importante é C2 (Fatores Técnicos: Gestão de Dados), porém as categorias C4 (Fatores Econômicos), C5 (Fatores Gerenciais) e C1 (Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica) também podem ser consideradas importantes, já que os valores de $(Li+Ci)$ dessas categorias estão bem próximos. A categoria C6 (Fatores Normativos/Governamentais) e surpreendentemente a categoria C3 (Fatores Sociais) foram julgadas as menos importantes pelos especialistas se comparadas as demais categorias. Uma das razões para a categoria C6 (Fatores

Normativos/Governamentais) ter uma importância menor frente as demais categorias é o fato da organização não possuir uma relação direta com os fatores dessa categoria, já que eles dependem exclusivamente dos esforços e ações governamentais. Conforme a RSL realizada nesta pesquisa (subseção 3.2), os fatores sociais são considerados pela literatura um dos mais importantes facilitadores para o sucesso de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, porém nesse estudo essa categoria não foi escolhida como prioridade nesse processo. Essa constatação é interessante e pode ser melhor explorada em pesquisas futuras;

- b) Relações causais: de acordo com a Figura 38 e o Quadro 14, apenas a categoria C6 (Fatores Normativos/Governamentais) foi considerada como “fator-causa” enquanto todas as demais categorias estão no grupo de “fator-efeito”, ou seja, são influenciadas. Embora a categoria C6 (Fatores Normativos/Governamentais) tenha o maior valor positivo ($Li-Ci$), de acordo com a Tabela 21, e tenha sido considerada como “fator-causa”, tanto os valores de Li quanto de Ci , na mesma tabela, são os mais baixos entre as categorias indicando que essa categoria exerce pouca influência nas demais e também é muito pouco influenciada pelas mesmas, isso mostra que ela possui o menor impacto no processo de implantação e portanto possui uma relevância menor no processo de implantação;
- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 38 e Quadro 15 que a categoria C2 (Fatores Técnicos: Gestão de Dados) é influenciada principalmente pelas categorias C1 (Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica) e C4 (Fatores Econômicos), ou seja, os esforços e ações na melhoria da infraestrutura tecnológica da organização, que depende também de investimentos financeiros, são fundamentais para que a gestão de dados seja também beneficiada. Observa-se também na Figura 38 que as categorias C3 (Fatores Sociais) e C6 (Fatores Normativos/Governamentais) não possuem relações significativas de influência com as demais categorias.

A categoria C2 (Fatores Técnicos: Gestão de Dados) é a mais importante e a que, no geral, sofre mais impacto das demais categorias, principalmente das categorias C1 (Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica) e C4 (Fatores Econômicos), conforme o mapa de influências. Um dos principais objetivos dos SMDs é apoiar os tomadores de decisão fornecendo informações úteis e inteligentes para as decisões (KAMBLE et al., 2020). A qualidade e assertividade das decisões está relacionada diretamente com a gestão dos dados que abastecem os SMDs. A gestão de dados consiste no uso de recursos para identificar, coletar,

armazenar, compilar, analisar e proteger dados confiáveis e de boa qualidade. Todos esses processos podem ser otimizados com as tecnologias da I4.0 (JENA; MISHRA; MOHARANA, 2020; MÖRTH et al., 2020; RAFFONI et al., 2018).

Além da categoria C4 (Fatores Econômicos) ser a segunda mais importante, essa categoria também causa impacto direto em outras categorias. Esse resultado corrobora com os estudos encontrados na literatura (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; NETO et al., 2020). A capacidade das empresas em realizar investimentos de curto e longo prazo em tecnologias da I4.0 e recursos humanos para utilizá-las adequadamente é um facilitador muito importante no processo de implantação das tecnologias da I4.0 (NETO et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020). Pequenas e médias empresas, bem como empresas em países com economias em desenvolvimento, encontram maiores dificuldades em realizar investimentos em tecnologias da I4.0. Nesses casos, os fatores econômicos são considerados uma barreira relevante no processo de implantação (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; TORTORELLA; GIGLIO; VAN DUN, 2019).

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento entre os fatores (facilitadores) de cada categoria. Será considerada a mesma sequência de cálculo do método Fuzzy DEMATEL apresentada anteriormente para a análise de relacionamento entre as categorias, porém para que esse processo não seja repetitivo, serão apresentadas a partir desse ponto somente as Matrizes de Relação Direta Inicial (Z), as Matrizes de Relação Total (T), as tabelas de relações finais com os valores de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ e os Diagramas de Causa e Efeito, bem como a análise dos resultados. Cabe lembrar que as matrizes de avaliação de todos os 68 especialistas respondentes estão no **Apêndice C**.

5.2.2 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento entre os fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”.

A Tabela 24 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 24 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F1	F2	F3	F4
F1		3,16	3,25	3,12
F2	2,77		3,13	2,92
F3	3,01	2,99		2,91
F4	2,90	2,82	2,81	

Legenda:

F1- Infraestrutura digital adequada **F3-** Conectividade aprimorada
F2- Interoperabilidade **F4-** Cibersegurança

A Tabela 25 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 3,828.

Tabela 25 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F1	F2	F3	F4	Li
F1	3,671	4,017	4,090	4,008	15,79
F2	3,680	3,546	3,856	3,773	14,86
F3	3,727	3,818	3,644	3,807	15,00
F4	3,604	3,688	3,749	3,453	14,49
Ci	14,68	15,07	15,34	15,04	

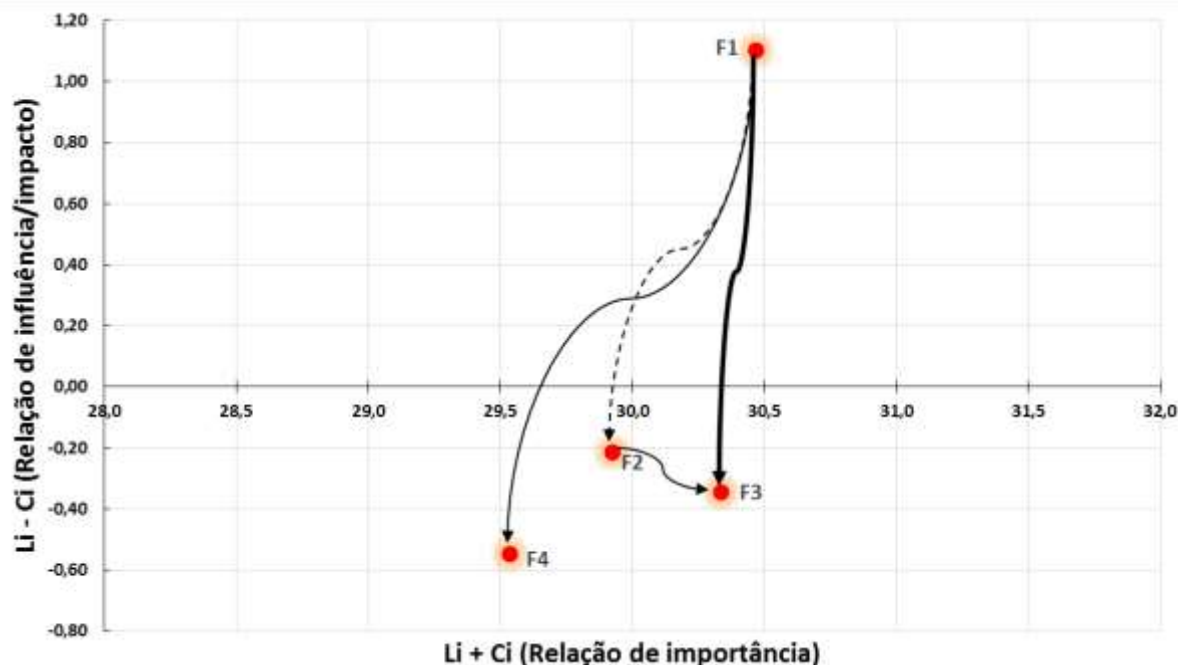
A Tabela 26 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”

Tabela 26 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F1	15,79	14,68	30,47	1,10
F2	14,86	15,07	29,92	-0,21
F3	15,00	15,34	30,34	-0,34
F4	14,49	15,04	29,54	-0,55

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 26 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 39)

Figura 39 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica)



Legenda:

F1- Infraestrutura digital adequada **F3-** Conectividade aprimorada
F2- Interoperabilidade **F4-** Cibersegurança

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 27 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 27- Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	$(Li + Ci)$ (Importância)	<i>Rank</i>
F1	15,79	14,68	30,47	1°
F3	15,00	15,34	30,34	2°
F2	14,86	15,07	29,92	3°
F4	14,49	15,04	29,54	4°

O Quadro 16 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna $(Li-Ci)$ da Tabela 26 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 39).


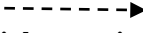
Quadro 16 – Fatores-causa e fatores-efeito (“Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Infraestrutura digital adequada (F1)	Interoperabilidade (F2)
	Conectividade aprimorada (F3)
	Cibersegurança (F4)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (3,828) nas células destacadas na Tabela 25 (4,090 e 4,017) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” e são apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”

Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
1º	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha mais espessa	Conectividade aprimorada (F3)
2º	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha tracejada	Interoperabilidade (F2)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- Importância: de acordo com a Tabela 27 e a Figura 39, os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F1** (Infraestrutura digital adequada) > **F3** (Conectividade aprimorada) > **F2** (Interoperabilidade) > **F4** (Cibersegurança);
- Relações causais: de acordo com a Figura 39 e o Quadro 16, apenas o fator F1 (Infraestrutura digital adequada) é considerado como “fator-causa” enquanto todos os demais fatores da categoria estão no grupo de “fator-efeito”, isso mostra que o fator F1, no geral, exerce muita influência sobre os demais fatores da categoria e deve ser priorizado no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs;
- Mapa de influências: observa-se na Figura 39 e Quadro 17 que o fator F1 (Infraestrutura digital adequada) possui uma maior influência sobre os fatores F3 (Conectividade aprimorada) e F2 (Interoperabilidade), ou seja, dentro da categoria

“Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” os esforços e ações na construção de uma boa infraestrutura digital que envolva os recursos de TI e outros recursos tecnológicos pode colaborar diretamente no desenvolvimento dos outros fatores da categoria e suportar o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Uma infraestrutura digital adequada é essencial para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019). Uma infraestrutura de TI corporativa eficiente em termos de conectividade, compatibilidade e modularidade permite uma comunicação eficaz das informações de desempenho e pode facilitar o desenvolvimento de SMDs mais rápidos e seguros, especialmente à medida que surgem novas necessidades (ILMUDEEN, 2021; MELLO; MARTINS, 2019). Problemas técnicos como coleta de dados inadequada, infraestrutura de TI dispersa, comunicação e visibilidade dos dados deficientes podem prejudicar o desempenho das tecnologias da I4.0 e dificultar o funcionamento adequado dos SMDs (DWEKAT; HWANG; PARK, 2017).

Toda a infraestrutura digital, que inclui também sistemas complexos de segurança cibernética, pode exigir investimentos significativos das organizações, dependendo do nível de digitalização em que ela se encontra, por isso deve ser bem estudada antes do processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; NETO et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020).

Embora a segurança cibernética seja a menos importante na opinião dos especialistas, existe uma preocupação crescente com a segurança cibernética e a propriedade de dados, pois são requisitos essenciais para a sustentabilidade da I4.0 (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019). O impacto de ataques cibernéticos aumentou drasticamente nos últimos anos com crescimento de produtos inteligentes e conectados e isso impacta diretamente o ambiente industrial e em especial os SMDs que dependem de dados confiáveis e de qualidade para fornecer informações importantes para os tomadores de decisão. A *Cybersecurity Ventures* prevê que o custo com esses ataques atingirá US\$8 trilhões em todo mundo em 2023 (CAR, POLONA; DE LUCA, 2022). Com o aumento dessas ameaças, a necessidade de proteção dos sistemas industriais e linhas de fabricação também aumentam rapidamente e podem ser combatidas por meio de medidas de segurança cibernética como a criptografia e autenticação que devem ser integradas com os sistemas de TI das organizações (GHADGE et al., 2020; PARHI; JOSHI; AKARTE, 2021; SANDENGEN et al., 2016).

5.2.3 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento entre os fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”.

A Tabela 28 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 28 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F5	F6	F7	F8
F5	0,00	3,05	2,49	3,06
F6	2,93	0,00	2,64	2,88
F7	2,50	2,80	0,00	2,49
F8	2,58	2,58	2,25	0,00

Legenda:

F5- Qualidade dos dados

F7- Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível

F6- Acessibilidade e integração de dados

F8- Boas ferramentas de visualização dos dados

A Tabela 29 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 3,934.

Tabela 29 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F5	F6	F7	F8	Li
F5	3,803	4,206	3,787	4,219	16,02
F6	4,010	3,895	3,753	4,158	15,82
F7	3,757	3,908	3,309	3,897	14,87
F8	3,635	3,762	3,398	3,541	14,34
Ci	15,21	15,77	14,25	15,81	

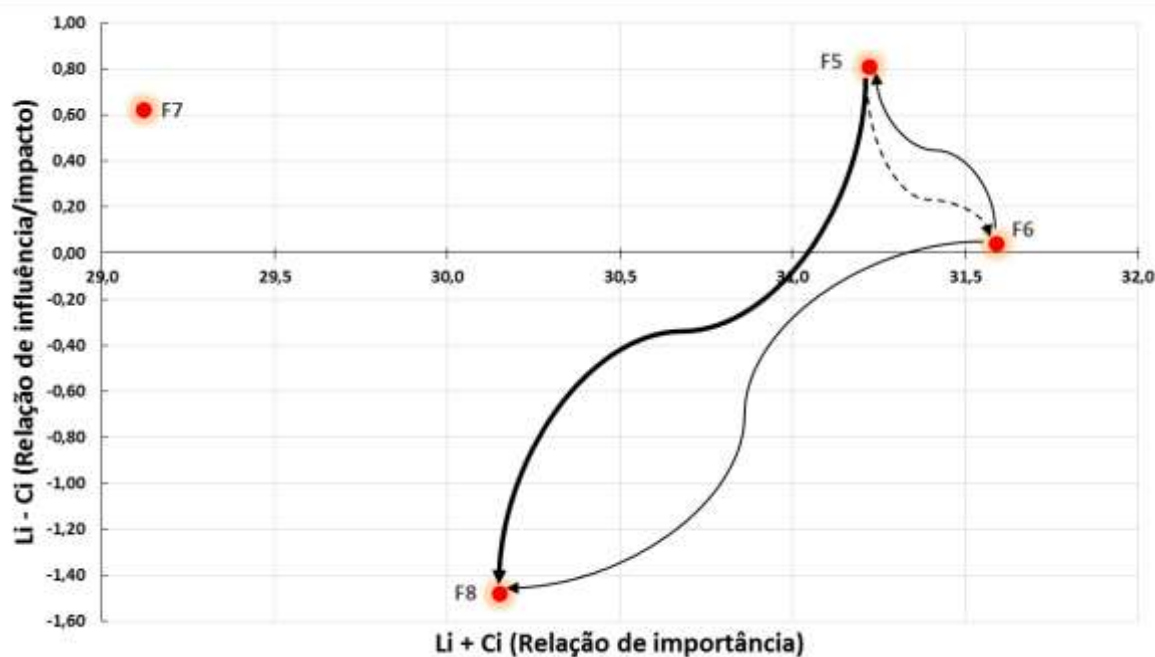
A Tabela 30 apresenta as Relações Finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”.

Tabela 30- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F5	16,02	15,21	31,22	0,81
F6	15,82	15,77	31,59	0,04
F7	14,87	14,25	29,12	0,62
F8	14,34	15,81	30,15	-1,48

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 30 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 40)

Figura 40 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Técnicos: Gestão de Dados)

**Legenda:****F5-** Qualidade dos dados**F7-** Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível**F6-** Acessibilidade e integração de dados**F8-** Boas ferramentas de visualização dos dados

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 31 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 31- Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	(<i>Li</i> + <i>Ci</i>) (Importância)	Rank
F6	15,82	15,77	31,59	1°
F5	16,02	15,21	31,22	2°
F8	14,34	15,81	30,15	3°
F7	14,87	14,25	29,12	4°

O Quadro 18 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 30 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 40).


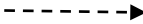
Quadro 18 – Fatores-causa e fatores-efeito (“Fatores Técnicos: Gestão de Dados”)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Qualidade dos dados (F5)	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
Acessibilidade e integração de dados (F6)	
Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível (F7)	

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (3,934) nas células destacadas na Tabela 29 (4,219 e 4,206) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” e são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”

<i>Rank</i>	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
1°	Qualidade dos dados (F5)	 Linha mais espessa	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
2°	Qualidade dos dados (F5)	 Linha tracejada	Acessibilidade e integração de dados (F6)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- a) Importância: de acordo com a Tabela 31 e a Figura 40, os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F6** (Acessibilidade e integração de dados) > **F5** (Qualidade dos dados) > **F8** (Boas ferramentas de visualização dos dados) > **F7** (Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível);
- b) Relações causais: de acordo com a Figura 40 e o Quadro 18, apenas o fator F8 (Boas ferramentas de visualização dos dados) é considerado como “fator-efeito” enquanto todos os outros fatores da categoria estão no grupo de “fator-causa”, isso mostra que, no geral, o fator F8 é impactado pelos demais fatores da categoria;
- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 40 e Quadro 19 que o fator F5 (Qualidade dos dados) possui uma forte influência sobre os fatores F8 (Boas ferramentas de visualização dos dados) e F6 (Acessibilidade e integração de dados), ou seja, dentro da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” o empenho da organização no sentido da organização gerar dados confiáveis e de boa qualidade e promover a rápida integração e acessibilidade desses dados permite a visualização de informações relevantes pelos tomadores de decisão. Observa-se também na Figura 40 que o fator F7 (Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível) não possui relações

significativas de influência com os demais fatores, apesar de ser considerado como uma “fator-causa” pelo método.

Os dois fatores mais importantes e mais influentes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”, F6 (Acessibilidade e integração de dados) e F5 (Qualidade dos dados), são cruciais no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. A integração e acessibilidade de uma grande quantidade de dados heterogêneos provenientes de múltiplas fontes de diferentes camadas da empresa é um processo complexo e pode limitar ou inviabilizar o abastecimento de dados nos SMDs. A existência na organização de sistemas legados com diferentes interfaces e protocolos de comunicação podem prejudicar ou inviabilizar o processo de implantação, sendo assim é uma limitação considerável a ser discutida na fase de projeto/planejamento da implantação (LEITAO et al., 2019; MAHMOODPOUR et al., 2018). Softwares de máquinas e equipamentos com código aberto e padronização de protocolos e interfaces podem ajudar no processo de integração e acessibilidade, mas por outro lado, podem também gerar problemas com cibersegurança (REZQIANITA; ARDI, 2020).

A qualidade dos dados também é um elemento essencial de qualquer sistema empresarial. Quanto maior o volume, variedade e velocidade dos dados, maior o risco de baixa qualidade dos dados. Vários estudos acadêmicos mostram o impacto da baixa qualidade de dados (APPELBAUM et al., 2017; MELLO; MARTINS, 2019; WU et al., 2014b). A confiabilidade e a precisão são diretamente proporcionais à qualidade dos dados, portanto determinam também a precisão dos SMDs e o fornecimento de informações significativas para os tomadores de decisão (MANIKAM; SAHIBUDIN; KASINATHAN, 2019).

5.2.4 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Sociais”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento entre os fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Sociais”.

A Tabela 32 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 32 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		3,28	3,02	2,41	3,07	3,07
F10	3,01		2,78	2,56	2,55	2,68
F11	3,43	3,23		2,52	2,99	3,05
F12	2,59	2,86	2,65		2,18	2,50
F13	2,82	2,68	2,89	2,18		3,02
F14	2,80	2,71	2,95	2,56	3,10	

Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

A Tabela 33 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 2,134.

Tabela 33 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F9	F10	F11	F12	F13	F14	Li
F9	2,062	2,251	2,184	1,901	2,145	2,192	12,74
F10	2,076	1,922	2,025	1,779	1,976	2,025	11,80
F11	2,290	2,292	2,060	1,943	2,183	2,233	13,00
F12	1,959	1,982	1,923	1,552	1,864	1,921	11,20
F13	2,073	2,077	2,035	1,766	1,838	2,047	11,84
F14	2,132	2,138	2,097	1,835	2,065	1,940	12,21
Ci	12,59	12,66	12,32	10,78	12,07	12,36	

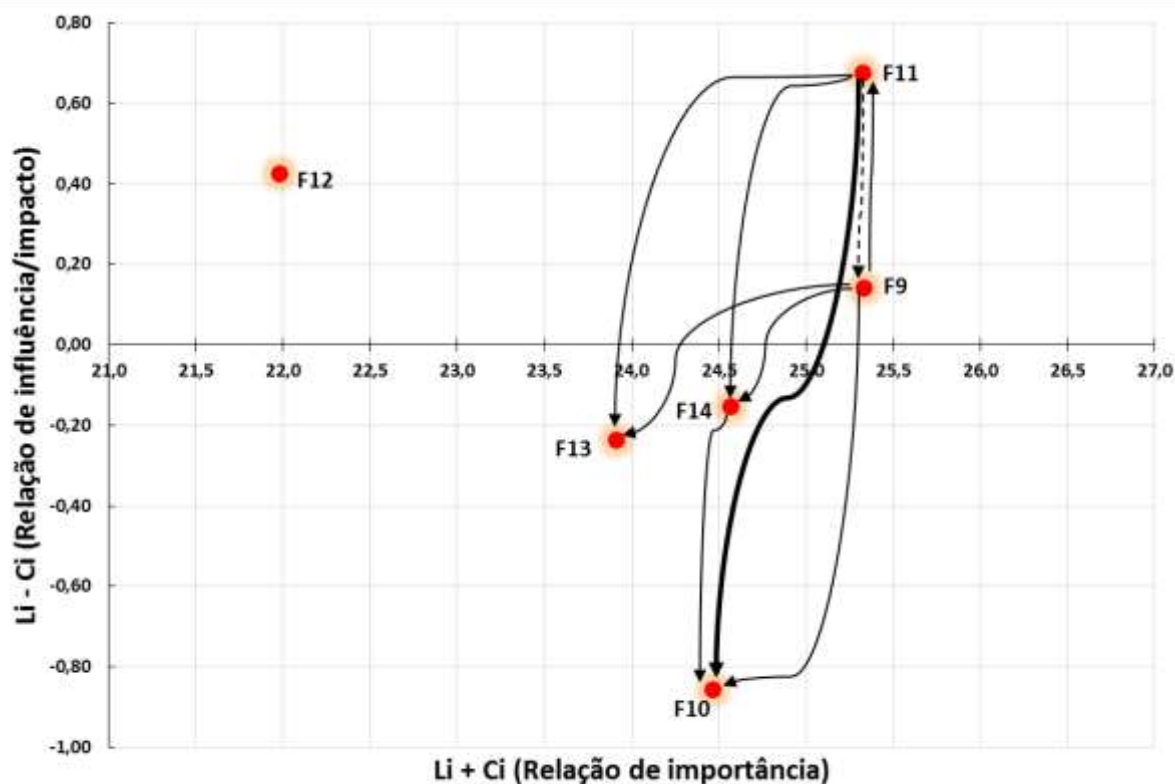
A Tabela 34 apresenta as Relações Finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais”.

Tabela 34- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F9	12,74	12,59	25,33	0,14
F10	11,80	12,66	24,46	-0,86
F11	13,00	12,32	25,32	0,68
F12	11,20	10,78	21,98	0,43
F13	11,84	12,07	23,91	-0,24
F14	12,21	12,36	24,56	-0,15

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 34 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 41)

Figura 41 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Sociais)



Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 35 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 35 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	$(Li + Ci)$ (Importância)	Rank
F9	12,74	12,59	25,33	1°
F11	13,00	12,32	25,32	2°
F14	12,21	12,36	24,56	3°
F10	11,80	12,66	24,46	4°
F13	11,84	12,07	23,91	5°
F12	11,20	10,78	21,98	6°

O Quadro 20 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 34 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 41).



Quadro 20 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Sociais)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Funcionários qualificados (F9)	Conhecimento sobre as tecnologias da indústria 4.0 (F10)
Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	Flexibilidade dos funcionários para mudanças (F13)
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas (F12)	Cultura organizacional aberta (F14)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (2,134) nas células destacadas na Tabela 33 (2,292 e 2,290) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” e são apresentados no Quadro 21.

Quadro 21 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Sociais”

Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
1°	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha mais espessa	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
2°	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha tracejada	Funcionários qualificados (F9)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Sociais”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- a) Importância: de acordo com a Tabela 35 e a Figura 41, os fatores da categoria “Fatores Sociais” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F9** (Funcionários qualificados) > **F11** (Treinamento contínuo dos funcionários) > **F14** (Cultura organizacional aberta) > **F10** (Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0) > **F13** (Flexibilidade dos funcionários para mudanças) > **F12** (Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas). Nesse caso, podemos considerar que fatores **F9** (Funcionários qualificados) e **F11** (Treinamento contínuo dos funcionários) possuem praticamente a mesma importância, já que os valores de (*Li+Ci*) desses dois fatores estão muito próximos.

- b) Relações causais: de acordo com a Figura 41 e o Quadro 20, os fatores F9 (Funcionários qualificados), F11 (Treinamento contínuo dos funcionários) e F12 (Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas) são considerados “fatores-causa” e, no geral, exercem mais influência sobre os demais fatores do que recebem, sendo o fator F11 (Treinamento contínuo dos funcionários) o mais influente e o fator F10 (Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0) o que recebe maior influência;
- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 41 e Quadro 21 que o fator F11 (Treinamento contínuo dos funcionários), além de ser um dos mais importantes, também influencia muito os fatores F10 (Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0) e F9 (Funcionários qualificados), ou seja, dentro da categoria “Fatores Sociais” os esforços e ações no sentido da organização realizar o treinamento contínuo dos funcionários possibilita que eles tenham conhecimento e qualificação suficiente para enfrentar os desafios da I4.0 tanto na fase de implantação quanto no uso das tecnologias nos SMDs. Observa-se também na Figura 41 que o fator F12 (Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas) não possui relações significativas de influência com as demais categorias, apesar de ser considerado como uma “fator-causa” pelo método.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, funcionários qualificados e treinamento contínuo dos funcionários são os principais facilitadores da categoria “Fatores Sociais” para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs e estão interligados. A necessidade de conhecimento, novas habilidades e competências interdisciplinares para trabalhar com as tecnologias da I4.0 e SMDs, exige funcionários qualificados, dispostos a trabalhar com dados e flexíveis as mudanças no ambiente organizacional (KLOVIENE; UOSYTE, 2019; MELLO; MARTINS, 2019; MÖRTH et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020). Empresas competitivas acreditam que a aprendizagem contínua dentro da organização é uma vantagem competitiva e investem no treinamento regular da sua força de trabalho (JEBLE et al., 2018). Funcionários qualificados podem realizar o “trabalho cooperativo”, interagindo com robôs, máquinas e sistemas ciberfísicos (FAST-BERGLUND; ROMERO, 2019). Sendo assim, a demanda por desenvolvimento das capacidades da força de trabalho humana é crescente e as empresas devem buscar esses requisitos na admissão de novos funcionários e promover programas de qualificação e treinamento contínuo para adaptação dos funcionários existentes às novas ferramentas e tecnologias (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; KLOVIENE; UOSYTE, 2019; REZQIANITA; ARDI, 2020).

5.2.5 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Econômicos”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento dos fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Econômicos”.

A Tabela 36 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 36 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F15	F16	F17
F15		2,63	2,70
F16	2,86		3,09
F17	2,73	2,58	

Legenda:

F15- Capacidade de fazer investimentos financeiros

F16- Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs 4.0

F17- Disposição em assumir riscos financeiros

A Tabela 37 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 4,400.

Tabela 37 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F15	F16	F17	Li
F15	3,992	4,112	4,400	12,50
F16	4,627	4,101	4,747	13,47
F17	4,288	4,090	4,069	12,45
Ci	12,91	12,30	13,22	

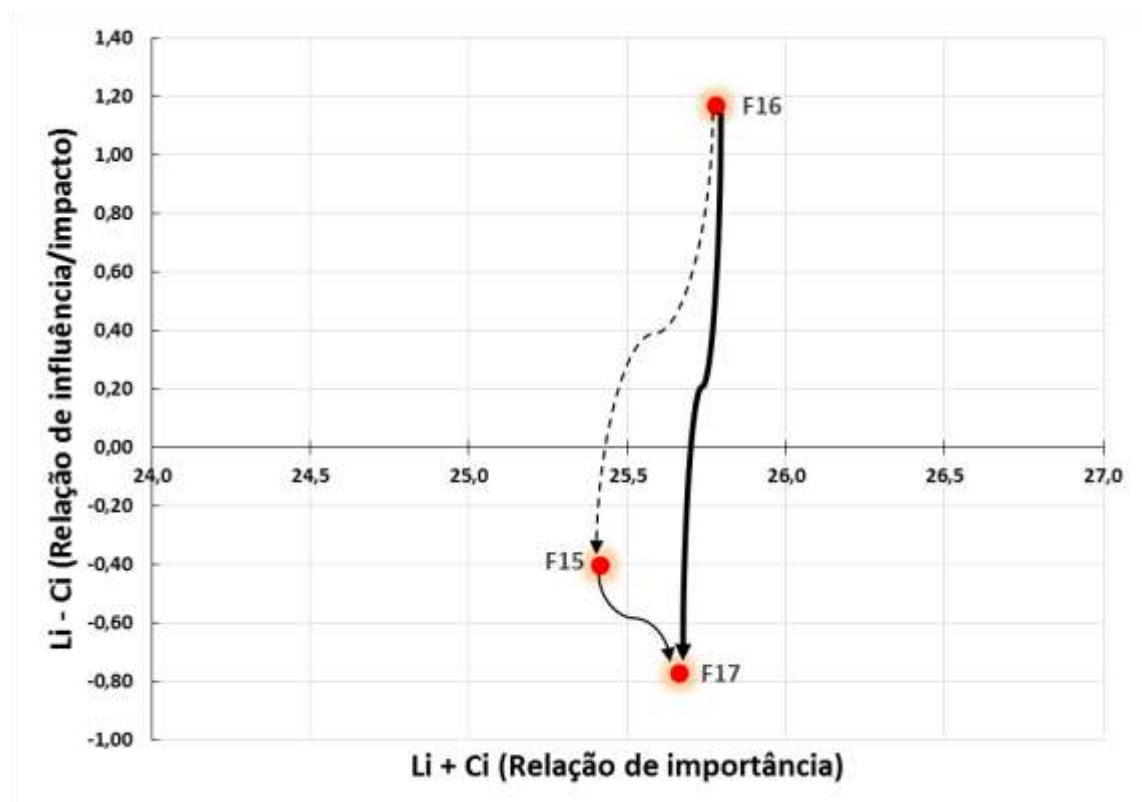
A Tabela 38 apresenta as Relações Finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos”

Tabela 38- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F15	12,50	12,91	25,41	-0,40
F16	13,47	12,30	25,78	1,17
F17	12,45	13,22	25,66	-0,77

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 38 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 42)

Figura 42 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Econômicos)

**Legenda:**

F15- Capacidade de fazer investimentos financeiros

F16- Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs 4.0

F17- Disposição em assumir riscos financeiros

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 39 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 39- Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	<i>(Li + Ci)</i> (Importância)	<i>Rank</i>
F16	13,47	12,30	25,78	1°
F17	12,45	13,22	25,66	2°
F15	12,50	12,91	25,41	3°

O Quadro 22 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 38 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 42).


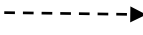
Quadro 22 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Econômicos)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)
	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (4,400) nas células destacadas na Tabela 37 (4,747 e 4,627) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” e são apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Econômicos”

Rank	Categoria que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa-Efeito	Categoria influenciada
1º	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha mais espessa	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
2º	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha tracejada	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- a) Importância: de acordo com a Tabela 39 e a Figura 42, os fatores da categoria “Fatores Econômicos” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F16** (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) > **F17** (Disposição em assumir riscos financeiros) > **F15** (Capacidade de fazer investimentos financeiros)
- b) Relações causais: de acordo com a Figura 42 e o Quadro 22, o fator F16 (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) é considerado fator-causa e exerce influência sobre os demais fatores da categoria;
- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 42 e Quadro 23 que o fator F16 (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos

SMDs), além de ser um dos mais importantes, também influencia significativamente os fatores F17 (Disposição em assumir riscos financeiros) e F15 (Capacidade de fazer investimentos financeiros), ou seja, dentro da categoria “Fatores Econômicos” a necessidade que a organização tenha clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs possibilita que ela reconheça os riscos financeiros de cada investimento, tenha foco nos investimentos com maior retorno e seja capaz de planejar e realizar investimentos em projetos de longo prazo.

Diversos estudos consideram a capacidade de fazer investimentos financeiros um dos mais importantes facilitadores e também entre as principais barreiras no processo de implantação das tecnologias da I4.0, já que é necessário um investimento alto em processos, tecnologias e pessoas tanto no nível corporativo quanto no nível da cadeia de suprimentos. A RSL desta pesquisa (subseção 3.2) também fez essa constatação (GHADGE et al., 2020; HORVÁTH; SZABÓ, 2019; NETO et al., 2020; STENTOFT et al., 2020). Já os resultados desta pesquisa mostram que o facilitador **F16** (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) foi considerado o mais importante e influente na opinião dos 68 especialistas. Muitas empresas não desenvolvem um estudo de viabilidade para evidenciar a necessidade de investimentos em tecnologias da I4.0, sendo assim o conhecimento e clareza quanto ao custo-benefício e ganhos monetários nos investimentos nessas tecnologias são limitados (GADEKAR; SARKAR; GADEKAR, 2022; HORVÁTH; SZABÓ, 2019). Isso pode ocorrer também em relação a implantação dessas tecnologias nos SMDs. Uma grande parte das organizações que decide realizar a implantação de tecnologias da I4.0, não possuem estratégias suficientes ou sequer possuem alguma estratégia para esse processo. Muitas dessas iniciativas são motivadas somente pela pressão da concorrência ou de clientes (BASL, 2017).

5.2.6 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Gerenciais”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento dos fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Gerenciais”.

A Tabela 40 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 40 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F18	F19	F20
F18		3,226	3,250
F19	3,269		3,332
F20	3,070	3,071	

Legenda:

F18- Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido

F19- Suporte da alta administração

F20- Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo

A Tabela 41 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 11,057.

Tabela 41 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F18	F19	F20	Li
F18	10,590	10,871	11,193	32,65
F19	11,057	10,678	11,338	33,07
F20	10,534	10,489	10,481	31,50
Ci	32,18	32,04	33,01	

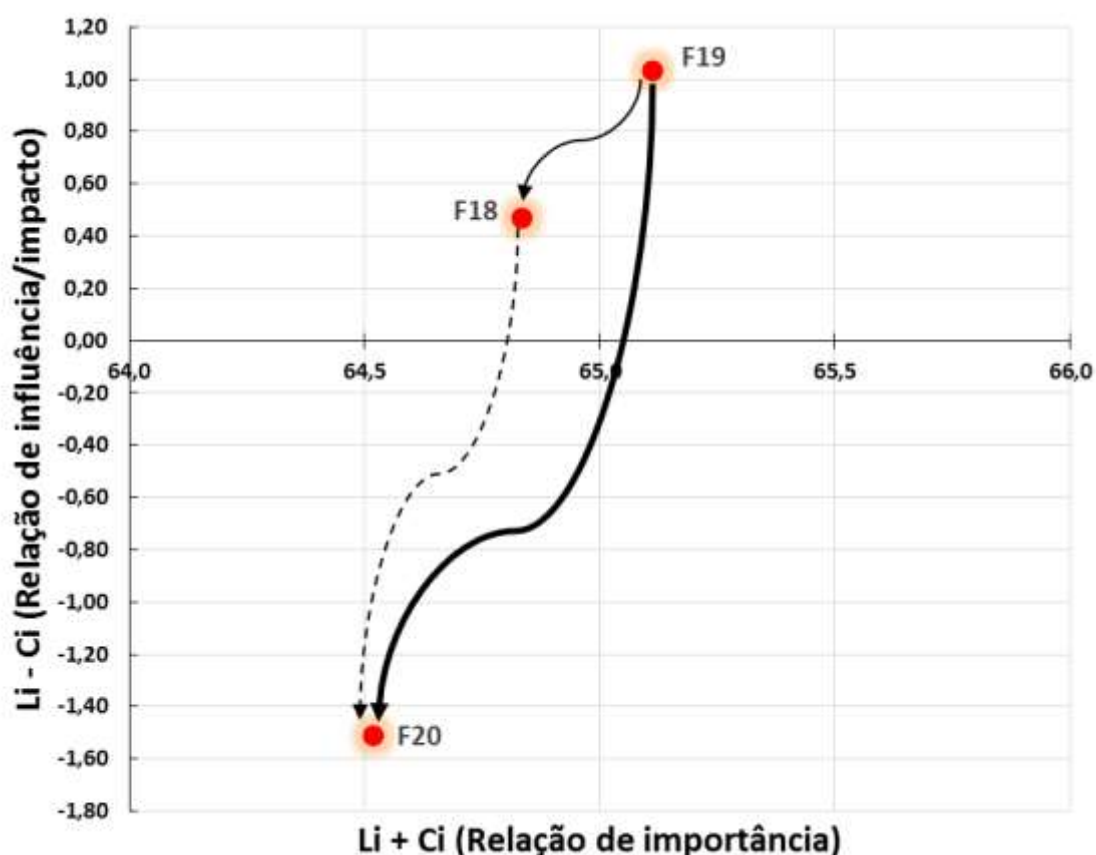
A Tabela 42 apresenta as Relações Finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais”

Tabela 42- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F18	32,65	32,18	64,83	0,47
F19	33,07	32,04	65,11	1,04
F20	31,50	33,01	64,52	-1,51

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 42 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 43)

Figura 43 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Gerenciais)

**Legenda:**

F18- Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido

F19- Suporte da alta administração

F20- Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 43 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 43- Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	<i>(Li + Ci)</i> (Importância)	<i>Rank</i>
F19	33,07	32,04	65,11	1°
F18	32,65	32,18	64,83	2°
F20	31,50	33,01	64,52	3°

O Quadro 24 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 42 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 43).


