

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Ciências Econômicas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração

Paula Sylvia Ridolfi Aguiar Carrara

INDÚSTRIA 4.0 E RECURSOS HUMANOS:
superestimando a tecnologia e subestimando os recursos humanos

Belo Horizonte
2023

Paula Sylvia Ridolfi Aguiar Carrara

**INDÚSTRIA 4.0 E RECURSOS HUMANOS:
superestimando a tecnologia e subestimando os recursos humanos**

Dissertação apresentada ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Administração. Área de concentração: Estudos Organizacionais, Trabalho e Pessoas

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Paula Paes de Paula

Belo Horizonte
2023

Ficha Catalográfica

C313i Carrara, Paula Sylvia Ridolfi Aguiar.
2023 Indústria 4.0 e Recursos Humanos [manuscrito]: superestimando a tecnologia e subestimando os recursos humanos / Paula Sylvia Ridolfi Aguiar Carrara. – 2023.

1 v. : il.

Orientadora: Ana Paula Paes de Paula

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.

Inclui bibliografia.

1. Recursos humanos na indústria – Teses. 2. Indústria - Teses. 3. Administração – Teses. I. Paula, Ana Paula Paes de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração. III. Título.

CDD: 658.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO da Senhora PAULA SYLVIA RIDOLFI AGUIAR CARRARA, REGISTRO Nº 770/2023. No dia 07 de julho de 2023, às 9:00 horas, reuniu-se remotamente, por videoconferência, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 20 de junho de 2023, para julgar o trabalho final intitulado "INDÚSTRIA 4.0 E RECURSOS HUMANOS: superestimando a tecnologia e subestimando os recursos humanos", requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Administração, linha de pesquisa: Estudos Organizacionais, Trabalho e Pessoas. Abrindo a sessão, a Senhora Presidente da Comissão, Profª. Drª. Ana Paula Paes de Paula, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pela Senhora Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a Senhora Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 07 de julho de 2023.

Profª. Drª. Ana Paula Paes de Paula
ORIENTADORA - CEPEAD/UFMG

Profª. Drª. Kely César Martins de Paiva
CEPEAD/UFMG

Prof. Dr. Anderson de Souza Sant'Anna
FGV EAESP



Documento assinado eletronicamente por Ana Paula Paes de Paula, Professora do Magistério Superior, em 17/07/2023, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Kely Cesar Martins de Paiva, Professora do Magistério Superior, em 17/07/2023, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Anderson de Souza Sant'Anna, Usuário Externo, em 18/07/2023, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2476784 e o código CRC 9C3B4A03.

Em memória da minha tia Nícia Paschoal, Irmã Aglaé na religião, dedico este trabalho, inspirada em sua crença de que nunca é tarde para aprender e crescer.

AGRADECIMENTOS

À vida digna e saudável que tenho tido o privilégio de desfrutar, e a Ele, que me permitiu vivê-la até aqui.

À minha mãe Terezinha de Jesus, ainda viva e lúcida aos 93 anos, que, desde sempre, acompanhou e estimulou meu desenvolvimento pessoal e profissional, e ao meu já falecido pai Fortunato Aldo, por me transmitir a sabedoria que não veio dos livros.

Ao meu eterno namorado e esposo Bruno, pelo amor, carinho, paciência, conselhos, incentivos e por ‘estar’ e ‘ser’, ininterruptamente, presente nos momentos de sorrisos e de lamentos. ‘Estar presente’ pela dedicação, ‘ser presente’ pela dádiva que é na minha vida.

Aos meus adorados filhos Filipe e Henrique, por me darem a oportunidade de eu ser tanto professora quanto aluna e por me fazerem acreditar que um mundo melhor é possível.

Às minhas irmãs Helena, Adriana, Andréa e Claudia; ao meu irmão Alfeu; às minhas sobrinhas Giovana, Gisleine e Beatriz; aos meus sobrinhos Luiz, André, Otávio e Gabriel; aos demais familiares. Todos foram e continuam sendo uma importante referência em minha vida.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Paula Paes de Paula, pelo apoio incondicional em toda essa longa e desafiadora jornada, por me empoderar e me dar autonomia para escolher meus próprios caminhos.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Kely César Martins de Paiva e Prof. Dr. Anderson de Souza Sant’Anna, por aceitarem o convite e se envolverem na leitura da minha dissertação.

Ao Prof. Dr. Gustavo Dambiski Gomes de Carvalho, pela disponibilização gratuita de seu “Curso Tutorial de Análise Bibliométrica e Revisão Sistemática da Literatura” em seu canal Academia Inovar, no YouTube.

Às e aos colegas de UFMG, aqui representados por Gabriel Farias Alves Correia, Daniel Pereira Alves de Abreu, Bruna Gonçalves Fonseca Moura, Mauro Rodrigo Schneider, Erlando Bruno Bessa Júnior, Marina Bastos Carvalhais Barroso e Bernardo de Castro Silva Menegale.

A toda a equipe de docentes e de servidores do CEPEAD/UFMG.

Aos profissionais que cuidaram da minha saúde física e mental nesse período, de maneira especial Dr. Felipe Lima Magalhães, Dr.^a Romana Giordani Ribeiro Saliba, enfermeiras Letícia e Bárbara, nutricionista Melina Batista, psicólogas Kenia Gusmão, Rejane Fortunato e Karen Regina Pereira de Assis, educador físico Aécio Teixeira Júnior.

À Lucélia da Conceição Batista da Silva, pela dedicação e cuidados, comigo e com minha família, zelando para que a rotina da nossa casa funcionasse de maneira exemplar.

Aos amigos e amigas que, de perto ou de longe, deram-me força e apoio.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta os temas relacionados a recursos humanos que têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0. A busca, a seleção, a coleta e a classificação dos artigos científicos foram baseadas no *Methodi Ordinatio*, e a análise foi feita pelo método bibliométrico de coocorrências, tendo sido a busca empreendida na coleção principal da *Web of Science* e a análise bibliométrica, utilizando o software *VOSviewer*®. Os 3.413 artigos selecionados sobre Indústria 4.0 foram agrupados em 5 *clusters*: 1) visão macro; 2) fatores técnicos e organizacionais; 3) estrutura; 4) *big data* e *analytics*; e 5) desafios de integração tecnológica. No que se refere a recursos humanos, foram revisados 101 artigos com os temas mais frequentes, gerando um mapa de coocorrências com 38 palavras-chave, 401 *links* e 4 *clusters*: 1) futuro do trabalho e a dinâmica de mudança em RH; 2) suporte organizacional, desenvolvimento de habilidades e superação de barreiras; 3) relação entre RH, avanços tecnológicos, capital intelectual, inovação, criatividade e desempenho organizacional; e 4) desafios gerenciais subjacentes. O estudo é original por fornecer uma visão geral de recursos humanos face à adoção da Indústria 4.0, abrangendo as principais áreas em um único documento, o que pode servir de guia para futuras pesquisas. Do ponto de vista prático, pode ser útil ao abordar as oportunidades e os desafios da gestão de recursos humanos e apoiar a transição digital das organizações. A pesquisa concluiu que praticamente todos os processos da gestão de recursos humanos, bem como o comportamento humano nas organizações e as relações de trabalho, têm sido estudados, mas em volume inferior aos estudos ligados aos aspectos técnicos e tecnológicos. Uma evidência é que o interesse pelos fatores humanos no contexto da Indústria 4.0 tem crescido ao longo dos anos.

Palavras-chave: Indústria 4.0; recursos humanos; análise bibliométrica.

ABSTRACT

This research presents topics regarding human resources that have emerged in the context of national and international scientific production on Industry 4.0. The search, selection, collection and classification of scientific articles were based on the *Methodi Ordinatio* and the analysis was performed using the bibliometric method of co-occurrences. The search itself was developed on the *Web of Science Core Collection* and the bibliometric analysis used the *VOSviewer*® software. The 3,413 selected articles on Industry 4.0 were classified into 5 clusters: 1) macro overview; 2) technical and organizational factors; 3) structure; 4) big data and analytics; 5) technological integration challenges. Regarding human resources, 101 articles with the most frequent topics were reviewed, generating a co-occurrence map containing 38 keywords, 401 links and 4 clusters: 1) future of work and the dynamics of change in HR; 2) organizational support, development of skills and overcoming barriers; 3) the relation between HR, technological advances, intellectual capital, innovation, creativity and organizational performance; 4) underlying managerial challenges. The study is original for providing an overview of human resources when adopting Industry 4.0, covering the main areas in a single research, which might serve as a guide for future investigations. From a pragmatic approach, it might be useful when addressing the opportunities and challenges of human resource management and supporting the digital transition of organizations. The research found that virtually all human resource management processes, as well as human behavior in organizations and work relations, have been studied, but in a inferior number compared to studies related to technical and technological aspects. Evidence is that interest in the human factor in the context of Industry 4.0 has grown over the years.

Keywords: Industry 4.0; human resources; bibliometric analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	–	Visualização de rede de coocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0.....	99
Figura 2	–	Visualização de sobreposição de coocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0.....	100
Figura 3	–	Visualização da densidade de coocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0.....	101
Figura 4	–	Visualização de rede de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	119
Figura 5	–	Visualização de sobreposição de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	120
Figura 6	–	Visualização da densidade de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	121
Quadro 1	–	Artigos Selecionados para a pesquisa.....	228

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Estratégia de busca da Indústria 4.0 na <i>Web of Science Core Collection</i>	91
Tabela 2	–	Artigos sobre a “Indústria 4.0” publicados por ano.....	92
Tabela 3	–	Relação de autores mais citados no tema Indústria 4.0.....	93
Tabela 4	–	Países com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0.....	94
Tabela 5	–	Periódicos com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0..	95
Tabela 6	–	Organizações com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0.....	96
Tabela 7	–	<i>Cluster 1</i> I4.0 – 97 termos.....	102
Tabela 8	–	<i>Cluster 2</i> I4.0 – 81 termos.....	104
Tabela 9	–	<i>Cluster 3</i> I4.0 – 37 termos.....	107
Tabela 10	–	<i>Cluster 4</i> I4.0 – 16 termos.....	108
Tabela 11	–	<i>Cluster 5</i> I4.0 – 13 termos.....	109
Tabela 12	–	Estratégia de busca de Recursos Humanos na Indústria 4.0 na <i>Web of Science Core Collection</i>	111
Tabela 13	–	Artigos e citações sobre Recursos Humanos no contexto da “Indústria 4.0”, por ano.....	112
Tabela 14	–	Relação de autores mais citados no tema Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	112
Tabela 15	–	Países com produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	113
Tabela 16	–	Periódicos com maior produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	115
Tabela 17	–	Organizações com maior produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	116
Tabela 18	–	<i>Clusters</i> e respectivos termos sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS – Asset Administration Shell
AHP – Analytical Hierarchical Process
AI – Artificial Intelligence
AJG – Academic Journal Guide
AMP – Advanced Manufacturing Partnership
AMPA – Analysis of Most-Probable Actions
API – Administrative Process Innovation
AR – Augmented Reality ou Realidade Aumentada
ASCS – Automated Speed Control System
ATT – Attitude
BPM – Business Process Management ou Gerenciamento de Processos de Negócios
BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
BRT – Behavioral Reasoning Theory
BWM – Best Worst Method
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASPA – Correct Action Selection Probability Analysis
CC – Cloud Computing
CEE – Capital Employed Efficiency
CFA – Confirmatory Factor Analysis
CHO – Comportamento Humano nas Organizações
CIBART – Conflict, Identity, Boundaries, Authority, Roles, Task
CIM – Computer-integrated Manufacturing
CNN – Convolutional Neural Network
CNR – National Research Council
COPRAS – Complex Proportional Assessment
CPD – Continuing Professional Development
CPS – Cyber-physical Systems ou Sistemas Ciberfísicos
CRM – Customer Relationship Management
DCPs – Digital Collaborative Platforms
DEMATEL – Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DLOQ – Dimensions of Learning Organization Questionnaire
DSS – Decision Support System
DTI – Digital Task Interdependence
DUI – Doing, Using, and Interacting
EA – Enterprise Architecture ou Arquitetura Corporativa
EAI – Enterprise Application Integration
EAIA – Employee’s Artificial Intelligence Awareness
ED – Environmental Dynamism
EDP – Electronic Data Processing
EFA – Exploratory Factor Analysis
EI – Enterprise Integration ou Integração Corporativa
EIS – Executive Information System
ERP – Enterprise Resource Planning
ESCO – European Skills, Competences, Qualifications and Occupation