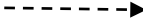
Quadro 24 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Gerenciais)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
Suporte da alta administração (F19)	

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (11,057) nas células destacadas na Tabela 41 (11,338 e 11,193) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” e são apresentados no Quadro 25.

Quadro 25 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Gerenciais”

Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
1º	Suporte da alta administração (F19)	 Linha mais espessa	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
2º	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	 Linha tracejada	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- Importância: de acordo com a Tabela 43 e a Figura 43, os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F19** (Suporte da alta administração) > **F18** (Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido) > **F20** (Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo);
- Relações causais: de acordo com a Figura 43 e o Quadro 24, os fatores F18 (Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido) e F19 (Suporte da alta administração) são considerados fator-causa e exercem, no geral, influência sobre o fator-efeito F20 (Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo);

- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 43 e Quadro 25 que o fator F19 (Suporte da alta administração), além de ser o mais importante, também influencia diretamente os demais fatores da categoria “Fatores Gerenciais” e em maior intensidade o fator F20 (Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo), ou seja, um suporte ativo e contínuo da alta administração é fundamental para o sucesso do processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

O suporte ativo e contínuo da alta administração da organização é crucial para o sucesso do processo de implantação da I4.0 nos SMDs, pois eles serão os principais responsáveis por conduzir e motivar toda a organização nesse objetivo (REZQIANITA; ARDI, 2020). Nesse sentido é fundamental que a alta administração esteja preparada e tenha conhecimento suficiente para o exercício deste papel. Cabe a alta administração fornecer os recursos necessários para o processo de implantação, entre eles, financeiro, recursos humanos e de capacitação profissional (GHADGE et al., 2020; STENTOFT et al., 2020). Devem também oferecer apoio e comprometimento durante o andamento da implantação e em projetos de longo prazo, assim como mitigar possíveis riscos e barreiras nesse processo (NETO et al., 2020).

5.2.7 Resultados do Nível de Influência entre os Fatores da Categoria “Fatores Normativos/Governamentais”

A seguir, são apresentados os resultados dos julgamentos dos 68 especialistas respondentes para o relacionamento dos fatores (facilitadores) da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”.

A Tabela 44 apresenta a Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes.

Tabela 44 – Matriz de Relação Direta Inicial (Z) para os 68 especialistas respondentes

	F21	F22	F23	F24
F21	0,000	2,462	2,502	2,268
F22	2,559	0,000	2,650	2,621
F23	2,115	2,262	0,000	2,422
F24	2,017	2,015	2,451	0,000

Legenda:

F21- Criação de padrões em tecnologias e processos
F22- Criação de políticas e incentivos governamentais
F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0
F24- Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico

A Tabela 45 apresenta a Matriz de Relação Total (T), vetores Li e Ci e, em destaque, os valores dos elementos da matriz que estão acima do valor limite (terceiro quartil) igual a 2,474.

Tabela 45 – Matriz de Relação Total (T) e vetores Li e Ci

	F21	F22	F23	F24	Li
F21	2,099	2,353	2,562	2,478	9,49
F22	2,472	2,241	2,714	2,641	10,07
F23	2,209	2,234	2,207	2,380	9,03
F24	2,127	2,140	2,362	2,063	8,69
Ci	8,91	8,97	9,85	9,56	

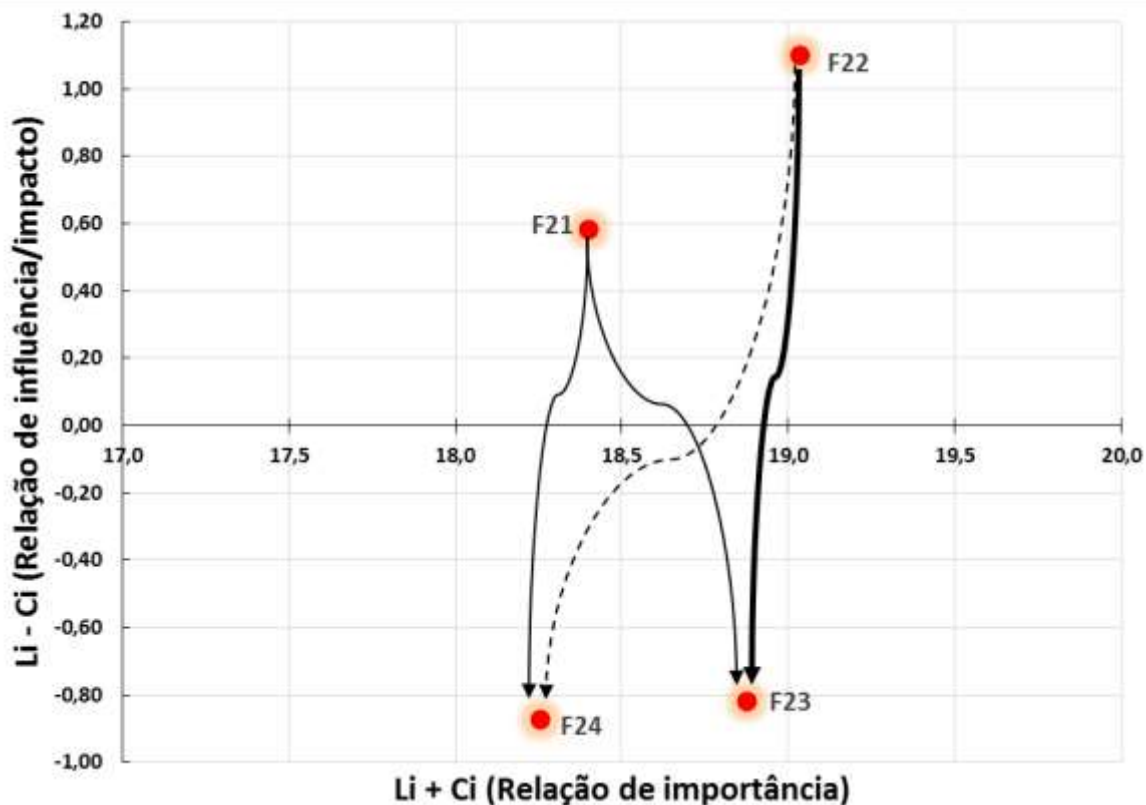
A Tabela 46 apresenta as Relações Finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”.

Tabela 46 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”

	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
F21	9,49	8,91	18,40	0,58
F22	10,07	8,97	19,03	1,10
F23	9,03	9,85	18,87	-0,82
F24	8,69	9,56	18,25	-0,87

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 46 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 44)

Figura 44 - Diagrama de causa e efeito (Fatores Normativos/Governamentais)



Legenda:

F21- Criação de padrões em tecnologias e processos
 F22- Criação de políticas e incentivos governamentais
 F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0
 F24- Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 47 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”, na opinião dos 68 especialistas, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Tabela 47 - Ranqueamento das relações mais importantes entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”

	<i>Li</i>	<i>Ci</i>	$(Li + Ci)$ (Importância)	<i>Rank</i>
F22	10,07	8,97	19,03	1°
F21	9,49	8,91	18,40	2°
F24	8,69	9,56	18,25	3°
F23	9,03	9,85	18,87	4°

O Quadro 26 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 46 e da observação do Diagrama de Relação Causa e Efeito (Figura 44).


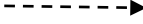
Quadro 26 – Fatores-causa e fatores-efeito (Fatores Normativos/Governamentais)

Fatores-causa	Fatores-efeito
Criação de normas e regulamentos (F21)	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dois maiores valores acima do valor limite (2,474) nas células destacadas na Tabela 45 (2,714 e 2,641) representam as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” e são apresentados no Quadro 27.

Quadro 27 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”

Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
1º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha mais espessa	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
2º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha tracejada	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise global dos resultados das relações entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais”, a partir da opinião dos 68 especialistas, permite realizar as seguintes observações sobre esses fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs:

- Importância:** de acordo com a Tabela 47 e a Figura 44, os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” mais importantes e que deveriam ser priorizados pela organização são: **F22** (Criação de políticas e incentivos governamentais) > **F23** (Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0) > **F21** (Criação de normas e regulamentos) > **F24** (Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico);
- Relações causais:** de acordo com a Figura 44 e o Quadro 26, os fatores F21 (Criação de normas e regulamentos) e F22 (Criação de políticas e incentivos governamentais) são considerados como “fator-causa” e, no geral, exercem

influência nos demais fatores da categoria (F23 e F24), que estão no grupo de “fatores-efeito”;

- c) Mapa de influências: observa-se na Figura 44 e Quadro 27 que o fator F22 (Criação de políticas e incentivos governamentais), além de ser o mais importante, possui uma forte influência sobre os fatores F23 (Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para I4.0) e F24 (Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico), ou seja, apesar de não depender diretamente dos esforços das organizações, as ações governamentais para definição de políticas e incentivos para suportar a implantação das tecnologias da I4.0, pode influenciar positivamente os demais fatores da categoria “Fatores Normativos/ Governamentais”.

Especialistas apontam que a falta de políticas governamentais pode dificultar a adoção da I4.0. Por outro lado, quando os governos criam políticas coordenadas para alocar mais recursos para a inovação, é mais provável que as empresas adotem novas tecnologias em resposta (REZQIANITA; ARDI, 2020). Os governos podem criar um ambiente amigável para atrair as empresas a adotarem novas tecnologias. Além de incentivos financeiros e tributários, outras ações governamentais podem promover e apoiar a adoção de tecnologias I4.0 pelas organizações como nacionalização da legislação, pesquisa, regulamentações, definição de padrões industriais e melhorias na infraestrutura de telecomunicações (GHADGE et al., 2020; REZQIANITA; ARDI, 2020; SCHRÖDER, 2016). Essas ações também podem ser estendidas para a implantação dessas tecnologias nos SMDs.

O próprio termo Indústria 4.0 origina-se da palavra alemã “Industrie 4.0” e tem origem na Alemanha como uma iniciativa do governo alemão para fortalecer a competitividade de a indústria manufatureira alemã por meio de um conjunto de estratégias e ações denominado “High Tech Strategy 2020” (LERHER, 2018; SCHWAB, 2016). Outros governos, como Estados Unidos (2011), França (2013), Reino Unido (2013), Coreia do Sul (2014), China (2015), Japão (2015), Brasil (2016), Índia (2017), Portugal (2017), entre outros, tiveram iniciativas similares (DUARTE et al., 2018; LIAO et al., 2017). Em Portugal, por exemplo, o eixo “Financiamento e apoio ao investimento” do programa Portugal i4.0, prevê a injeção de até 4.500 milhões de euros na economia portuguesa (FARIA, 2019). No Brasil, o governo federal lançou em 2018 um pacote de incentivos à modernização do parque fabril brasileiro para estimular a I4.0. O programa tem como objetivo destinar até R\$8,6 bilhões em financiamentos as empresas e zerar a alíquota de importação de robôs (PUPO; EDNA, 2018).

5.2.8 Lista Final com Categorias e Fatores Ranqueados por Nível de Importância e Impacto

Após as análises das relações causais entre as categorias e entre os fatores de cada categoria, a Tabela 48 apresenta um resumo baseado nos resultados do ranqueamento dos maiores valores de $(Li+Ci)$ e nos valores positivos de $(Li-Ci)$, ou seja, na importância e no impacto entre as categorias e entre os fatores de cada categoria e, de acordo com as opiniões dos especialistas e da aplicação do método Fuzzy DEMATEL. O asterisco (*) na última coluna da Tabela 48 significa que o fator da respectiva linha da tabela não possui relações significativas de influência com os demais fatores de seu grupo (categoria), apesar de ser considerado como uma “fator-causa” pelo método, assim ele é desconsiderado no ranqueamento.

Tabela 48 – Lista final com categorias e fatores ranqueados por nível de importância e impacto.

Cód	Categoria/Fator	(Li + Ci)	(Li – Ci)	Rank Importância	Rank Impacto
C2	<i>Fatores Técnicos: Gestão de dados</i>	28,55	-0,47	1°	-
F6	Acessibilidade e integração de dados	31,59	0,04	1°	2°
F5	Qualidade dos dados	31,22	0,81	2°	1°
F8	Boas ferramentas de visualização dos dados	30,15	-1,48	3°	
F7	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível	29,12	0,62	4°	*
C4	<i>Fatores econômicos</i>	28,43	-0,07	2°	-
F16	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs	25,78	1,17	1°	1°
F17	Disposição em assumir riscos financeiros	25,66	-0,77	2°	
F15	Capacidade de fazer investimentos financeiros	25,41	-0,40	3°	
C5	<i>Fatores gerenciais</i>	28,35	-0,39	3°	-
F19	Suporte da alta administração	65,11	1,04	1°	1°
F18	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido	64,83	0,47	2°	2°
F20	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo	64,52	-1,51	3°	
C1	<i>Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica</i>	28,23	-0,16	4°	-
F1	Infraestrutura digital adequada	30,47	1,10	1°	1°
F3	Conectividade aprimorada	30,34	-0,34	2°	
F2	Interoperabilidade	29,92	-0,21	3°	
F4	Cibersegurança	29,54	-0,55	4°	
C3	<i>Fatores sociais</i>	26,51	-0,36	5°	-
F9	Funcionários qualificados	25,33	0,14	1°	2°
F11	Treinamento contínuo dos funcionários	25,32	0,68	2°	1°
F14	Cultura organizacional aberta	24,56	-0,15	3°	
F10	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	24,46	-0,86	4°	
F13	Flexibilidade dos funcionários para mudanças	23,91	-0,24	5°	
F12	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	21,98	0,43	6°	*
C6	<i>Fatores normativos/ governamentais</i>	21,98	1,45	6°	1°
F22	Criação de políticas e incentivos governamentais	19,03	1,10	1°	1°
F21	Criação de normas e regulamentos	18,40	0,58	2°	2°
F24	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico	18,25	-0,87	3°	
F23	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0	18,87	-0,82	4°	

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 48 é possível identificar que, para a amostra avaliada, a categoria “**Fatores Técnicos: Gestão de Dados**” foi considerada a mais importante no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, porém uma análise mais ampla mostra que a categoria “**Fatores Econômicos**” também pode ser considerada importante pela proximidade entre as essas duas categorias no eixo da “Importância” da Figura 38 ou entre os

valores de $(Li+Ci)$ da Tabela 23. Além disso, embora a categoria “**Fatores Econômicos**” não seja considerada causal, o mapa de influências da Figura 38 mostra que ela possui influência sobre as categorias “**Fatores Técnicos: Infraestrutura tecnológica**”, “**Fatores Técnicos: Gestão de Dados**” e “**Fatores Gerenciais**”, ou seja, no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, o desenvolvimento de uma infraestrutura tecnológica adequada e a necessidade de recursos técnicos e operacionais para uma boa gestão de dados e para o suporte no processo de planejamento da implantação exigem altos investimentos financeiros. Portanto, os fatores econômicos podem ser barreiras importantes no processo de implantação. Essa constatação corrobora com outros estudos da literatura (HORVÁTH; SZABÓ, 2019; TORTORELLA; GIGLIO; VAN DUN, 2019). Nesse sentido, a priorização da categoria “Fatores Econômicos” pode contribuir com o desenvolvimento das demais categorias, inclusive a categoria “**Fatores Técnicos: Gestão de Dados**”. Assim, por esses pontos de vista, as categorias “**Fatores Técnicos: Gestão de Dados**” e “**Fatores Econômicos**” podem ser consideradas as mais relevantes no processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs e podem ser priorizadas de forma conjunta.

Por outro lado, as categorias “**Fatores Sociais**” e “**Fatores Normativos/Governamentais**” foram julgadas as menos relevantes pelos especialistas se comparadas as demais categorias tanto no estudo global da amostra quanto no estudo por estratos. Apesar dos facilitadores da categoria “**Fatores Sociais**” serem considerados importantes no processo de implantação de tecnologias da I4.0 pela literatura, nesse estudo a categoria não foi priorizada e esse fato merece ser investigado mais detalhadamente em pesquisas futuras. Já a menor relevância da categoria “**Fatores Normativos/Governamentais**” provavelmente esteja ligada ao fato de que os facilitadores dessa categoria sejam muito mais dependentes de ações governamentais mais complexas e estruturais, de um nível superior, do que de ações dos profissionais das organizações.

Portanto, após a análise das relações de importância e impacto entre as categorias, a Figura 45 apresenta a ordem de prioridade proposta para as categorias, da mais relevante para a menos relevante.

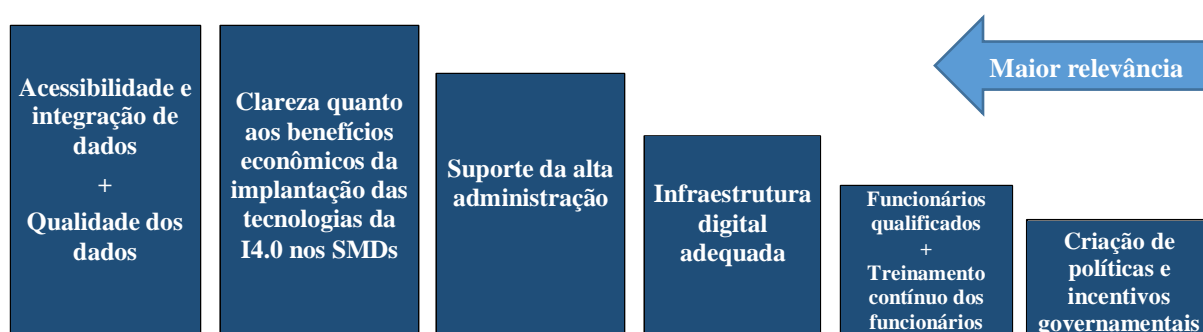
Figura 45 - Ordem de prioridade proposta para as categorias



Fonte: elaborado pelo autor.

Os responsáveis pela implantação das tecnologias de I4.0 nos SMDs devem se concentrar em facilitadores importantes e causais críticos dentro dos grupos (categorias), priorizando os mais relevantes. A análise crítica dos resultados das avaliações das relações entre os facilitadores dentro de cada categoria, observados nos Diagramas de Causa e Efeito, mostram uma certa correspondência entre os facilitadores mais importantes e aqueles que causam maior impacto. Esse fato também pode ser melhor observado na comparação entre os valores das colunas “*Rank* Importância” e “*Rank* Impacto” da Tabela 48. Porém, nas categorias “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” e “Fatores Sociais” da Tabela 48, essa correspondência não ocorreu plenamente. Na Tabela 48, observa-se também nessas duas categorias que os valores de $(Li+Ci)$ dos dois facilitadores melhores ranqueados estão muito próximos, o que pode tornar a análise menos assertiva. Assim, nesses dois casos, serão considerados relevantes os dois facilitadores mais importantes de cada categoria, isso permite também que os facilitadores de maior impacto sejam selecionados e potencializa os efeitos dos outros facilitadores das duas categorias. A partir dessa análise e considerando-se a ordem de prioridade proposta para as categorias na Figura 45, a Figura 46 apresenta a ordem de prioridade dos facilitadores mais relevantes de cada categoria para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Cabe destacar que as categorias “Acessibilidade e integração de dados”, “Qualidade dos dados” e “Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs” são as mais relevantes e devem ser priorizadas de forma conjunta.

Figura 46 - Ordem de prioridade proposta para os facilitadores mais relevantes de cada categoria



Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES DO NÍVEL DE INFLUÊNCIA ENTRE CATEGORIAS E ENTRE OS FATORES (ESTUDO POR ESTRATOS DA AMOSTRA)

Nessa etapa são realizados os mesmos estudos e discussões da subseção 5.2, porém eles são direcionados para alguns estratos da amostra que responderam o questionário. A estratificação é feita de acordo com o setor de atuação dos especialistas respondentes (Quadro 13 – subseção 5.1). Nessa estratificação os especialistas respondentes da pesquisa foram divididos em três grupos: acadêmicos, consultores e praticantes. Os praticantes são, na maioria, profissionais do setor industrial.

Os resultados a seguir são apresentados de uma forma resumida para uma análise conjunta de todos os estratos, já que os cálculos de cada estrato são similares aos realizados na análise global (subseção 5.2). São apresentadas as tabelas com as relações finais entre as categorias e entre os fatores de cada estrato, bem como os Diagramas de Causa e Efeito. Após essa apresentação, a análise dos resultados é realizada com base no diagrama e nas relações de importância e influência, sendo descritas as principais diferenças e similaridades entre os estratos. A Matriz de Relação Direta Inicial (Z) e a Matriz de Relação Total (T) com o valor limite de cada estrato podem ser observadas no **Apêndice F**.

No final desta subseção é apresentada a Tabela 56 e uma análise geral dos resultados baseada na importância das categorias e fatores de cada categoria, de acordo com as opiniões dos especialistas de cada estrato da amostra.

5.3.1 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Categorias”)

A Tabela 49 apresenta as relações finais entre as categorias para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 49 - Relações finais entre as categorias de cada estrato

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	C1	11,34	11,03	22,36	0,31
	C2	11,12	11,39	22,52	-0,27
	C3	10,33	10,33	20,66	0,00
	C4	11,48	11,40	22,88	0,09
	C5	11,05	11,69	22,74	-0,64
	C6	9,43	8,92	18,35	0,52
Consultores	C1	11,04	11,94	22,99	-0,90
	C2	11,91	12,28	24,18	-0,37
	C3	11,33	11,52	22,85	-0,19
	C4	11,74	11,61	23,35	0,13
	C5	11,39	12,09	23,48	-0,69
	C6	10,94	8,92	19,86	2,03
Praticantes	C1	13,96	13,96	27,93	0,00
	C2	13,64	14,18	27,82	-0,54
	C3	12,61	13,16	25,77	-0,55
	C4	13,79	14,04	27,83	-0,24
	C5	13,84	13,86	27,70	-0,02
	C6	10,78	9,42	20,21	1,36

Legenda:

C1- Categoria: Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica

C2- Categoria: Fatores Técnicos – Gestão de Dados

C3- Categoria: Fatores Sociais

C4- Categoria: Fatores Econômicos

C5- Categoria: Fatores Gerenciais

C6- Categoria: Fatores Norm./Governamentais

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 49 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 47, 48 e 49).

Figura 47 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato - Acadêmicos)

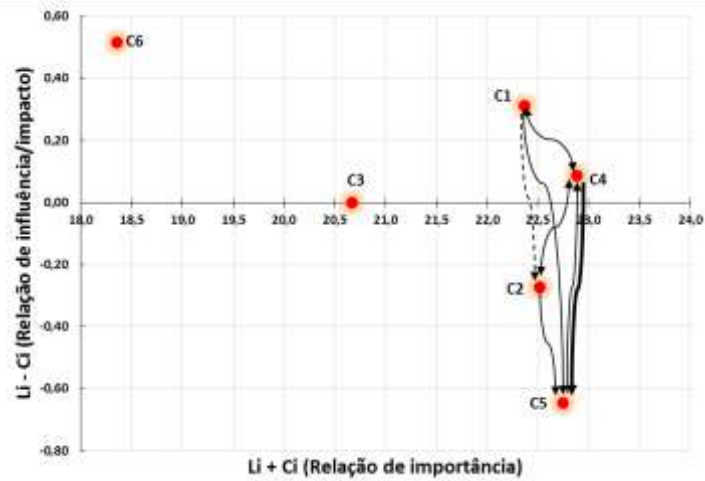


Figura 48 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato – Consultores)

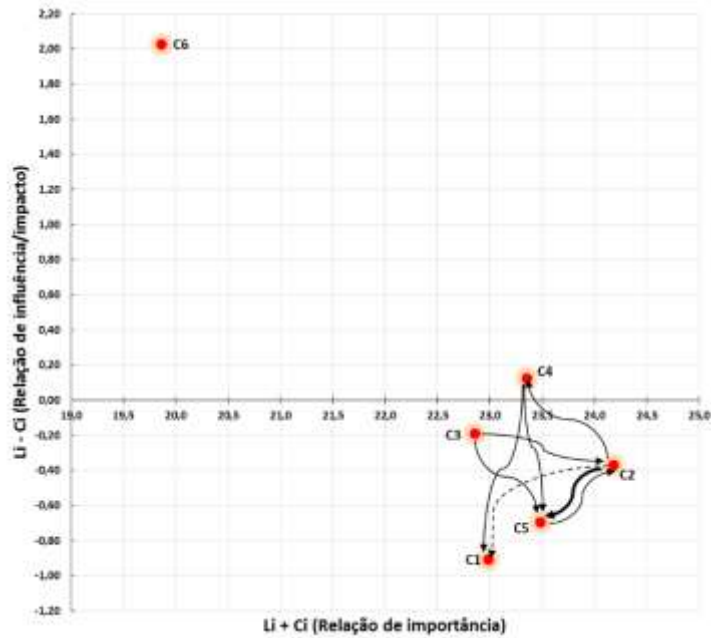
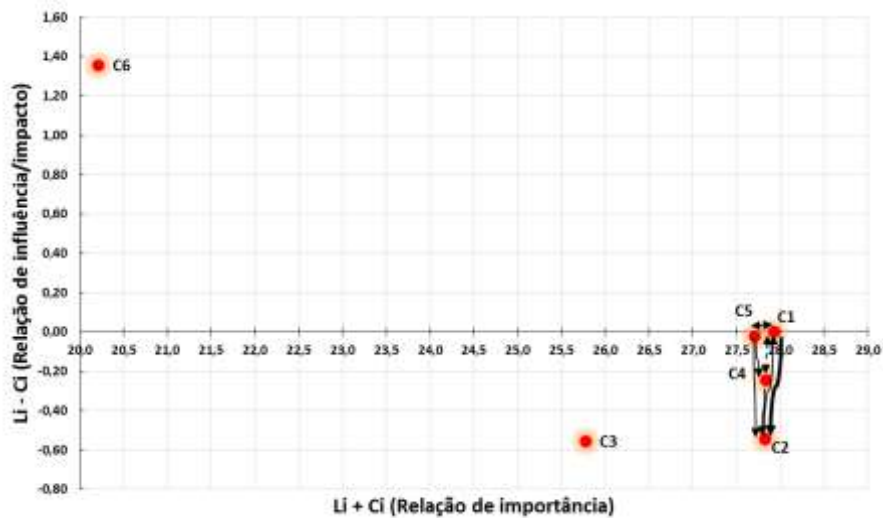


Figura 49 - Diagrama de causa e efeito - “Categorias” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 49 e das Figuras 47, 48 e 49, observa-se no Quadro 28 um ranqueamento das categorias mais importantes para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 28 - Ranqueamento das categorias mais importantes para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Acadêmicos	C4	C5	C2	C1	C3	C6
Consultores	C2	C5	C4	C1	C3	C6
Praticantes	C1	C4	C2	C5	C3	C6

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 29 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 49 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 47, 48 e 49). As categorias que possuem valores de (*Li-Ci*) muito próximo de zero e praticamente irrelevantes diante dos valores de (*Li-Ci*) das outras categorias, não se encaixam como “fator-causa” ou “fator-efeito”, por isso elas não estão presentes no Quadro 29.


Quadro 29 – Fatores-causa e fatores-efeito entre as “Categorias” para cada estrato

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
	Fatores Econômicos (C4)	Fatores Gerenciais (C5)
	Fatores normativos-governamentais (C6)	
Consultores	Fatores Econômicos (C4)	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)
	Fatores normativos-governamentais (C6)	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
		Fatores Sociais (C3)
		Fatores Gerenciais (C5)
Praticantes	Fatores normativos-governamentais (C6)	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
		Fatores Sociais (C3)
		Fatores Econômicos (C4)

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 30 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre as categorias para cada estrato da amostra.

Quadro 30 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem as “Categorias” de cada estrato

Estrato	Rank	Categoria que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Categoria influenciada
Acadêmicos	1º	Fatores Econômicos (C4)	 Linha mais espessa	Fatores Gerenciais (C5)
	2º	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)	 Linha tracejada	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
Consultores	1º	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)	 Linha mais espessa	Fatores Gerenciais (C5)
	2º	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)	 Linha tracejada	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)
Praticantes	1º	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)	 Linha mais espessa	Fatores Técnicos: Gestão de Dados (C2)
	2º	Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica (C1)	 Linha tracejada	Fatores Econômicos (C4)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre as categorias de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- a) Importância: de um modo geral, a avaliação da importância das categorias entre os estratos, de acordo com o Quadro 28 e Figuras 47, 48 e 49 acompanha a avaliação global, e mostra que as categorias C2 (Fatores Técnicos: Gestão de Dados), C4 (Fatores Econômicos) e C5 (Fatores Gerenciais) estão muito próximas e entre três mais importantes, embora no estrato referente aos praticantes a categoria C1 (Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica) tenha sido escolhida a mais importante. Uma das razões para essa divergência seja a própria proximidade dessa categoria com as categorias C2, C4 e C5 no Diagrama de Causa e Efeito da Figura 49. Outro fator que pode ter motivado essa escolha é um certo viés dos praticantes para o lado tecnológico, já que estão muito próximos da infraestrutura tecnológica da organização e atuam diretamente em questões técnicas que envolvem essa infraestrutura. As categorias C3 (Fatores Sociais) e C6 (Fatores Normativos/Governamentais) também foram consideradas as menos importantes em todos os estratos, assim como observado na análise global. A não consideração da

categoria C3 como importante é um fato que deve ser melhor explorado, já que na RSL realizada nesse estudo (subseção 3.2), essa categoria se mostrou uma das mais relevantes;

- b) Relações causais: de acordo com o Quadro 29 e Figuras 47, 48 e 49, a categoria C6 (Fatores Normativos/Governamentais) foi considerada como “fator-causa” em todos os estratos, porém como já observado na análise global, embora a categoria C6 (Fatores Normativos/Governamentais) tenha o maior valor positivo ($Li-Ci$), tanto os valores de Li quanto de Ci são os mais baixos entre as categorias indicando que essa categoria apesar de ser tratada como fator-causa, pouco influência as demais e possui um baixo impacto no processo de implantação. A categoria C4 (Fatores Econômicos) é considerada como fator-causa por acadêmicos e consultores, porém essa categoria não é considerada relevante para os praticantes;
- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 30 e Figuras 47, 48 e 49 que as relações de maior influência entre as categorias feitas pelos profissionais de cada estrato são divergentes. Observa-se também que, assim como na análise global e na avaliação da importância, as categorias C3 (Fatores Sociais) e C6 (Fatores Normativos/Governamentais) não possuem relações significativas de influência com as demais categorias.

5.3.2 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica”)

A Tabela 50 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 50- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F1	10,85	9,79	20,65	1,06
	F3	10,01	10,20	20,21	-0,20
	F2	10,06	10,26	20,32	-0,20
	F4	9,48	10,15	19,63	-0,66
Consultores	F1	11,08	10,13	21,21	0,95
	F3	10,47	10,34	20,80	0,13
	F2	10,52	10,28	20,81	0,24
	F4	9,25	10,57	19,82	-1,32
Praticantes	F1	23,82	22,61	46,43	1,21
	F3	22,59	23,10	45,69	-0,51
	F2	22,89	23,86	46,75	-0,97
	F4	23,16	22,88	46,04	0,28

Legenda:

F1- Infraestrutura digital adequada

F2- Interoperabilidade

F3- Conectividade aprimorada

F4- Cibersegurança

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 50 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 50, 51 e 52).

Figura 50 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato - Acadêmicos)

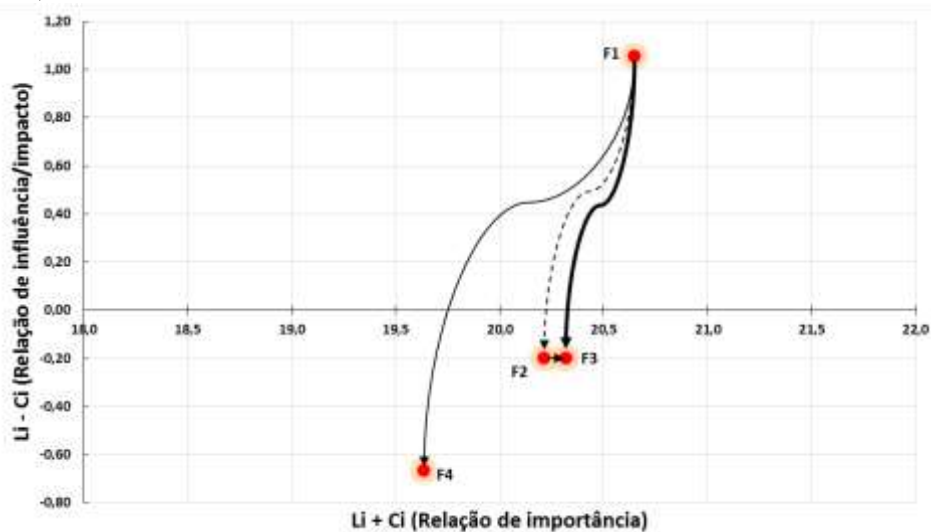


Figura 51 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato - Consultores)

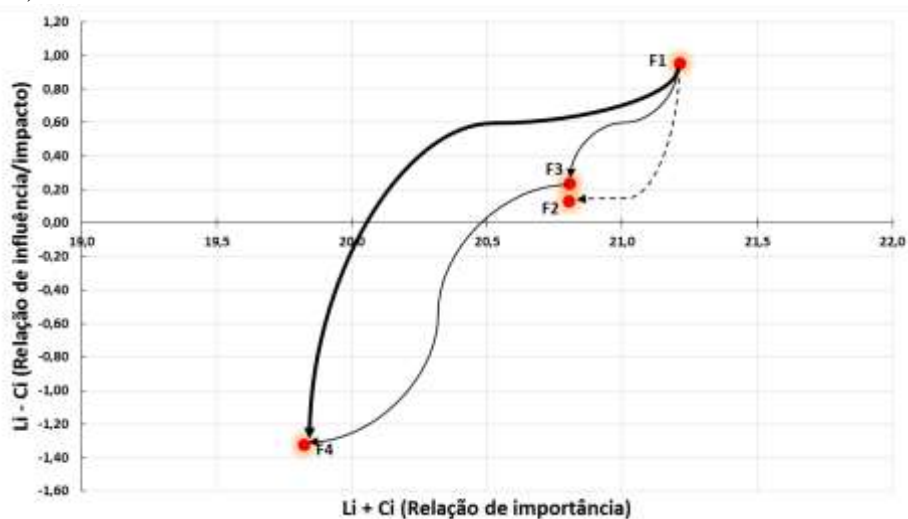
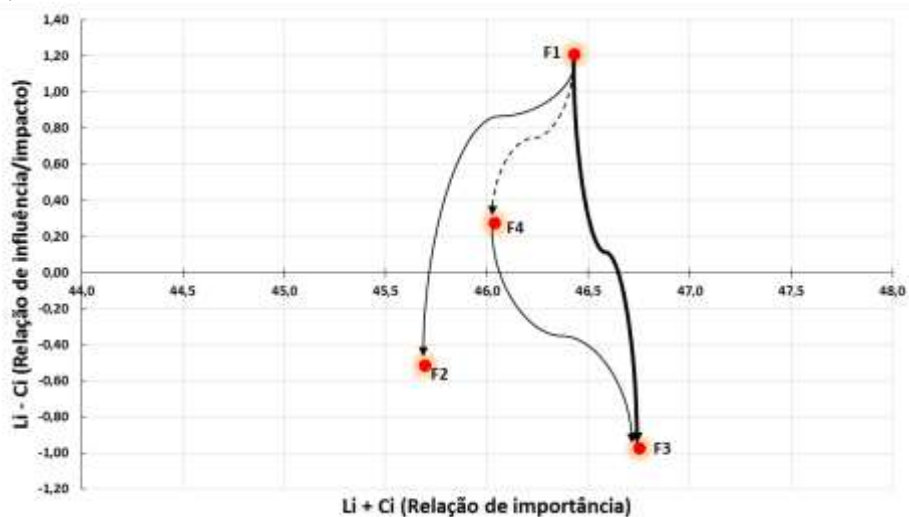


Figura 52 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 50 e das Figuras 50, 51 e 52, observa-se no Quadro 31 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 31 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°	4°
Acadêmicos	F1	F3	F2	F4
Consultores	F1	F3	F2	F4
Praticantes	F3	F1	F4	F2

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 32 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 50 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 50, 51 e 52).


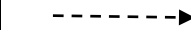

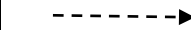


Quadro 32 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Infraestrutura digital adequada (F1)	Interoperabilidade (F2)
		Conectividade aprimorada (F3)
		Cibersegurança (F4)
Consultores	Infraestrutura digital adequada (F1)	Cibersegurança (F4)
	Interoperabilidade (F2)	
	Conectividade aprimorada (F3)	
Praticantes	Infraestrutura digital adequada (F1)	Interoperabilidade (F2)
	Cibersegurança (F4)	Conectividade aprimorada (F3)

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 33 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” para cada estrato da amostra.

Quadro 33 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha mais espessa	Conectividade aprimorada (F3)
	2°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha tracejada	Interoperabilidade (F2)
Consultores	1°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha mais espessa	Cibersegurança (F4)
	2°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha tracejada	Interoperabilidade (F2)
Praticantes	1°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha mais espessa	Conectividade aprimorada (F3)
	2°	Infraestrutura digital adequada (F1)	 Linha tracejada	Cibersegurança (F4)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- a) Importância: de um modo geral, a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” entre os estratos, de acordo com o Quadro 31 e Figuras 50, 51 e 52, acompanha a avaliação global e mostra que as categorias F1 (Infraestrutura digital adequada) e F3 (Conectividade aprimorada) são as duas mais importantes, devendo ser priorizadas no processo de implantação. O fator F4 (Cibersegurança) é considerado o menos importante para acadêmicos e consultores, assim como na análise global, e o fator F2 (Interoperabilidade) é considerado o menos importante para os praticantes;
- b) Relações causais: de acordo com o Quadro 32 e Figuras 50, 51 e 52, o fator F1 (Infraestrutura digital adequada) é considerado como “fator-causa” em todos os estratos, assim como na análise global, ou seja, é um fator que exerce influência nos outros fatores em maior grau do que é influenciado;
- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 33 e Figuras 50, 51 e 52 que o fator F1 (Infraestrutura digital adequada) influencia, em maior ou menor grau, todos os demais fatores do seu grupo, independente do estrato, assim como observado na análise global.

5.3.3 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Gestão de Dados”)

A Tabela 51 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 51- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F5	11,72	11,02	22,74	0,69
	F6	11,62	11,65	23,28	-0,03
	F7	11,00	9,78	20,77	1,22
	F8	9,56	11,44	21,00	-1,88
Consultores	F5	12,83	12,19	25,02	0,64
	F6	12,60	13,21	25,82	-0,61
	F7	11,95	12,14	24,09	-0,19
	F8	12,48	12,32	24,80	0,16
Praticantes	F5	15,00	14,29	29,29	0,70
	F6	14,82	14,42	29,24	0,40
	F7	13,86	13,35	27,21	0,51
	F8	13,45	15,06	28,51	-1,62

Legenda:

F5- Qualidade dos dados

F7- Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível

F6- Acessibilidade e integração de dados

F8- Boas ferramentas de visualização dos dados

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 51 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 53, 54 e 55).

Figura 53 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato - Acadêmicos)

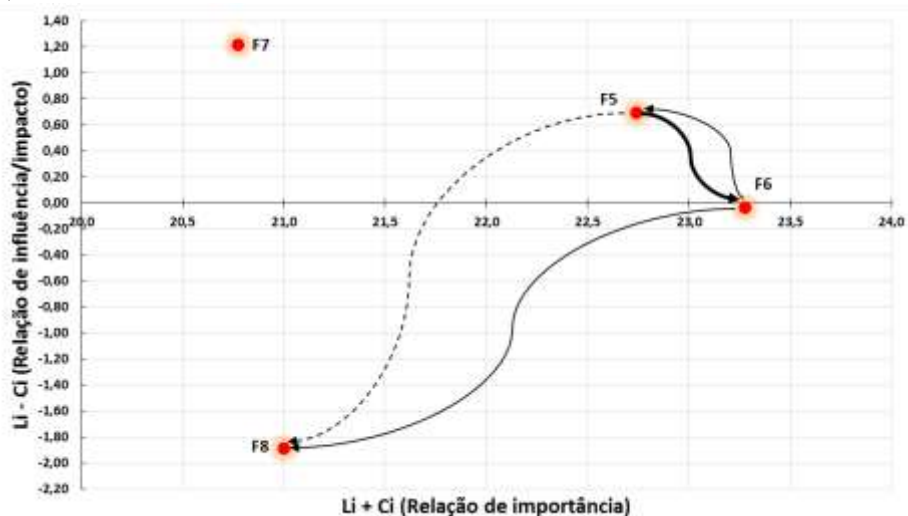


Figura 54 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato - Consultores)

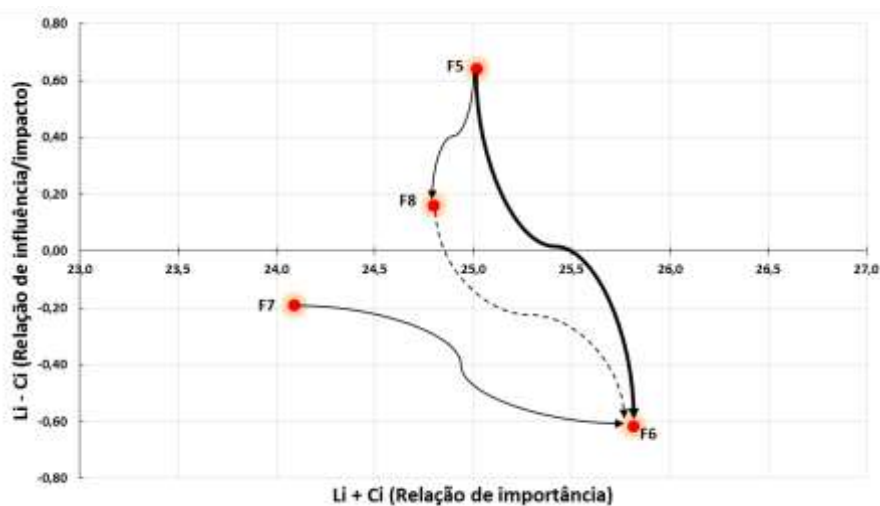
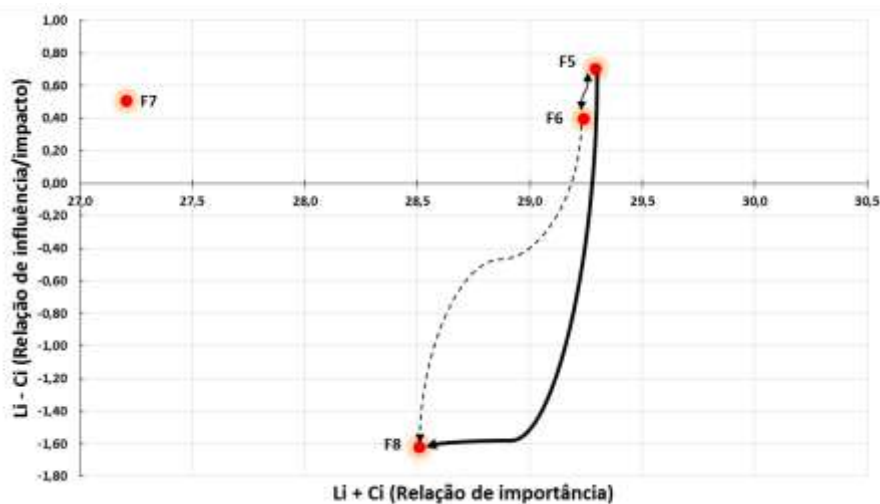


Figura 55 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 51 e das Figuras 53, 54 e 55, observa-se no Quadro 34 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 34 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°	4°
Acadêmicos	F6	F5	F8	F7
Consultores	F6	F5	F8	F7
Praticantes	F5	F6	F8	F7

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 35 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna ($Li-Ci$) da Tabela 51 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 53, 54 e 55).


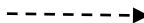

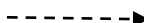


Quadro 35 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Qualidade dos dados (F5)	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível (F7)	
Consultores	Qualidade dos dados (F5)	Acessibilidade e integração de dados (F6)
	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível (F7)
Praticantes	Qualidade dos dados (F5)	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
	Acessibilidade e integração de dados (F6)	
	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível (F7)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 36 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” para cada estrato da amostra.

Quadro 36 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1º	Qualidade dos dados (F5)	 Linha mais espessa	Acessibilidade e integração de dados (F6)
	2º	Qualidade dos dados (F5)	 Linha tracejada	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
Consultores	1º	Qualidade dos dados (F5)	 Linha mais espessa	Acessibilidade e integração de dados (F6)
	2º	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)	 Linha tracejada	Acessibilidade e integração de dados (F6)
Praticantes	1º	Qualidade dos dados (F5)	 Linha mais espessa	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)
	2º	Acessibilidade e integração de dados (F6)	 Linha tracejada	Boas ferramentas de visualização dos dados (F8)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- Importância:** a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” entre os estratos, de acordo com o Quadro 34 e Figuras 53, 54 e 55, acompanha a avaliação global e mostra que as categorias F5 (Qualidade dos dados) e F6 (Acessibilidade e integração de dados) são as duas mais importantes, devendo ser priorizadas no processo de implantação. Já o fator F7 (Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível) é considerado o menos importante em todos os estratos;
- Relações causais:** de acordo com o Quadro 35 e Figuras 53, 54 e 55, assim como na análise global, o fator F5 (Qualidade dos dados) é considerado como “fator-causa” em todos os estratos, ou seja, é um fator que exerce influência nos outros fatores em maior grau do que é influenciado;
- Mapa de influências:** observa-se no Quadro 36 e Figuras 53, 54 e 55, assim como na análise global, que o fator F5 (Qualidade dos dados) é que o fator que mais influencia os demais fatores do seu grupo, independente do estrato. Observa-se também nas Figuras 53, 54 e 55 que o fator F7 (Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível) é um fator-causa para acadêmicos e praticantes, porém influência muito pouco os demais fatores do grupo.

5.3.4 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Sociais”)

A Tabela 52 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 52 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F9	8,08	8,37	16,45	-0,28
	F10	7,47	8,34	15,81	-0,86
	F11	8,66	7,82	16,48	0,84
	F12	7,50	6,68	14,18	0,82
	F13	7,50	7,84	15,34	-0,35
	F14	7,66	7,83	15,49	-0,16
Consultores	F9	9,49	8,91	18,39	0,58
	F10	8,34	9,30	17,64	-0,96
	F11	9,79	8,81	18,60	0,98
	F12	8,32	8,73	17,05	-0,41
	F13	8,86	9,06	17,91	-0,20
	F14	8,87	8,86	17,73	0,01
Praticantes	F9	17,94	17,75	35,70	0,19
	F10	16,97	17,66	34,63	-0,69
	F11	17,86	17,63	35,50	0,23
	F12	15,43	14,78	30,21	0,66
	F13	16,66	16,80	33,45	-0,14
	F14	17,43	17,67	35,10	-0,25

Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 52 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 56, 57, 58).

Figura 56 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato - Acadêmicos)

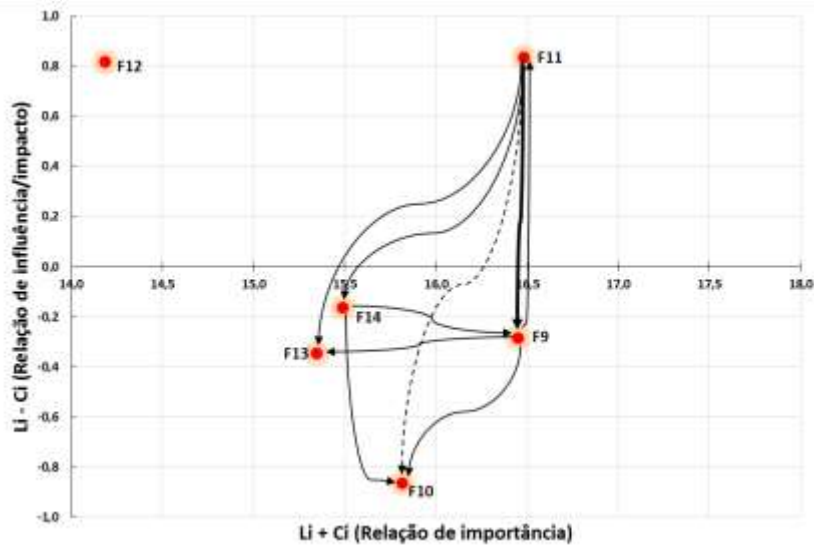


Figura 57 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato – Consultores)

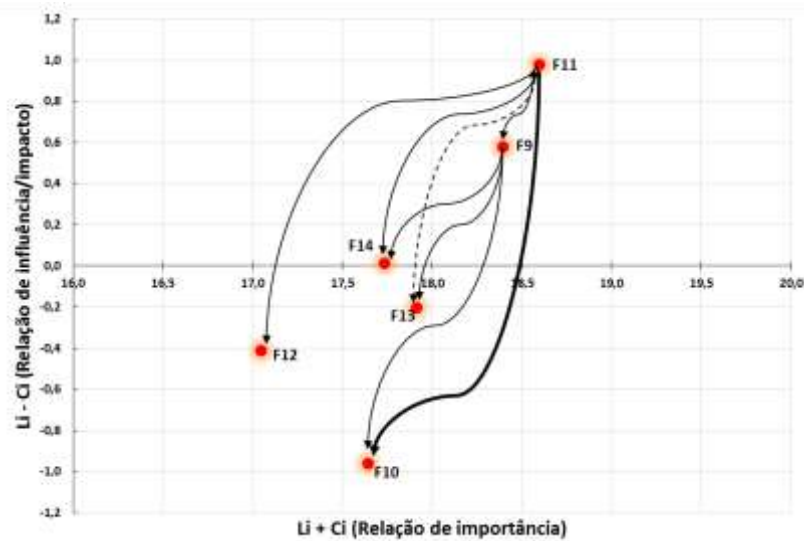
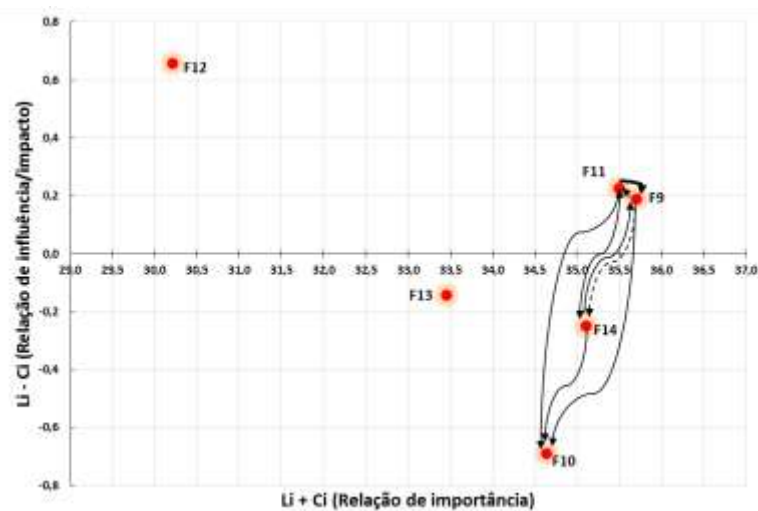


Figura 58 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Sociais” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 52 e das Figuras 56, 57, 58, observa-se no Quadro 37 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 37 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Acadêmicos	F11	F9	F10	F14	F13	F12
Consultores	F11	F9	F13	F14	F10	F12
Praticantes	F9	F11	F14	F10	F13	F12

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 38 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 52 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 56, 57, 58). O fator F14 (Cultura organizacional aberta) do estrato “Consultores” possui um valor de (*Li-Ci*) muito próximo de zero e praticamente irrelevante diante dos valores de (*Li-Ci*) dos outros fatores, portanto não se encaixa como “fator-causa” ou “fator-efeito”, por isso ele não estão presente no respectivo grupo no Quadro 38;


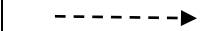

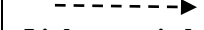

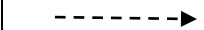
Quadro 38– Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Sociais” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	Funcionários qualificados (F9)
	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas (F12)	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
		Flexibilidade dos funcionários para mudanças (F13)
		Cultura organizacional aberta (F14)
Consultores	Funcionários qualificados (F9)	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas (F12)
		Flexibilidade dos funcionários para mudanças (F13)
Praticantes	Funcionários qualificados (F9)	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	Flexibilidade dos funcionários para mudanças (F13)
	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas (F12)	Cultura organizacional aberta (F14)

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 39 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” para cada estrato da amostra.

Quadro 39 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Sociais” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1º	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha mais espessa	Funcionários qualificados (F9)
	2º	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha tracejada	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
Consultores	1º	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha mais espessa	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)
	2º	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha tracejada	Flexibilidade dos funcionários para mudanças (F13)
Praticantes	1º	Treinamento contínuo dos funcionários (F11)	 Linha mais espessa	Funcionários qualificados (F9)
	2º	Funcionários qualificados (F9)	 Linha tracejada	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 (F10)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- a) **Importância:** a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Sociais” entre os estratos, de acordo com o Quadro 37 e Figuras 56, 57, 58, acompanha a avaliação global em relação aos dois fatores mais importantes, F9 (Funcionários qualificados) e F11 (Treinamento contínuo dos funcionários), devendo ser priorizados no processo de implantação. O fator F12 (Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas) é considerado o menos importante em todos os estratos, assim como na análise global;
- b) **Relações causais:** de acordo com o Quadro 38 e Figuras 56, 57, 58, assim como na análise global, o fator F11 (Treinamento contínuo dos funcionários) é considerado como “fator-causa” em todos os estratos, ou seja, é um fator que exerce influência

nos outros fatores em maior grau do que é influenciado. O fator F9 (Funcionários qualificados) também pode ser escolhido um fator-causa relevante, embora não tenha sido escolhido pelos “acadêmicos”. Embora o fator F12 (Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas) tenha o maior valor positivo ($Li-Ci$), tanto os valores de Li quanto de Ci são os mais baixos entre os fatores dessa categoria indicando que esse fator pouco influencia os demais e possui um baixo impacto no processo de implantação. Já F10 (Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0), F13 (Flexibilidade dos funcionários para mudanças) e F14 (Cultura organizacional aberta) são fatores-efeito na maioria dos estratos;

- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 39 e Figuras 56, 57, 58, assim como na análise global que o fator F11 (Treinamento contínuo dos funcionários) é que o fator que mais influencia os demais fatores do seu grupo (categoria), independente do estrato.

5.3.5 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Econômicos”)

A Tabela 53 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 53- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F15	4,90	5,64	10,54	-0,74
	F16	5,91	4,38	10,29	1,53
	F17	4,91	5,70	10,62	-0,79
Consultores	F15	11,85	12,21	24,06	-0,36
	F16	12,90	11,86	24,77	1,04
	F17	11,95	12,63	24,58	-0,68
Praticantes	F15	27,99	27,79	55,79	0,20
	F16	28,80	28,20	57,00	0,60
	F17	27,61	28,41	56,03	-0,80

Legenda:

F15- Capacidade de fazer investimentos financeiros

F16- Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs 4.0

F17- Disposição em assumir riscos financeiros

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 53 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 59, 60 e 61).

Figura 59 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato - Acadêmicos)

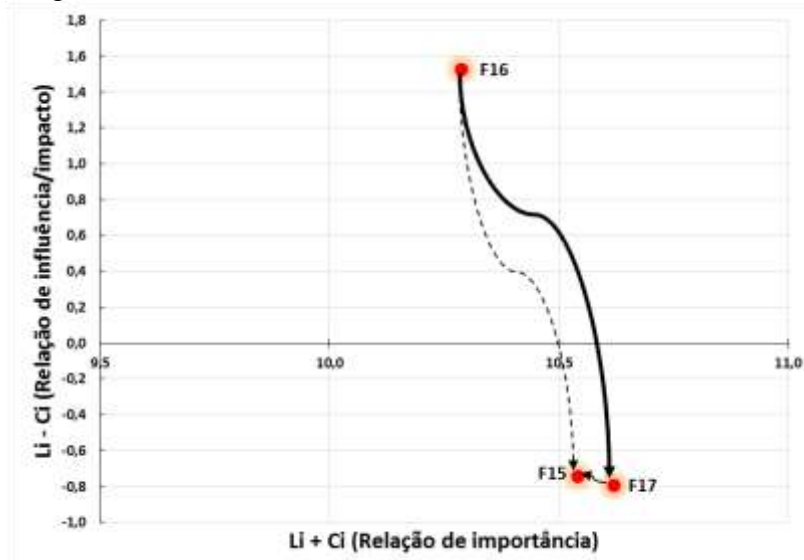


Figura 60 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato – Consultores)

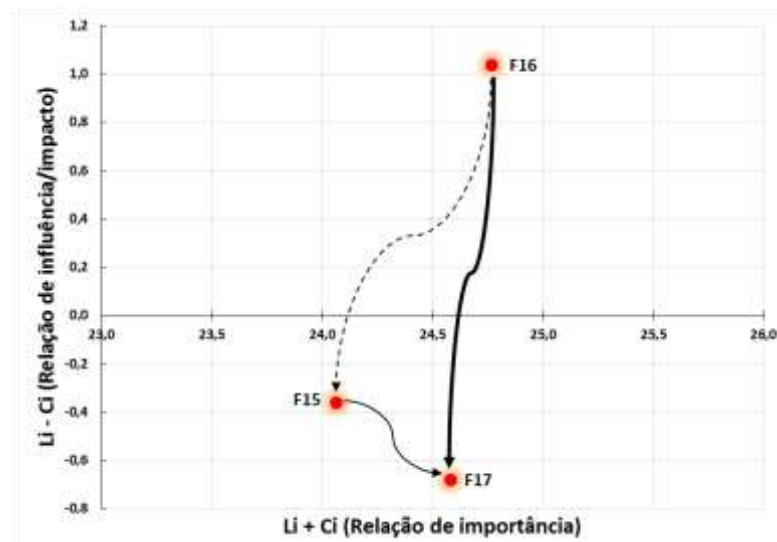
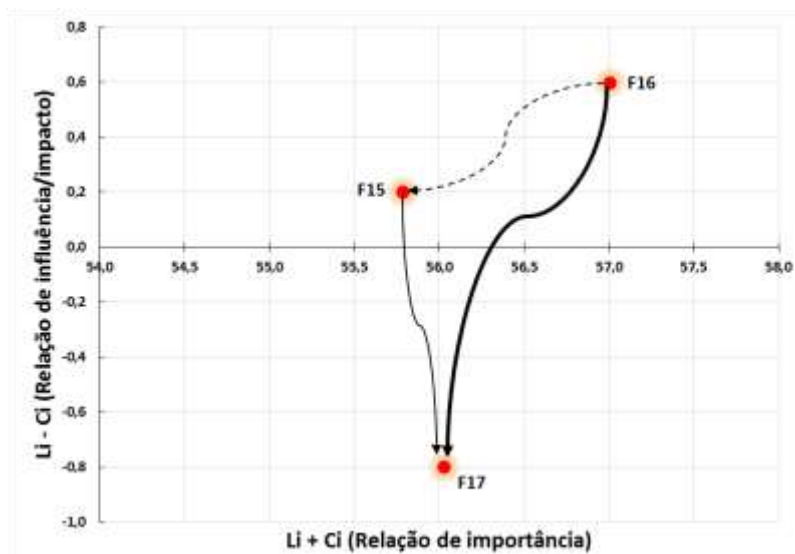


Figura 61 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Econômicos” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 53 e das Figuras 59, 60 e 61, observa-se no Quadro 40 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 40 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°
Acadêmicos	F17	F15	F16
Consultores	F16	F17	F15
Praticantes	F16	F17	F15

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 41 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 53 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 59, 60 e 61).


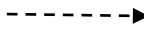

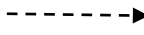

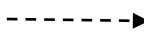
Quadro 41 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Econômicos” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)
		Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
Consultores	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)
		Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
Praticantes	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 42 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” para cada estrato da amostra.

Quadro 42 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Econômicos” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha mais espessa	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
	2°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha tracejada	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)
Consultores	1°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha mais espessa	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
	2°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha tracejada	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)
Praticantes	1°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha mais espessa	Disposição em assumir riscos financeiros (F17)
	2°	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (F16)	 Linha tracejada	Capacidade de fazer investimentos financeiros (F15)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- a) Importância: a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Econômicos” entre os estratos, de acordo com o Quadro 40 e Figuras 59, 60 e 61, mostra que o fator F16 (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) é o mais importante para acadêmicos e praticantes, assim como na avaliação global, porém para os acadêmicos esse fator é o menos importante. Para os acadêmicos o fator mais importante é o F17 (Disposição em assumir riscos financeiros).
- b) Relações causais: de acordo com o Quadro 41 e Figuras 59, 60 e 61, o fator F16 (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) é considerado como “fator-causa” em todos os estratos, ou seja, é um fator que exerce influência nos outros fatores em maior grau do que é influenciado, assim como se observa na análise global;

- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 42 e Figuras 59, 60 e 61 que o fator F16 (Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs) é que o fator que mais influência os demais fatores do seu grupo, independente do estrato, além de exercer forte influência sobre o fator F17 (Disposição em assumir riscos financeiros) em todos os estratos.

5.3.6 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Gerenciais”)

A Tabela 54 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 54- Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F18	22,46	22,04	44,50	0,42
	F19	23,11	22,58	45,69	0,53
	F20	21,78	22,73	44,50	-0,95
Consultores	F18	19,25	18,64	37,90	0,61
	F19	18,67	17,89	36,57	0,78
	F20	17,89	19,29	37,18	-1,40
Praticantes	F18	28,96	28,79	57,75	0,17
	F19	29,62	28,68	58,30	0,93
	F20	28,28	29,38	57,66	-1,10

Legenda:

F18- Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido

F19- Suporte da alta administração

F20- Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 54 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 62, 63 e 64).

Figura 62 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato - Acadêmicos)

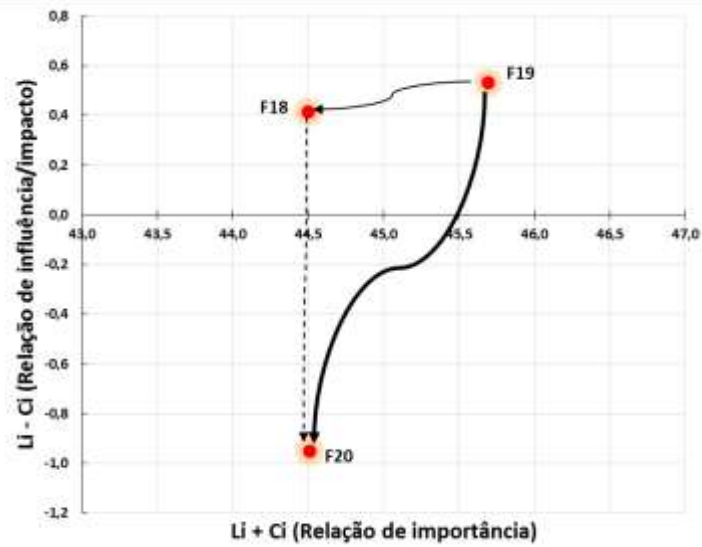


Figura 63 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato – Consultores)

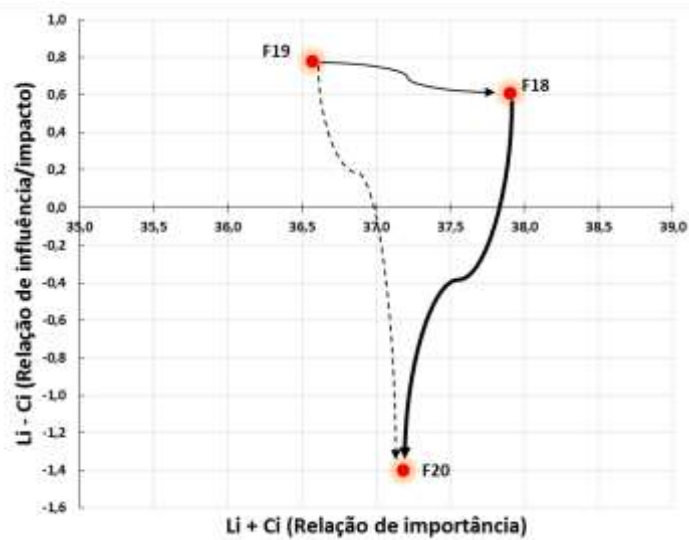
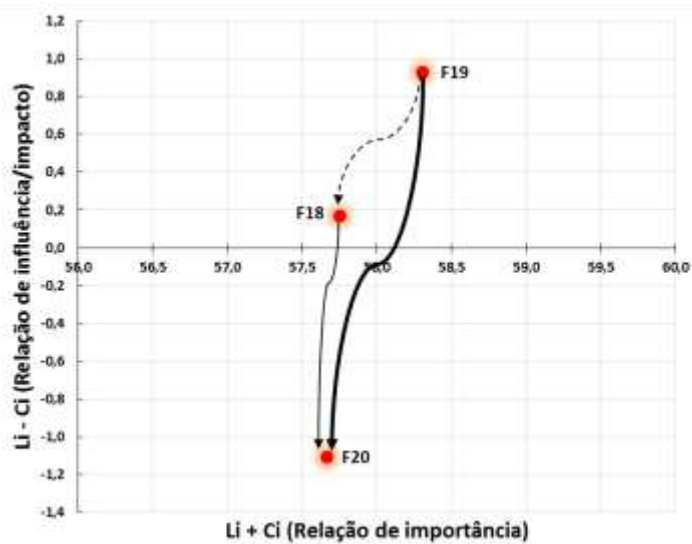


Figura 64 - Diagrama de causa e efeito “Fatores Gerenciais” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 54 e das Figuras 62, 63 e 64, observa-se no Quadro 43 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 43 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°
Acadêmicos	F19	F18	F20
Consultores	F18	F20	F19
Praticantes	F19	F18	F20

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 44 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 54 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 62, 63 e 64).


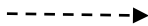

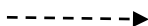


Quadro 44 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Gerenciais” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	Suporte da alta administração (F19)	
Consultores	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	Suporte da alta administração (F19)	
Praticantes	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	Suporte da alta administração (F19)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 45 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” para cada estrato da amostra.

Quadro 45 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Gerenciais” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1º	Suporte da alta administração (F19)	 Linha mais espessa	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	2º	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	 Linha tracejada	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
Consultores	1º	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)	 Linha mais espessa	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	2º	Suporte da alta administração (F19)	 Linha tracejada	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
Praticantes	1º	Suporte da alta administração (F19)	 Linha mais espessa	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo (F20)
	2º	Suporte da alta administração (F19)	 Linha tracejada	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido (F18)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- a) Importância: a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Gerenciais” entre os estratos, de acordo com o Quadro 43 e Figuras 62, 63 e 64, mostra que o fator F19 (Suporte da alta administração) é o mais importante para acadêmicos e praticantes, assim como na avaliação global, porém para os consultores esse fator é o menos importante. Para os consultores o fator mais importante é o F18 (Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido). Uma possível explicação para essa diferença no entendimento seja alto grau de envolvimento dos consultores no suporte técnico ao processo de implantação, pois eles possuem um papel importante no treinamento de funcionários e na estruturação, planejamento e acompanhamento das etapas e metas do processo de implantação, muitas vezes, dentro da empresa, colaborando diretamente com as equipes responsáveis na implantação e na resolução de problemas.
- b) Relações causais: de acordo com o Quadro 44 e Figuras 62, 63 e 64, os fatores F18 (Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido) e F19

(Suporte da alta administração) são considerados como “fatores-causa” em todos os estratos, assim como na avaliação global. Já o fator F20 (Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo) é considerado um fator-efeito em todos os estratos.

- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 45 e Figuras 62, 63 e 64, que o fator F19 (Suporte da alta administração) é um fator influente em todos os estratos. Já o fator F20 (Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo) é fortemente influenciado pelos outros fatores da categoria em todos os estratos.

5.3.7 Análise Estratificada por Setor de Atuação dos Especialistas Respondentes (“Fatores Normativos/Governamentais”)

A Tabela 55 apresenta as relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), bem como os valores de Li , Ci , $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$.

Tabela 55 - Relações finais entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	Li	Ci	$(Li + Ci)$ (Importância)	$(Li - Ci)$ (Influência)
Acadêmicos	F21	14,21	13,41	27,62	0,79
	F22	14,77	13,56	28,33	1,21
	F23	13,92	14,85	28,77	-0,93
	F24	13,47	14,54	28,01	-1,07
Consultores	F21	5,59	5,11	10,70	0,48
	F22	6,01	5,07	11,09	0,94
	F23	4,72	5,50	10,22	-0,78
	F24	4,71	5,35	10,07	-0,64
Praticantes	F21	10,91	10,32	21,23	0,59
	F22	11,60	10,43	22,03	1,17
	F23	10,73	11,52	22,25	-0,80
	F24	10,18	11,14	21,31	-0,96

Legenda:

F21- Criação de padrões em tecnologias e processos
F22- Criação de políticas e incentivos governamentais
F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0
F24- Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico

A partir dos resultados de $(Li+Ci)$ e $(Li-Ci)$ da Tabela 55 elabora-se o Diagrama de Relação Causa e Efeito de cada estrato (Figuras 65, 66 e 67).

Figura 65 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato - Acadêmicos)

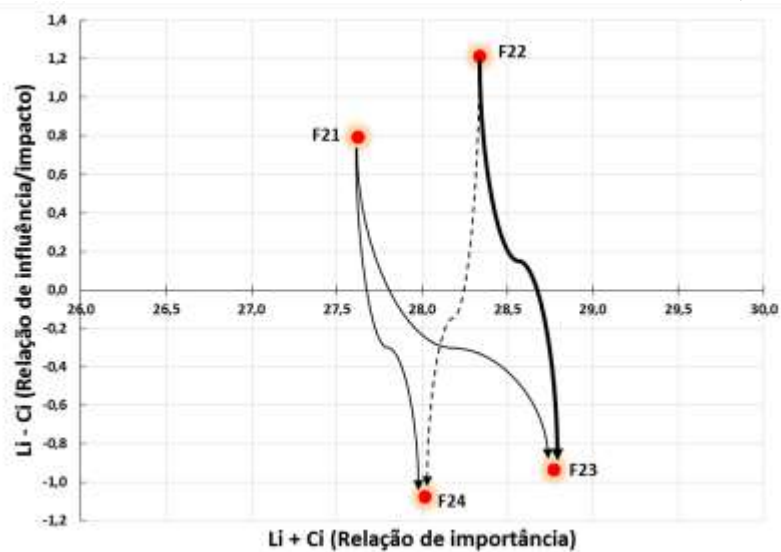


Figura 66 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato – Consultores)

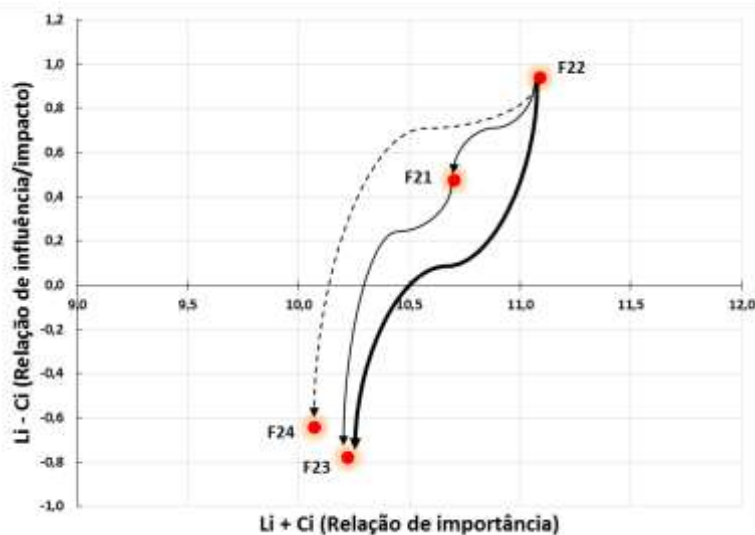
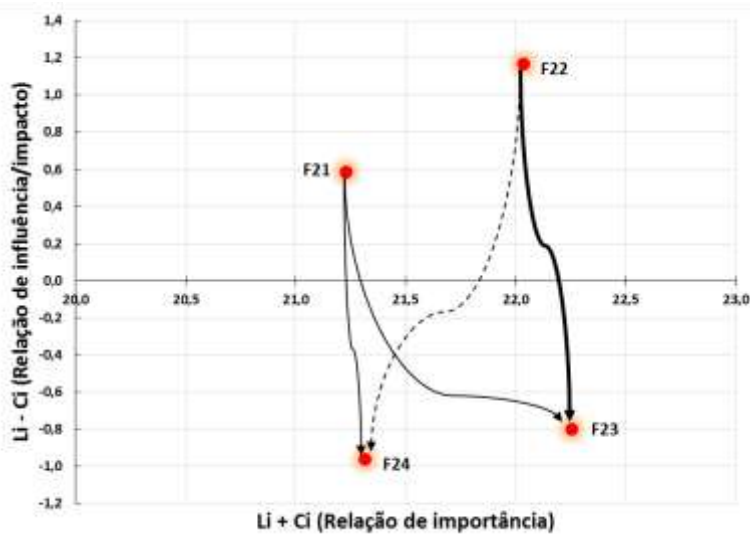


Figura 67 - Diagrama de causa e efeito - “Fatores Normativos/Governamentais” (Estrato - Praticantes)



A partir da Tabela 55 e das Figuras 65, 66 e 67, observa-se no Quadro 46 um ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra, de acordo com o método Fuzzy DEMATEL.

Quadro 46 - Ranqueamento dos fatores mais importantes da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra

Estrato	1°	2°	3°	4°
Acadêmicos	F23	F22	F24	F21
Consultores	F22	F21	F23	F24
Praticantes	F23	F22	F24	F21

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 47 apresenta as relações causais a partir dos resultados da coluna (*Li-Ci*) da Tabela 55 e da observação dos Diagramas de Relação Causa e Efeito (Figuras 65, 66 e 67).

Quadro 47 – Fatores-causa e fatores-efeito da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para os estratos da amostra

Estrato	Fatores-causa	Fatores-efeito
Acadêmicos	Criação de padrões em tecnologias e processos (F21)	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)
Consultores	Criação de padrões em tecnologias e processos (F21)	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)
Praticantes	Criação de padrões em tecnologias e processos (F21)	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 48 apresenta as duas relações de influência mais significativas entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” para cada estrato da amostra.

Quadro 48 – Relações com maior nível de influência entre as relações que envolvem os “Fatores Normativos/Governamentais” de cada estrato

Estrato	Rank	Fator que influencia	Formato da seta no Diagrama de Causa e Efeito	Fator influenciado
Acadêmicos	1º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha mais espessa	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	2º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha tracejada	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)
Consultores	1º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha mais espessa	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	2º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha tracejada	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)
Praticantes	1º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha mais espessa	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 (F23)
	2º	Criação de políticas e incentivos governamentais (F22)	 Linha tracejada	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico (F24)

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o método Fuzzy DEMATEL, a análise dos resultados das relações de importância e influência entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” de cada estrato permite realizar as seguintes observações:

- Importância:** de um modo geral, a avaliação da importância dos fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” entre os estratos, de acordo com o Quadro 46 e Figuras 65, 66 e 67, acompanha a avaliação global, e mostra que os fatores F22 (Criação de políticas e incentivos governamentais) e F23 (Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0) estão entre os dois mais importantes fatores da categoria. O fator F21 (Criação de padrões em tecnologias e processos) é o fator menos importante para os acadêmicos e praticantes, mas os consultores consideram esse fator o segundo mais importante. Para os consultores, o fator menos importante é o fator F24 (Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico).
- Relações causais:** de acordo com o Quadro 47 e Figuras 65, 66 e 67, todos os profissionais dos três estratos possuem o mesmo entendimento em relação aos fatores que exercem e recebem influência. Os fatores F1 (Criação de padrões em tecnologias e processos) e F22 (Criação de políticas e incentivos governamentais) são

considerados como “fatores-causa” em todos os estratos, assim como na análise global. Já os fatores F23 (Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0) e F24 (Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico) são considerados fatores-efeito para todos os estratos.