ESD – Education for Sustainable Development
EU – European Union
EVs – Electric Vehicles
F-CPS – Framework for Cyber-physical Systems
FDI – Foreign Direct Investment
FIR – Fourth Industrial Revolution
FoF – Factories of Future ou Fábricas do Futuro
GRH – Gestão de Recursos Humanos
GVC – Global Value Chain
H2M – Human-to-Machine
HARM – Human-automation Resource Management
HC – Human Capital
HCE – Human Capital Efficiency
HCI – Human-Computer Interaction
HMI – Human-Machine Interface
HRC – Human-Robot Collaboration
HRIS – Human Resource Information System
HRM – Human Resource Management
I4.0 – Indústria 4.0
IA – Inteligência Artificial
IC – Intellectual Capital
ICT – Information and Communication Technology
IDT – Innovation Diffusion Theory
IIC – Industrial *Internet* Consortium
IIoT – Industrial *Internet* of Things
IIRA – Industrial *Internet* Reference Architecture
IMSA – Intelligent Manufacturing System Architecture
INSA – Institut National des Sciences Appliquées de Hauts-de-France
IoS – *Internet* of Services ou *Internet* dos Serviços
IoT – *Internet* of Things ou *Internet* das Coisas
IoT-A – European Lighthouse Integrated Project
IoT-ARM – *Internet* of Things Architectural Reference Model
IPRs – Intellectual Property Rights
IPS – Intuitive Problem Solving
ISM – Interpretive Structural Modeling
IVRA – Industrial Value Chain Reference Architecture
KBV – Knowledge-based View
LDA – Latent Dirichlet Allocation
LKAS – Lane Keeping Assist System
LM – Lean Manufacturing
LOESS – Locally Estimated Scatterplot Smoothing
LSC – Leader STARA Competence
M2M – Machine-to-Machine
MES – Manufacturing Execution System
MGIMO – Moscow State Institute of International Relations
MICMAC – Matrice D’Impacts Croisés Multiplication Appliqué à un Classement

MIIT – Ministry of Industry and Information Technology
ML – Machine Learning
MNE – Multinational Enterprise
MR – Mixed Reality ou Realidade Mista
MSCRI – The Management System of the Central Research Institute
MVAIC – Modified ValueAdded Intellectual Capital
NEOMA – Nouveau Management
NIHS – Not-Invented-Here Syndrome
NIST – National Institute of Standards and Technology
NITIE – National Institute of Industrial Engineering
NMIMS – Narsee Monjee Institute of Management Studies
OA – Organizational Ambidexterity
OCI – Organizational Culture Index
OLAP – Online Analytical Processing
OLTP – Online Transaction Processing
ORR – Order Review and Release
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PCA – Principal Component Analysis
PLC – Programmable-logic Controllers
PLM – Product Life-cycle Management
POM – Production and Operations Management
PPC – Production Planning and Control
PPP – Parceria Público-Privada
PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PUCPR – Pontificia Universidade Católica do Paraná
q-ROFSs – q-Rung Orthopair Fuzzy Sets
RA – Reasons Against
RAMI4.0 – Reference Architectural Model Industrie 4.0
RC – Relational Capital
RF – Reasons For
RFID – Radio-Frequency IDentification
RH – Recursos Humanos
RIE – Research, Innovation and Enterprise
RME – Responsible Management Education
RMIT – Royal Melbourne Institute of Technology
SAARC – South Asian Association for Regional Cooperation
SAC – Standardization Administration of the People's Republic of China
SC – Structural Capital
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition System
SCAI – Socio-Cultural Artificial Intelligence
SCM – Supply Chain Management
SDA-M – Structural Dimensional Analysis-Motoric
SDO – Standards Development Organizations
SEM – Structural Equation Modeling
SLR – Systematic Literature Review
SME – Smart Manufacturing Ecosystem
SMEs – Small and Medium-sized Enterprise