- c) Mapa de influências: observa-se no Quadro 48 e Figuras 65, 66 e 67 que o fator F22 (Criação de políticas e incentivos governamentais), acompanha a análise global e é considerado o fator mais influente da categoria e que possui uma forte influência sobre os fatores F23 (Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0) e F24 (Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico) em todos os estratos.

5.3.8 Categorias e Fatores Ranqueados por Nível de Importância de Acordo com Cada Estrato da Amostra

Após o estudo da avaliação do nível de importância entre as categorias e entre os fatores de cada categoria, de acordo com cada estrato da amostra, a Tabela 56 apresenta uma análise baseada somente no ranqueamento dos valores de $(Li+Ci)$, ou seja, na importância das categorias e fatores de cada categoria, de acordo com as opiniões dos especialistas de cada estrato da amostra.

A Tabela 56 também permite visualizar se existe um alinhamento das avaliações de importância de categorias e fatores entre os estratos da amostra e as avaliações globais que envolvem todos os 68 especialistas. As células da Tabela 56 destacadas na cor preta mostram que o posicionamento de determinada categoria ou fator no ranqueamento de importância de um determinado estrato é exatamente igual ao posicionamento desta mesma categoria ou fator no ranqueamento global. As células destacadas na cor cinza mostram que o posicionamento de determinada categoria ou fator no ranqueamento de determinado estrato é muito próximo do posicionamento desta mesma categoria ou fator no ranqueamento global, nesse caso a proximidade é definida pela diferença de apenas uma posição no ranqueamento entre o posicionamento do estrato e o posicionamento global. Como exemplo, as setas vermelhas na Tabela 56 para os fatores F9 e F10 na linha do estrato “Acadêmicos” indicam a proximidade com os mesmos fatores na análise global. Já as células sem destaque (brancas) representam que o posicionamento de determinada categoria ou fator no ranqueamento do estrato é mais distante do posicionamento desta mesma categoria ou fator no ranqueamento global, portanto, nesse caso, não há um entendimento comum da importância da categoria ou fator entre os especialistas do estrato e os especialistas da amostra como um todo.

Tabela 56 - Categorias e fatores ranqueados por nível de importância de acordo com cada estrato da amostra

	Categorias						Infraestrutura Tecnológica				Gestão de Dados				Fatores Sociais						Fatores Econômicos			Fatores Gerenciais			Fatores Normativos/Governamentais			
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
Global	C2	C4	C5	C1	C3	C6	F1	F3	F2	F4	F6	F5	F8	F7	F9	F11	F14	F10	F13	F12	F16	F17	F15	F19	F18	F20	F22	F23	F21	F24
Acadêmicos	C4	C5	C2	C1	C3	C6	F1	F3	F2	F4	F6	F5	F8	F7	F11	F9	F10	F14	F13	F12	F17	F15	F16	F19	F18	F20	F23	F22	F24	F21
Consultores	C2	C5	C4	C1	C3	C6	F1	F3	F2	F4	F6	F5	F8	F7	F11	F9	F13	F14	F10	F12	F16	F17	F15	F18	F20	F19	F22	F21	F23	F24
Praticantes	C1	C4	C2	C5	C3	C6	F3	F1	F4	F2	F5	F6	F8	F7	F9	F11	F14	F10	F13	F12	F16	F17	F15	F19	F18	F20	F23	F22	F24	F21

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 56 que, no geral, existe um certo alinhamento no ranqueamento da importância de categorias e fatores entre os estratos (acadêmicos, consultores e praticantes) e o ranqueamento global, pois o número de células destacadas em preto e cinza representam aproximadamente 93% do total, enquanto o número de células sem destaque (brancas) representa apenas 7%, ou seja, em apenas 7% das comparações, o posicionamento no ranqueamento da importância de determinada categoria ou fator do estrato não é tão próximo da posição do ranqueamento global. No geral, isso mostra uma convergência na percepção dos facilitadores entre todos especialistas da amostra e os especialistas de cada estrato.

Entre as divergências observadas na Tabela 56, a divergência mais significativa está no relacionamento entre as categorias do estrato referente aos praticantes. Neste estrato a categoria C1 (Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica) foi escolhida a mais importante pelos praticantes, porém na avaliação global e dos outros estratos da amostra, essa categoria está ranqueada na quarta posição. Uma das razões para essa divergência pode estar na proximidade do posicionamento desta categoria em relação as outras no eixo x do Diagrama de Causa e Efeito da Figura 49. Essa proximidade entre as categorias pode tornar a análise menos assertiva. Um outro fator que pode ter motivado essa escolha é um certo viés dos praticantes para o lado tecnológico, pois muitos podem ter um envolvimento direto com áreas técnicas que envolvem

a infraestrutura tecnológica dentro das empresas em que trabalham. Outra divergência está no relacionamento entre os facilitadores da categoria “Fatores Gerenciais” no estrato referente aos consultores. Nesse estrato o facilitador F18 (Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido) foi escolhido o mais importante para os consultores, porém na avaliação global e dos outros estratos esse fator não é o mais importante. Nesse caso, a preocupação com o planejamento das ações de implantação, uma das atividades inerentes ao serviço de consultoria, pode ter uma influência direta nos julgamentos das relações entre os facilitadores da categoria feitos pelos consultores. Em relação a divergência na categoria “Fatores Econômicos” no estrato referente aos acadêmicos, não foi encontrado uma motivação plausível para as diferenças desse estrato em relação aos demais.

6 CONCLUSÕES

O objetivo principal desta tese foi analisar os facilitadores mais relevantes no processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 nos SMDs com a aplicação do método Fuzzy DEMATEL. Visto que o conhecimento desses facilitadores e as suas relações causais podem definir e priorizar o direcionamento de ações e investimentos no processo de implantação, muitas vezes complexo e oneroso para a organização.

A análise bibliométrica e o mapeamento científico da literatura mostraram em linhas gerais que as tecnologias da I4.0 tem um impacto positivo nos SMDs e permitiu uma visualização mais ampla do emprego das tecnologias da I4.0 em SMDs em vários campos de pesquisa, bem como demonstrou que essa proposta pode ser utilizada em vários níveis da organização. Considerando-se a estruturação de um SMD proposta por Franco-Santos et al. (2007), as tecnologias da I4.0 podem contribuir diretamente para a melhoria da infraestrutura de suporte e processos dos SMDs. A tendência captada na pesquisa indica que a integração das tecnologias da I4.0 nos SMDs, pode ajudar no desenvolvimento de sistemas inteligentes que auxiliarão os tomadores de decisão. A criação de SMDs mais autônomos e dinâmicos com capacidade de processar uma grande quantidade e variedade de dados e transformá-los em informações úteis para os tomadores de decisão, em tempo real, poderá ajudá-los a responder reativamente e proativamente as mudanças globais no ambiente de negócios. Os resultados do mapeamento revelaram também um interesse particular dos pesquisadores pela aplicação das tecnologias da I4.0 nos SMDs da gestão da cadeia de suprimentos. Isso mostra que a visibilidade, rastreabilidade e integração de todos os dispositivos envolvidos ao longo da cadeia, habilitada pelas tecnologias da I4.0, pode facilitar a incorporação da medição do desempenho em redes mais amplas e complexas das organizações, criando uma vantagem competitiva para aquelas que adotam essa prática.

Uma revisão sistemática da literatura (RSL), dividida em duas partes, foi realizada para atender parte dos objetivos específicos desta tese. Na primeira parte da RSL, os resultados da análise de 62 documentos selecionados que apontaram contribuições das tecnologias da I4.0 no desenvolvimento dos SMDs, identificaram primeiramente que apesar da relevância e do crescimento da produção científica em torno da temática que envolve esta pesquisa, principalmente nos últimos anos, ainda não há no campo de pesquisa uma pequena quantidade de autores com produção crescente e destacada. Esses resultados indicam que a pesquisa é desafiadora e merece a atenção dos pesquisadores, pois está em seu estado inicial de maturidade. O estudo identificou ainda que as tecnologias da I4.0 mais associadas aos SMDs

são: *internet of things*, *big data analytics* e *cyber-physical systems*, *big data*, simulação e realidade aumentada ou virtual, sendo que as duas mais destacadas foram *internet of things* e *big data analytics*. Estas duas tecnologias possuem um enorme potencial de melhorar a infraestrutura e processos dos SMDs. A conectividade aprimorada entre sensores e dispositivos inteligentes IoT, independentemente das suas localizações, proporciona que a coleta, armazenamento e transmissão de dados para os SMDs, seja realizada de forma mais rápida e eficiente, possibilitando o monitoramento em tempo real do desempenho entre vários níveis da organização (operacional, tático e estratégico). Já a associação dos SMDs com tecnologias ligadas à *big data analytics* permite que os SMDs realizem uma análise inteligente de uma grande quantidade e variedade de dados e forneçam informações significativas sobre o desempenho aos tomadores de decisão para que ações reativas ou proativas sejam tomadas.

Na segunda parte da RSL, os resultados da análise de 30 documentos selecionados que contribuem para o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, identificaram 6 categorias e 24 facilitadores envolvidos nesse processo. A identificação das principais categorias e facilitadores é o primeiro passo para que as organizações definam estratégias para um processo eficaz de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs que utilize menos recursos e que seja concretizado no menor tempo possível. A análise entre as categorias de facilitadores identificou que aspectos técnicos ligados a infraestrutura tecnológica da organização e a fatores sociais associados ao comportamento humano foram os mais relevantes no processo de implantação. Já na análise entre os facilitadores, a capacidade da organização em realizar investimentos financeiros para construção de uma infraestrutura digital adequada e capacitação de funcionários e também a necessidade de funcionários qualificados com competências interdisciplinares para trabalhar com as tecnologias da I4.0 e SMDs foram os facilitadores identificados na RSL que mais impulsionam e colaboram para que os resultados da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs sejam alcançados.

O objetivo central deste estudo é compreender as relações causais entre os facilitadores para o processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs e a partir disso identificar os de maior relevância. Para alcançar esse objetivo, após a identificação e adequação das categorias e facilitadores na RSL, uma amostra de conveniência formada por 68 especialistas do Brasil e do exterior, avaliaram o grau de influência entre esses fatores. Após a avaliação, os dados foram analisados por meio da aplicação do método de decisão multicritério Fuzzy DEMATEL para conhecimento das relações causais e priorização dos fatores no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. O estudo mostrou que o método o Fuzzy DEMATEL pode ser útil na visualização das relações causais e na identificação e priorização

de fatores-chave no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. A aplicação da lógica *fuzzy* para lidar com julgamentos vagos e imprecisos associada ao método DEMATEL foi capaz de produzir diagramas causais que facilitaram a compreensão e análise do problema e determinaram a importância de cada fator e a relação de causa e efeito entre eles, permitindo assim a proposição das possíveis soluções. Além disso, a aplicação do método proporcionou que a visão dos especialistas fosse comparada com a literatura científica publicada sobre a temática desta tese.

A análise das relações causais entre os grupos (categorias) e posteriormente os constituintes de cada grupo (facilitadores), possibilitou uma compreensão global do problema sem tornar excessivamente exaustivo o processo de julgamento entre os fatores realizado pelos especialistas durante o preenchimento dos questionários de coleta de dados. Foi possível identificar com a utilização do método Fuzzy DEMATEL que, para a amostra avaliada, as categorias mais relevantes e que devem ser priorizadas no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs são, na ordem da mais relevante para a menos relevante: **“Fatores Técnicos: Gestão de Dados” e “Fatores Econômicos”**; **“Fatores Gerenciais”**; **“Fatores Técnicos: Infraestrutura tecnológica”**; **“Fatores Sociais”**; **“Fatores Normativos/Governamentais”**. A letra “e” entre as categorias “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” e “Fatores Econômicos” anteriormente descritas significa que ambas devem ser priorizadas de forma conjunta.

Em relação as avaliações das relações causais entre os facilitadores dentro de cada categoria, no geral, os resultados demonstraram uma correspondência bem aproximada entre os facilitadores mais importantes e aqueles que causam maior impacto. Considerando-se a ordem de prioridade das categorias mais relevantes definida na etapa anterior, os oito facilitadores mais relevantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, podem ser priorizados na ordem da mais relevante para a menos relevante: **“Acessibilidade e Integração de dados” e “Qualidade dos dados” e “Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs”**; **“Suporte da alta administração”**; **“Infraestrutura digital adequada”**; **“Funcionários qualificados” e “Treinamento contínuo dos funcionários”**; **“Criação de políticas e incentivos governamentais”**. A letra “e” entre os facilitadores anteriormente descritos significa que eles devem ser priorizados de forma conjunta.

Um grande diferencial entre este trabalho e outros que analisam facilitadores para implantação de tecnologias da I4.0 é a presença na literatura de facilitadores ligados a gestão

de dados. Além disso, segundo a avaliação dos especialistas, esses facilitadores estão entre os mais importantes no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

O principal propósito de realizar a análise de dados é extrair informações de dados, conhecimento de informações, e sabedoria do conhecimento, e a sabedoria orienta a tomada de decisão (ROWLEY, 2007). Portanto, a análise de dados pode ser um elemento central dos esforços das empresas para melhorar o desempenho e ganhar vantagem competitiva. Dessa forma, esse recurso exerce forte influência nos SMDs (MELLO; LEITE; MARTINS, 2014). Porém, para que a análise de dados seja adequada, toda a gestão dos dados a serem analisados deve ser eficiente, nesse sentido as tecnologias da I4.0 podem contribuir significativamente. Transformar os dados em informação relevante para os tomadores de decisão é um dos principais objetivos dos SMDs, nesse sentido a qualidade e assertividade das decisões está relacionada diretamente com a gestão dos dados que abastecem os SMDs (KAMBLE et al., 2020).

Os facilitadores **“Acessibilidade e Integração de dados”** e **“Qualidade dos dados”** pertencentes a categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados”, possuem uma ligação forte e direta com os SMDs e podem impulsionar o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, pois a disponibilização de informações seguras, precisas e relevantes para os tomadores de decisão depende profundamente da entrada de dados confiáveis e de boa qualidade nos SMDs, além disso esses dados precisam ser acessíveis e integrados ao sistema para que o seu processamento seja rápido e eficaz.

No mesmo grau de prioridade dos facilitadores **“Acessibilidade e Integração de dados”** e **“Qualidade dos dados”**, está o facilitador **“Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs”**. Estudos mostram uma relação positiva entre o nível de investimentos em tecnologias digitais e o desempenho organizacional (GAWANKAR; GUNASEKARAN; KAMBLE, 2020; IVANOV et al., 2016; JEBLE et al., 2018). No entanto, o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs pode não ser tão simples e claro, devido ao conhecimento limitado e à clareza sobre o retorno do investimento e os resultados esperados. Logo, o prévio conhecimento do custo-benefício e ganhos monetários da aplicação das tecnologias da I4.0 nos SMDs pode colaborar com o processo de implantação.

Em relação aos fatores gerenciais, o suporte da alta direção no fornecimento dos recursos necessários e no comprometimento com o andamento do projeto de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs também é facilitador essencial para o sucesso do projeto.

A presença de uma infraestrutura digital adequada na organização favorece o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Integrar uma nova tecnologia na infraestrutura existente da organização, que seja capaz de permitir uma comunicação eficaz das informações de desempenho para toda a rede da organização, requer uma infraestrutura digital robusta em termos de conectividade, interoperabilidade, segurança cibernética e outros recursos de TI.

Em relação a capacidade dos funcionários, a necessidade de conhecimento, novas habilidades e competências interdisciplinares para trabalhar com tecnologias da I4.0 e SMDs requer funcionários qualificados que sejam continuamente treinados pela organização para acompanhar as mudanças no ambiente de trabalho. Funcionários qualificados impulsionam o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Embora seja uma ação que dependa muito mais dos órgãos governamentais, a criação de políticas e incentivos financeiros, tributários, normativos e técnicos também pode criar um ambiente amigável para promover e facilitar a adoção das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

No geral, o estudo identificou também uma convergência na percepção dos facilitadores entre todos especialistas da amostra e os especialistas de cada estrato da amostra (acadêmicos, consultores e praticantes), isso mostra um alinhamento nas visões entre os grupos de profissionais em torno dos facilitadores mais relevantes.

Por fim, o estudo permitiu uma visualização mais ampla do emprego e contribuição das tecnologias da I4.0 em SMDs e foi capaz de fornecer novos conhecimentos e *insights* para profissionais da área de gestão e também para apoiar pesquisadores no desenvolvimento de estudos mais aprofundados sobre essa temática. Além disso, a utilização do método Fuzzy DEMATEL contribuiu para o alcance dos objetivos esperados em linha ao foco inicial da pesquisa, pois permitiu priorizar sistematicamente os facilitadores para processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs. Os facilitadores identificados e ordenados de acordo com a relevância de cada um, fornece informações oportunas para os responsáveis pelo processo de implantação realizarem um planejamento mais adequado, além disso, permite a priorização das ações e esforços na execução do processo, tornando-o mais rápido e menos oneroso para a organização. Espera-se que os resultados deste estudo, embora não sendo generalizáveis, possam ajudar as organizações na elaboração de estratégias mais assertivas para o processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Limitações da Pesquisa:

- **Limitações da RSL:** ao considerar os resultados da RSL, duas limitações devem ser observadas. Primeira, a revisão poderia ser mais abrangente se mais fontes de dados e mais idiomas fossem levados em consideração, embora essas restrições devam ser especificadas para que a RSL seja viável. Segunda, na RSL foram selecionados apenas documentos revisados por pares, por considerar que essa seleção minimiza as chances de incluir documentos de baixa qualidade e análises não confiáveis na análise, porém isso é considerado uma limitação na pesquisa, pois essa escolha aumenta o risco de viés de publicação (THOMÉ; SCAVARDA; SCAVARDA, 2016);
- **Processo de busca dos especialistas no Brasil e no exterior para responder os questionários:** o número de especialistas em I4.0 no Brasil e no exterior ainda parece ser escasso e isso acaba gerando a necessidade de uma busca mais apurada desses profissionais no mercado, o que demanda um tempo maior e, as vezes, sem o retorno esperado;
- **Utilização de uma amostra de conveniência:** a utilização de uma amostra de conveniência para aplicação dos questionários, depende do viés do pesquisador, dessa forma a amostra desta pesquisa pode não ser representativa e as conclusões obtidas nesta pesquisa não devem ser extrapoladas para além da amostra;
- **Recorte da literatura:** o foco desta tese foi maior em aspectos técnicos envolvendo SMDs e tecnologias da I4.0. No entanto, determinados tópicos na literatura associados a SMDs e I4.0, como governança, ética, inovação, mudanças rápidas, fatores de adoção de tecnologias, por exemplo, praticamente não foram abordados. Outras *strings* de busca poderiam ser incluídas na RSL para busca na literatura desses assuntos, dessa forma novos facilitadores poderiam ser incluídos no trabalho.

Propostas para pesquisas futuras

No decorrer do desenvolvimento da tese, observou-se oportunidades para futuros trabalhos dentro dessa linha de pesquisa:

- Comparar os resultados encontrados com a utilização do método Fuzzy DEMATEL com outros métodos multicritérios de apoio à decisão;

- Realização de um estudo similar ao realizado neste trabalho, mas para uma amostra representativa da população de profissionais e outras partes interessadas, como os órgãos governamentais, por exemplo. Uma amostra maior pode fornecer avaliações e relacionamentos diferentes;
- Realizar estudos de casos de empresas que fizeram implantação de tecnologias da I4.0 que causaram impactos positivos e/ou negativos no SMD;
- Desenvolver uma modelagem de equações estruturais, a partir dos resultados desta tese, para desenvolvimento de uma *survey* e ampliação dos resultados para uma população maior;
- Aproveitar os dados desta pesquisa e aplicar o método Fuzzy DEMATEL com outros estratos de especialistas respondentes para verificar diferenças e similaridades com os resultados dessa pesquisa. Por exemplo, a comparação dos estratos pode ser feita entre especialistas de empresas de pequeno e médio porte e empresas de grande porte ou ainda entre especialistas de empresas situadas em países desenvolvidos e países em desenvolvimento;
- Reposicionar os SMDs em um contexto de Indústria 5.0, com ênfase no ecossistema de manufatura colaborativa e sustentabilidade;
- O processo de defuzzificação nesta pesquisa foi realizado antes da aplicação do método DEMATEL, porém alguns trabalhos aplicam todo o método DEMATEL com os números triangulares e realizam o processo de defuzzificação somente no final. Nesta pesquisa foi realizada uma comparação que não identificou diferenças significativas entre os dois procedimentos, porém não foi identificado na literatura nenhum estudo mais aprofundado que mostre as possíveis diferenças, vantagens e desvantagens dos dois procedimentos, sendo assim essa questão poderia ser melhor investigada;
- Embora os fatores sociais sejam listados como os mais importantes pela literatura, nesse trabalho a categoria que engloba esses fatores não foi classificada entre as mais relevantes. Esse resultado pode ser melhor investigado em pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

- AKPAKWU, G. A. et al. A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges. **IEEE Access**, v. 6, p. 3619–3647, 2017.
- AKTER, S. et al. How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment? **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 113–131, 2016.
- ALIEV, K. et al. Key Performance Indicators Integrating Collaborative and Mobile Robots in the Factory Networks. In: **Working Conference on Virtual Enterprises**. Turin, Italy: Springer, Cham, 2019. p. 635–642.
- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16–21, 2015.
- AMIRI, M. et al. Developing a DEMATEL method to prioritize distribution centers in supply chain. **Management Science Letters**, v. 1, n. 3, p. 279–288, 2011.
- ANTE, G. et al. Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 13–18, 2018.
- ANVARI, A. et al. An integrated design methodology based on the use of group AHP-DEA approach for measuring lean tools efficiency with undesirable output. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 70, n. 9–12, p. 2169–2186, 2014.
- APPELBAUM, D. et al. Impact of business analytics and enterprise systems on managerial accounting. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 25, p. 29–44, 2017.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ASHTON K. That “Internet of Things” Thing. In the real world things matter more than ideas. **RFID Journal**, 2009.
- ASSANDRE, J. A. **Desenvolvimento de um protótipo para uso de dados não estruturados em sistema de medição de desempenho**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2022.
- ATTADIA, L. C. D. L.; CANEVAROLO, M. E.; MARTINS, R. A. **Balanced Scorecard : Uma Análise Crítica**. XXIII Encontro Nacional de Eng. de Produção. **Anais...Ouro Preto**: ABEPRO, 2003
- BABICEANU, R. F.; SEKER, R. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, v. 81, p. 128–137, 2016.
- BASL, J. Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. **Management and Production Engineering Review**, v. 8, n. 2, p. 3–8, 2017.
- BAUTERS, K. et al. Automated work cycle classification and performance measurement for manual work stations. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 51, n. December 2017, p. 139–157, 2018.
- BEAMON, B. M. Measuring supply chain performance. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 19, n. 3, p. 275–292, 1999.
- BELLARDO, T. The use of co-citations to study science. **Library Research**, v. 2, n. 3, p. 231–237, 1980.
- BENDLE, N. et al. **Marketing Metrics: The Manager’s Guide to Measuring Marketing Performance**. [s.l.] FT Press, 2015.
- BERRAH, L.; MAURIS, G.; VERNADAT, F. Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 20, p. 4271–4293, 2004.
- BHADANI, K. et al. Development and implementation of key performance indicators for aggregate production

- using dynamic simulation. **Minerals Engineering**, v. 145, n. August 2019, 2020.
- BIOLCHINI, J. A. et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133–151, 2007.
- BITITCI, U. et al. Performance measurement: challenges for tomorrow. **International Journal of Management Reviews**, v. 14, n. 3, p. 305–327, 2012.
- BITITCI, U. S. **Managing Business Performance: The Science and the Art**. Chichester: John Wiley, 2015.
- BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. DE O. **Elementos de Amostragem**. São Paulo: Edgar Blucher, 2005.
- BONCI, A.; PIRANI, M.; LONGHI, S. Robotics 4.0: Performance improvement made easy. In: **IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA**. [s.l.] IEEE, 2017. p. 1–8.
- BOTÍN-SANABRIA, D. M. et al. Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. **Remote Sensing**, v. 14, n. 6, p. 1–25, 2022.
- BOURNE, M. et al. Designing, implementing and updating performance measurement systems. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 7, p. 754–771, 2000.
- BOURNE, M. et al. Implementing performance measurement systems: a literature review. **International Journal of Business Performance Management**, v. 5, n. 1, p. 1–24, 2003.
- BOURNE, M. et al. Performance measurement and management: a system of systems perspective. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2788–2799, 2018.
- BREQUE, M.; NUL DE, L.; PETRIDIS, A. **Industry 5.0 : towards a sustainable, human-centric and resilient European industry**. Publications Office of the European Union, 2021.
- BRYNER, M. Smart manufacturing: The next revolution. **American Institute of Chemical Engineers**, p. 4–12, out. 2012.
- BURNS, T.; COSGROVE, J.; DOYLE, F. A review of interoperability standards for industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. 2019, p. 646–653, 2019.
- CAGGIANO, A.; BRUNO, G.; TETI, R. Integrating optimisation and simulation to solve manufacturing scheduling problems. **Procedia CIRP**, v. 28, p. 131–136, 2015.
- CAR, POLONA; DE LUCA, S. **EU cyber-resilience act**. [s.l.] European Parliamentary Research Service, 2022.
- CAVIGGIOLI, F.; UGHETTO, E. A bibliometric analysis of the research dealing with the impact of additive manufacturing on industry, business and society. **International Journal of Production Economics**, v. 208, p. 254–268, 2019.
- CHANG, B.; CHANG, C. W.; WU, C. H. Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 1850–1858, 2011.
- CHAUHAN, C.; SINGH, A. A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 863–886, 2019.
- CHEN, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1–9, 2000.
- CHEN, F. H.; TZENG, G. H.; CHANG, C. C. Evaluating the enhancement of corporate social responsibility websites quality based on a new hybrid MADM model. **International Journal of Information Technology and Decision Making**, v. 14, n. 3, p. 697–724, 2015.
- CHEN, H.; CHIANG, R. H. L.; STOREY, V. C. Business intelligence and analytics: from big data to big impact. **MIS Quarterly**, v. 36, n. 4, p. 1165–1188, 2012.
- CHOI, T.; SEO, Y. A real-time physical progress measurement method for schedule performance control using

vision, an ar marker and machine learning in a ship block assembly process. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 18, p. 1–25, 2020.

CHUEKE, G.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, v. 10, n. 2, p. 1–5, 2015.

CNI. **Desafios para indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016.

COELHO, P. M. N. **Rumo à Indústria 4.0**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011. **Anais...**2011

COSTA, C. DA; MENDES, C.; OSAKI, R. Industry 4.0 in automated production. n. November, p. 5, 2017.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297–334, 1951.

CROSS, K. F.; LYNCH, R. L. Managing the Corporate Warriors. **Quality Progress**, v. 23, n. 4, p. 54–59, 1990.

DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383–394, 2018.

DAVENPORT, T. H. How strategists use “big data” to support internal business decisions, discovery and production. **Strategy and Leadership**, v. 42, n. 4, p. 45–50, 2014.

DAVENPORT, T. H.; BARTH, P.; BEAN, R. How “big data” is different. **MIT Sloan Management Review**, v. 54, n. 1, 2012.

DE MELLO, R. G. S.; XAVIER, J. E. M.; MARTINS, R. A. **Use of big data analytics in performance measurement systems**. IIE Annual Conference and Expo 2015. **Anais...**Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2015

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a Systematic Review. In: **The SAGE Handbook of Organizational Research Methods**. [s.l.] Sage Publications Ltd, 2009. p. 671–689.

DEV, N. K. et al. Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply chain with consideration of big data architecture. **Computers and Industrial Engineering**, v. 128, n. April 2018, p. 1076–1087, 2019.

DI NARDO, M.; YU, H. Special issue “industry 5.0: The prelude to the sixth industrial revolution”. **Applied System Innovation**, v. 4, n. 3, p. 10–12, 2021.

DIABY, T.; RAD, B. B. Cloud Computing: A review of the Concepts and Deployment Models. **International Journal of Information Technology and Computer Science**, v. 9, n. 6, p. 50–58, 2017.

DUARTE, R. et al. **A framework to integrate performance measurement systems with data analytics**. 39th International Annual Conference of the American Society for Engineering Management, ASEM 2018. **Anais...**2018

DWEEKAT, A.; AL-AOMAR, R. **An IoT-Enabled Framework for Dynamic Supply Chain Performance Management**. 2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON). **Anais...**IEEE, 2018

DWEEKAT, A. J.; HWANG, G.; PARK, J. A supply chain performance measurement approach using the internet of things. **Industrial Management and Data Systems**, v. 117, n. 2, p. 267–286, 2017.

DWEEKAT, A. J.; PARK, J. **Internet of things-enabled supply chain performance measurement model**. 2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Applications (ICIMSA). **Anais...**IEEE, 2016

ECCLES, R. G. The performance measurement manifesto. **Harvard Business Review**, v. 69, n. 1, p. 131–137,

1991.

EL ABDELLAOUI, M. E. A. et al. Integrated Decision Process to Design Manufacturing Systems towards Industry 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 1373–1378, 2019.

ELTAYEB, A.; MOHAMED, A.; BTE MASROM, M. Drivers and Barriers to Implement Industry 4.0 in Manufacturing Sectors, Systematic Literature Review Drivers and Barriers to Implement Industry 4.0 in Manufacturing Sectors, Systematic Literature Review. **IJIRMP International Journal**, v. 9, n. 2, p. 0–9, 2021.

FABBRI, S. et al. **Improvements in the StArt tool to better support the systematic review process.** Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. **Anais...**2016

FALATOONITOOSI, E.; AHMED, S.; SOROOSHIAN, S. Expanded DEMATEL for determining cause and effect group in bidirectional relations. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

FARIA, B. M. DA S. **Estudo do Impacto dos Apoios à Implementação da Indústria 4.0 em Portugal.** Porto: Universidade do Porto, 2019.

FAST-BERGLUND, Å.; ROMERO, D. Strategies for Implementing Collaborative Robot Applications for the Operator 4.0. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 566, n. November, p. 682–689, 2019.

FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 8, p. 633–644, 2018.

FENG, S.; JOUNG, C.; LI, G. **Development overview of sustainable manufacturing metrics.** 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. **Anais...**2010

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.** Boston, USA: Springer Science + Business Media, 2005.

FRANCO-SANTOS, M. et al. Towards a definition of a business performance measurement system. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 27, n. 8, p. 784–801, 2007.

FRANCO-SANTOS, M.; LUCIANETTI, L.; BOURNE, M. Contemporary performance measurement systems: a review of their consequences and a framework for research. **Management Accounting Research**, v. 23, n. 2, p. 79–119, 2012.

FREDERICO, G. F. et al. Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. **Supply Chain Management**, v. 25, n. 2, p. 262–282, 2019.

FREDERICO, G. F. et al. Performance measurement for supply chains in the Industry 4.0 era: a balanced scorecard approach. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2020.

FULLER, A. et al. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. **IEEE Access**, v. 8, p. 108952–108971, 2020.

GABUS, A.; FONTELA, E. **World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL.** Geneva: Battelle Geneva Research Centre, 1972.

GADEKAR, R.; SARKAR, B.; GADEKAR, A. Key performance indicator based dynamic decision-making framework for sustainable Industry 4.0 implementation risks evaluation: reference to the Indian manufacturing industries. **Annals of Operations Research**, v. 318, n. 1, p. 189–249, 2022.

GALAMBOS, L. Recasting the organizational synthesis: Structure and process in the twentieth and twenty-first centuries. **Business History Review**, v. 79, n. 1, p. 1–38, 2005.

GANGA, G. M. D. **Metodologia Científica e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).** São Carlos, Brasil: [s.n.].

GARCÍA-MIRANDA, I. et al. **AIRPORTS metrics: A big data application for computing flights'**

performance indexes based on flown trajectories. 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC). *Anais...IEEE*, 2018

GAWANKAR, S. A.; GUNASEKARAN, A.; KAMBLE, S. A study on investments in the big data-driven supply chain, performance measures and organisational performance in Indian retail 4.0 context. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 5, p. 1574–1593, 2020.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: building the digital enterprise.** Munich: PWC, 2016. Disponível em: <<https://www.pwc.com/id/en/CIPS/assets/industry-4.0-building-your-digital-enterprise.pdf>>.

GENOVESE, A. et al. Exploring the challenges in implementing supplier environmental performance measurement models: A case study. *Production Planning and Control*, v. 25, n. 13–14, p. 1198–1211, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa.** [s.l.: s.n.].

GHADGE, A. et al. The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 31, n. 4, p. 669–686, 2020.

GHALAYINI, A. M.; NOBLE, J. S. The changing basis of performance measurement. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 16, n. 8, p. 63–80, 1996.

GHARAKHANI, D. The Evaluation of Supplier Selection Criteria by Fuzzy DEMATEL Method. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, v. 2, n. 4, p. 3215–3224, 2012.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 29, n. 6, p. 910–936, 2018.

GHOBAKHLOO, M. et al. Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development: A strategy roadmap for delivering sustainability values. *Sustainable Production and Consumption*, v. 33, n. August, p. 716–737, 2022.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0 : The Industrial Internet of Things.** Bangkok, Thailand: Apress, 2016.

GIUSTI, F. et al. **Data analytics and production efficiency evaluation on a flexible manufacturing cell.** 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). *Anais...IEEE*, 2018

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de Decisão Gerencial - Enfoque Multicritério.** [s.l.] Atlas, 2014.

GONÇALVES, C. D. F.; DIAS, J. A. M.; MACHADO, V. A. C. Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, v. 10, n. 3, p. 215–223, 2015.

GOVINDAN, K. et al. Supply Chain 4.0 performance measurement: A systematic literature review, framework development, and empirical evidence. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 164, n. July, 2022.

GRAÇA, P.; CAMARINHA-MATOS, L. M. Influence of Collaboration in Sustainable Manufacturing Networks. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 662 IFIP, n. September, p. 3–17, 2022.

GRAVILI, G. et al. The influence of the Digital Divide on Big Data generation within supply chain management. *International Journal of Logistics Management*, v. 29, n. 2, p. 592–628, 2018.

GRIEVES, M.; VICKERS, J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, p. 85–113, 2016.

GUNASEKARAN, A. et al. Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance.

Journal of Business Research, v. 70, p. 308–317, 2017.

GUPTA, M.; GEORGE, J. F. Toward the development of a big data analytics capability. **Information and Management**, v. 53, n. 8, p. 1049–1064, 2016.

HAAS, H. et al. What is LiFi? **Journal of Lightwave Technology**, v. 34, n. 6, p. 1533–1544, 2016.

HAZEN, B. T. et al. Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: an introduction to the problem and suggestions for research and applications. **International Journal of Production Economics**, v. 154, p. 72–80, 2014.

HE, Q. Knowledge discovery through co-word analysis. **Library Trends**, v. 48, n. 1, p. 133–159, 1999.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Dortmund: Technische Universität Dortmund, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review>.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). **Anais...Koloa: IEEE**, 2016

HIDALGO MARTINS, G. et al. Performance measurement based on machines data: Systematic literature review. **IET Collaborative Intelligent Manufacturing**, v. 4, n. 2, p. 74–86, 2022.

HOFMANN, C. et al. Augmented Go & See: An approach for improved bottleneck identification in production lines. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 148–154, 2019.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, 2017.

HORA, H. R. M.; REGO MONTEIRO, G. T.; ARICA, J. Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um Estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. **Produto & Produção**, v. 11, n. 2, p. 85–103, 2010.

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 146, n. March, p. 119–132, 2019.

HOSSAIN, M. S. et al. Audio-Visual Emotion Recognition Using Big Data Towards 5G. **Mobile Networks and Applications**, v. 21, n. 5, p. 753–763, 1 out. 2016.

HOSSEINI, M. et al. Interactions Among the Main Characteristics of Open Building Systems. **Civil and Sustainable Urban Engineering**, v. 2, n. 1, p. 33–43, 2022.

HOZDIĆ, E. Smart factory for industry 4.0: A review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, v. 7, n. 1, p. 28–35, 2015.

HSU, C. C. Evaluation criteria for blog design and analysis of causal relationships using factor analysis and DEMATEL. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 1, p. 187–193, 2012.

HSU, C. W. et al. Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 56, p. 164–172, 2013.

HSU, C. Y.; CHEN, K. T.; TZENG, G. H. FMCDM with fuzzy DEMATEL approach for customers' choice behavior model. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 9, n. 4, p. 236–246, 2007.

HUBBARD, D. W. **Como mensurar qualquer coisa: encontrando o valor do que é intangível nos negócios**. Rio de Janeiro, Brasil: Qualitymark, 2009.

HWANG, G. **Development of Performance Measurement System using Internet of Things**. Seoul: Seoul National University, 2017.

HWANG, G. et al. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 9, p. 2590–2602, 2017.

- HWANG, G. et al. An IoT data anomaly response model for smart factory performance measurement. **International Journal of Industrial Engineering**, v. 25, n. 5, 2018.
- ILMUDEEN, A. Big data analytics capability and organizational performance measures: The mediating role of business intelligence infrastructure. **Business Information Review**, v. 38, n. 4, p. 183–192, 2021.
- IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386–402, 2016.
- JEBLE, S. et al. Impact of big data and predictive analytics capability on supply chain sustainability. **International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 2, p. 513–538, 2018.
- JENA, M. C.; MISHRA, S. K.; MOHARANA, H. S. Application of Industry 4.0 to enhance sustainable manufacturing. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 39, n. 1, p. 1–11, 2020.
- JOHNSON, H. T.; KAPLAN, R. S. **The relevance lost: The rise and fall of management accounting**. New York, USA: Harvard Business School Publishing, 1991.
- JOPPEN, R. et al. Key performance indicators in the production of the future. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 759–764, 2019.
- JUNG, K. et al. A reference activity model for smart factory design and improvement. **Production Planning and Control**, v. 28, n. 2, p. 108–122, 2017.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt: Forschungunion, 2013.
- KAHRAMAN, C. **Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: theory and applications with developments**. Istanbul: Springer Science+Business Media, LLC, 2008.
- KAMBLE, S. S. et al. Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 48, p. 154–168, 2019.
- KAMBLE, S. S. et al. A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMES- A review and empirical investigation. **International Journal of Production Economics**, v. 229, n. July, p. 107853, 2020.
- KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A. Big data-driven supply chain performance measurement system: a review and framework for implementation. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 1, p. 65–86, 2020.
- KANNAN, D.; JABBOUR, A. B. L.; JABBOUR, C. J. C. Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using Fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 432–447, 2014.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance. **Harvard Business Review**, v. 70, n. 1, p. 71–79, 1992.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Using the Balanced Scorecard as a strategic management system. **Harvard Business Review**, v. 71, n. 1, p. 75–85, 1996.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação – Balanced Scorecard**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Transforming the balanced scorecard from performance measurement to strategic management: Part I. **Accounting Horizons**, v. 15, n. 1, p. 87–104, 2001.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Strategy maps: Converting intangible assets into tangible outcomes**. Boston, USA: Harvard Business Press, 2004.
- KEEGAN, D. P.; EILER, R. G.; JONES, C. R. Are Your Performance Measures Obsolete? **Management Accounting**, v. 70, n. 12, p. 45–50, 1989.