SOA – Service-oriented Architecture
SPS – Systematic Problem Solving
STARA – Smart Technology, Artificial intelligence, Robotics, Algorithms
STEM – Science, Technology, Engineering and Mathematic
SVM – Support Vector Machine
SWARA – Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
TAC – Technology Absorptive Capacity
TAM – Technology Acceptance Model
T-BKS – Trust-based Behaviour Knowledge Space
TCT – Transaction Cost Theory
TEIs – Technical Education Institutes
TI – Tecnologia da Informação
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
TM – Talent Management
TOE – Technology- Organisation- Environment
TOPSIS – Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
TPB – Theory of Planned Behaviour
TPI – Technological Process Innovation
TRA – Theory of Reasoned Action
UBI – Universal Basic Income
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos
UiS – Universitetet i Stavanger
UTAUT – Unified Theory of Acceptance and Use of Technology
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAIC – Value Added Intellectual Capital
VC – Value Creation
VR – Virtual Reality ou Realidade Virtual
WIL – Work Integrated Learning
WM – Workflow Management
WoS – *Web of Science*
WSN – Wireless Sensor Network
WWW – World Wide Web
XAI – Explainable Artificial Intelligence
XR – eXtended Reality ou Realidade Estendida
ZMET – Zaltman Metaphor Elicitation Technique

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
	2.1 AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A INDÚSTRIA 4.0.....	22
	2.2 RECURSOS HUMANOS E FATORES DE CONTEXTO.....	48
	2.2.1 Recursos Humanos	50
	2.2.1.1 <i>Gestão de Recursos Humanos (GRH)</i>	51
	2.2.1.2 <i>Comportamento Humano nas Organizações (CHO)</i>	54
	2.2.1.3 <i>Relações de Trabalho</i>	57
	2.2.2 Fatores de Contexto	70
3	METODOLOGIA	83
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	90
	4.1 A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE A INDÚSTRIA 4.0.....	90
	4.2 RECURSOS HUMANOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.....	109
	4.2.1 Cluster 1 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0	123
	4.2.1.1 <i>Future</i>	123
	4.2.1.2 <i>4th Industrial Revolution</i>	126
	4.2.1.3 <i>Employment</i>	126
	4.2.1.4 <i>Work</i>	130
	4.2.1.5 <i>Skills</i>	131
	4.2.1.6 <i>Competences</i>	134
	4.2.1.7 <i>Supply Chain Management</i>	137
	4.2.1.8 <i>Capabilities</i>	137
	4.2.1.9 <i>Digitalization</i>	138
	4.2.1.10 <i>Human Factors</i>	138
	4.2.1.11 <i>COVID-19</i>	141
	4.2.2 Cluster 2 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0	144
	4.2.2.1 <i>Industry 4.0</i>	145
	4.2.2.2 <i>Technology</i>	149
	4.2.2.3 <i>Systems</i>	150

4.2.2.4 <i>Information</i>	152
4.2.2.5 <i>Implementation</i>	152
4.2.2.6 <i>Technological Innovation</i>	153
4.2.2.7 <i>Knowledge</i>	154
4.2.3 Cluster 3 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0	155
4.2.3.1 <i>Innovation</i>	155
4.2.3.2 <i>Performance</i>	159
4.2.3.3 <i>Management</i>	160
4.2.3.4 <i>Artificial Intelligence (AI)</i>	161
4.2.3.5 <i>Impact</i>	169
4.2.3.6 <i>Creativity</i>	169
4.2.3.7 <i>Human-resource Management</i>	170
4.2.3.8 <i>Intellectual Capital</i>	173
4.2.3.9 <i>Determinants</i>	179
4.2.4 Cluster 4 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0	180
4.2.4.1 <i>Challenges</i>	181
4.2.4.2 <i>Big data</i>	183
4.2.4.3 <i>Supply Chain</i>	184
4.2.4.4 <i>Smart</i>	186
4.2.4.5 <i>Knowledge Management</i>	188
5 CONCLUSÕES	192
REFERÊNCIAS	203
APÊNDICE A – Categorias <i>Web of Science</i> Seleccionadas	214
APÊNDICE B – Categorias <i>Web of Science</i> Dispensadas	217
APÊNDICE C – Artigos Seleccionados	228

1 INTRODUÇÃO

O termo “Indústria 4.0” surgiu pela primeira vez em abril de 2011, na Hannover Messe, que é a principal feira de automação industrial alemã. Na cerimônia de abertura do evento, o diretor e CEO do Centro Alemão de Pesquisa em Inteligência Artificial, Professor Wolfgang Wahlster, conclamou os presentes a estarem preparados para uma nova revolução industrial, impulsionada pela *Internet*. O governo alemão, então, constituiu um Grupo de Trabalho e institucionalizou a *Plattform Industrie 4.0* com o objetivo de transformar ideias em produtos e serviços inovadores, bem como fortalecer a Alemanha como uma das principais nações industriais e exportadoras. Liderado pela Academia Alemã de Ciências e Engenharia (Acatech), o grupo de trabalho identificou os principais requisitos e ações de pesquisa de médio e longo prazos, e as recomendações foram consolidadas e apresentadas em um relatório final, divulgado em abril de 2013. Em janeiro de 2016, a 46ª reunião anual do Fórum Econômico Mundial, realizada em Davos, na Suíça, também teve como tema “Dominando a Quarta Revolução Industrial”.

De 2011 até hoje, a Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial tem, cada vez mais, chamado a atenção de empresas, governos, organizações internacionais, academia e sociedade, com a promessa de promover um impacto mais profundo e exponencial do que o visto nas revoluções industriais anteriores, que permitirá a fusão dos mundos físico, digital e biológico ao conectar equipamentos, sensores, ferramentas analíticas e pessoas de formas cada vez mais engenhosas.

A discussão em torno das tecnologias emergentes e da nova realidade imposta pela Indústria 4.0 apresenta certo otimismo, mas também uma reflexão sobre as consequências das inovações tecnológicas que, sozinhas, não transformarão as empresas. Ao longo de décadas, organizações têm presenciado avanços tecnológicos e administrativos nos níveis operacional, tático e estratégico por meio de práticas inovadoras em áreas como operações, gestão de pessoas, finanças, estratégia, *marketing*, sustentabilidade, entre outras. São as mudanças nos processos, aliadas à tecnologia e à criatividade dos empregados, que têm o poder de influenciar e gerar impacto nas organizações.

Em geral, inovações geram fascínio não só pela inventividade humana, mas pelo fato de simplificarem as tarefas cotidianas. Há uma tendência natural de superestimar os impactos de curto prazo da tecnologia, com um entusiasmo que destaca mais os aspectos favoráveis do que os desfavoráveis, designada como Lei de Amara. Sob efeito do modismo, as implicações de

longo prazo nem sempre são totalmente consideradas. Certamente não se trata de tentar “profetizar” as possíveis consequências da implementação de inovações tecnológicas, uma tarefa difícil de ser realizada, mas de considerar o que elas podem ser e como podem se manifestar.

A Indústria 4.0 surgiu, entre outras razões, para tratar de questões relacionadas à produtividade humana, bem como à impossibilidade de exigir que os empregados se dediquem e gerem resultados ainda maiores. Um ciclo se esgotou, e seus limites foram atingidos. Assim, o novo paradigma preconiza que os erros humanos podem diminuir, a produtividade pode aumentar, e a própria presença humana pode perder importância à medida que se torna auxiliar da matriz tecnológica que surge na nova era digital. Enquanto a academia, os profissionais do mercado e as grandes corporações vêm estudando os aspectos técnicos e tecnológicos da Indústria 4.0, o estudo dos recursos humanos nesse contexto permanece limitado.

A digitalização está mudando a configuração de empregos e locais de trabalho em todo o mundo, e a Quarta Revolução Industrial apresenta não apenas oportunidades, mas também riscos e desafios. O capital humano, com o conhecimento e as habilidades necessárias, é o principal mecanismo através do qual qualquer empresa pode obter uma vantagem competitiva e influenciar seu desempenho geral. Os fatores humanos são elementos críticos das habilidades da Indústria 4.0 necessárias para o futuro, não apenas para garantir que os trabalhadores possam usar novas tecnologias com eficácia e confiança, mas também para sobreviver e prosperar em um local de trabalho em rápida mudança. O elemento mais valioso e crucial são as pessoas, que possuem o conhecimento para conceber e implementar novas formas de criar valor com as tecnologias emergentes, destacando o valor único de adaptação e criatividade humanas no contexto da Indústria 4.0.

Em que pese a Indústria 4.0 sinalizar, há mais de uma década, para uma transformação nas práticas e modelos de negócios dominados por tecnologias digitais, ainda não se tem clareza sobre o tema e seus construtos, e a iniciativa germânica não é a única e nem a com maior volume de recursos aplicados mundo afora. Há, por exemplo, diferentes denominações para algumas ideias comparáveis em regiões fora da Alemanha — *Internet Industrial*, *Manufatura Avançada*, *Indústria Integrada*, *Indústria Inteligente* e *Manufatura Inteligente* são algumas delas —, e a compreensão da Indústria 4.0, que envolve disciplinas como ciência da computação, engenharia, ciência política, sociologia e economia, ainda não permitiu que se chegasse a um consenso. Conceitos como “Transformação Digital”, “Indústria 4.0” e “Quarta Revolução Industrial”, para alguns autores, são inter-relacionados, porém, em certa medida, distintos.

Dado o ritmo acelerado das mudanças tecnológicas, econômicas e sociodemográficas, torna-se imperativo compreender a essência dessa Quarta Revolução Industrial, seus conceitos centrais e explorar seus possíveis impactos futuros. Esta exploração vai além dos avanços tecnológicos e se estende para abranger a gestão de recursos humanos, comportamento organizacional e relações de trabalho. Ao compreender esses aspectos, as organizações podem efetivamente se adaptar e evoluir para enfrentar os desafios futuros.

Ante o exposto, o estudo em tela propõe o seguinte problema de pesquisa: quais temas relacionados a recursos humanos têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0?

Para aclarar tal problema, foram traçados objetivos geral e específicos. O objetivo geral é identificar e apresentar os temas relacionados a recursos humanos que têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0.

Em termos de objetivos específicos da pesquisa, enumeram-se:

- Apresentar a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0;
- Identificar, a partir de análise bibliométrica, os temas que têm sido mais estudados no contexto da produção científica sobre a Indústria 4.0;
- Apresentar, entre os temas identificados, aqueles relacionados a recursos humanos que têm sido abordados no contexto da Indústria 4.0.

Haja vista a concentração de estudos relativos à Indústria 4.0 nas áreas de engenharia, matemática, probabilidade, estatística e ciência da computação, a presente pesquisa apresenta relevância teórica para as ciências humanas e para as ciências sociais aplicadas, particularmente em ciência política, relações internacionais, educação, psicologia, sociologia, administração, ciências contábeis, comunicação, direito e economia, entre outras, ao buscar aporte teórico para os conceitos da Indústria 4.0 e os impactos de sua adoção, bem como o potencial de estimular mais pesquisas sobre esse tema nos referidos campos.

A relevância prática, no caso das organizações, é que o estudo sobre a Indústria 4.0 pode ajudar a entender como se dará a sua implementação e como serão articulados fatores tecnológicos e humanos, e qual será a relação destes com os fatores de contexto, tais como processos e estrutura, o que pressupõe entender como os modelos de negócios deverão ser adequados e transformados em sistemas de produção híbridos, reunindo homens e máquinas, estas cada vez mais capazes, conectadas e inteligentes, com estruturas enxutas e hierarquias mais flexíveis que requerem menor envolvimento humano. Uma empresa que pretenda adotar uma perspectiva mais centrada no ser humano no contexto da Indústria 4.0 deve, ao longo do

processo de implementação, considerar fatores como bem-estar da sociedade; bem-estar dos trabalhadores abrangendo segurança, estresse físico e estresse mental; integração de princípios de *design* centrados no usuário em sistemas de fabricação e trabalho; e aplicação ética e responsável da tecnologia (IETTO *et al.*, 2022).