- KENNERLEY, M.; NEELY, A. A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 11, p. 1222–1245, 2002.
- KENNERLEY, M.; NEELY, A. Measuring performance in a changing business environment. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 23, n. 2, p. 213–229, 2003.
- KERSSENS-VAN DRONGELEN, I. C.; COOK, A. Design principles for the development of measurement systems for research and development processes. **R and D Management**, v. 27, n. 4, p. 345–357, 1997.
- KHAN, S. A.; CHAABANE, A.; DWEIRI, F. Supply chain performance measurement systems: A qualitative review and proposed conceptual framework. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 34, n. 1, p. 43–64, 2020.
- KIBIRA, D.; MORRIS, K. C.; KUMARAGURU, S. Methods and tools for performance assurance of smart manufacturing systems. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v. 121, p. 282–313, 2016.
- KIPPER, L. M. et al. Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1605–1627, 2020.
- KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. In: **Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências**. [s.l.: s.n.]. p. 10–25.
- KLOVIENE, L.; UOSYTE, I. Development of performance measurement system in the context of industry 4.0: A case study. **Engineering Economics**, v. 30, n. 4, p. 472–482, 2019.
- KOREN, Y. **The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- KORSEN, E. B. H.; INGVALDSEN, J. A. Digitalisation and the performance measurement and management system: reinforcing empowerment. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2021.
- KOUHIZADEH, M.; SABERI, S.; SARKIS, J. Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. September 2019, p. 107831, 2021.
- KRISHNAMOORTHY, S.; MATHEW, S. K. Business analytics and business value: a comparative case study. **Information and Management**, v. 55, n. 5, p. 643–666, 2018.
- KUMAR, A. et al. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 596–609, 2017.
- KUMARAGURU, S.; KULVATUNYOU, B.; MORRIS, K. C. **Integrating real-time analytics and continuous performance management in smart manufacturing systems**. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS). **Anais...Springer Berlin Heidelberg**, 2014
- LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.
- LAVALLE, S. et al. Big Data, analytics and the path from insights to value. **MIT Sloan Management Review**, v. 52, n. 2, p. 21–31, 2011.
- LEBAS, M.; EUSKE, K. A conceptual and operational delineation of performance. In: **Business performance measurement: theory and practice**. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2002. p. 65–79.
- LEBAS, M. J. Performance measurement and performance management. **International Journal of Production Economics**, v. 41, p. 23–25, 1995.
- LEE, H. S. et al. Revised DEMATEL: Resolving the infeasibility of DEMATEL. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 10–11, p. 6746–6757, 2013.

- LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, 2015.
- LEIMKUEHLER, F.; CHEN, Y. A Relationship between Lotka ' s Law , Bradford ' s Law , and Zipf ' s Law. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 37, n. 5, p. 307–314, 1986.
- LEITAO, P. et al. **A lightweight dynamic monitoring of operational indicators for a rapid strategic awareness**. 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS). **Anais...IEEE**, 2019
- LEITE, L. R. **Systematic literature review on performance measurement and sustainability**. American Society for Engineering Management (ASEM). **Anais...Virginia Beach**: 2012
- LEITE, L. R.; VAN AKEN, E.; MARTINS, R. A. Case study on the effect of sustainability on performance measurement systems. **IIE Annual Conference and Expo 2013**, n. December 2017, p. 774–780, 2013.
- LEONTITSIS, A.; PAGGE, J. A simulation approach on Cronbach's alpha statistical significance. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 73, n. 5, p. 336–340, 2007.
- LEPENIOTI, K. et al. Machine Learning for Predictive and Prescriptive Analytics of Operational Data in Smart Manufacturing. In: **Advanced Information Systems Engineering Workshops: CAiSE 2020 International Workshops, Grenoble, France, June 8–12, 2020, Proceedings 32**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020. p. 5–16.
- LERHER, T. Warehousing 4.0 by using shuttlebased storage and retrieval systems. **FME Transactions**, v. 46, n. 3, p. 381–385, 2018.
- LEUNG, X. Y.; SUN, J.; BAI, B. Bibliometrics of social media research: a co-citation and co-word analysis. **International Journal of Hospitality Management**, v. 66, p. 35–45, 2017.
- LI, C. W.; TZENG, G. H. Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 6, p. 9891–9898, 2009.
- LI, F. et al. How smart cities transform operations models: A new research agenda for operations management in the digital economy. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 6, p. 514–528, 2016.
- LI, L.; LEI, B.; MAO, C. Digital twin in smart manufacturing. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, n. January, p. 18, 2022.
- LI, S.; XU, L. DA; ZHAO, S. 5G Internet of Things: A survey. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 10, n. January, p. 1–9, 2018.
- LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017.
- LIN, C.-J.; WU, W.-W. A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. **Expert Systems with Applications**, v. 34, n. 1, p. 205–213, 2008.
- LINDEGREN, M. L. et al. Combining Simulation and Data Analytics for OEE Improvement. **International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)**, v. 21, n. 1, p. 29–40, 2022.
- LIU, J. J. H.; YEN, L.; TZENG, G. H. Building an effective safety management system for airlines. **Journal of Air Transport Management**, v. 14, n. 1, p. 20–26, 2008.
- LNSR. **Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook. Getting Digitally Connected to Transform Quality Management**. [s.l.] LNS Research, 2017.
- LOPES, M.; MARTINS, R. Mapping the Impacts of Industry 4 . 0 on Performance Measurement Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 11, p. 1912–1923, 2021.

- LOPES, M.; MARTINS, R. **Sistemas de Medição De Desempenho na Indústria 4.0: uma Revisão Sistemática**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP). **Anais...Foz do Iguaçu: ABEPRO**, 2022
- LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017.
- LUCAS, E. O.; GARCIA-ZORITA, J. C.; SANZ-CASADO, E. Evolução histórica de investigação em informetria: ponto de vista espanhol. **Liinc em Revista**, v. 9, n. 1, p. 255–270, 2013.
- LUKASIK, K.; STACHOWIAK, T. Intelligent management in the age of industry 4.0 - an example of a polymer processing company. **Management and Production Engineering Review**, v. 11, n. 2, p. 38–49, 2020.
- LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 168–179, 2018.
- MADDIKUNTA, P. K. R. et al. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, n. July, 2022.
- MAESTRI, G. et al. Revoluções Tecnológicas E a Relação Com O Setor Têxtil: Perspectivas Baseadas Em Indústria 3.5, Indústria 4.0 E Indústria 5.0. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia - ISSN: 1984-5693**, v. 13, p. 149–161, 2021.
- MAESTRINI, V. et al. Supply chain performance measurement systems: a systematic review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 299–315, 2017.
- MAHMOOD, K. et al. A Performance Evaluation Concept for Production Systems in an SME Network. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 603–608, 2018.
- MAHMOODPOUR, M. et al. **Role-based visualization of industrial IoT-based systems**. 2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA). **Anais...IEEE**, 2018
- MANIKAM, S.; SAHIBUDIN, S.; KASINATHAN, V. Business intelligence addressing service quality for big data analytics in public sector. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, v. 16, n. 1, p. 491–499, 2019.
- MANYIKA, J. et al. Big data: The next frontier for innovation, competition and productivity. **McKinsey Global Institute**, n. June, p. 156, 2011.
- MARR, B. **Artificial intelligence in practice: how 50 successful companies used AI and machine learning to solve problems**. Chichester: John Wiley & Sons, 2019.
- MARTINS, R. A. **Sistemas de medição de desempenho: um modelo para estruturação do uso**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998.
- MARTINS, R. A. Princípios da Pesquisa Científica. In: **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro, Brasil: ABEPRO, 2012a. p. 7–31.
- MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012b. p. 47–63.
- MARTINS, R. A. ; MERGULHÃO, R. C. .; CANEVAROLLO, M. E. A. P. **Uma investigação empírica sobre a dinâmica da medição de desempenho**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11, 2004. **Anais...Bauru, SP: UNESP**, 2004
- MATLOFF, N. **The Art of R Programming: A Tour of Statistical Software Design**. São Francisco, USA: No Starch Press, 2011.
- MAYER-SCHÖNBERGER, V.; CUKIER, K. **Big data: a revolution that will transform how we live, work, and think**. New York, USA: Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
- MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E. Big data: the management revolution. **Harvard Business Review**, v. 90, n. 10, p. 4, 2012.

- MELLO, R.; LEITE, L. R.; MARTINS, R. A. **Is big data the next big thing in performance measurement systems?** IIE Annual Conference and Expo 2014. **Anais...**2014
- MELLO, R.; MARTINS, R. A. Can big data analytics enhance performance measurement systems? **IEEE Engineering Management Review**, v. 47, n. 1, p. 52–57, 2019.
- MELNYK, S. A. et al. Is performance measurement and management fit for the future? **Management Accounting Research**, v. 25, n. 2, p. 173–186, 2014.
- MENTES, A.; AKYILDIZ, H.; HELVACIOGLU, I. H. **A Grey Based Dematel Technique for Risk Assessment of Cargo a Grey Based Dematel Technique for Risk.** 7th International Conference on Model Transformation. **Anais...**Glasgow: 2014
- MERGULHÃO, R. C.; MARTINS, R. A. Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. **Production**, v. 18, n. 2, p. 342–358, 2008.
- MIGUEL, P. A. C.; LINDA, L. H. Levantamento Tipo Survey. In: **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 75–130.
- MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção. In: **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 131–148.
- MISHRA, D. et al. A bibliographic study on big data: concepts, trends and challenges. **Business Process Management Journal**, v. 23, n. 3, p. 555–573, 2017.
- MOEUF, A. et al. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 2018.
- MOHAMMADI, H.; NOURI, I.; EHSANIFAR, M. Applying Fuzzy DEMATEL Method to Analyze Supplier Selection Criteria (Case Study: WagonPars Company). **International Research Journal of Finance and Economics**, n. 115, 2013.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.
- MORELLA, P. et al. Development of a new kpi for the economic quantification of six big losses and its implementation in a cyber physical system. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 24, p. 1–17, 2020.
- MORRIS, S. A.; VAN DER VEER MARTENS, B. Mapping research specialties. In: **Annual Review of Information Science and Technology.** [s.l: s.n.]. v. 42p. 213–295.
- MORTAZAVI RAVARI, S. S. et al. Framework for assessing technological innovation capability in research and technology organizations. **Journal of Business Economics and Management**, v. 17, n. 6, p. 825–847, 2016.
- MÖRTH, O. et al. Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics. **Computers and Industrial Engineering**, v. 142, n. February, p. 1–10, 2020.
- MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 78, p. 218–235, 2019.
- MUNIER, N. **A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects.** [s.l.] Springer Science & Business Media, 2011.
- NAEEM, H. M.; GARENGO, P. The interplay between industry 4.0 maturity of manufacturing processes and performance measurement and management in SMEs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 71, n. 4, p. 1034–1058, 2022.
- NEELY, A. et al. Designing performance measures: A structured approach. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 17, n. 11, p. 1131–1152, 1997.
- NEELY, A. **Measuring Business Performance: why, what, how.** London: Economist Books, 1998.

- NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 2, p. 205–228, 1999.
- NEELY, A. et al. Performance measurement system design: Developing and testing a process-based approach. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 10, p. 1119–1145, 2000.
- NEELY, A. The evolution of performance measurement research: Developments in the last decade and a research agenda for the next. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 25, n. 12, p. 1264–1277, 2005.
- NEELY, A.; ADAMS, C. Perspectives on performance: the performance prism. **Centre for Business Performance, School of Management**, Cranfield University. 2000.
- NEELY, A.; ADAMS, C.; CROWE, P. The performance prism in practice. **Measuring Business Excellence**, v. 5, n. 2, p. 6–13, 2001.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design: a literature review. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 4, p. 35, 1995.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design : a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 12, p. 1228–1263, 2005.
- NEELY, A.; KENNERLEY, M.; ADAMS, C. Performance measurement frameworks: a review. In: **Business Performance Measurement: Unifying theory and integrating practice**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 143–162.
- NETO, A. A. et al. Digital twins in manufacturing: An assessment of drivers, enablers and barriers to implementation. **Procedia CIRP**, v. 93, p. 210–215, 2020.
- NUDURUPATI, S. S. et al. State of the art literature review on performance measurement. **Computers and Industrial Engineering**, v. 60, n. 2, p. 279–290, 2011.
- NUDURUPATI, S. S.; TEBBOUNE, S.; HARDMAN, J. Contemporary performance measurement and management (PMM) in digital economies. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 3, p. 226–235, 2016.
- NUNEZ, M. **What is 5g and how will it make my life better?**, 2016. Disponível em: <<https://gizmodo.com/what-is-5g-and-how-will-it-make-my-life-better-1760847799>>
- ÖBERG, C.; GRAHAM, G. How smart cities will change supply chain management: a technical viewpoint. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 6, p. 529–538, 2016.
- ODWAŻNY, F.; SZYMAŃSKA, O.; CYPLIK, P. Smart Factory: The requirements for implementation of Industry 4.0 solutions in FMCG environment. **Scientific Journal of Logistics**, v. 14, n. 2, p. 257–267, 2018.
- ÖNÜT, S.; KARA, S. S.; İŞİK, E. Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 3887–3895, 2009.
- OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H. Defuzzification within a multicriteria decision model. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 11, n. 5, p. 635–652, 2003.
- OSAREH, F.; MOSTAFAVI, E. Lotka's Law and authorship distribution in Computer Science using Web of Science (WoS) during 1986–2009. **Collnet Journal of Scientometrics and Information Management**, v. 5, n. 2, p. 171–183, 2011.
- OUSSALAH, M. On the compatibility between defuzzification and fuzzy arithmetic operations. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 128, n. 2, p. 247–260, 2002.
- OZERNOY, V. M. Choosing the Best Multiple Criteria Decision-Making Method. **Information Systems and Operational Research**, v. 30, n. 2, p. 159–171, 1992.
- PANAHI FAR, F. Partner Selection Factors for Successful CPFR Implementation Using Fuzzy DEMATEL. **Journal of Economics, Business and Management**, v. 3, n. 12, p. 1138–1145, 2015.

- PARHI, S.; JOSHI, K.; AKARTE, M. Smart manufacturing: a framework for managing performance. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 34, n. 3, p. 227–256, 2021.
- PARHI, S.; JOSHI, K.; AKARTE, M. Decision-making in smart manufacturing: A framework for performance measurement. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 00, n. 00, p. 1–29, 2022.
- PFOHL, H. C.; YAHSI, B.; KURNAZ, T. Concept and diffusion-factors of Industry 4.0 in the supply chain. In: **Dynamics in Logistics**. [s.l.] Springer, Cham, 2017. p. 381–390.
- PILAR LAMBÁN, M. et al. Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. **Computers and Industrial Engineering**, v. 171, n. July, 2022.
- PINTO, M. M. A. et al. Knowledge and technology transfer influencing the process of innovation in Green Supply Chain Management: A multicriteria model based on the DEMATEL method. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 12, 2019.
- PUN, K. F.; WHITE, A. S. A performance measurement paradigm for integrating strategy formulation: A review of systems and frameworks. **International Journal of Management Reviews**, v. 7, n. 1, p. 49–71, 2005.
- PUPO, F.; EDNA, S. “**Indústria 4.0**” terá crédito de R\$ 8,6 bi. Disponível em: <<https://valor.globo.com/brasil/noticia/2018/03/14/industria-4-0-tera-credito-de-r-86-bi.ghtml>>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- RADZIOW, A. et al. The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 1184–1190, 2014.
- RAFFONI, A. et al. Business performance analytics: exploring the potential for performance management systems. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 1, p. 51–67, 2018.
- RAJI, I. O. et al. Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation. **International Journal of Logistics Management**, 2021.
- RASOOL, F.; GRECO, M.; GRIMALDI, M. Digital supply chain performance metrics: a literature review. **Measuring Business Excellence**, n. January, 2021.
- REZAEI, M.; SHIRAZI, M. A.; KARIMI, B. IoT-based framework for performance measurement. **Industrial Management and Data Systems**, v. 117, n. 4, p. 688–712, 2017.
- REZQIANITA, B. L.; ARDI, R. Drivers and Barriers of Industry 4.0 Adoption in Indonesian Manufacturing Industry. **ACM International Conference Proceeding Series**, p. 123–128, 2020.
- RICHARDSON, R. J. **Texto - Pesquisa social.pdf**. São Paulo: Atlas, 1999.
- RODRIGUES, S. G. A.; FREITAS, A. L. P. **Avaliação da confiabilidade de questionário: uma análise utilizando o coeficiente alfa de Cronbach**. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Bauru-SP: 2005
- ROWLEY, J. The wisdom hierarchy: Representations of the DIKW hierarchy. **Journal of Information Science**, v. 33, n. 2, p. 163–180, 2007.
- RSA. **Tomorrow’s Company. The Role of Business in a Changing World**. London: Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufacture and Commerce, 1995.
- RÜBMANN, M. et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54–89, 2015.
- SAATY, T. L.; ERGU, D. When is a decision-making method trustworthy? Criteria for evaluating multi-criteria decision-making methods. **International Journal of Information Technology and Decision Making**, v. 14, n. 6, p. 1171–1187, 2015.
- SABO, F. **Industry 4.0 – a comparison of the status in Europe and the USA**. [s.l.] Austrian Maschall Plan Foundation, 2015.

- SADEGHI, A.; WACHSMANN, C.; WAIDNER, M. Security and Privacy Challenges in Internet of Things. In: **2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)**. San Francisco, USA: IEEE, 2015. p. 1–6.
- SAEZ, M. et al. Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 15, n. 4, p. 1735–1748, 2018.
- SAHLIN, J.; ANGELIS, J. Performance management systems: reviewing the rise of dynamics and digitalization. **Cogent Business and Management**, v. 6, n. 1, 2019.
- SALDIVAR, A. A. F. et al. **Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective**. 21st International Conference on Automation and Computing: Automation, Computing and Manufacturing for New Economic Growth, ICAC 2015. **Anais...2015**
- SALKIN, C. et al. Conceptual Framework for Industry 4.0. In: **Industry 4.0: Managing the Digital Transformation**. [s.l.] Springer, 2018. p. 3–23.
- SAMIR, K. et al. Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 498–502, 2018.
- SANDENGEN, O. C. et al. High Performance Manufacturing - An Innovative Contribution towards Industry 4.0. **International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA 2016)**, p. 14–20, 2016.
- SANTOS, P. H. A.; MARTINS, R. A. **Uso do DEMATEL na Pesquisa em Engenharia de Produção: uma Análise Bibliométrica**. XL ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...Foz do Iguaçu: ABEPRO**, 2020
- SARDI, A. et al. Big data and performance measurement research: trends, evolution and future opportunities. **Measuring Business Excellence**, n. June 2019, 2020.
- SAUCEDO-MARTÍNEZ, J. A. et al. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 9, n. 3, p. 789–801, 2018.
- SAYADI, M. K.; HEYDARI, M.; SHAHANAGHI, K. Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. **Applied Mathematical Modelling**, v. 33, n. 5, p. 2257–2262, 2009.
- SCHRÖDER, C. The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises. **the Friedrich-Ebert-Stiftung**, p. 28, 2016.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo, Brasil: Edipro, 2016.
- SEKER, S.; ZAVADSKAS, E. K. Application of fuzzy DEMATEL method for analyzing occupational risks on construction sites. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 11, 2017.
- SEYEDHOSSEINI, S. M. et al. Extracting leanness criteria by employing the concept of Balanced Scorecard. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 10454–10461, 2011.
- SHARMA, P. K.; CHEN, M. Y.; PARK, J. H. A software defined fog node based distributed blockchain cloud architecture for IoT. **IEEE Access**, v. 6, p. 115–124, 2018.
- SHEN, L. et al. A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 74, p. 170–179, 2013.
- SHIEH, J. I.; WU, H. H.; HUANG, K. K. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. **Knowledge-Based Systems**, v. 23, n. 3, p. 277–282, 2010.
- SHIMIZU, T. **Decisões nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 2006.
- SHIPP, S. S. et al. **Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing**. Alexandria: Institute for Defense Analyses, 2012.
- SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and

of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, v. 2015- Janua, p. 697–701, 2014.

SI, S. L. et al. DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, n. 1, p. 33, 2018.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. **Annual Review of Psychology**, v. 70, n. 1, p. 747–770, 2019.

SILVA, F. A. R. Analytical intelligence in processes: data science for business. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 8, p. 2240–2247, 2018.

SINGH, A. et al. Big data cloud computing framework for low carbon supplier selection in the beef supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 139–149, 2018.

SMIRAGLIA, R. P. ISKO 11's diverse bookshelf: an editorial. **Knowledge Organization**, v. 38, n. 3, p. 179–186, 2011.

STADNICKA, D. et al. Information management and decision making supported by an intelligence system in kitchen fronts control process. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 637, p. 249–259, 2018.

STENTOFT, J. et al. Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. **Production Planning and Control**, p. 1–18, 2020.

STRITESKA, M.; SPICKOVA, M. Review and Comparison of Performance Measurement Systems. **The Journal of Organizational Management Studies**, v. 2012, p. 1–13, 2012.

SUMRIT, D.; ANUNTAVORANICH, P. 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**, v. 4, n. 2, p. 81–103, 2013.

SUPEKAR, S. D. et al. A framework for quantifying energy and productivity benefits of smart manufacturing technologies. **Procedia CIRP**, v. 80, p. 699–704, 2019.

SUSILAWATI, A. et al. Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 34, p. 1–11, 2015.

TAMBARE, P. et al. Performance measurement system and quality management in data-driven industry 4.0: A review. **Sensors**, v. 22, n. 1, p. 1–25, 2022.

TATICCHI, P.; TONELLI, F.; CAGNAZZO, L. Performance measurement and management: a literature review and a research agenda. **Measuring Business Excellence**, v. 14, n. 1, p. 4–18, 2010.

TATICCHI, P.; TONELLI, F.; PASQUALINO, R. Performance measurement of sustainable supply chains: A literature review and a research agenda. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 62, n. 8, p. 782–804, 2013.

TENG, J. Y. **Project evaluation: Methods and applications**. [s.l.] National Taiwan Ocean University, 2002.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 5, p. 408–420, 2016.

TORTORELLA, G. L.; GIGLIO, R.; VAN DUN, D. H. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 39, p. 860–886, 2019.

TSENG, M. L. Using the extension of DEMATEL to integrate hotel service quality perceptions into a cause-effect model in uncertainty. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 5, p. 9015–9023, 2009a.

TSENG, M. L. A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 4, p. 7738–7748, 2009b.

- TUNG, A.; BAIRD, K.; SCHOCH, H. P. Factors influencing the effectiveness of performance measurement systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 12, p. 1287–1310, 2011.
- TÜRKEŞ, M. C. et al. Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania. **Processes**, v. 7, n. 3, p. 1–20, 2019.
- TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple Attribute Decision Making**. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- TZENG, G. H.; CHIANG, C. H.; LI, C. W. Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. **Expert Systems with Applications**, v. 32, n. 4, p. 1028–1044, 2007.
- UCHOA, C. E. **Elaboração de Indicadores de Desempenho**, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2403>>
- ULLAH, F. et al. It's all about perceptions: A DEMATEL approach to exploring user perceptions of real estate online platforms. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 4, p. 4297–4317, 2021.
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks. In: **Measuring scholarly impact: methods and practice**. [s.l.] Springer, 2014. p. 285–320.
- VENUTA, M. et al. **Implementation of IoT Platform's Dashboards for the Visualisation of Dynamic KPIs: Insights from a Case Study**. Working Conference on Virtual Enterprises. **Anais...Springer**, Cham, 2021
- VIMAL, K. E. K.; VINODH, S. Application of artificial neural network for fuzzy logic based leanness assessment. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 24, n. 2, p. 274–292, 2013.
- VINODH, S.; PRAKASH, N. H.; SELVAN, K. E. Evaluation of leanness using fuzzy association rules mining. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1–4, p. 343–352, 2011.
- VINODH, S.; VIMAL, K. E. K. Thirty criteria based leanness assessment using fuzzy logic approach. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 60, n. 9–12, p. 1185–1195, 2012.
- WALLER, M. A.; FAWCETT, S. E. Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. **Journal of Business Logistics**, v. 34, n. 2, p. 77–84, 2013.
- WAMBA, S. F. et al. How “big data” can make big impact: findings from a systematic review and a longitudinal case study. **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 234–246, 2015.
- WAMBA, S. F. et al. Big data analytics and firm performance: effects of dynamic capabilities. **Journal of Business Research**, v. 70, p. 356–365, 2017.
- WANG, G. et al. Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications. **International Journal of Production Economics**, v. 176, p. 98–110, 2016.
- WANG, W. et al. A Proactive Manufacturing Resources Assignment Method Based on Production Performance Prediction for the Smart Factory. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 18, n. 1, p. 46–55, 2021.
- WATANABE, A. **Modelagem de Uma Planta Virtual de Produção de PCBs Via Digital Twin dentro do Contexto da Indústria 4.0**. Florianópolis: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2019.
- WEISS, A. et al. First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work? **Societies**, v. 6, n. 3, p. 20, 2016.
- WU, L. et al. Smart supply chain management: A review and implications for future research. **International Journal of Logistics Management**, v. 27, n. 2, p. 395–417, 2016.

- WU, Q. et al. Cognitive internet of things: a new paradigm beyond connection. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 2, p. 129–143, 2014a.
- WU, W. W.; LEE, Y. T. Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. **Expert Systems with Applications**, v. 32, n. 2, p. 499–507, 2007.
- WU, X. et al. Data Mining with Big Data. **IEEE Trans. Knowl.**, n. 1, p. 1–26, 2014b.
- XIE, Y. et al. Intelligent supply chain performance measurement in Industry 4.0. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, p. 711–718, 2020.
- XU, L. DA; HE, W.; LI, S. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, 2014.
- XU, L. DA; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: State of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.
- XU, X. et al. Supply chain finance: a systematic literature review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 160–173, 2018.
- YADAV, S.; GARG, D.; LUTHRA, S. Development of IoT based data-driven agriculture supply chain performance measurement framework. **Journal of Enterprise Information Management**, 2020.
- YAGER, R. R.; FILEV, D. P. **Essentials of Fuzzy Modeling and Control**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- YAZDANI, M. An integrated MCDM approach to green supplier selection. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 5, n. 3, p. 443–458, 2014.
- ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338–353, 1965.
- ZAWADZKI, P.; ZYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 3, p. 105–112, 2016.
- ZHANG, C.; XU, X.; CHEN, H. Theoretical foundations and applications of cyber-physical systems: a literature review. **Library Hi Tech**, v. 38, n. 1, p. 95–104, 2020.
- ZHANG, J.; DAWES, S. S.; SARKIS, J. **Exploring stakeholders' expectations of the benefits and barriers of e-government knowledge sharing**. [s.l: s.n.]. v. 18
- ZHANG, Y. et al. Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 8, p. 811–822, 2015.
- ZHOU, J.; QINGYANG HU, R.; QIAN, Y. Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, v. 23, n. 9, p. 1632–173, 2012.
- ZHOU, J.; WANG, Y.; CHUA, Y. Q. **Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment**. 2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). **Anais...IEEE**, 2020
- ZHOU, Q.; HUANG, W.; ZHANG, Y. Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. **Safety Science**, v. 49, n. 2, p. 243–252, 2011.
- ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2001.
- ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

APÊNDICE A – Lista com as categorias e lista com os facilitadores no idioma inglês

Quadro 49 – Lista das categorias dos facilitadores (no idioma inglês)

Categoria	Descrição
Technical Factors: Technological Infrastructure	The technological infrastructure consists of sensory, communication, network and information processing technologies that contribute to interoperability and connectivity between intelligent systems and devices.
Technical Factors: Data Management	Data management consists of the use of resources for the identification, collection, storage, compilation, analysis and protection of reliable and good quality data to generate accurate information made available through visualization tools that facilitate its dissemination and interpretation by decision makers.
Social Factors	Social factors are factors associated with human behavior in the organizational environment. The need for more qualified and flexible employees to deal with frequent changes in the I4.0 environment and the presence of an open organizational culture facilitate the process of implementing I4.0 technologies in PMSs.
Economic Factors	The process of implementing I4.0 technologies in PMSs requires companies to have a long-term commitment, high financial investments in people, processes and technologies, and a certain level of uncertainty regarding the return on that investment.
Management Factors	Management factors are linked to the way in which the process of implementing I4.0 technologies in PMSs is planned and put into practice by those responsible. A clear and well-defined implementation plan, active and continuous support of top management are valuable tools to make the implementation path a success.
Regulatory/ Governmental Factors	The regulatory/governmental factors refer to policies and regulations developed by the government to create a friendly environment to attract companies to adopt the new technologies of I4.0.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 50- Lista de categorias e facilitadores levantados na RSL (no idioma inglês)

Category	Nº	Factor (Enabler)
Technical Factors: Technological Infrastructure	F1	Adequate digital infrastructure: Presence of IT infrastructure and other basic and adequate technological resources to support the application of I4.0 technologies in PMSs.
	F2	Interoperability: The use of standardized communication interfaces and protocols facilitates connectivity and interoperability, which is important for communication and data exchange between various systems.
	F3	Enhanced connectivity: A good global network infrastructure made up of smart devices connected to each other or to the external environment, allows mapping the state of individual subsystems and the system as a whole and monitoring and analyzing performance in real time.
	F4	Cybersecurity: Implementing cybersecurity strategies is essential to ensure that computers, servers, mobile devices, electronic systems, networks and data are protected from malicious attacks.
Technical Factors: Data Management	F5	Data quality: Reliable and good quality data generate accurate information for PMSs and decision makers.
	F6	Accessibility and data integration: Possibility to access, collect and integrate data from multiple heterogeneous data sources or from legacy systems with communication protocols from different manufacturers. Open source software facilitates data acquisition.
	F7	Scalable and flexible data storage capacity: The design must allow for scalable and flexible storage, allowing you to store any type of data without restrictions.
	F8	Good data visualization tools: Visualization tools for a large volume of data collaborate in the dissemination and interpretation of performance.
Social Factors	F9	Qualified employees: Employees with interdisciplinary and necessary skills for data analysis and management and for working with I4.0 technologies and PMSs.
	F10	Knowledge of Industry 4.0 technologies: Knowledge about I4.0 and its technologies. Ability to identify opportunities/benefits of I4.0.
	F11	Continuous training of employees: Employees must receive continuous training to use new tools and technologies. Qualification and requalification programs help to develop employees' skills and facilitate their adaptation to I4.0.
	F12	Support from specialized consulting and/or academic institutions: Expert advice and/or support from academic institutions in training and deployment can help companies adopt I4.0 technologies in PMSs.
	F13	Employees' flexibility for changes: Employees' flexibility for changes and ability to adapt to new processes (learning to use new technologies and associated practices).
	F14	Open organizational culture: The organization's culture must be open to innovation and experimentation.
Economic Factors	F15	Capacity to make financial investments: Companies' commitment to financial investments is one of the crucial enablers in the implementation of I4.0 technologies in PMSs.
	F16	Clarity on the economic benefits of implementing I4.0 technologies in PMSs: Clarity on cost-effectiveness and monetary gains in investments in I4.0 technologies in PMSs. Mistakes during the design phase, missing steps and lack of empirical studies can cause uncertainties in an assessment of the benefits of implementing I4.0 technologies in PMSs.
	F17	Willingness to take financial risks: Willingness to take some risks by investing in new technologies that are not yet fully developed.
Management Factors	F18	Structured and well defined I4.0 technology implementation plan: Proper planning for implementing I4.0 is an enabler. It is necessary to define objectives, the steps and resources necessary to achieve them. In implementation, companies must follow incremental steps.
	F19	Top management support: Active and continuous support from top management is crucial to the implementation I4.0 technologies on PMSs.
	F20	Management commitment to long-term projects: Management's commitment to long-term projects is fundamental to the successful implementation of I4.0 technologies in PMSs.
Regulatory/Governmental Factors	F21	Creation of rules and regulations: Technological innovations continually challenge regulators and legislators. Issuing rules and regulations provide legal certainty for investors and a regulatory framework encourages the availability and adoption of I4.0 technologies in PMSs.
	F22	Creation of government policies and incentives: Government policies and incentives such as access to credit lines positively influence the implementation of I4.0 technologies in PMSs.
	F23	Development of technical support infrastructure for I4.0: The provision of an infrastructure for the digital world by the government (such as 5G and communication systems), facilitates the implementation of I4.0 on PMSs.
	F24	Creation of learning programs and adaptation of academic curriculum: Government creation of learning programs targeted at I4.0 and adaptation of academic curriculum to meet I4.0 demands facilitate the implementation of I4.0 technologies in PMSs.

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE B - Questionários da pesquisa para coleta de dados nos idiomas português e inglês

Estudo sobre os Facilitadores para Adequação dos Sistemas de Medição de Desempenho à Indústria 4.0

Este questionário é o instrumento de coleta de dados sobre as impressões e opiniões de profissionais envolvidos com a implantação de tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0). Ele é parte do projeto de pesquisa desenvolvido por Marcelo Almir Lopes, discente do curso de Doutorado em Engenharia de Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, sob orientação do Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime e coorientação do Prof. Titular Dr. Roberto A. Martins, cujo objetivo é estudar os facilitadores para adequação dos sistemas de medição de desempenho (SMDs) à Indústria 4.0.

Os SMDs são parte fundamental da gestão do desempenho de uma organização e são definidos como um conjunto de medidas usado para quantificar a eficácia e eficiência de ações passadas por meio da aquisição, compilação, classificação, análise, interpretação e disseminação dos dados apropriados. Algumas tecnologias da Indústria 4.0 como *internet of things*, *big data analytics*, *cyber-physical systems*, simulação e realidade aumentada ou virtual possuem um grande potencial para aperfeiçoamento dos SMDs. Assim, a identificação dos impactos da implantação dessas tecnologias da Indústria 4.0 nos SMDs sob a ótica de praticantes e acadêmicos é relevante para o entendimento de como modificá-los.

Para o preenchimento do questionário não é obrigatória a identificação do respondente e todas as respostas serão consideradas anônimas na pesquisa. As informações sobre os respondentes servirão apenas para caracterizar a amostra da pesquisa e estratificar as respostas para avaliar a diferença entre grupos. O questionário foi dividido em 8 pequenas partes e o tempo estimado para respondê-lo é de 30 minutos.

Durante o preenchimento do questionário, caso sinta-se constrangido com algum dado a ser fornecido ou já fornecido, por favor, interrompa imediatamente o preenchimento e entre em contato com Marcelo A. Lopes (marcelolopes@ufscar.br) ou Roberto A. Martins (ram@dep.ufscar.br) para que possamos apagar suas respostas e verificar o ocorrido. Caso inicie o preenchimento e tenha que parar por qualquer motivo e quiser continuar a responder depois, ao acessar novamente o formulário, poderá continuar o preenchimento sem prejuízo das informações já fornecidas.

Para esclarecer quaisquer dúvidas, por gentileza, entre em contato com Marcelo A. Lopes (marcelolopes@ufscar.br) ou Roberto A. Martins (ram@dep.ufscar.br). Agradecemos imensamente sua colaboração!

*Obrigatório

Primeira
Parte -
Demografia

Nessa parte serão coletadas informações gerais dos respondentes para caracterização da amostra da pesquisa.

1. 1- Você autoriza que os dados fornecidos neste questionário sejam utilizados anonimamente para fins científicos? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

2. 2- Qual é o nome do país em que você está trabalhando atualmente? *

3. 3- Qual o nível de sua formação? *

Marcar apenas uma oval.

Nível médio ou técnico

Graduado

Mestrado

Doutorado

Pós-Doutorado

4. 4- Qual é o nome do curso da sua última formação? *

5. 5- Qual é o seu setor de atuação atual? *

Marcar apenas uma oval.

Acadêmico

Consultoria

Indústrias em geral

Serviços em geral

Mercado Financeiro

Outro: _____

6. 6- Qual é a função que você ocupa atualmente na empresa em que trabalha? *

7. 7- Há quantos anos você está nessa função? *

Marcar apenas uma oval.

- Mais de 10 anos
- 8 a 10 anos
- 6 a 8 anos
- 4 a 6 anos
- 2 a 4 anos
- Menos de 2 anos

8. 8- Quantos anos de experiência profissional você possui? *

Marcar apenas uma oval.

- Mais de 10 anos
- 8 a 10 anos
- 6 a 8 anos
- 4 a 6 anos
- 2 a 4 anos
- Menos de 2 anos
- Não tenho experiência *Pular para a pergunta 14*

9. 9- No período de sua experiência profissional (pergunta 8), quantos anos foram dedicados aos projetos que envolvem implantação de tecnologias da Indústria 4.0? *

Marcar apenas uma oval.

- Mais de 10 anos
- 8 a 10 anos
- 6 a 8 anos
- 4 a 6 anos
- 2 a 4 anos
- Menos de 2 anos
- Nenhum *Pular para a pergunta 14*

10. 10- Nesse período (pergunta 9), de quantos projetos de implantação de tecnologias da Indústria 4.0 você participou? *

Marcar apenas uma oval.

- 5 ou mais projetos
- 4 projetos
- 3 projetos
- 2 projetos
- 1 projeto
- Nenhum projeto *Pular para a pergunta 14*

11. 11- Entre os projetos de implantação de tecnologias da Indústria 4.0 que você participou (pergunta 10), quantos foram aplicados em sistemas de medição de desempenho? *

Marcar apenas uma oval.

- 5 ou mais projetos
- 4 projetos
- 3 projetos
- 2 projetos
- 1 projeto
- Nenhum projeto *Pular para a pergunta 13*

12. 12- Qual o número de empregados das indústrias onde os projetos aplicados em sistemas de medição de desempenho foram implantados? *

Marcar apenas uma oval.

- 500 ou mais empregados *Pular para a pergunta 14*
- Até 499 empregados *Pular para a pergunta 14*
- Parte dos projetos foram implantados em indústrias com até 499 empregados e outra parte em indústrias com 500 empregados ou mais *Pular para a pergunta 14*

13. 12- Qual o número de empregados das indústrias onde os projetos foram implantados? *

Marcar apenas uma oval.

- 500 ou mais empregados
- Até 499 empregados
- Parte dos projetos foram implantados em indústrias com até 499 empregados e outra parte em indústrias com 500 empregados ou mais

14. 13- Caso queira receber um sumário técnico da pesquisa, deixe aqui o seu e-mail: (Opcional)

Segunda parte - Avaliação das influências entre as seis categorias de facilitadores.

Segue abaixo um quadro com uma breve descrição de cada categoria de facilitadores para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Descrição
Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica	A infraestrutura tecnológica é constituída por tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações que contribuem para a interoperabilidade e conectividade entre os sistemas e dispositivos inteligentes.
Fatores Técnicos: Gestão de dados	A gestão de dados consiste no uso de recursos para identificação, coleta, armazenamento, compilação, análise e proteção de dados confiáveis e de boa qualidade para gerar informações precisas disponibilizadas por meio de ferramentas de visualização que facilitem a sua divulgação e interpretação pelos tomadores de decisão.
Fatores sociais	Os fatores sociais são fatores associados ao comportamento humano no meio organizacional. A necessidade de funcionários mais qualificados e flexíveis para lidar com mudanças frequentes no ambiente da I4.0 e a presença de uma cultura organizacional aberta facilitam o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
Fatores econômicos	O processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs requer das empresas um compromisso de longo prazo, altos investimentos financeiros em pessoas, processos e tecnologias e um certo nível de incerteza em relação ao retorno desse investimento.
Fatores gerenciais	Os fatores gerenciais estão ligados à forma com que o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs é planejado e colocado em prática pelos seus responsáveis. Um planejamento claro e bem definido de implantação, o apoio e o suporte ativo e contínuo da alta administração são instrumentos valiosos para tornar o caminho de implantação um sucesso.
Fatores normativos/governamentais	Os fatores normativos/governamentais remetem as políticas e regulamentações desenvolvidas pelo governo para criar um ambiente amigável para atrair as empresas a adotarem as novas tecnologias da I4.0.

15. 1- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES TÉCNICOS – INFRAESTUTURA TECNOLÓGICA" exerce sobre a categoria: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Gestão de Dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Sociais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Gerenciais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Normativos/Governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. 2- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES TÉCNICOS – GESTÃO DE DADOS" exerce sobre a categoria: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Infraestrutura Tecnológica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Sociais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Gerenciais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Normativos/Governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. 3- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES SOCIAIS" exerce sobre a categoria: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Infraestrutura Tecnológica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Técnicos - Gestão de Dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Gerenciais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Normativos/Governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. 4- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES ECONOMICOS" exerce * sobre a categoria:

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Infraestrutura Tecnológica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Técnicos - Gestão de Dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Sociais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Gerenciais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Normativos/Governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. 5- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES GERENCIAIS" exerce * sobre a categoria:

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Infraestrutura Tecnológica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Técnicos - Gestão de Dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Sociais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Normativos/Governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. 6- Qual é o grau de influência que a categoria "FATORES NORMATIVOS/ GOVERNAMENTAIS" exerce sobre a categoria: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Fatores Técnicos - Infraestrutura Tecnológica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Técnicos - Gestão de Dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Sociais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatores Gerenciais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Terceira parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria "FATORES TÉCNICOS - INFRAESTRUTURA TECNOLÓGICA"

Segue abaixo o quadro com a categoria e uma breve descrição de cada fator (facilitador) para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)
Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica	F1	Infraestrutura digital adequada Presença de infraestrutura de TI e outros recursos tecnológicos básicos e adequados para suportar a aplicação das tecnologias da I4.0 nos SMDS.
	F2	Interoperabilidade O uso de interfaces e protocolos de comunicação padronizados facilitam a conectividade e interoperabilidade, importante para a comunicação e troca de dados entre vários sistemas.
	F3	Conectividade aprimorada Uma boa infraestrutura de rede global composta de dispositivos inteligentes conectados entre si ou com o ambiente externo, permite mapear o estado de subsistemas individuais e do sistema como um todo e a monitorar e analisar o desempenho em tempo real.
	F4	Cibersegurança A implementação de estratégias de segurança cibernética são essenciais para garantir a proteção de computadores, servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrônicos, redes e dados contra ataques maliciosos.

21. 1- Qual é o grau de influência que o fator "INFRAESTRUTURA DIGITAL ADEQUADA" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Interoperabilidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conectividade aprimorada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cibersegurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. 2- Qual é o grau de influência que o fator "INTEROPERABILIDADE" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Infraestrutura digital adequada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conectividade aprimorada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cibersegurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. 3- Qual é o grau de influência que o fator "CONECTIVIDADE APRIMORADA" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Infraestrutura digital adequada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interoperabilidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cibersegurança	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. 4- Qual é o grau de influência que o fator "CIBERSEGURANÇA" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Infraestrutura digital adequada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interoperabilidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conectividade aprimorada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Quarta parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria "FATORES TÉCNICOS - GESTÃO DE DADOS"

Segue abaixo o quadro com a categoria e uma breve descrição de cada fator (facilitador) para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)
Fatores Técnicos: Gestão de dados	F5	Qualidade dos dados Dados confiáveis e de boa qualidade geram informações precisas para os SMDs e para os tomadores de decisão.
	F6	Acessibilidade e integração de dados Possibilidade de acessar, coletar e integrar dados de múltiplas fontes de dados heterogêneas ou de sistemas legados com protocolos de comunicação de diferentes fabricantes. Softwares de código aberto facilitam a aquisição de dados.
	F7	Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível O projeto deve permitir o armazenamento escalável e flexível, permitindo armazenar qualquer tipo de dado sem restrições.
	F8	Boas ferramentas de visualização dos dados Ferramentas de visualização de um grande volume de dados colaboram na divulgação e interpretação do desempenho.

25. 1- Qual é o grau de influência que o fator "QUALIDADE DOS DADOS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Acessibilidade e integração dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Boas ferramentas de visualização de dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. 2- Qual é o grau de influência que o fator "ACESSIBILIDADE E INTEGRAÇÃO DE DADOS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Qualidade dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Boas ferramentas de visualização de dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

27. 3- Qual é o grau de influência que o fator "CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS ESCALÁVEL E FLEXÍVEL" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Qualidade dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acessibilidade e integração dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Boas ferramentas de visualização de dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. 4- Qual é o grau de influência que o fator "BOAS FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO DE DADOS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Qualidade dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acessibilidade e integração dos dados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Quinta parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria
"FATORES SOCIAIS"

Segue abaixo o quadro com a categoria e uma breve descrição de cada fator (facilitador) para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)
Fatores sociais	F9	Funcionários qualificados Funcionários com competências interdisciplinares e necessárias para análise e gestão de dados e para trabalhar com as tecnologias da I4.0 e SMDs.
	F10	Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0 Conhecimento sobre a I4.0 e suas tecnologias. Habilidade para identificar oportunidades/benefícios da I4.0.
	F11	Treinamento contínuo dos funcionários Funcionários devem receber treinamento contínuo para utilizar novas ferramentas e tecnologias. Programas de qualificação e requalificação ajudam a desenvolver as competências dos funcionários e facilitam a adaptação dos mesmos a I4.0.
	F12	Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas no treinamento e implantação podem ajudar as empresas na adoção de tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F13	Flexibilidade dos funcionários para mudanças Flexibilidade dos funcionários para mudanças e capacidade de adaptação a novos processos (aprender a usar novas tecnologias e práticas a eles associadas).
	F14	Cultura organizacional aberta Cultura da organização deve estar aberta a inovação e a experimentação.

29. 1- Qual é o grau de influência que o fator "FUNCIONÁRIOS QUALIFICADOS" *
exerce sobre o fator:

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Treinamento contínuo dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidade dos funcionários para mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultura organizacional aberta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. 2- Qual é o grau de influência que o fator "CONHECIMENTO SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0" exerce sobre o fator:

*

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Funcionários qualificados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Treinamento contínuo dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidade dos funcionários para mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultura organizacional aberta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

31. 3- Qual é o grau de influência que o fator "TREINAMENTO CONTÍNUO DOS FUNCIONÁRIOS" exerce sobre o fator:

*

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Funcionários qualificados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidade dos funcionários para mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultura organizacional aberta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

32. 4- Qual é o grau de influência que o fator "APOIO DE CONSULTORIA ESPECIALIZADA E/OU DE INSTITUIÇÕES ACADÊMICAS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Funcionários qualificados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Treinamento contínuo dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidade dos funcionários para mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultura organizacional aberta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

33. 5- Qual é o grau de influência que o fator "FLEXIBILIDADE DOS FUNCIONÁRIOS PARA MUDANÇAS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Funcionários qualificados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Treinamento contínuo dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultura organizacional aberta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

34. 6- Qual é o grau de influência que o fator "CULTURA ORGANIZACIONAL ABERTA" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Funcionários qualificados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Treinamento contínuo dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flexibilidade dos funcionários para mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sexta parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria "FATORES ECONÔMICOS"

Segue abaixo o quadro com a categoria e uma breve descrição de cada fator (facilitador) para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)
Fatores econômicos	F15	Capacidade de fazer investimentos financeiros O compromisso das empresas com investimentos financeiros é um dos facilitadores cruciais na implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F16	Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs Clareza quanto ao custo-benefício e ganhos monetários nos investimentos em tecnologias da I4.0 nos SMDs. Erros durante a fase de projeto, queima de etapas e falta de estudos empíricos podem causar incertezas em uma avaliação dos benefícios da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F17	Disposição em assumir riscos financeiros Disposição para assumir alguns riscos com o investimento em novas tecnologias que ainda não estão plenamente desenvolvidas.

35. 1- Qual é o grau de influência que o fator "CAPACIDADE DE FAZER INVESTIMENTOS FINANCEIROS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disposição em assumir riscos financeiros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. 2- Qual é o grau de influência que o fator "CLAREZA QUANTO AOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA I4.0 NOS SMDs" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Capacidade de fazer investimentos financeiros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disposição em assumir riscos financeiros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

37. 3- Qual é o grau de influência que o fator "DISPOSIÇÃO EM ASSUMIR RISCOS FINANCEIROS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Capacidade de fazer investimentos financeiros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sétima parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria
"FATORES GERENCIAIS"

Segue abaixo o quadro com a categoria e uma breve descrição de cada fator (facilitador) para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	N°	Fator (Facilitador)
Fatores gerenciais	F18	Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido O planejamento adequado para implantação da I4.0 é um facilitador. É preciso definir objetivos, as etapas e recursos necessários para alcançá-los. Na implantação, as empresas devem seguir etapas incrementais.
	F19	Suporte da alta administração O suporte ativo e contínuo da alta administração é crucial para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F20	Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo O compromisso da gestão com projetos de longo prazo são fundamentais para o sucesso da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

38. 1- Qual é o grau de influência que o fator "PLANO DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA DA I4.0 ESTRUTURADO E BEM DEFINIDO" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Suporte da alta administração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39. 2- Qual é o grau de influência que o fator "SUPORTE DA ALTA ADMINISTRAÇÃO" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

40. 3- Qual é o grau de influência que o fator "COMPROMETIMENTO DA GESTÃO COM PROJETOS DE LONGO PRAZO" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Suporte da alta administração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Oitava parte: Avaliação das influências entre os fatores da categoria "FATORES NORMATIVOS/ GOVERNAMENTAIS"

Segue abaixo um quadro com a categoria e uma breve descrição de cada facilitador para você utilizar nas próximas perguntas:

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)
Fatores normativos/ governamentais	F21	Criação de normas e regulamentos As inovações tecnológicas desafiam continuamente os reguladores e legisladores. A emissão de normas e regulamentos proporcionam segurança jurídica aos investidores e uma estrutura regulatória incentiva a disponibilidade e a adoção das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F22	Criação de políticas e incentivos governamentais As políticas e incentivos do governo como acesso a linhas de crédito influenciam positivamente a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.
	F23	Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0 O fornecimento de uma infraestrutura para o mundo digital pelo governo (como 5G e sistemas de comunicação), facilita a implantação da I4.0 no SMDs.
	F24	Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico Criação de programas de aprendizagem pelo governo voltados para a I4.0 e adaptação de currículo acadêmico para satisfazer demandas da I4.0 facilitam a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.

41. 1- Qual é o grau de influência que o fator "CRIAÇÃO DE NORMAS E REGULAMENTOS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Criação de políticas e incentivos governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

42. 2- Qual é o grau de influência que o fator "CRIAÇÃO DE POLÍTICAS E INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS" exerce sobre o fator: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Criação de normas e regulamentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

43. 3- Qual é o grau de influência que o fator "DESENVOLVIMENTO DE INFRAESTRUTURA TÉCNICA DE SUPORTE PARA A I4.0" exerce sobre o fator. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Criação de normas e regulamentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criação de políticas e incentivos governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

44. 4- Qual é o grau de influência que o fator "CRIAÇÃO DE PROGRAMAS DE APRENDIZAGEM E ADAPTAÇÃO DE CURRÍCULO ACADÊMICO" exerce sobre o fator. *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nenhuma influência	Influência baixa	Influência média	Influência alta	Influência muito alta
Criação de normas e regulamentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Criação de políticas e incentivos governamentais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Investigation on Enablers for Implementing the Performance Measurement Systems in the Industry 4.0

This questionnaire aims to collect data on the impressions and opinions of professionals involved with the implementation of Industry 4.0 technologies. I am a doctorate candidate for Industrial Engineering Graduate Program at the Federal University of São Carlos in Brazil, under the supervision of Professor Pedro Carlos Oprime and Professor Roberto A. Martins. My research project aims to investigate the enablers for implementing the performance measurement systems (PMSs) in the Industry 4.0 (I4.0).

PMS is a fundamental element of any organization's performance management and it encompasses a set of performance metrics used to quantify the effectiveness and efficiency of past actions through the acquisition, compilation, classification, analysis, interpretation, and dissemination of appropriate data. Many Industry 4.0 technologies such as internet of things, big data analytics, cyber-physical systems, simulation, and augmented or virtual reality have great potential for improving PMSs. Thus, identifying the impacts of implementing these Industry 4.0 technologies on SMDs from the perspective of practitioners and academics is relevant to understanding how to modify them.

We will anonymize the respondents' inputs and use them only for scientific purposes. We will also use information about the respondents only to characterize the research sample and to cluster the responses from different groups. The questionnaire poses 8 sections to facilitate the data collection. The time estimated for filling the questionnaire is 30 minutes.

Disclaimer! During you filling the questionnaire, if you feel uncomfortable with any data request or data provided, please stop filling it out immediately and contact Marcelo A. Lopes (marcelolopes@ufscar.br) or Roberto A. Martins (ram@dep.ufscar.br) so that we can delete your answers and check what happened. If you stop filling out for any reason, you are able to continue responding later, but do not close the form.

To clarify any doubts, please contact Marcelo A. Lopes (marcelolopes@ufscar.br) or Roberto A. Martins (ram@dep.ufscar.br). We greatly appreciate your collaboration!

* Required

Part One - Demographics

This section collects the general information from the respondents to characterize the research sample.

- 1- We will use your responses anonymously for scientific purposes. Do you agree? *

Mark only one oval.

Yes

No

2. 2- What is the name of the country you are currently working in? *

3. 3- What is your degree? *

Mark only one oval.

- Intermediate or technical
- Graduate
- Master of Science degree
- Doctorate degree or PhD degree
- Post doctoral

4. 4- What is the program name of your degree? *

5. 5- Do you work in which economic sector? *

Mark only one oval.

- Academic
- Consultancy
- Industries in general
- Services in general
- Financial market
- Other: _____

6. 6- What is your current occupation? *

7. 7- How many years have you been in this position? *

Mark only one oval.

- More than 10 years
- 8 to 10 years
- 6 to 8 years
- 4 to 6 years
- 2 to 4 years
- Less than 2 years

8. 8- Choose the option that represents your work experience *

Mark only one oval.

- More than 10 years
- 8 to 10 years
- 6 to 8 years
- 4 to 6 years
- 2 to 4 years
- Less than 2 years
- I have no experience *Skip to question 14*

9. 9- How many years have you dedicated to projects involving the implementation of Industry 4.0 technologies? *

Mark only one oval.

- More than 10 years
- 8 to 10 years
- 6 to 8 years
- 4 to 6 years
- 2 to 4 years
- Less than 2 years
- None *Skip to question 14*

10. 10- How many projects have you led or taken part which implemented the Industry 4.0 technologies? *

Mark only one oval.

- 5 or more projects
- 4 projects
- 3 projects
- 2 projects
- 1 projects
- no project *Skip to question 14*

11. 11- Among the projects you have implemented with Industry 4.0 technologies (question 10), how many have been regarding the performance measurement systems? *

Mark only one oval.

- 5 or more projects
- 4 projects
- 3 projects
- 2 projects
- 1 projects
- no project *Skip to question 13*

12. 12- What is the number of employees in the companies where you developed your performance measurement systems projects in Industry 4.0? *

Mark only one oval.

- 500 or more employees *Skip to question 14*
- Up to 499 employees *Skip to question 14*
- Part of the projects were implemented in companies with up to 499 employees and another part in companies with 500 employees or more *Skip to question 14*

Skip to question 14

13. 12- What is the number of employees in the companies where you developed projects involving Industry 4.0 technologies? *

Mark only one oval.

- 500 or more employees
- Up to 499 employees
- Part of the projects were implemented in companies with up to 499 employees and another part in companies with 500 employees or more

Skip to question 14

14. 13- If you want to receive a short report on the research findings, inform an e-mail here: (Optional)

Second part - We clustered the enablers in six categories. Please, evaluate the influences among the six following categories.

Table offers you a brief description of each category of enablers. Use them to answer the next questions

Category	Description
Technical Factors: Technological Infrastructure	The technological infrastructure consists of sensory, communication, network and information processing technologies that contribute to interoperability and connectivity between intelligent systems and devices.
Technical Factors: Data Management	Data management consists of the use of resources for the identification, collection, storage, compilation, analysis and protection of reliable and good quality data to generate accurate information made available through visualization tools that facilitate its dissemination and interpretation by decision makers.
Social Factors	Social factors are factors associated with human behavior in the organizational environment. The need for more qualified and flexible employees to deal with frequent changes in the I4.0 environment and the presence of an open organizational culture facilitate the process of implementing I4.0 technologies in PMSs.
Economic Factors	The process of implementing I4.0 technologies in PMSs requires companies to have a long-term commitment, high financial investments in people, processes and technologies, and a certain level of uncertainty regarding the return on that investment.
Management Factors	Management factors are linked to the way in which the process of implementing I4.0 technologies in PMSs is planned and put into practice by those responsible. A clear and well-defined implementation plan, active and continuous support of top management are valuable tools to make the implementation path a success.
Regulatory/Governmental Factors	The regulatory/governmental factors refer to policies and regulations developed by the government to create a friendly environment to attract companies to adopt the new technologies of I4.0.

15. 1- What is the degree of influence that the category "TECHNICAL FACTORS – TECHNOLOGICAL INFRASTRUCTURE" exerts on the others categories: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Data Management	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Social Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory/Governmental Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. 2- What is the degree of influence that the category "TECHNICAL FACTORS - DATA MANAGEMENT" exerts on others categories: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Technological Infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Social Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory/Governmental Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. 3- What is the degree of influence that the "SOCIAL FACTORS" category exerts on others categories: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Technological Infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technical Factors - Data Management	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory/Governmental Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. 4- What is the degree of influence that the "ECONOMIC FACTORS" category exerts on others categories: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Technological Infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technical Factors - Data Management	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Social Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory/Governmental Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. 5- What is the degree of influence that the "MANAGEMENT FACTORS" category * exerts on others categories:

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Technological Infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technical Factors - Data Management	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Social Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory/Governmental Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. 6- What is the degree of influence that the category * "REGULATORY/GOVERNMENTAL FACTORS" exerts on others categories:

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Technical Factors - Technological Infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technical Factors - Data Management	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Social Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management Factors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Third part: Evaluation of the influences among the factors of the category "TECHNICAL FACTORS - TECHNOLOGICAL INFRASTRUCTURE"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Technical Factors: Technological Infrastructure. Use them to answer the next questions

Category	Nº	Factor (Enabler)
Technical Factors: Technological Infrastructure	F1	Adequate digital infrastructure Presence of IT infrastructure and other basic and adequate technological resources to support the application of I4.0 technologies in PMSs.
	F2	Interoperability The use of standardized communication interfaces and protocols facilitates connectivity and interoperability, which is important for communication and data exchange between various systems.
	F3	Enhanced connectivity A good global network infrastructure made up of smart devices connected to each other or to the external environment, allows mapping the state of individual subsystems and the system as a whole and monitoring and analyzing performance in real time.
	F4	Cybersecurity Implementing cybersecurity strategies is essential to ensure that computers, servers, mobile devices, electronic systems, networks and data are protected from malicious attacks.

21. 1- What is the degree of influence that the factor "ADEQUATE DIGITAL INFRASTRUCTURE" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Interoperability	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enhanced connectivity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cybersecurity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. 2- What is the degree of influence that the "INTEROPERABILITY" factor exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Adequate digital infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enhanced connectivity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cybersecurity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. 3- What is the degree of influence that the factor "ENHANCED CONNECTIVITY" * exerts on the other factors:

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Adequate digital infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interoperability	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cybersecurity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. 4- What is the degree of influence that the "CYBERSECURITY" factor exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Adequate digital infrastructure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interoperability	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enhanced connectivity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fourth part: Evaluation of the influences among the factors of the category "TECHNICAL FACTORS - DATA MANAGEMENT"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Technical Factors: Data Management. Use them to answer the next questions

Category	N°	Factor (Enabler)
Technical Factors: Data Management	F5	Data quality Reliable and good quality data generate accurate information for PMSs and decision makers.
	F6	Accessibility and data integration Possibility to access, collect and integrate data from multiple heterogeneous data sources or from legacy systems with communication protocols from different manufacturers. Open source software facilitates data acquisition.
	F7	Scalable and flexible data storage capacity The design must allow for scalable and flexible storage, allowing you to store any type of data without restrictions.
	F8	Good data visualization tools Visualization tools for a large volume of data collaborate in the dissemination and interpretation of performance.

25. 1- What is the degree of influence that the factor "DATA QUALITY" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Accessibility and data integration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scalable and flexible data storage capacity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Good data visualization tools	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. 2- What is the degree of influence that the factor "ACCESSIBILITY AND INTEGRATION OF DATA" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Data quality	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scalable and flexible data storage capacity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Good data visualization tools	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

27. 3- What is the degree of influence that the factor "SCALABLE AND FLEXIBLE DATA STORAGE CAPACITY" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Data quality	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Accessibility and data integration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Good data visualization tools	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

28. 4- What is the degree of influence that the factor "GOOD DATA VISUALIZATION TOOLS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Data quality	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Accessibility and data integration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scalable and flexible data storage capacity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fifth part: Evaluation of the influences among the factors of the category "SOCIAL FACTORS"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Social Factors. Use them to answer the next questions.

Category	N°	Factor (Enabler)
Social Factors	F9	Qualified employees Employees with interdisciplinary and necessary skills for data analysis and management and for working with I4.0 technologies and PMSs.
	F10	Knowledge of Industry 4.0 technologies Knowledge about I4.0 and its technologies, Ability to identify opportunities/benefits of I4.0.
	F11	Continuous training of employees Employees must receive continuous training to use new tools and technologies. Qualification and requalification programs help to develop employees' skills and facilitate their adaptation to I4.0.
	F12	Support from specialized consulting and/or academic institutions Expert advice and/or support from academic institutions in training and deployment can help companies adopt I4.0 technologies in PMSs.
	F13	Employees' flexibility for changes Employees' flexibility for changes and ability to adapt to new processes (learning to use new technologies and associated practices).
	F14	Open organizational culture The organization's culture must be open to innovation and experimentation.

29. 1- What is the degree of influence that the factor "QUALIFIED EMPLOYEES" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Knowledge of Industry 4.0 technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Continuous training of employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support from specialized consulting and/or academic institutions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employees' flexibility for changes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open organizational culture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. 2- What is the degree of influence that the factor "KNOWLEDGE OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Qualified employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Continuous training of employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support from specialized consulting and/or academic institutions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employees' flexibility for changes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open organizational culture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

31. 3- What is the degree of influence that the factor "CONTINUOUS TRAINING OF EMPLOYEES" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Qualified employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Knowledge of Industry 4.0 technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support from specialized consulting and/or academic institutions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employees' flexibility for changes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open organizational culture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

32. 4- What is the degree of influence that the factor "SUPPORT FROM SPECIALIZED CONSULTING AND/OR ACADEMIC INSTITUTIONS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Qualified employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Knowledge of Industry 4.0 technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Continuous training of employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employees' flexibility for changes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open organizational culture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

33. 5- What is the degree of influence that the factor "EMPLOYEES' FLEXIBILITY FOR CHANGES" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Qualified employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Knowledge of Industry 4.0 technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Continuous training of employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support from specialized consulting and/or academic institutions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open organizational culture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

34. 6- What is the degree of influence that the factor "OPEN ORGANIZATIONAL CULTURE" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Qualified employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Knowledge of Industry 4.0 technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Continuous training of employees	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support from specialized consulting and/or academic institutions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employees' flexibility for changes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sixth part: Evaluation of the influences among the factors of the category
"ECONOMIC FACTORS"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Economic Factors. Use them to answer the next questions

Category	N°	Factor (Enabler)
Economic Factors	F15	Capacity to make financial investments Companies' commitment to financial investments is one of the crucial enablers in the implementation of I4.0 technologies in PMSs.
	F16	Clarity on the economic benefits of implementing I4.0 technologies in PMSs Clarity on cost-effectiveness and monetary gains in investments in I4.0 technologies in PMSs. Mistakes during the design phase, missing steps and lack of empirical studies can cause uncertainties in an assessment of the benefits of implementing I4.0 technologies in PMSs.
	F17	Willingness to take financial risks Willingness to take some risks by investing in new technologies that are not yet fully developed.

35. 1- What is the degree of influence that the factor "CAPACITY TO MAKE FINANCIAL INVESTMENTS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Clarity on the economic benefits of implementing I4.0 technologies in PMS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Willingness to take financial risks	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. 2- What is the degree of influence that the factor "CLARITY ON THE ECONOMIC BENEFITS OF IMPLEMENTING I4.0 TECHNOLOGIES IN PMS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Capacity to make financial investments	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Willingness to take financial risks	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

37. 3- What is the degree of influence that the factor "WILLINGNESS TO TAKE FINANCIAL RISKS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Capacity to make financial investments	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Clarity on the economic benefits of implementing I4.0 technologies in PMS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seventh part: Evaluation of the influences among the factors of the category "MANAGEMENT FACTORS"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Management Factors. Use them to answer the next questions

Category	N°	Factor (Enabler)
Management Factors	F18	Structured and well defined I4.0 technology implementation plan Proper planning for implementing I4.0 is an enabler. It is necessary to define objectives, the steps and resources necessary to achieve them. In implementation, companies must follow incremental steps.
	F19	Top management support Active and continuous support from top management is crucial to the implementation I4.0 technologies on PMSs.
	F20	Management commitment to long-term projects Management's commitment to long-term projects is fundamental to the successful implementation of I4.0 technologies in PMSs.

38. 1- What is the degree of influence that the factor "STRUCTURED AND WELL-DEFINED I4.0 TECHNOLOGY IMPLEMENTATION PLAN" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Top management support	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management commitment to long-term projects	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39. 2- What is the degree of influence that the factor "TOP MANAGEMENT SUPPORT" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Structured and well defined I4.0 technology implementation plan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Management commitment to long-term projects	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

40. 3- What is the degree of influence that the factor "MANAGEMENT COMMITMENT TO LONG-TERM PROJECTS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Structured and well defined I4.0 technology implementation plan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Top management support	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Eighth part: Evaluation of the influences among the factors of the category "REGULATORY/GOVERNMENTAL FACTORS"

The following table provides the description of each FACTOR (enabler) of category Regulatory/Governmental Factors. Use them to answer the next questions

Category	N°	Factor (Enabler)
Regulatory/Governmental Factors	F21	Creation of rules and regulations Technological innovations continually challenge regulators and legislators. Issuing rules and regulations provide legal certainty for investors and a regulatory framework encourages the availability and adoption of I4.0 technologies in PMSs.
	F22	Creation of government policies and incentives Government policies and incentives such as access to credit lines positively influence the implementation of I4.0 technologies in PMSs.
	F23	Development of technical support infrastructure for I4.0 The provision of an infrastructure for the digital world by the government (such as 5G and communication systems), facilitates the implementation of I4.0 on PMSs.
	F24	Creation of learning programs and adaptation of academic curriculum Government creation of learning programs targeted at I4.0 and adaptation of academic curriculum to meet I4.0 demands facilitate the implementation of I4.0 technologies in PMSs.

41. 1- What is the degree of influence that the factor "CREATION OF RULES AND REGULATIONS" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Creation of government policies and incentives	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Development of technical support infrastructure for I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creation of learning programs and adaptation of academic curriculum	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

42. 2- What is the degree of influence that the factor "CREATION OF GOVERNMENT POLICIES AND INCENTIVES" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Creation of rules and regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Development of technical support infrastructure for I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creation of learning programs and adaptation of academic curriculum	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

43. 3- What is the degree of influence that the factor "DEVELOPMENT OF TECHNICAL SUPPORT INFRASTRUCTURE FOR I4.0" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Creation of rules and regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creation of government policies and incentives	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creation of learning programs and adaptation of academic curriculum	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

44. 4- What is the degree of influence that the factor "CREATION OF LEARNING PROGRAMS AND ADAPTATION OF ACADEMIC CURRICULUM" exerts on the other factors: *

Mark only one oval per row.

	No influence	Low influence	Average influence	High influence	Very high influence
Creation of rules and regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creation of government policies and incentives	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Development of technical support infrastructure for I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE C – Matrizes de avaliação obtidas dos questionários dos 68 especialistas

Matrizes de avaliação entre as categorias dos 68 respondentes:

Resp.1	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	A	A	MA
C2	MA		MA	MA	MA	MA
C3	M	A		MA	MA	M
C4	A	A	MA		A	B
C5	M	M	MA	MA		M
C6	M	MA	M	A	A	

Resp.2	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	MA	MA	A	B
C2	MA		MA	MA	B	N
C3	N	N		MA	MA	M
C4	MA	MA	M		MA	N
C5	A	B	MA	MA		N
C6	B	N	M	N	N	

Resp.3	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	A	A	M
C2	MA		MA	MA	MA	A
C3	A	A		MA	MA	A
C4	MA	A	MA		MA	A
C5	A	A	MA	MA		M
C6	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp.4	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	MA	MA	MA	A
C2	MA		MA	MA	MA	A
C3	MA	MA		MA	MA	M
C4	MA	MA	MA		MA	A
C5	MA	MA	MA	MA		A
C6	A	A	A	A	A	

Resp.5	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	A	MA
C2	MA		A	MA	A	MA
C3	A	MA		MA	MA	MA
C4	MA	A	A		MA	MA
C5	M	MA	MA	M		MA
C6	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp.6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	MA	A	MA	N
C2	MA		MA	A	MA	N
C3	M	A		B	MA	B
C4	MA	MA	M		MA	N
C5	MA	MA	MA	MA		N
C6	B	B	M	N	N	

Resp.7	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	M	M	B
C2	A		M	M	A	B
C3	B	B		M	A	M
C4	A	A	B		A	B
C5	M	M	A	A		M
C6	A	A	B	B	A	

Resp.8	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	A	A	M
C2	A		B	A	A	M
C3	M	B		B	B	B
C4	A	A	B		A	N
C5	A	A	A	M		B
C6	M	M	M	A	A	

Resp.9	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	A	M	M
C2	A		A	M	MA	M
C3	B	M		A	A	B
C4	A	M	A		A	M
C5	A	M	A	A		M
C6	M	M	M	M	M	

Resp.10	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	MA	MA	A	B
C2	M		MA	A	MA	B
C3	MA	MA		A	A	M
C4	MA	MA	A		A	B
C5	A	A	MA	MA		M
C6	A	M	MA	MA	A	

Resp.11	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	B	M	M	B
C2	MA		M	M	A	B
C3	A	A		A	A	B
C4	A	A	MA		A	B
C5	M	M	M	M		M
C6	B	B	B	B	B	

Resp.12	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	MA	M	A
C2	M		A	A	MA	MA
C3	M	A		A	A	MA
C4	MA	A	A		MA	M
C5	A	MA	MA	MA		MA
C6	B	A	M	M	A	

Resp.13	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	MA	A	MA	M
C2	M		MA	A	A	M
C3	MA	MA		MA	MA	A
C4	A	M	A		MA	MA
C5	MA	M	A	A		A
C6	MA	B	M	A	M	

Resp.14	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	MA	M	M
C2	B		M	M	M	N
C3	M	A		M	A	B
C4	A	M	A		M	B
C5	B	B	M	A		B
C6	M	B	M	B	B	

Resp.15	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	M	M	M
C2	MA		M	M	A	M
C3	MA	M		A	M	A
C4	M	M	M		M	M
C5	M	MA	B	M		M
C6	M	A	MA	MA	MA	

Resp.17	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	MA	MA	A	M
C2	A		MA	MA	A	MA
C3	A	A		A	A	M
C4	MA	MA	MA		A	B
C5	A	A	MA	MA		M
C6	A	A	M	M	A	

Resp. 19	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		M	A	A	A	M
C2	A		A	A	A	B
C3	M	A		M	M	B
C4	A	A	M		M	B
C5	M	M	M	M		B
C6	A	M	M	B	B	

Resp. 21	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	M	A	B
C2	B		A	M	MA	B
C3	A	MA		MA	MA	M
C4	MA	MA	M		A	M
C5	M	MA	M	A		B
C6	M	B	N	B	M	

Resp. 23	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	MA	M	B
C2	A		A	M	MA	M
C3	M	MA		MA	MA	A
C4	A	M	A		A	A
C5	B	M	MA	MA		M
C6	M	A	A	MA	M	

Resp. 25	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	A	A	A
C2	MA		A	A	MA	A
C3	A	A		A	A	A
C4	A	A	A		A	A
C5	A	A	A	A		A
C6	A	A	A	A	A	

Resp. 27	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	M	B	N
C2	A		A	M	MA	A
C3	B	M		B	A	M
C4	A	M	B		A	M
C5	A	A	MA	MA		A
C6	B	MA	MA	A	A	

Resp. 29	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	M	B
C2	MA		B	A	M	B
C3	B	M		B	MA	B
C4	A	MA	MA		A	M
C5	M	M	MA	M		B
C6	M	M	M	A	M	

Resp. 16	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	A	A	A
C2	MA		A	MA	MA	MA
C3	M	MA		A	MA	A
C4	MA	MA	A		MA	M
C5	A	MA	MA	MA		M
C6	A	A	A	M	M	

Resp. 18	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	M	B	N
C2	MA		M	M	M	N
C3	B	MA		A	MA	N
C4	MA	MA	B		M	M
C5	A	A	MA	A		B
C6	A	B	B	A	N	

Resp. 20	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	M	M	M
C2	A		MA	M	A	B
C3	M	MA		M	M	B
C4	MA	A	A		MA	M
C5	A	M	M	A		B
C6	B	M	B	A	A	

Resp. 22	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	A	A	A
C2	A		MA	A	MA	M
C3	A	MA		A	MA	M
C4	M	A	MA		A	A
C5	MA	MA	MA	MA		MA
C6	A	A	MA	MA	A	

Resp. 24	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	MA	N
C2	MA		M	MA	MA	N
C3	B	A		B	B	N
C4	MA	MA	M		MA	N
C5	MA	MA	B	MA		N
C6	N	N	N	N	N	

Resp. 26	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	MA	MA	B
C2	A		A	A	A	B
C3	A	A		M	A	B
C4	MA	A	A		A	A
C5	A	A	A	A		B
C6	M	B	M	M	B	

Resp. 28	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	A	M	B
C2	A		A	A	M	B
C3	A	A		A	M	B
C4	A	A	A		M	B
C5	M	M	M	B		N
C6	B	B	B	B	B	

Resp. 30	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	MA	M	B
C2	B		M	B	A	B
C3	B	M		B	M	B
C4	MA	A	M		M	B
C5	A	A	MA	A		B
C6	B	B	B	B	B	

Resp. 31	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	B	M	B	A
C2	A		B	M	B	M
C3	B	B		B	A	M
C4	A	M	N		A	B
C5	B	B	A	M		N
C6	M	B	B	M	M	

Resp. 33	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	B	B
C2	M		MA	A	M	M
C3	A	A		MA	MA	A
C4	MA	MA	A		A	MA
C5	MA	MA	MA	A		B
C6	A	A	M	A	A	

Resp. 35	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	A	M
C2	MA		MA	A	A	A
C3	B	M		M	A	M
C4	A	A	A		A	M
C5	A	M	MA	A		M
C6	M	M	A	M	M	

Resp. 37	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	A	A	M
C2	MA		A	A	A	M
C3	MA	MA		MA	MA	MA
C4	MA	MA	MA		MA	MA
C5	M	M	MA	M		N
C6	B	B	A	A	B	

Resp. 39	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		M	M	M	M	M
C2	M		M	M	M	M
C3	M	M		M	M	M
C4	M	M	M		M	M
C5	M	M	M	M		M
C6	M	M	B	M	M	

Resp. 41	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	M	M	M
C2	MA		M	M	MA	M
C3	MA	M		MA	M	M
C4	MA	M	MA		M	M
C5	MA	M	MA	M		M
C6	MA	M	MA	M	M	