Para a gestão de recursos humanos e de pessoas, em particular, será necessário repensar boa parte de políticas e práticas, como: a formação para o trabalho com máquinas e em colaboração com elas; a habilidade de resolução de problemas complexos; o desenvolvimento de competências sociais e criativas; a tomada de decisão em situações de incerteza; as novas formas de medir e recompensar; e as novas estratégias de atração e retenção de talentos, entre vários outros tópicos relevantes. Segundo Liboni *et al.* (2019, p. 137), a “cola” desse novo sistema é a Gestão de Recursos Humanos, o que implicará mudanças na forma como as pessoas se relacionam (*human to human*), como se relacionam com o novo modelo de negócios e como se relacionam com as inovações e tecnologias emergentes nesta nova indústria de manufatura inteligente (*human to organization* e *human to technology*). Para as autoras, faz-se necessário investigar novos modelos de seleção e recrutamento, técnicas de avaliação de desempenho e competências emergentes, bem como explorar novos papéis de trabalho e os conjuntos de habilidades que eles exigem.

A possibilidade de antecipar impactos em governos, economia, negócios, sociedade e indivíduos pode facilitar a transição e ajudar na reformulação das estruturas econômicas, sociais e organizacionais, de forma a promover resultados mais positivos do que negativos. Especialmente nas organizações, abordar e lidar com o tópico da Indústria 4.0 em termos gerais — antes de investir em tecnologias específicas, parcerias estratégicas ou qualificação de empregados — será de grande valor, de forma a auxiliar no planejamento e implementação de iniciativas voltadas à integração, ao controle e à conexão entre máquinas, sistemas, processos e pessoas, possibilitando a migração de um modelo industrial tradicional para a Indústria 4.0. Ademais, existe uma oportunidade de investigar variações entre países, pois o grau de automação em cada nação influencia inerentemente o ritmo das transformações organizacionais em direção à Indústria 4.0. Além disso, as repercussões sociais e tecnológicas dessa revolução industrial se manifestam de forma singular em diferentes países, constituindo um terreno fértil para a realização de pesquisas aprofundadas sobre o assunto (LIBONI *et al.*, 2019).

Destarte, a finalidade deste estudo também passa por entender o que está motivando empresas e governos na corrida pela implementação da Indústria 4.0 e se haverá mais ganhadores do que perdedores, uma vez que a competição é por inovação, custo e tempo.

Outrossim, é fundamental saber o tempo e o alcance em que o efeito capitalizador (de criação de novas vagas) prevalecerá sobre o efeito destruidor, e qual será a velocidade dessa substituição, bem como quais serão as tratativas em relação à desigualdade, segurança, identidade, a vieses de algoritmos e outras possíveis disfuncionalidades.

Segundo Morgan (2018b), citado por Morgan (2019):

[...] embora a sensação de que a tecnologia possibilite liberar o trabalhador do trabalho esteja agora na agenda dos aceleracionistas de esquerda [...] o foco principal da política continua a ser dominado por um conjunto mais orientado a negócios e convencional de preocupações capitalistas com o crescimento e a rentabilidade da empresa. Nessa perspectiva, as preocupações dos trabalhadores, a sociologia do trabalho e as questões mais amplas da tecnologia na sociedade são periféricas ou adicionais (MORGAN, 2019, p. 19). O enquadramento da política, portanto, não é neutro. Absorve o conceito da Quarta Revolução Industrial de acordo com lógicas de mercado que permitem ao governo limitar sua responsabilidade de moldar o futuro, mesmo que continue a anunciar o potencial. [...] Pode-se chegar ao ponto de sugerir que um fracasso da política pública torna os resultados piores mais prováveis e, portanto, um rasteiro “o futuro está chegando, então é melhor você se acostumar com ele” está fazendo pouco para moldar proativamente o futuro no interesse dos trabalhadores de amanhã, se houver trabalhadores amanhã (MORGAN, 2018b *apud* MORGAN, 2019, p. 20).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A INDÚSTRIA 4.0

Essa transição, que envolveu a mudança da caça/coleta para a agricultura estabelecida, foi chamada de Revolução Neolítica por V. Gordon Childe e foi corretamente comparada em importância à Revolução Industrial. Ambas as épocas testemunharam aumentos marcantes no controle do homem sobre a natureza, uma habilidade que lhe permitiu sustentar uma população maior, assegurar padrões de vida mais elevados e criar no processo civilizações complexas (NORTH; THOMAS, 1977, p. 229).

Há aproximadamente 300 anos, ocorreu uma mudança radical na inovação — a Revolução Industrial, que se estendeu em ondas (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Três etapas revolucionárias, ou seja, três revoluções industriais foram experimentadas. Mais recentemente, a manufatura está à beira da Quarta Revolução Industrial.

Para Xu, Xu e Li (2018, p. 2943), a evolução da Indústria 1.0 para a Indústria 4.0 se deu a partir da Primeira Revolução Industrial ou “era do vapor”, seguida da Segunda Revolução Industrial ou “era da eletricidade”, acompanhada pela Terceira Revolução Industrial ou “era da informação”, e, atualmente, pela Quarta Revolução Industrial ou “era dos Sistemas Ciberfísicos”.

A Primeira Revolução Industrial envolveu a mudança nos métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, representada pela introdução de sistemas mecânicos de fabricação utilizando água e energia a vapor, bem como suas derivações: ferrovias, navios a vapor e a mudança do uso de madeira para o uso de ferro e aço. Ela teve um impacto profundo na sociedade, na economia e na cultura do mundo, em um longo processo de inovação que durou cerca de 150 anos, entre 1750 e 1900 (EVANS; ANNUNZIATA, 2012; XU; XU; LI, 2018).

A Segunda Revolução Industrial, também chamada de Revolução Tecnológica, refletiu os efeitos das invenções do final do século XIX e veio depois, em 1870, mas foi ainda mais potente, simbolizada pela produção em massa por meio do uso de energia elétrica, trazendo o motor de combustão interna, eletricidade e uma série de outras máquinas úteis (EVANS; ANNUNZIATA, 2012; XU; XU; LI, 2018).

As duas primeiras revoluções trouxeram consigo uma profunda transformação no transporte (da carruagem e do veleiro para as ferrovias, barcos a vapor e caminhões); na comunicação (telefone e telégrafo); nos centros urbanos (eletricidade, água encanada, saneamento e remédios) e transformou dramaticamente os padrões de vida e as condições de saúde (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Vários expedientes importantes caracterizaram este

período: houve a ascensão da grande empresa industrial, abrangendo desde novas indústrias têxteis e de aço à produção de energia; foram criadas economias de escala significativas, e houve redução correspondente nos custos conforme as máquinas e frotas ficaram maiores e os volumes de produção aumentaram; foram aproveitadas as eficiências das estruturas hierárquicas, com centralização do controle.

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Digital ou Revolução da *Internet*, começou depois da II Guerra e continua até hoje, com a conversão da tecnologia de formato analógico para o formato digital e com a introdução da automação e da tecnologia microeletrônica na manufatura, estando associada às tecnologias da informação e comunicação, mas em uma esfera relativamente mais estreita da atividade humana. Sua primeira fase começou na década de 1950 com grandes computadores de estrutura principal, *software* e a invenção de “pacotes de informação” que permitiam aos computadores se comunicarem uns com os outros. Na década de 1970, essas redes privadas e governamentais fechadas deram lugar a redes abertas e ao que hoje chamamos de *World Wide Web* (WWW). Tais abertura e flexibilidade da rede foram os elementos-chave que criaram a base para seu crescimento explosivo, com aumento dramático da velocidade e do volume das informações transmitidas. A combinação de velocidade e volume criou plataformas poderosas para comércio e intercâmbio social, reduzindo o custo das transações comerciais e interações sociais. Assim, o avanço das tecnologias da informação e comunicação estava no centro de todas as grandes mudanças do paradigma de fabricação (XU; XU; LI, 2018).

Pode-se dizer que as qualidades da Revolução da *Internet* foram muito diferentes da Revolução Industrial: a *Internet*, a computação e a capacidade de transmitir e receber grandes quantidades de dados foram construídas sobre a criação e valorização de redes, estruturas horizontais e inteligência distribuída. A capacidade de trocar informações rapidamente e descentralizar a tomada de decisões gerou ambientes de trabalho mais colaborativos que não são limitados pela geografia. Como consequência, os modelos mais antigos de inovação interna centralizada cederam espaço para *startups* e modelos de inovação mais abertos que aproveitam um ambiente de conhecimento mais abundante. Assim, em vez de intensiva em recursos, a Revolução da *Internet* tem sido intensiva em informação e conhecimento (EVANS; ANNUNZIATA, 2012).

Essas três primeiras revoluções industriais fizeram da competição tecnológica o cerne do desenvolvimento econômico (GORDON, 2017). Evans e Annunziata (2012) afirmam que a produtividade e o crescimento econômico se intensificaram expressivamente nos quase 300

anos desde a Primeira Revolução Industrial, mas, a partir da década de 1970, os autores relatam que o crescimento da produtividade nos Estados Unidos, então na “fronteira” da produtividade, fracassou. Mais recentemente, houve uma nova variação na inovação. Seu impacto na produtividade foi ainda mais forte, mas pareceu perder força depois de apenas dez anos, por volta de 2005. Há estudiosos que reconhecem que as empresas e as economias se beneficiaram significativamente das ondas anteriores de inovação, mas estão pessimistas quanto ao potencial de crescimento futuro da produtividade. Em seu artigo, Evans e Annunziata (2012) são otimistas e examinam o potencial para uma nova onda de ganhos de produtividade.

Em que pese a Terceira Revolução Industrial também ter focado na automação de máquinas e processos (TAN *et al.*, 2010 *apud* XU; XU; LI, 2018), a Indústria 4.0 foca mais na digitalização de ponta a ponta e na integração de ecossistemas industriais digitais buscando soluções totalmente integradas (XU; XU; LI, 2018). A Indústria 4.0 está intimamente relacionada com Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-physical Systems – CPS*), *Internet das Coisas (Internet of Things – IoT)*, Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Arquitetura Corporativa (*Enterprise Architecture – EA*), Integração Corporativa (*Enterprise Integration – EI*), Computação em Nuvem, Gerenciamento de Processos de Negócios (*Business Process Management – BPM*), entre outros temas (LU, 2017; XU; XU; LI, 2018), sendo que a introdução dos CPS será uma das mudanças mais revolucionárias da Quarta Revolução Industrial.