Resp. 43	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	M	M
C2	M		A	M	A	A
C3	M	M		MA	A	B
C4	M	M	A		MA	B
C5	A	M	A	MA		B
C6	A	M	M	M	M	

Resp. 45	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		M	A	A	MA	B
C2	A		M	A	A	B
C3	A	A		A	A	B
C4	A	M	A		A	B
C5	A	A	A	A		B
C6	B	B	B	B	B	

Resp. 32	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	M	A	B
C2	A		M	M	A	B
C3	B	M		A	M	B
C4	M	M	A		B	A
C5	A	A	M	M		B
C6	B	B	M	M	B	

Resp. 34	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	A	MA	A
C2	A		M	A	A	M
C3	M	M		A	B	M
C4	A	A	M		A	B
C5	A	A	MA	A		A
C6	A	A	B	A	A	

Resp. 36	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	M	B
C2	MA		A	A	M	A
C3	M	M		M	M	B
C4	A	A	M		A	B
C5	M	M	M	M		B
C6	B	B	B	B	M	

Resp. 38	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	M	M	B
C2	A		M	M	A	B
C3	M	M		B	A	A
C4	A	A	M		A	B
C5	A	A	MA	A		M
C6	B	B	M	M	M	

Resp. 40	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	B	A	A	B
C2	MA		B	M	M	A
C3	M	B		B	M	B
C4	A	M	B		A	M
C5	A	MA	B	M		M
C6	A	MA	B	M	M	

Resp. 42	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	A	M
C2	MA		M	A	A	M
C3	A	A		M	M	M
C4	MA	MA	A		A	A
C5	MA	MA	A	A		A
C6	M	M	M	M	M	

Resp. 44	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	MA	A	B
C2	A		B	A	B	B
C3	B	B		B	M	B
C4	A	MA	M		MA	B
C5	B	B	MA	A		A
C6	B	B	B	M	A	

Resp. 46	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		M	B	M	M	M
C2	A		M	B	M	B
C3	A	M		B	M	B
C4	M	B	M		A	M
C5	B	B	M	A		M
C6	A	M	B	B	M	

Resp. 47	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	M	A	B
C2	MA		A	A	A	M
C3	B	A		M	A	B
C4	B	B	A		A	A
C5	A	A	B	B		B
C6	B	B	A	A	A	

Resp. 49	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	A	A	A
C2	A		M	A	A	A
C3	A	M		M	A	M
C4	A	M	A		M	M
C5	A	M	A	M		M
C6	A	A	M	A	A	

Resp. 51	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	A	A
C2	A		A	A	M	M
C3	M	A		M	M	A
C4	A	A	M		M	A
C5	A	M	M	A		A
C6	A	A	M	M	A	

Resp. 53	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	MA	M	M
C2	M		B	MA	A	M
C3	B	M		M	A	A
C4	A	B	B		A	M
C5	A	M	MA	A		M
C6	M	M	M	M	M	

Resp. 55	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	A	M	M	B
C2	N		A	M	M	N
C3	N	N		M	A	N
C4	A	M	A		A	N
C5	A	A	MA	A		N
C6	N	N	A	A	M	

Resp. 57	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	B	A	A	MA
C2	A		M	M	A	M
C3	A	B		M	M	A
C4	A	A	A		A	MA
C5	M	A	B	A		A
C6	A	M	A	M	A	

Resp. 59	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	A	M	M
C2	A		M	A	A	M
C3	A	A		A	A	M
C4	A	A	A		A	M
C5	M	M	A	A		M
C6	M	M	M	M	M	

Resp. 61	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	A	M
C2	MA		A	M	MA	A
C3	M	A		M	A	B
C4	B	A	B		A	M
C5	B	A	M	MA		M
C6	M	M	M	A	B	

Resp. 48	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	M	A	MA	B
C2	A		A	M	A	B
C3	A	A		M	M	B
C4	A	A	B		M	M
C5	A	A	B	A		M
C6	A	B	M	A	B	

Resp. 50	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	M	M	M
C2	MA		M	M	M	M
C3	M	M		M	M	M
C4	M	M	M		M	M
C5	M	M	M	M		M
C6	M	M	M	M	M	

Resp. 52	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	A	M	M	N
C2	MA		M	M	A	N
C3	B	A		A	MA	M
C4	M	M	MA		MA	M
C5	M	M	MA	MA		B
C6	N	B	A	M	B	

Resp. 54	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	M	M	N
C2	A		M	M	B	N
C3	M	A		B	B	N
C4	A	B	B		N	N
C5	A	A	A	A		N
C6	N	N	N	N	N	

Resp. 56	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	M	B	N
C2	M		B	M	M	N
C3	B	B		B	M	B
C4	B	M	B		A	M
C5	B	B	A	M		A
C6	N	B	M	M	B	

Resp. 58	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	M	N
C2	MA		M	A	A	N
C3	MA	MA		A	A	B
C4	MA	MA	B		A	M
C5	MA	MA	B	A		N
C6	MA	MA	A	A	MA	

Resp. 60	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	A	A	M
C2	A		B	B	M	A
C3	M	M		M	A	M
C4	MA	A	M		M	N
C5	A	B	A	A		B
C6	M	M	M	M	M	

Resp. 62	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	MA	A	M
C2	M		B	A	B	M
C3	B	B		B	A	B
C4	MA	M	B		A	B
C5	M	A	M	A		B
C6	A	A	B	B	B	

Resp. 63	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	M	MA	M	B
C2	A		A	MA	A	B
C3	A	MA		M	MA	B
C4	A	A	M		MA	B
C5	A	A	A	MA		A
C6	B	B	B	M	MA	

Resp. 64	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		A	B	A	M	M
C2	A		A	A	M	B
C3	M	M		A	MA	A
C4	M	M	B		A	B
C5	A	A	M	A		B
C6	M	M	A	B	B	

Resp. 65	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		M	A	M	A	MA
C2	M		M	A	M	A
C3	B	A		A	M	A
C4	M	M	A		M	A
C5	M	M	B	M		B
C6	MA	A	MA	A	A	

Resp. 66	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	B	M
C2	A		B	A	M	B
C3	B	B		A	A	A
C4	A	B	A		A	A
C5	B	M	A	A		B
C6	M	M	A	MA	M	

Resp. 67	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	A	A
C2	A		M	A	A	MA
C3	M	M		M	A	A
C4	M	A	M		M	M
C5	A	A	A	M		A
C6	A	M	A	B	A	

Resp. 68	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		MA	B	A	A	M
C2	MA		MA	A	A	B
C3	M	A		A	MA	M
C4	MA	A	A		MA	M
C5	MA	MA	MA	MA		M
C6	A	B	B	M	M	

Legenda:

C1- Categoria: Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica
C2- Categoria: Fatores Técnicos – Gestão de Dados
C3- Categoria: Fatores Sociais
C4- Categoria: Fatores Econômicos
C5- Categoria: Fatores Gerenciais
C6- Categoria: Fatores Normativos/Governamentais

N- Nenhuma influência
B- Influência baixa
M- Influência média
A- Influência alta
MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	M		A	A
F3	MA	MA		MA
F4	A	A	A	

Resp. 2	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 3	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		MA	MA
F3	A	MA		MA
F4	A	MA	M	

Resp. 4	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 5	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 6	F1	F2	F3	F4
F1		MA	A	A
F2	MA		A	A
F3	MA	MA		M
F4	MA	A	A	

Resp. 7	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	A
F3	A	A		A
F4	A	A	A	

Resp. 8	F1	F2	F3	F4
F1		A	M	A
F2	A		M	M
F3	A	M		M
F4	MA	M	M	

Resp. 9	F1	F2	F3	F4
F1		M	M	MA
F2	M		A	MA
F3	M	A		M
F4	MA	A	M	

Resp. 10	F1	F2	F3	F4
F1		M	MA	M
F2	M		MA	A
F3	MA	A		M
F4	A	A	A	

Resp. 11	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	MA
F2	A		MA	A
F3	MA	MA		MA
F4	A	A	A	

Resp. 12	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		MA	A
F3	M	A		A
F4	M	A	A	

Resp. 13	F1	F2	F3	F4
F1		MA	A	A
F2	B		M	MA
F3	MA	A		M
F4	MA	MA	MA	

Resp. 14	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	M
F2	M		MA	M
F3	B	B		B
F4	A	MA	MA	

Resp. 15	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		A
F4	M	B	M	

Resp. 16	F1	F2	F3	F4
F1		MA	A	A
F2	A		M	A
F3	MA	A		M
F4	A	A	M	

Resp. 17	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	A
F2	M		MA	A
F3	A	A		MA
F4	A	A	A	

Resp. 18	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	M		MA	A
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 19	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	MA
F2	A		MA	A
F3	MA	A		MA
F4	A	MA	MA	

Resp. 20	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	A
F2	A		MA	A
F3	A	MA		A
F4	MA	M	A	

Resp. 21	F1	F2	F3	F4
F1		M	MA	A
F2	A		M	M
F3	MA	A		A
F4	MA	MA	A	

Resp. 22	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	MA
F2	B		A	MA
F3	MA	A		MA
F4	M	MA	MA	

Resp. 23	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	M	MA		A
F4	M	A	M	

Resp. 24	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	B		B	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 25	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 26	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 27	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	A
F2	M		A	A
F3	M	M		A
F4	A	A	A	

Resp. 28	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	B
F2	A		A	B
F3	A	A		M
F4	A	A	A	

Resp. 29	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		A	A
F3	MA	A		A
F4	MA	A	A	

Resp. 30	F1	F2	F3	F4
F1		M	A	M
F2	A		MA	M
F3	MA	A		M
F4	M	A	A	

Resp. 31	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		M	A
F3	MA	A		MA
F4	M	B	M	

Resp. 32	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		A	MA
F3	A	A		A
F4	M	M	A	

Resp. 33	F1	F2	F3	F4
F1		MA	A	MA
F2	MA		MA	MA
F3	A	MA		MA
F4	MA	A	A	

Resp. 34	F1	F2	F3	F4
F1		A	M	A
F2	MA		M	A
F3	M	A		M
F4	A	A	M	

Resp. 35	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	M		A	M
F3	M	A		A
F4	M	A	A	

Resp. 36	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	A
F2	A		MA	MA
F3	A	A		B
F4	A	A	B	

Resp. 37	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 38	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	MA
F2	A		MA	A
F3	MA	MA		MA
F4	A	A	MA	

Resp. 39	F1	F2	F3	F4
F1		M	M	M
F2	M		M	M
F3	M	M		M
F4	M	M	M	

Resp. 40	F1	F2	F3	F4
F1		M	A	M
F2	A		MA	A
F3	A	MA		A
F4	MA	A	A	

Resp. 41	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	A
F3	A	MA		A
F4	MA	A	A	

Resp. 42	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	M
F3	A	A		A
F4	MA	MA	MA	

Resp. 43	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	M		MA	A
F3	MA	A		MA
F4	M	A	MA	

Resp. 44	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	MA		A	A
F3	MA	A		M
F4	M	M	M	

Resp. 45	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	M
F3	M	M		M
F4	B	B	B	

Resp. 46	F1	F2	F3	F4
F1		M	B	M
F2	A		M	B
F3	M	M		B
F4	M	M	B	

Resp. 47	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 48	F1	F2	F3	F4
F1		M	A	MA
F2	M		A	M
F3	M	A		A
F4	A	M	A	

Resp. 49	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	M		A	A
F3	A	M		A
F4	A	M	A	

Resp. 50	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		MA	MA
F3	MA	MA		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 51	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	A
F2	A		MA	A
F3	MA	A		A
F4	B	M	B	

Resp. 52	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		A	MA
F3	M	M		MA
F4	MA	MA	MA	

Resp. 53	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	M
F2	B		MA	M
F3	M	M		M
F4	N	M	M	

Resp. 54	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	B
F2	MA		A	M
F3	M	M		M
F4	A	A	A	

Resp. 55	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	N		MA	M
F3	N	A		MA
F4	B	M	A	

Resp. 56	F1	F2	F3	F4
F1		A	M	MA
F2	A		A	B
F3	B	M		M
F4	A	M	B	

Resp. 57	F1	F2	F3	F4
F1		A	M	MA
F2	A		A	MA
F3	A	A		A
F4	MA	A	M	

Resp. 58	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	A		A	MA
F3	A	M		MA
F4	B	B	B	

Resp. 59	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	A
F3	A	A		A
F4	A	A	A	

Resp. 60	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	A
F3	A	A		A
F4	A	A	A	

Resp. 61	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	A
F2	B		A	A
F3	MA	MA		M
F4	N	A	M	

Resp. 62	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	M
F2	A		A	A
F3	M	M		B
F4	A	M	M	

Resp. 63	F1	F2	F3	F4
F1		MA	MA	MA
F2	MA		A	A
F3	MA	A		A
F4	MA	A	A	

Resp. 64	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	M		M	B
F3	M	M		M
F4	A	M	M	

Resp. 65	F1	F2	F3	F4
F1		B	B	B
F2	B		B	B
F3	B	B		B
F4	B	B	B	

Resp. 66	F1	F2	F3	F4
F1		A	MA	M
F2	M		M	A
F3	A	B		A
F4	A	M	M	

Resp. 67	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	A
F2	A		A	A
F3	A	MA		MA
F4	A	M	MA	

Resp. 68	F1	F2	F3	F4
F1		A	A	MA
F2	A		A	M
F3	A	A		MA
F4	MA	M	MA	

Legenda:

F1- Infraestrutura digital adequada
F2- Interoperabilidade
F3- Conectividade aprimorada
F4- Cibersegurança

N- Nenhuma influência
B- Influência baixa
M- Influência média
A- Influência alta
MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	M
F6	MA		M	M
F7	M	A		A
F8	B	M	B	

Resp. 2	F5	F6	F7	F8
F5		MA	B	MA
F6	MA		B	MA
F7	B	B		B
F8	MA	MA	B	

Resp. 3	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		A	MA
F7	MA	A		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 4	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 5	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 6	F5	F6	F7	F8
F5		MA	A	M
F6	MA		MA	M
F7	MA	MA		M
F8	M	M	M	

Resp. 7	F5	F6	F7	F8
F5		B	B	B
F6	A		B	B
F7	B	M		B
F8	B	A	B	

Resp. 8	F5	F6	F7	F8
F5		MA	B	A
F6	A		B	A
F7	B	B		M
F8	A	A	B	

Resp. 9	F5	F6	F7	F8
F5		B	B	A
F6	B		M	A
F7	B	M		A
F8	A	A	A	

Resp. 10	F5	F6	F7	F8
F5		A	B	MA
F6	MA		B	MA
F7	A	A		MA
F8	A	A	A	

Resp. 11	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	M
F6	M		M	M
F7	M	M		M
F8	M	M	M	

Resp. 12	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	A
F6	B		M	A
F7	N	B		B
F8	M	A	A	

Resp. 13	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		B	B
F7	MA	A		B
F8	M	B	B	

Resp. 14	F5	F6	F7	F8
F5		M	B	A
F6	MA		M	MA
F7	M	M		A
F8	A	B	M	

Resp. 15	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		MA	MA
F7	B	M		B
F8	A	MA	A	

Resp. 16	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	A
F6	MA		A	MA
F7	MA	MA		M
F8	A	MA	M	

Resp. 17	F5	F6	F7	F8
F5		B	M	MA
F6	B		A	B
F7	B	B		M
F8	M	B	B	

Resp. 18	F5	F6	F7	F8
F5		MA	N	MA
F6	MA		B	MA
F7	MA	MA		MA
F8	B	B	B	

Resp. 19	F5	F6	F7	F8
F5		MA	A	MA
F6	MA		M	MA
F7	MA	MA		M
F8	M	A	M	

Resp. 20	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	MA
F6	M		A	MA
F7	M	A		A
F8	MA	MA	A	

Resp. 21	F5	F6	F7	F8
F5		MA	B	MA
F6	MA		M	A
F7	MA	M		N
F8	MA	M	N	

Resp. 22	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		M	MA
F7	M	M		A
F8	MA	A	A	

Resp. 23	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	MA
F6	A		MA	M
F7	M	A		MA
F8	A	M	M	

Resp. 24	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	M		M
F8	MA	M	M	

Resp. 25	F5	F6	F7	F8
F5		A	MA	MA
F6	A		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 26	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 27	F5	F6	F7	F8
F5		B	B	B
F6	A		MA	A
F7	A	A		B
F8	M	M	A	

Resp. 28	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	MA
F6	A		A	MA
F7	M	A		A
F8	B	B	B	

Resp. 29	F5	F6	F7	F8
F5		MA	A	M
F6	M		A	M
F7	A	A		A
F8	A	A	MA	

Resp. 30	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	A
F6	M		M	A
F7	A	MA		A
F8	M	MA	A	

Resp. 31	F5	F6	F7	F8
F5		A	B	MA
F6	A		B	MA
F7	B	B		B
F8	MA	M	N	

Resp. 32	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	M
F6	M		A	M
F7	M	MA		M
F8	M	A	M	

Resp. 33	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	M
F6	A		A	M
F7	M	MA		M
F8	A	B	B	

Resp. 34	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	A
F6	A		M	M
F7	A	A		M
F8	A	M	A	

Resp. 35	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	A
F6	MA		A	M
F7	B	A		A
F8	B	B	M	

Resp. 36	F5	F6	F7	F8
F5		M	B	A
F6	M		B	A
F7	B	M		A
F8	A	M	M	

Resp. 37	F5	F6	F7	F8
F5		MA	B	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	B	A	B	

Resp. 38	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	MA		MA	MA
F7	MA	MA		MA
F8	A	MA	A	

Resp. 39	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	M
F6	M		M	M
F7	M	M		M
F8	M	M	M	

Resp. 40	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	A
F6	M		A	A
F7	A	A		M
F8	A	A	M	

Resp. 41	F5	F6	F7	F8
F5		MA	A	M
F6	MA		A	A
F7	MA	A		A
F8	MA	A	A	

Resp. 42	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	MA
F6	A		A	A
F7	MA	MA		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 43	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	M
F6	A		B	MA
F7	B	A		MA
F8	MA	A	B	

Resp. 44	F5	F6	F7	F8
F5		A	MA	MA
F6	A		MA	MA
F7	M	M		A
F8	M	M	M	

Resp. 45	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	A
F6	A		A	B
F7	M	M		M
F8	M	M	M	

Resp. 46	F5	F6	F7	F8
F5		B	M	M
F6	A		M	B
F7	M	B		M
F8	A	A	M	

Resp. 47	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	MA
F6	A		A	A
F7	MA	A		MA
F8	A	MA	A	

Resp. 48	F5	F6	F7	F8
F5		A	M	MA
F6	A		B	M
F7	A	A		M
F8	A	A	M	

Resp. 49	F5	F6	F7	F8
F5		A	M	A
F6	A		A	A
F7	A	A		A
F8	A	A	A	

Resp. 50	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		A	A
F7	A	A		A
F8	A	A	A	

Resp. 51	F5	F6	F7	F8
F5		MA	A	A
F6	MA		MA	A
F7	MA	MA		A
F8	A	A	MA	

Resp. 52	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		MA	MA
F7	A	MA		A
F8	A	A	MA	

Resp. 53	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	MA
F6	M		M	MA
F7	M	MA		A
F8	B	N	N	

Resp. 54	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		A	A
F7	M	A		MA
F8	MA	MA	MA	

Resp. 55	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	MA
F6	A		A	A
F7	A	A		B
F8	N	M	B	

Resp. 56	F5	F6	F7	F8
F5		M	M	B
F6	B		A	A
F7	B	A		A
F8	B	M	M	

Resp. 57	F5	F6	F7	F8
F5		A	MA	A
F6	MA		MA	A
F7	MA	A		A
F8	A	A	MA	

Resp. 58	F5	F6	F7	F8
F5		A	N	A
F6	B		A	B
F7	B	A		A
F8	MA	A	A	

Resp. 59	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	M
F6	M		A	M
F7	M	M		M
F8	B	B	B	

Resp. 60	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	M
F6	A		A	A
F7	M	A		M
F8	MA	M	M	

Resp. 61	F5	F6	F7	F8
F5		M	A	M
F6	MA		M	M
F7	M	MA		B
F8	N	N	N	

Resp. 62	F5	F6	F7	F8
F5		M	A	MA
F6	M		MA	MA
F7	A	MA		B
F8	B	MA	M	

Resp. 63	F5	F6	F7	F8
F5		A	MA	MA
F6	A		A	MA
F7	A	M		A
F8	A	MA	MA	

Resp. 64	F5	F6	F7	F8
F5		MA	MA	B
F6	MA		MA	B
F7	M	M		B
F8	B	B	B	

Resp. 65	F5	F6	F7	F8
F5		B	B	M
F6	B		B	B
F7	B	B		B
F8	M	M	A	

Resp. 66	F5	F6	F7	F8
F5		A	M	A
F6	A		B	M
F7	M	A		M
F8	M	B	B	

Resp. 67	F5	F6	F7	F8
F5		A	A	M
F6	A		A	MA
F7	M	A		A
F8	A	A	A	

Resp. 68	F5	F6	F7	F8
F5		MA	M	A
F6	M		M	A
F7	M	A		B
F8	M	MA	M	

Legenda:

F5- Qualidade dos dados
F6- Acessibilidade e integração de dados
F7- Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível
F8- Boas ferramentas de visualização dos dados

N- Nenhuma influência
B- Influência baixa
M- Influência média
A- Influência alta
MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Sociais” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	MA	MA	MA
F10	M		M	M	M	M
F11	MA	A		M	MA	MA
F12	MA	MA	MA		MA	MA
F13	A	A	A	M		M
F14	A	A	A	MA	A	

Resp. 2	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	B	MA	M
F10	MA		MA	B	A	A
F11	MA	MA		B	MA	A
F12	B	B	B		B	B
F13	A	A	A	B		A
F14	A	A	A	B	A	

Resp. 3	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	MA	A	MA
F10	M		M	M	M	M
F11	MA	A		MA	MA	A
F12	MA	M	MA		MA	A
F13	MA	M	MA	MA		MA
F14	MA	M	MA	MA	MA	

Resp. 4	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	MA	MA	MA
F10	MA		MA	MA	MA	MA
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	MA	MA	MA		MA	MA
F13	MA	MA	MA	MA		MA
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 5	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	MA	M	A
F10	MA		MA	MA	A	A
F11	MA	MA		MA	A	A
F12	M	A	M		M	M
F13	MA	MA	MA	A		A
F14	A	A	M	M	M	

Resp. 6	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	M	MA	MA	MA
F10	A		M	MA	MA	MA
F11	M	MA		A	MA	MA
F12	A	MA	M		MA	MA
F13	MA	MA	M	MA		MA
F14	M	MA	M	A	MA	

Resp. 7	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	A		A	A	A	A
F11	A	A		A	A	A
F12	A	A	A		A	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	A	A
F10	M		M	M	A	A
F11	M	A		A	A	A
F12	M	M	B		B	B
F13	M	M	M	A		M
F14	M	M	M	A	A	

Resp. 9	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	M	M	M	B
F10	A		B	A	M	A
F11	A	A		M	M	M
F12	A	A	A		M	M
F13	B	B	M	B		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 10	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	M	M
F10	MA		A	A	M	M
F11	MA	MA		A	A	A
F12	MA	MA	MA		A	A
F13	A	A	MA	MA		A
F14	A	A	MA	MA	MA	

Resp. 11	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	MA	MA
F10	MA		MA	MA	MA	MA
F11	A	A		A	A	A
F12	A	A	A		A	A
F13	M	M	M	M		M
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 12	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	MA	MA	MA
F10	A		A	A	MA	MA
F11	MA	MA		A	MA	MA
F12	M	A	M		A	A
F13	MA	MA	A	MA		MA
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 13	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	M	M	MA	MA
F10	A		MA	A	M	A
F11	MA	MA		M	A	A
F12	A	A	B		B	M
F13	MA	MA	MA	A		A
F14	A	A	MA	A	B	

Resp. 14	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	M	M	M
F10	M		M	B	B	B
F11	MA	MA		M	M	M
F12	MA	MA	M		B	B
F13	M	B	M	B		A
F14	M	B	B	A	A	

Resp. 15	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	MA	B	B
F10	MA		M	A	B	M
F11	MA	MA		MA	M	B
F12	B	MA	M		M	M
F13	MA	MA	A	A		M
F14	M	M	M	M	M	

Resp. 16	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	A	MA	MA
F10	A		MA	A	MA	MA
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	A	MA	MA		M	B
F13	MA	MA	MA	MA		MA
F14	A	A	MA	MA	MA	

Resp. 17	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	MA	MA	A
F10	MA		MA	MA	M	M
F11	MA	MA		A	A	M
F12	MA	MA	MA		M	M
F13	M	A	A	B		M
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 18	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	M	B	MA	MA
F10	MA		M	B	M	A
F11	MA	MA		N	A	M
F12	M	A	M		B	N
F13	MA	MA	A	B		MA
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 19	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	A	M	MA
F10	A		A	A	M	A
F11	A	A		M	M	A
F12	M	A	A		M	A
F13	M	A	A	M		A
F14	A	M	A	A	A	

Resp. 20	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	A	M
F10	MA		M	A	A	M
F11	MA	MA		A	A	MA
F12	A	MA	A		M	A
F13	M	M	MA	A		MA
F14	M	M	MA	MA	MA	

Resp. 21	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	B	M	B
F10	MA		A	M	B	A
F11	MA	MA		B	M	MA
F12	A	MA	M		B	MA
F13	A	M	M	M		A
F14	MA	MA	MA	MA	M	

Resp. 22	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	M	MA	MA
F10	MA		MA	A	M	MA
F11	MA	MA		A	MA	MA
F12	A	A	A		M	MA
F13	A	A	A	M		MA
F14	A	A	A	A	MA	

Resp. 23	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	A	MA	MA
F10	M		M	M	MA	MA
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	A	A	M		A	M
F13	M	A	MA	M		MA
F14	M	M	M	A	MA	

Resp. 24	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	B	MA	M
F10	MA		MA	MA	A	MA
F11	MA	MA		A	A	MA
F12	B	MA	MA		M	A
F13	MA	MA	MA	MA		MA
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 25	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	MA	MA	MA
F10	MA		MA	MA	MA	MA
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	MA	MA	MA		A	A
F13	MA	MA	MA	M		MA
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 26	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	MA	A
F10	A		MA	MA	A	A
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	MA	MA	MA		A	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 27	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	A	A
F10	A		M	A	M	M
F11	A	A		M	A	A
F12	A	A	A		B	M
F13	M	A	A	A		M
F14	M	M	M	A	A	

Resp. 28	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	B	A	A
F10	A		A	A	A	A
F11	A	A		B	A	A
F12	A	A	B		M	M
F13	A	A	A	B		MA
F14	M	M	M	M	M	

Resp. 29	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	B	A	MA
F10	M		M	M	M	M
F11	A	A		M	A	M
F12	A	A	A		A	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 30	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	MA	MA
F10	A		A	M	M	A
F11	MA	M		M	A	MA
F12	MA	M	A		A	A
F13	A	M	A	M		MA
F14	A	A	MA	A	MA	

Resp. 31	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		M	MA	M	MA	MA
F10	A		MA	B	M	A
F11	MA	A		M	MA	MA
F12	B	M	A		A	M
F13	M	M	MA	B		A
F14	B	B	MA	N	A	

Resp. 32	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	MA	MA
F10	MA		A	M	MA	MA
F11	A	A		M	MA	MA
F12	M	A	A		M	A
F13	A	A	A	M		MA
F14	MA	MA	A	M	MA	

Resp. 33	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	M	MA	MA
F10	A		A	MA	M	M
F11	MA	MA		A	MA	MA
F12	A	MA	A		M	M
F13	A	M	M	A		MA
F14	A	M	A	A	A	

Resp. 34	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	A	MA
F10	MA		A	A	A	MA
F11	MA	M		A	A	A
F12	A	M	M		A	M
F13	A	A	M	A		MA
F14	MA	M	A	A	MA	

Resp. 35	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	M	MA
F10	MA		A	A	M	A
F11	MA	MA		A	M	A
F12	A	A	A		M	A
F13	A	M	M	B		MA
F14	A	MA	MA	M	A	

Resp. 36	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	B	A	A
F10	A		M	B	A	A
F11	MA	A		M	A	A
F12	B	M	A		B	M
F13	A	M	M	B		A
F14	A	A	M	B	A	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	MA	MA	A	MA	MA
MA		MA	A	A	A
MA	MA		MA	MA	MA
MA	MA	MA		M	MA
A	A	MA	MA		B
MA	MA	MA	MA	MA	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	M	M	M	M	M
M		M	M	M	M
A	A		A	A	A
M	M	M		M	M
A	A	A	A		A
A	A	A	A	A	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	MA	MA	M	MA	MA
MA		MA	M	MA	MA
MA	A		A	A	A
A	A	A		A	A
M	M	M	M		M
A	A	A	A	A	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	M	A	M	A	MA
B		B	B	B	A
MA	A		A	A	MA
A	MA	M		M	MA
A	M	A	M		MA
MA	M	MA	A	MA	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	A	A	A	A	A
M		A	A	M	M
A	A		A	A	A
M	A	M		M	A
A	A	A	B		M
A	A	A	A	A	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	A	A	A	MA	MA
A		MA	MA	M	A
A	A		A	M	A
A	M	MA		A	A
A	M	MA	A		A
MA	A	A	A	A	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	A	M	A	A	A
A		M	A	A	A
A	M		A	A	A
A	M	A		A	A
M	M	A	A		A
A	A	A	A	M	

F9	F10	F11	F12	F13	F14
	A	MA	A	MA	MA
MA		A	A	A	A
MA	A		MA	A	A
A	A	MA		A	MA
MA	MA	MA	A		A
A	A	MA	A	A	

Resp. 38	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	MA	MA
F10	MA		MA	MA	M	M
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	M	A	A		M	A
F13	M	M	A	M		A
F14	A	A	MA	A	MA	

Resp. 40	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	M	A	M
F10	A		M	M	M	M
F11	A	A		M	M	M
F12	M	M	M		M	M
F13	M	M	M	M		A
F14	M	A	A	M	A	

Resp.42	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	A		A	A	A	A
F11	A	A		A	A	A
F12	M	M	M		M	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	M	A	

Resp. 44	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	A	M
F10	A		M	M	A	M
F11	MA	MA		M	M	M
F12	M	M	M		B	B
F13	A	MA	MA	M		A
F14	M	M	M	B	A	

Resp. 46	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		B	M	A	M	M
F10	B		B	M	A	B
F11	M	B		M	A	M
F12	B	B	M		A	M
F13	B	B	M	M		B
F14	B	M	M	M	M	

Resp. 48	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	A	A	MA
F10	A		A	MA	A	A
F11	MA	MA		M	A	M
F12	A	M	A		M	A
F13	MA	A	M	M		A
F14	A	A	MA	A	M	

Resp. 50	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	M	M
F10	MA		A	MA	A	B
F11	A	MA		MA	A	B
F12	M	M	M		M	M
F13	B	B	B	B		B
F14	B	B	B	B	B	

Resp. 52	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	MA	A
F10	MA		A	M	MA	A
F11	MA	MA		M	MA	MA
F12	A	M	M		M	M
F13	A	A	MA	B		A
F14	A	A	A	N	MA	

Resp. 37	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	A	MA	MA
F10	MA		MA	A	A	A
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	MA	MA	MA		M	MA
F13	A	A	MA	MA		B
F14	MA	MA	MA	MA	MA	

Resp. 38	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	MA	MA
F10	MA		MA	MA	M	M
F11	MA	MA		MA	MA	MA
F12	M	A	A		M	A
F13	M	M	A	M		A
F14	A	A	MA	A	MA	

Resp. 39	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		M	M	M	M	M
F10	M		M	M	M	M
F11	A	A		A	A	A
F12	M	M	M		M	M
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 40	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	M	A	M
F10	A		M	M	M	M
F11	A	A		M	M	M
F12	M	M	M		M	M
F13	M	M	M	M		A
F14	M	A	A	M	A	

Resp. 41	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	M	MA	MA
F10	MA		MA	M	MA	MA
F11	MA	A		A	A	A
F12	A	A	A		A	A
F13	M	M	M	M		M
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 42	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	A		A	A	A	A
F11	A	A		A	A	A
F12	M	M	M		M	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	M	A	

Resp. 43	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		M	A	M	A	MA
F10	B		B	B	B	A
F11	MA	A		A	A	MA
F12	A	MA	M		M	MA
F13	A	M	A	M		MA
F14	MA	M	MA	A	MA	

Resp. 44	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	A	M
F10	A		M	M	A	M
F11	MA	MA		M	M	M
F12	M	M	M		B	B
F13	A	MA	MA	M		A
F14	M	M	M	B	A	

Resp. 45	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	M		A	A	M	M
F11	A	A		A	A	A
F12	M	A	M		M	A
F13	A	A	A	B		M
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 46	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		B	M	A	M	M
F10	B		B	M	A	B
F11	M	B		M	A	M
F12	B	B	M		A	M
F13	B	B	M	M		B
F14	B	M	M	M	M	

Resp. 47	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	MA	MA
F10	A		MA	MA	M	A
F11	A	A		A	M	A
F12	A	M	MA		A	A
F13	A	M	MA	A		A
F14	MA	A	A	A	A	

Resp. 48	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	A	A	MA
F10	A		A	MA	A	A
F11	MA	MA		M	A	M
F12	A	M	A		M	A
F13	MA	A	M	M		A
F14	A	A	MA	A	M	

Resp. 49	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	A	A	A
F10	A		M	A	A	A
F11	A	M		A	A	A
F12	A	M	A		A	A
F13	M	M	A	A		A
F14	A	A	A	A	M	

Resp. 50	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	M	M
F10	MA		A	MA	A	B
F11	A	MA		MA	A	B
F12	M	M	M		M	M
F13	B	B	B	B		B
F14	B	B	B	B	B	

Resp. 51	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	A	MA	MA
F10	MA		A	A	A	A
F11	MA	A		MA	A	A
F12	A	A	MA		A	MA
F13	MA	MA	MA	A		A
F14	A	A	MA	A	A	

Resp. 52	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	M	MA	A
F10	MA		A	M	MA	A
F11	MA	MA		M	MA	MA
F12	A	M	M		M	M
F13	A	A	MA	B		A
F14	A	A	A	N	MA	

Resp. 53	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	N	MA	MA
F10	A		N	N	A	M
F11	MA	MA		N	MA	MA
F12	MA	MA	MA		M	B
F13	A	A	A	N		MA
F14	M	M	B	N	MA	

Resp. 54	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	M	MA	MA
F10	MA		MA	M	A	MA
F11	MA	MA		A	M	MA
F12	M	M	M		M	A
F13	MA	M	A	M		MA
F14	A	A	A	M	MA	

Resp. 55	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	M	A
F10	A		A	M	A	N
F11	MA	MA		A	MA	MA
F12	M	A	A		M	MA
F13	A	A	MA	N		A
F14	A	A	A	N	A	

Resp. 56	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	M	M	B	B
F10	M		B	B	M	B
F11	A	A		B	A	A
F12	M	A	M		B	M
F13	A	B	M	B		A
F14	M	B	M	B	A	

Resp. 57	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	B	MA
F10	A		MA	A	M	MA
F11	A	M		M	A	MA
F12	A	A	A		A	MA
F13	A	M	M	M		MA
F14	A	A	A	M	A	

Resp. 58	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	B	MA	B
F10	M		A	B	B	B
F11	MA	MA		B	A	A
F12	M	A	B		B	B
F13	M	M	M	B		M
F14	M	M	MA	M	A	

Resp. 59	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	M		A	A	M	M
F11	A	B		M	A	A
F12	A	A	A		A	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 60	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	A	A	A
F10	A		A	A	A	A
F11	A	A		A	A	A
F12	A	A	A		A	A
F13	A	A	A	A		A
F14	A	A	A	A	A	

Resp. 61	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	B	A	A	B
F10	M		A	M	M	B
F11	MA	A		M	M	M
F12	A	M	A		B	B
F13	B	A	M	M		A
F14	M	A	B	B	A	

Resp. 62	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	A	A	MA	MA
F10	A		MA	A	A	MA
F11	MA	A		B	B	A
F12	B	B	A		B	M
F13	MA	M	MA	B		MA
F14	A	MA	MA	A	MA	

Resp. 63	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		M	A	MA	MA	MA
F10	A		MA	M	B	M
F11	A	A		M	MA	A
F12	B	A	A		B	A
F13	A	MA	A	M		A
F14	A	A	A	A	MA	

Resp. 64	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		M	M	M	A	A
F10	M		B	A	A	A
F11	M	A		A	A	A
F12	M	A	A		A	A
F13	A	A	M	M		MA
F14	A	A	A	M	MA	

Resp. 65	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	MA	B	B	M
F10	M		M	M	A	A
F11	M	M		M	M	M
F12	M	A	M		M	M
F13	B	M	A	B		M
F14	B	M	A	M	A	

Resp. 66	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	A	A
F10	M		M	M	M	M
F11	A	M		B	A	M
F12	A	A	B		B	B
F13	A	A	A	B		A
F14	A	B	A	M	A	

Resp. 67	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		A	A	M	M	MA
F10	A		A	M	M	A
F11	A	A		M	M	MA
F12	M	A	A		M	A
F13	A	M	A	M		A
F14	A	M	A	M	A	

Resp. 68	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9		MA	MA	B	A	A
F10	MA		M	M	M	M
F11	MA	A		M	M	M
F12	M	A	M		B	M
F13	A	A	M	B		M
F14	A	M	M	M	M	

Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

N- Nenhuma influência

B- Influência baixa

M- Influência média

A- Influência alta

MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Econômicos” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F15	F16	F17
F15		M	MA
F16	MA		MA
F17	MA	MA	

Resp. 2	F15	F16	F17
F15		MA	M
F16	MA		M
F17	M	M	

Resp. 3	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	MA		A
F17	M	M	

Resp. 4	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	A	

Resp. 5	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	MA	

Resp. 6	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	A		MA
F17	A	MA	

Resp. 7	F15	F16	F17
F15		B	B
F16	B		A
F17	B	B	

Resp. 8	F15	F16	F17
F15		B	A
F16	A		A
F17	B	B	

Resp. 9	F15	F16	F17
F15		B	B
F16	B		A
F17	B	A	

Resp. 10	F15	F16	F17
F15		A	MA
F16	B		MA
F17	B	B	

Resp. 11	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	M	A	

Resp. 12	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	MA		MA
F17	A	MA	

Resp. 13	F15	F16	F17
F15		M	MA
F16	A		MA
F17	B	A	

Resp. 14	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	M		A
F17	A	M	

Resp. 15	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	M		M
F17	M	M	

Resp. 16	F15	F16	F17
F15		A	MA
F16	A		MA
F17	A	A	

Resp. 17	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	A	

Resp. 18	F15	F16	F17
F15		B	M
F16	B		MA
F17	B	B	

Resp. 19	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	M		A
F17	A	A	

Resp. 20	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	M	

Resp. 21	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	MA		MA
F17	MA	M	

Resp. 22	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	A		A
F17	MA	MA	

Resp. 23	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	MA		MA
F17	A	A	

Resp. 24	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	MA	

Resp. 25	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	MA	

Resp. 26	F15	F16	F17
F15		A	M
F16	M		M
F17	A	A	

Resp. 27	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	B		B
F17	A	M	

Resp. 28	F15	F16	F17
F15		M	B
F16	A		A
F17	MA	MA	

Resp. 29	F15	F16	F17
F15		A	MA
F16	A		A
F17	MA	MA	

Resp. 30	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	MA	A	

Resp. 31	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	MA		A
F17	MA	M	

Resp. 32	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	MA	

Resp. 33	F15	F16	F17
F15		B	M
F16	MA		A
F17	B	N	

Resp. 34	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	M		B
F17	A	A	

Resp. 35	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	MA		MA
F17	A	A	

Resp. 36	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	A		A
F17	MA	M	

Resp. 37	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	A	M	

Resp. 38	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	MA		MA
F17	M	A	

Resp. 39	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	M		M
F17	M	M	

Resp. 40	F15	F16	F17
F15		A	M
F16	A		M
F17	M	A	

Resp. 41	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	A		MA
F17	MA	A	

Resp. 42	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	A	

Resp. 43	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	MA		M
F17	A	B	

Resp. 44	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	MA		MA
F17	A	MA	

Resp. 45	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	M		A
F17	A	A	

Resp. 46	F15	F16	F17
F15		M	B
F16	M		A
F17	M	B	

Resp. 47	F15	F16	F17
F15		A	MA
F16	A		A
F17	MA	MA	

Resp. 48	F15	F16	F17
F15		A	B
F16	M		B
F17	A	M	

Resp. 49	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	A	

Resp. 50	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	M		M
F17	M	M	

Resp. 51	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	A	

Resp. 52	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	M		A
F17	MA	MA	

Resp. 53	F15	F16	F17
F15		N	B
F16	MA		MA
F17	MA	B	

Resp. 54	F15	F16	F17
F15		MA	M
F16	MA		A
F17	M	MA	

Resp. 55	F15	F16	F17
F15		N	M
F16	A		A
F17	A	B	

Resp. 56	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	A		A
F17	A	M	

Resp. 57	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	A	A	

Resp. 58	F15	F16	F17
F15		M	B
F16	B		A
F17	B	M	

Resp. 59	F15	F16	F17
F15		B	M
F16	A		A
F17	B	B	

Resp. 60	F15	F16	F17
F15		A	M
F16	A		A
F17	M	M	

Resp. 61	F15	F16	F17
F15		M	A
F16	M		MA
F17	MA	M	

Resp. 62	F15	F16	F17
F15		MA	MA
F16	MA		MA
F17	MA	MA	

Resp. 63	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	M		MA
F17	M	MA	

Resp. 64	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	MA		MA
F17	M	MA	

Resp. 65	F15	F16	F17
F15		M	M
F16	A		A
F17	M	M	

Resp. 66	F15	F16	F17
F15		N	B
F16	B		M
F17	B	N	

Resp. 67	F15	F16	F17
F15		A	A
F16	A		A
F17	M	A	

Resp. 68	F15	F16	F17
F15		MA	A
F16	M		MA
F17	A	B	

Legenda:

F15- Capacidade de fazer investimentos financeiros

F16- Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs 4.0

F17- Disposição em assumir riscos financeiros

N- Nenhuma influência

B- Influência baixa

M- Influência média

A- Influência alta

MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Gerenciais” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		A
F20	MA	MA	

Resp. 2	F18	F19	F20
F18		MA	M
F19	MA		M
F20	M	M	

Resp. 3	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	M	M	

Resp. 4	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 5	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 6	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	MA		A
F20	MA	MA	

Resp. 7	F18	F19	F20
F18		B	M
F19	A		A
F20	M	M	

Resp. 8	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 9	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 10	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 11	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 12	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	A	A	

Resp. 13	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		MA
F20	A	MA	

Resp. 14	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	A		MA
F20	M	A	

Resp. 15	F18	F19	F20
F18		M	M
F19	M		M
F20	M	M	

Resp. 16	F18	F19	F20
F18		M	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 17	F18	F19	F20
F18		MA	A
F19	MA		MA
F20	A	A	

Resp. 18	F18	F19	F20
F18		B	A
F19	MA		MA
F20	MA	A	

Resp. 19	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 20	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	A		A
F20	MA	M	

Resp. 21	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		MA
F20	MA	MA	

Resp. 22	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 23	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	A		A
F20	A	M	

Resp. 24	F18	F19	F20
F18		MA	M
F19	MA		MA
F20	MA	M	

Resp. 25	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 26	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 27	F18	F19	F20
F18		M	A
F19	A		A
F20	A	M	

Resp. 28	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	A		MA
F20	A	A	

Resp. 29	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		MA
F20	MA	A	

Resp. 30	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 31	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		A
F20	MA	A	

Resp. 32	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 33	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		A
F20	M	A	

Resp. 34	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	MA		MA
F20	M	A	

Resp. 35	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 36	F18	F19	F20
F18		MA	A
F19	MA		MA
F20	A	M	

Resp. 37	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 38	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 39	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	M	M	

Resp. 40	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		MA
F20	A	A	

Resp. 41	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	MA		A
F20	MA	A	

Resp. 42	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 43	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	MA		A
F20	M	M	

Resp. 44	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	A		MA
F20	A	A	

Resp. 45	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	M	M	

Resp. 46	F18	F19	F20
F18		A	M
F19	M		B
F20	B	M	

Resp. 47	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		MA
F20	MA	A	

Resp. 48	F18	F19	F20
F18		A	M
F19	M		A
F20	M	M	

Resp. 49	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 50	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 51	F18	F19	F20
F18		MA	A
F19	MA		A
F20	A	MA	

Resp. 52	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	A	MA	

Resp. 53	F18	F19	F20
F18		M	M
F19	M		MA
F20	A	A	

Resp. 54	F18	F19	F20
F18		A	B
F19	A		M
F20	MA	MA	

Resp. 55	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 56	F18	F19	F20
F18		A	M
F19	B		M
F20	M	M	

Resp. 57	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 58	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	M		M
F20	B	B	

Resp. 59	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	M	A	

Resp. 60	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 61	F18	F19	F20
F18		A	MA
F19	MA		A
F20	A	A	

Resp. 62	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 63	F18	F19	F20
F18		MA	A
F19	MA		MA
F20	MA	MA	

Resp. 64	F18	F19	F20
F18		MA	A
F19	M		A
F20	MA	MA	

Resp. 65	F18	F19	F20
F18		B	M
F19	A		A
F20	A	A	

Resp. 66	F18	F19	F20
F18		M	B
F19	M		A
F20	B	M	

Resp. 67	F18	F19	F20
F18		MA	MA
F19	A		MA
F20	A	MA	

Resp. 67	F18	F19	F20
F18		A	A
F19	MA		MA
F20	M	MA	

Legenda:

F18- Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido
F19- Suporte da alta administração
F20- Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo

N- Nenhuma influência
B- Influência baixa
M- Influência média
A- Influência alta
MA- Influência muito alta

Matrizes de avaliação do grupo de fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” dos 68 respondentes:

Resp. 1	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	M
F22	MA		A	A
F23	M	M		M
F24	M	B	A	

Resp. 2	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	N
F22	M		M	N
F23	M	M		N
F24	N	N	N	

Resp. 3	F21	F22	F23	F24
F21		A	MA	A
F22	MA		MA	MA
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 4	F21	F22	F23	F24
F21		MA	MA	MA
F22	A		MA	MA
F23	A	MA		MA
F24	A	MA	MA	

Resp.5	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		A	A
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 6	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	B
F22	N		B	B
F23	N	B		B
F24	B	B	B	

Resp. 7	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	M
F22	M		M	M
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 8	F21	F22	F23	F24
F21		A	M	M
F22	B		A	A
F23	M	M		M
F24	B	B	M	

Resp. 9	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	A
F22	B		A	B
F23	M	M		M
F24	B	B	B	

Resp. 10	F21	F22	F23	F24
F21		MA	MA	MA
F22	MA		MA	MA
F23	A	A		MA
F24	A	A	MA	

Resp. 11	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	M
F22	M		M	M
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 12	F21	F22	F23	F24
F21		A	M	M
F22	MA		M	A
F23	A	A		A
F24	A	MA	M	

Resp. 13	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	B
F22	N		MA	A
F23	M	A		M
F24	N	A	MA	

Resp. 14	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	B
F22	B		A	M
F23	B	M		M
F24	B	M	B	

Resp. 15	F21	F22	F23	F24
F21		MA	MA	MA
F22	MA		MA	MA
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 16	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	M
F22	MA		MA	M
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 17	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	A		MA	MA
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 18	F21	F22	F23	F24
F21		A	MA	A
F22	MA		MA	MA
F23	M	M		A
F24	B	M	B	

Resp. 19	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	MA		A	M
F23	B	B		A
F24	B	M	A	

Resp. 20	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	M
F22	MA		MA	A
F23	M	M		M
F24	M	M	MA	

Resp. 21	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	A
F22	M		MA	A
F23	B	M		A
F24	M	B	M	

Resp. 22	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	MA
F22	A		MA	MA
F23	A	MA		MA
F24	A	MA	A	

Resp. 23	F21	F22	F23	F24
F21		M	MA	M
F22	M		MA	MA
F23	M	M		M
F24	M	M	A	

Resp. 24	F21	F22	F23	F24
F21		B	A	B
F22	MA		N	MA
F23	B	B		B
F24	MA	B	B	

Resp. 25	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	MA
F22	A		MA	MA
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 26	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		A	A
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 27	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	M
F22	B		M	B
F23	M	M		B
F24	M	B	A	

Resp. 28	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	M
F22	B		M	M
F23	B	B		B
F24	B	B	A	

Resp. 29	F21	F22	F23	F24
F21		A	M	M
F22	A		M	M
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 30	F21	F22	F23	F24
F21		A	M	A
F22	M		M	M
F23	B	B		B
F24	B	B	M	

Resp. 31	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	A
F22	MA		A	A
F23	M	A		B
F24	A	A	MA	

Resp. 32	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	A		M	A
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 33	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	M		MA	MA
F23	A	A		MA
F24	B	A	A	

Resp. 34	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	A
F22	MA		MA	MA
F23	MA	A		MA
F24	A	M	A	

Resp. 35	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	M
F22	A		M	A
F23	A	A		MA
F24	M	A	A	

Resp. 36	F21	F22	F23	F24
F21		B	A	M
F22	B		M	M
F23	A	B		M
F24	M	B	M	

Resp. 37	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	B
F22	MA		MA	MA
F23	M	M		MA
F24	A	B	A	

Resp. 38	F21	F22	F23	F24
F21		MA	A	MA
F22	MA		A	MA
F23	M	M		A
F24	M	M	M	

Resp. 39	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	M
F22	M		M	M
F23	M	M		M
F24	A	A	A	

Resp. 40	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	B
F22	M		B	B
F23	B	B		B
F24	B	B	B	

Resp. 41	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	MA
F22	M		A	MA
F23	M	A		MA
F24	A	A	M	

Resp. 42	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	M
F22	M		M	A
F23	M	M		A
F24	B	B	A	

Resp. 43	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	M
F22	M		M	M
F23	M	M		M
F24	M	M	M	

Resp. 44	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	A		M	M
F23	M	M		M
F24	B	B	M	

Resp. 45	F21	F22	F23	F24
F21		B	A	A
F22	M		A	A
F23	M	M		A
F24	M	M	A	

Resp. 46	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	B
F22	A		M	B
F23	B	M		M
F24	B	B	M	

Resp. 47	F21	F22	F23	F24
F21		A	B	M
F22	A		A	A
F23	M	MA		A
F24	A	A	MA	

Resp. 48	F21	F22	F23	F24
F21		A	B	A
F22	MA		B	A
F23	M	A		A
F24	M	M	M	

Resp. 49	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		M	A
F23	M	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 50	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	B
F22	B		B	B
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 51	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	MA
F22	A		A	MA
F23	A	A		A
F24	A	A	MA	

Resp. 52	F21	F22	F23	F24
F21		A	M	B
F22	A		M	B
F23	M	A		B
F24	B	B	M	

Resp. 53	F21	F22	F23	F24
F21		B	A	B
F22	M		M	M
F23	M	A		A
F24	B	M	M	

Resp. 54	F21	F22	F23	F24
F21		B	B	B
F22	B		B	B
F23	A	MA		M
F24	M	M	M	

Resp. 55	F21	F22	F23	F24
F21		A	B	B
F22	A		M	M
F23	B	B		M
F24	B	B	M	

Resp. 56	F21	F22	F23	F24
F21		M	B	M
F22	A		B	M
F23	B	M		A
F24	B	M	A	

Resp. 57	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	A
F22	A		A	A
F23	A	M		A
F24	M	M	A	

Resp. 58	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	B
F22	A		A	A
F23	A	M		B
F24	B	B	B	

Resp. 59	F21	F22	F23	F24
F21		M	B	B
F22	M		A	A
F23	B	M		A
F24	B	B	A	

Resp. 60	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		A	A
F23	A	A		A
F24	A	A	A	

Resp. 61	F21	F22	F23	F24
F21		A	MA	M
F22	M		A	M
F23	M	A		A
F24	A	M	A	

Resp. 62	F21	F22	F23	F24
F21		B	M	B
F22	M		A	B
F23	A	B		B
F24	M	B	B	

Resp. 63	F21	F22	F23	F24
F21		M	A	N
F22	B		M	M
F23	B	B		M
F24	B	M	A	

Resp. 64	F21	F22	F23	F24
F21		M	M	M
F22	B		A	M
F23	M	M		A
F24	M	M	A	

Resp. 65	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		MA	A
F23	M	M		A
F24	A	M	A	

Resp. 66	F21	F22	F23	F24
F21		A	B	B
F22	A		B	M
F23	B	B		B
F24	B	B	B	

Resp. 67	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	MA
F22	A		A	A
F23	A	M		A
F24	A	M	M	

Resp. 68	F21	F22	F23	F24
F21		A	A	A
F22	A		A	MA
F23	M	M		A
F24	A	M	A	

Legenda:

F21- Criação de padrões em tecnologias e processos
F22- Criação de políticas e incentivos governamentais
F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0
F24- Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico

N- Nenhuma influência
B- Influência baixa
M- Influência média
B- Influência alta
MA- Influência muito alta

APÊNDICE D – Análise da confiabilidade do questionário conforme o coeficiente alfa de Cronbach

O coeficiente alfa de Cronbach é uma forma de estimar a confiabilidade de um questionário aplicado à uma pesquisa por meio da medição da correlação entre as respostas dadas pelos respondentes desse questionário (CRONBACH, 1951). O uso do alfa de Cronbach para análise da confiabilidade de questionários em estudos que envolvem o método DEMATEL é utilizado em vários estudos (HOSSEINI et al., 2022; HSU, 2012; MORTAZAVI RAVARI et al., 2016; PINTO et al., 2019; TSENG, 2009b).

De acordo com Leontitsis e Pagge (2007), para se estimar o alfa de Cronbach, considera-se X como sendo uma matriz ($n \times k$) que corresponde às respostas quantificadas de um questionário. Cada linha de X representa um sujeito e cada coluna representa uma questão. As respostas quantificadas podem estar em qualquer escala. O coeficiente alfa de Cronbach é mensurado de acordo com a equação abaixo:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[\frac{\sigma_{\tau}^2 - \sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_{\tau}^2} \right]$$

onde σ_i^2 é a variância de cada coluna de X , ou seja, é a variância relacionada à cada questão de X , e σ_{τ}^2 é a variância da soma de cada linha de X , ou seja, é a variância da soma das respostas de cada sujeito. Também deve ser observado que k deve ser maior do que 1 para que não haja zero no denominador e n deve ser maior do que 1 para que não haja zero no denominador no cálculo do σ_i^2 e σ_{τ}^2 .

Segundo Freitas e Rodrigues (2005), não existe um consenso entre os pesquisadores acerca da interpretação da confiabilidade de um questionário obtida a partir do valor do alfa de Cronbach, mas em geral, considera-se satisfatório um instrumento de pesquisa que obtenha $\alpha \geq 0,70$. Freitas e Rodrigues (2005) sugerem a classificação da confiabilidade a partir do cálculo do coeficiente α de Cronbach de acordo com os limites apresentados na Tabela 57.

Tabela 57 - Classificação da confiabilidade a partir do coeficiente α de Cronbach

Confiabilidade	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Valor de α	$\alpha \leq 0,30$	$0,30 < \alpha \leq 0,60$	$0,60 < \alpha \leq 0,75$	$0,75 < \alpha \leq 0,90$	$\alpha > 0,90$

Fonte: Freitas e Rodrigues (2005)

Segundo Hora, Monteiro e Arica (2010), o questionário deve estar agrupado em dimensões que tratam do mesmo aspecto e deve ser aplicado a uma amostra significativa e heterogênea da população. A divisão do questionário desta pesquisa em categorias e aplicada a uma amostra de 68 especialistas com população heterogênea (acadêmicos, consultores e praticantes) corrobora com essas recomendações.

APÊNDICE E – Escolha do valor limite para construção do mapa de influências nos Diagramas de Causa e Efeito

Para construção de um mapa de influências ou mapa de relações no Diagrama de Causa e Efeito do método DEMATEL, após a definição dos elementos da Matriz de Relação Total (T), é necessário escolher um valor limite para definição das relações de maior impacto de acordo com o problema estudado. O método para escolha desse valor pode diferir entre pesquisadores, pois depende de alguns fatores. Um valor limite muito baixo pode tornar o mapa de influências complexo demais para uma análise adequada, por outro lado, um valor alto demais pode não identificar algumas relações importantes para o estudo (LIA; TZENG, 2009).

Para definição do valor limite nesta pesquisa, foi realizada uma comparação entre o mapa de influências utilizando-se o valor limite obtido da média dos elementos da Matriz de Relação Total (T) e valor limite obtido do terceiro quartil da mesma matriz. Esses são os métodos mais comuns encontrados na literatura (SHIEH; WU; HUANG, 2010; SUMRIT; ANUNTAVORANICH, 2013). Nessa comparação foi utilizada a Matriz de Relação Total (T) dos resultados do nível de influência entre fatores da categoria “Fatores Sociais” (subseção 5.3.4 – Tabela 33). Nas células destacadas na Tabela 58 estão os valores da matriz que estão acima do valor limite obtido pela média dos elementos da Matriz de Relação Total (T) e igual a **2,022**, já nas células destacadas na Tabela 59 estão os valores da matriz que estão acima do valor limite obtido do terceiro quartil dos mesmos elementos e igual a **2,134**.

Tabela 58 – Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,022)

	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9	2,062	2,251	2,184	1,901	2,145	2,192
F10	2,076	1,922	2,025	1,779	1,976	2,025
F11	2,290	2,292	2,060	1,943	2,183	2,233
F12	1,959	1,982	1,923	1,552	1,864	1,921
F13	2,073	2,077	2,035	1,766	1,838	2,047
F14	2,132	2,138	2,097	1,835	2,065	1,940

Tabela 59 – Matriz de Relação Total (T) com valores acima do valor limite (2,134)

	F9	F10	F11	F12	F13	F14
F9	2,062	2,251	2,184	1,901	2,145	2,192
F10	2,076	1,922	2,025	1,779	1,976	2,025
F11	2,290	2,292	2,060	1,943	2,183	2,233
F12	1,959	1,982	1,923	1,552	1,864	1,921
F13	2,073	2,077	2,035	1,766	1,838	2,047
F14	2,132	2,138	2,097	1,835	2,065	1,940

Nas Figuras 68 e 69 observa-se a diferença no Diagrama de Causa e Efeito e mapa de influências para as duas situações. Na Figura 68, cujas relações são baseadas nos valores que estão acima do valor limite igual a 2,022 (Tabela 58), a quantidade de setas (relações), inclusive setas de duplo direcionamento, é bem maior que na Figura 69, em que as relações são baseadas nos valores que estão acima do valor limite igual a 2,134 (Tabela 59).

Figura 68 - Diagrama de causa e efeito - Fatores Sociais (valor limite = 2,022)

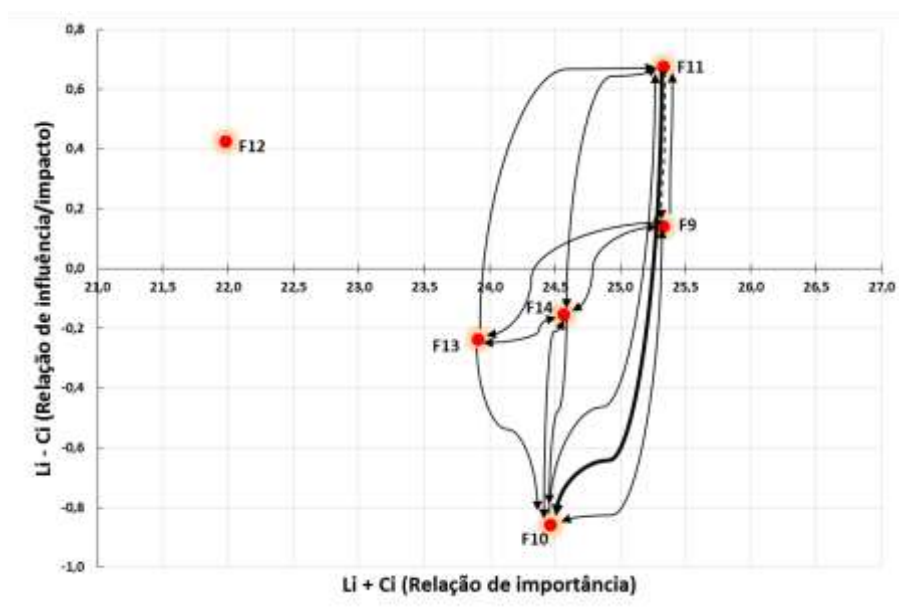
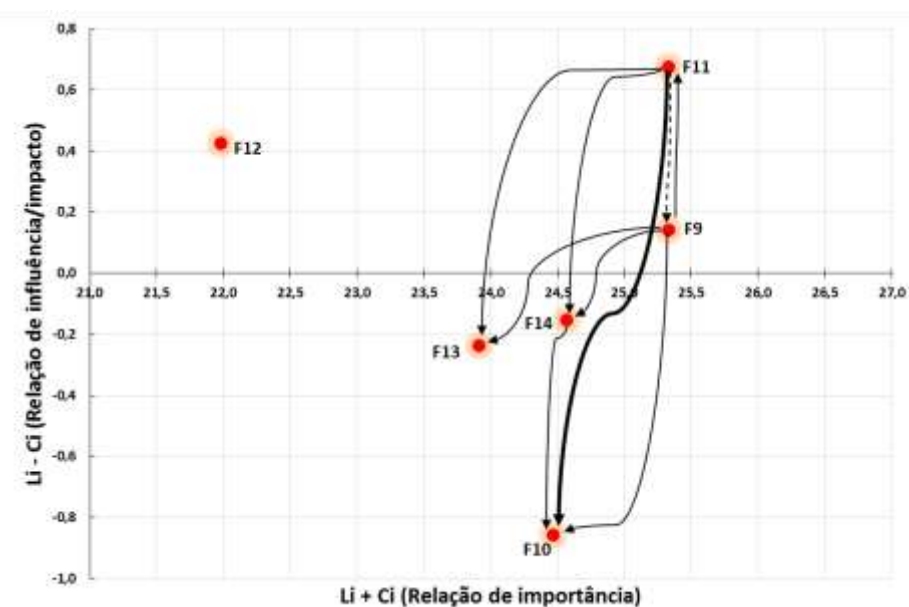


Figura 69 - Diagrama de causa e efeito - Fatores Sociais (valor limite = 2,134)



Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

A análise das relações na Figura 68 é mais complexa e pode se tornar confusa, portanto torna-se inviável diante da necessidade desta pesquisa que pretende identificar e priorizar as relações mais importantes para o processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs. Sendo assim, o valor limite obtido do terceiro quartil é o mais adequado para utilização nesta pesquisa.

APÊNDICE F – Matrizes de Relação Direta (Z) e Matrizes de Relação Total (T) para análise estratificada por setor de atuação dos especialistas respondentes

Tabela 60 - Matrizes de Relação Direta (Z) para análise entre as categorias de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Categoria	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Acadêmicos	C1		3,422	1,892	2,659	2,384	1,892
	C2	2,820		2,329	2,494	2,661	1,675
	C3	2,057	2,110		2,276	2,661	1,949
	C4	2,769	2,549	2,167		2,935	2,057
	C5	2,220	2,441	2,716	2,769		1,782
	C6	2,002	1,782	1,896	2,169	2,112	
Consultores	C1		3,532	2,480	2,808	2,475	2,008
	C2	3,463		2,742	2,868	3,332	2,204
	C3	2,539	2,939		2,735	3,201	2,342
	C4	3,396	2,942	2,868		3,137	2,011
	C5	2,739	2,939	3,263	3,008		1,880
	C6	2,399	2,737	2,668	2,739	2,673	
Praticantes	C1		3,338	2,232	2,936	2,609	1,576
	C2	2,933		2,509	2,634	2,630	1,678
	C3	2,028	2,532		2,382	2,760	1,602
	C4	2,987	2,709	2,381		2,760	1,701
	C5	2,734	2,557	2,809	2,885		1,625
	C6	2,030	1,753	1,979	1,954	1,828	

Tabela 61 - Matrizes de Relação Total (T) entre as categorias de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Categoria	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Acadêmicos	1,970	C1	1,795	2,069	1,810	2,026	2,059	1,578
		C2	1,941	1,820	1,803	1,982	2,038	1,538
		C3	1,772	1,830	1,532	1,840	1,905	1,453
		C4	1,995	2,045	1,847	1,877	2,113	1,606
		C5	1,896	1,966	1,814	1,984	1,854	1,535
		C6	1,627	1,664	1,527	1,686	1,723	1,206
Consultores	2,040	C1	1,800	2,039	1,875	1,905	1,962	1,460
		C2	2,127	1,994	2,024	2,045	2,143	1,574
		C3	1,990	2,059	1,780	1,947	2,043	1,511
		C4	2,097	2,129	2,003	1,858	2,107	1,544
		C5	2,010	2,070	1,968	1,970	1,879	1,496
		C6	1,920	1,984	1,869	1,886	1,954	1,330
Praticantes	2,465	C1	2,336	2,579	2,348	2,532	2,485	1,683
		C2	2,465	2,317	2,311	2,461	2,432	1,652
		C3	2,244	2,304	1,986	2,274	2,268	1,532
		C4	2,494	2,517	2,328	2,318	2,464	1,671
		C5	2,488	2,517	2,359	2,509	2,297	1,672
		C6	1,936	1,950	1,830	1,941	1,912	1,215

Legenda:

C1- Categoria: Fatores Técnicos – Infraestrutura Tecnológica

C2- Categoria: Fatores Técnicos – Gestão de Dados

C3- Categoria: Fatores Sociais

C4- Categoria: Fatores Econômicos

C5- Categoria: Fatores Gerenciais

C6- Categoria: Fatores Norm./Governamentais

Tabela 62 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fator	F1	F2	F3	F4
Acadêmicos	F1		3,047	3,102	3,041
	F2	2,557		3,049	2,665
	F3	2,824	2,773		2,716
	F4	2,653	2,663	2,388	
Consultores	F1		3,53	3,53	3,46
	F2	3,15		3,34	3,28
	F3	3,27	3,40		3,15
	F4	2,94	2,69	2,69	
Praticantes	F1		3,07	3,22	3,03
	F2	2,72		3,08	2,89
	F3	2,99	2,94		2,91
	F4	2,99	2,94	3,04	

Tabela 63 - Matrizes de Relação Total (T) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fator	F1	F2	F3	F4
Acadêmicos	2,601	F1	2,449	2,800	2,817	2,786
		F2	2,476	2,353	2,614	2,564
		F3	2,505	2,597	2,378	2,580
		F4	2,364	2,455	2,448	2,218
Consultores	2,736	F1	2,533	2,836	2,823	2,892
		F2	2,622	2,441	2,669	2,734
		F3	2,642	2,698	2,442	2,740
		F4	2,332	2,361	2,350	2,206
Praticantes	5,910	F1	5,642	6,012	6,210	5,955
		F2	5,576	5,467	5,895	5,651
		F3	5,664	5,780	5,722	5,724
		F4	5,727	5,844	6,034	5,550

Legenda:

F1- Infraestrutura digital adequada

F2- Interoperabilidade

F3- Conectividade aprimorada

F4- Cibersegurança

Tabela 64 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fator	F5	F6	F7	F8
Acadêmicos	F5		3,180	2,660	3,122
	F6	2,997		2,649	3,087
	F7	2,816	2,988		2,899
	F8	2,454	2,598	2,173	
Consultores	F5		3,527	2,675	3,070
	F6	3,006		3,137	2,937
	F7	2,665	3,004		2,804
	F8	3,006	3,135	2,813	
Praticantes	F5		2,892	2,512	3,133
	F6	2,895		2,563	2,936
	F7	2,461	2,736		2,487
	F8	2,637	2,484	2,259	

Tabela 65 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Técnicos: Gestão de Dados” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fator	F5	F6	F7	F8
Acadêmicos	2,990	F5	2,754	3,180	2,660	3,122
		F6	2,997	2,888	2,649	3,087
		F7	2,816	2,988	2,294	2,899
		F8	2,454	2,598	2,173	2,333
Consultores	3,183	F5	2,958	3,476	3,164	3,231
		F6	3,142	3,150	3,139	3,169
		F7	2,971	3,224	2,745	3,010
		F8	3,115	3,365	3,092	2,909
Praticantes	3,717	F5	3,566	3,849	3,556	4,026
		F6	3,776	3,554	3,520	3,969
		F7	3,518	3,566	3,077	3,697
		F8	3,432	3,450	3,194	3,369

Legenda:

F5- Qualidade dos dados

F6- Acessibilidade e integração de dados

F7- Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível

F8- Boas ferramentas de visualização dos dados

Tabela 66 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fatores	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Acadêmicos	F9		3,162	2,826	2,174	2,662	2,717
	F10	2,881		2,448	2,228	2,558	2,228
	F11	3,319	3,050		2,385	2,995	2,940
	F12	2,558	2,777	2,607		1,954	2,497
	F13	2,660	2,495	2,605	1,952		2,666
	F14	2,666	2,556	2,550	2,117	2,830	
Consultores	F9		3,462	3,205	2,938	3,267	3,198
	F10	2,943		2,686	2,681	2,743	2,745
	F11	3,595	3,467		3,071	3,331	3,198
	F12	2,681	3,143	2,683		2,679	2,612
	F13	2,948	2,883	3,074	2,814		3,071
	F14	2,748	2,748	3,076	3,071	3,202	
Praticantes	F9		3,263	3,040	2,319	3,189	3,187
	F10	3,089		2,963	2,664	2,469	2,865
	F11	3,413	3,215		2,365	2,866	3,037
	F12	2,565	2,793	2,664		2,094	2,466
	F13	2,843	2,697	2,945	2,044		3,165
	F14	2,891	2,769	3,091	2,568	3,191	

Tabela 67 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Sociais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fatores	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Acadêmicos	1,375	F9	1,304	1,477	1,380	1,170	1,377	1,375
		F10	1,370	1,202	1,270	1,094	1,279	1,260
		F11	1,581	1,564	1,306	1,255	1,480	1,473
		F12	1,358	1,365	1,282	0,967	1,253	1,276
		F13	1,363	1,351	1,281	1,084	1,135	1,285
		F14	1,389	1,380	1,303	1,113	1,321	1,156
Consultores	1,567	F9	1,440	1,676	1,586	1,561	1,629	1,594
		F10	1,416	1,322	1,391	1,379	1,429	1,401
		F11	1,664	1,724	1,470	1,612	1,678	1,640
		F12	1,401	1,478	1,387	1,237	1,423	1,392
		F13	1,495	1,551	1,486	1,462	1,368	1,493
		F14	1,489	1,548	1,488	1,476	1,531	1,340
Praticantes	2,995	F9	2,970	3,132	3,118	2,605	2,986	3,132
		F10	2,980	2,794	2,955	2,488	2,799	2,956
		F11	3,142	3,117	2,936	2,596	2,958	3,112
		F12	2,700	2,698	2,687	2,126	2,539	2,683
		F13	2,916	2,894	2,902	2,414	2,609	2,919
		F14	3,046	3,024	3,035	2,545	2,904	2,871

Legenda:

F9- Funcionários qualificados

F10- Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0

F11- Treinamento contínuo dos funcionários

F12- Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas

F13- Flexibilidade dos funcionários para mudanças

F14- Cultura organizacional aberta

Tabela 68 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fator	F15	F16	F17
Acadêmicos	F15		1,969	2,398
	F16	2,618		3,051
	F17	2,669	1,753	
Consultores	F15		2,887	3,008
	F16	3,211		3,463
	F17	2,949	3,011	
Praticantes	F15		2,845	2,726
	F16	2,845		2,970
	F17	2,670	2,791	

Tabela 69 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Econômicos” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fator	F15	F16	F17
Acadêmicos	1,884	F15	1,560	1,468	1,873
		F16	2,196	1,459	2,253
		F17	1,884	1,452	1,578
Consultores	4,178	F15	3,739	3,935	4,178
		F16	4,395	3,955	4,552
		F17	4,077	3,974	3,900
Praticantes	9,524	F15	9,004	9,465	9,524
		F16	9,592	9,400	9,808
		F17	9,197	9,337	9,081

Legenda:

F15- Capacidade de fazer investimentos financeiros

F16- Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs 4.0

F17- Disposição em assumir riscos financeiros

Tabela 70 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fator	F18	F19	F20
Acadêmicos	F18		3,102	2,939
	F19	3,100		3,212
	F20	2,782	2,994	
Consultores	F18		3,207	3,583
	F19	3,269		3,210
	F20	3,198	2,886	
Praticantes	F18		3,290	3,266
	F19	3,346		3,434
	F20	3,155	3,176	

Tabela 71 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Gerenciais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fator	F18	F19	F20
Acadêmicos	7,675	F18	7,138	7,641	7,678
		F19	7,675	7,525	7,912
		F20	7,228	7,412	7,138
Consultores	6,345	F18	6,208	6,278	6,769
		F19	6,345	5,778	6,550
		F20	6,089	5,835	5,969
Praticantes	9,902	F18	9,382	9,676	9,902
		F19	9,925	9,561	10,130
		F20	9,480	9,449	9,352

Legenda:

F18- Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido

F19- Suporte da alta administração

F20- Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo

Tabela 72 - Matrizes de Relação Direta (Z) entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Fator	F21	F22	F23	F24
Acadêmicos	F21		2,504	2,390	2,059
	F22	2,400		2,447	2,496
	F23	2,018	2,176		2,612
	F24	2,069	1,902	2,549	
Consultores	F21		2,874	2,810	2,483
	F22	3,076		2,940	3,005
	F23	2,107	2,229		2,290
	F24	2,162	2,160	2,293	
Praticantes	F21		2,287	2,436	2,282
	F22	2,436		2,633	2,533
	F23	2,163	2,313		2,384
	F24	1,938	2,013	2,465	

Tabela 73 - Matrizes de Relação Total (T) para análise entre os fatores da categoria “Fatores Normativos/Governamentais” de acordo com cada estrato da amostra

Estrato	Valor Limite	Fator	F21	F22	F23	F24
Acadêmicos	3,679	F21	3,211	3,499	3,799	3,699
		F22	3,583	3,374	3,945	3,872
		F23	3,359	3,405	3,482	3,672
		F24	3,261	3,281	3,626	3,300
Consultores	1,475	F21	1,189	1,422	1,517	1,461
		F22	1,534	1,270	1,621	1,590
		F23	1,194	1,194	1,080	1,254
		F24	1,195	1,188	1,280	1,050
Praticantes	2,829	F21	2,425	2,683	2,951	2,848
		F22	2,822	2,607	3,138	3,034
		F23	2,607	2,644	2,664	2,813
		F24	2,466	2,497	2,772	2,442

Legenda:

F21- Criação de padrões em tecnologias e processos F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0
 F22- Criação de políticas e incentivos governamentais F24- Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico
 F23- Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0

APÊNDICE G – Comprovante de doação ao Hospital de Amor de Barretos – SP

	2º - Via
RECIBO HOSPITAL DE AMOR	
Reg. no C.N.S.S 242.299/1978 Utilidade Pública Estadual Lei nº 2.224/79 Utilidade Pública Municipal Decreto nº 3.166/78 CNPJ: 49.150.352/0001-12 - IE:ISENTO	
R\$ 340,00	Nº 12796
Recebemos de MARCELO ALMIR LOPES, [REDACTED] a quantia de R\$ 340,00 (trezentos e quarenta reais) referente à A DOAÇÃO ESPONTÂNEA REALIZADA VIA PIX NO SITE PARA A CENTRAL DE RELACIONAMENTO EM 10/04/2023.	
Barretos - SP, 10/04/2023 - 04:31:55	
 _____ P/Fundação Pio XII	
* Não dedutível do Imposto de Renda *	

Observações:

- Doação referente ao recebimento de 68 questionários válidos para aplicação do método Fuzzy DEMATEL nesta pesquisa. A doação foi realizada ao Hospital de Amor de Barretos/SP;
- Os dados pessoais do doador foram suprimidos do comprovante para sigilo das suas informações pessoais;
- Os interessados em colaborar com o Hospital de Amor podem buscar informações pertinentes no endereço eletrônico: <https://hospitaldeamor.com.br/site/doacao-e-voluntariado/>