Assim, a Quarta Revolução Industrial, diferentemente das anteriores, que só receberam esse nome depois de já terem ocorrido, foi decretada. O termo Indústria 4.0 (em que 4.0 representa a Quarta Revolução Industrial) foi anunciado pela primeira vez na Feira de Hannover na Alemanha, em 2011, pelo Grupo de Promotores de Comunicação da *Industry-Science Research Alliance*, que foi convocado e organizado pelo Ministério da Educação e Pesquisa daquele país, tendo sido adotado por meio do Plano de Ação *High-Tech Strategy 2020*, que abrange dez “Projetos Futuros” identificados pelo governo alemão, sendo eles: cidades neutras em CO², energeticamente eficientes e adaptadas ao clima; biomateriais renováveis como alternativa ao petróleo; reestruturação inteligente do fornecimento de energia; tratamento de doenças de forma mais eficaz com a ajuda da medicina personalizada; melhoria da saúde através de prevenção direcionada e uma dieta otimizada; viver uma vida independente até a velhice; mobilidade sustentável; serviços baseados na *web* para empresas; identidades seguras; e a Indústria 4.0 (LYDON, 2014). Este último projeto foi institucionalizado com a “*Plattform Industrie 4.0*”, que agora serve como um ponto central de contato para os formuladores de

políticas. O objetivo é transformar ideias em produtos e serviços inovadores, fortalecendo a Alemanha como uma das principais nações industriais e exportadoras (DRATH; HORCH, 2014; KAGERMANN *et al.*, 2016; LIAO *et al.*, 2017). O relatório final do grupo de trabalho da Indústria 4.0, que contém a visão, os recursos de integração, as áreas prioritárias de ação e os exemplos de aplicações para a Quarta Revolução Industrial, só foi publicado em 2013 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013 *apud* LIAO *et al.*, 2017).

Na Alemanha, o termo Indústria 4.0 designa a combinação de métodos de produção com tecnologia de informação e comunicação de última geração que permite a produção de itens únicos com qualidade e a um preço igual ao dos produtos produzidos em massa. Sistemas inteligentes, conectados digitalmente, e processos de produção servem de base técnica para isso. Assim, todo o ciclo de vida de um produto é definido: do conceito ao desenvolvimento, fabricação, uso e manutenção — até a reciclagem. As unidades de produção — ferramentas, máquinas ou veículos de transporte — anteriormente passivas são equipadas com “olhos e ouvidos” digitais (sensores) e “mãos e pés” (chamados de atuadores, dispositivos que convertem energia elétrica em movimento mecânico) e são controladas a partir de um local central através de sistemas de tecnologia da informação. Isso se deve ao fato de que computadores e sensores estão se tornando cada vez menores, podem ser produzidos a preços cada vez mais baixos e que há conexões de banda larga disponíveis que permitam o compartilhamento e a análise de quantidades cada vez maiores de dados, tudo acontecendo de forma mais rápida e eficiente do que antes (BMW-K-FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMICS AFFAIRS AND CLIMATE ACTION, 2023).

A Indústria 4.0 tem empolgado tanto acadêmicos quanto governos e empresas e hoje é globalmente relacionada ao uso de tecnologias da *Internet* para melhorar a eficiência da produção por meio de serviços inteligentes em fábricas inteligentes (LIAO *et al.*, 2017; LU, 2017; SISINNI *et al.*, 2018). Uma explicação para a Indústria 4.0 estar em voga diz respeito ao fato de as capacidades das máquinas não estarem sendo totalmente realizadas, com ineficiências que ainda persistem e cuja complexidade ultrapassa a capacidade de identificá-las e diminuí-las por humanos. Esses fatores criam incentivos para a aplicação de novas soluções decorrentes de inovações baseadas na *Internet* industrial. Os sistemas de computação, informação e telecomunicações podem agora suportar instrumentação, monitoramento e análise generalizada (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Essa nova onda de inovação promete mudar a forma como são feitos negócios e a interação com o ambiente de máquinas industriais, transformando o mundo mais uma vez. A fusão do sistema industrial global, que se tornou possível como

resultado da Revolução Industrial, com os sistemas abertos de computação e comunicação desenvolvidos como parte da Revolução da *Internet* abre novas fronteiras para acelerar a produtividade, reduzir a ineficiência e o desperdício e melhorar a experiência de trabalho humana. Dispositivos inteligentes, sistemas inteligentes e decisões inteligentes representam as principais maneiras pelas quais o mundo físico de máquinas, instalações, frotas e redes pode se fundir mais profundamente com a conectividade, *big data* e análises do mundo digital. A Quarta Revolução Industrial promete, então, ter um impacto mais profundo e exponencial e se diferencia das demais exatamente por permitir a fusão dos mundos físico, digital e biológico, conectando equipamentos, sensores, ferramentas analíticas e pessoas de formas cada vez mais engenhosas.

Além dos termos Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial, há outras denominações para algumas ideias comparáveis em regiões fora da Alemanha, tais como *Internet Industrial*, *Manufatura Avançada*, *Indústria Integrada*, *Indústria Inteligente*, *Manufatura Inteligente*.

O conceito de *Internet industrial*, do inglês *Industrial Internet of Things* (IIoT), foi introduzido em 2012 pela General Electric, com três principais componentes: equipamentos inteligentes, sistemas inteligentes e tomada de decisão inteligente. A organização mais relevante que se alinha a este conceito é o *Industrial Internet Consortium* (IIC), formado em 2014 por empresas como AT&T, Cisco, Intel e IBM, além da própria GE. O consórcio dispõe-se a prover recursos, ideias, projetos-piloto e atividades sobre tecnologias IIoT — e sobre a segurança dessas tecnologias. A proposta é que uma rede de máquinas, materiais, trabalhadores e sistemas possa alcançar a fábrica inteligente na Indústria 4.0 (ZHONG *et al.*, 2017).

O próprio governo dos Estados Unidos, desde 2011, já vinha conduzindo discussões, ações e recomendações intituladas “*Advanced Manufacturing Partnership* (AMP)” para garantir que aquele país estivesse preparado para liderar a próxima geração de manufatura (REIF; JACKSON; LIVERIS, 2014 *apud* LIAO *et al.*, 2017).

A União Europeia anunciou a disponibilização de cerca de €80 bilhões de financiamento para um programa de pesquisa e inovação, o Horizonte 2020, que é uma parceria público-privada (PPP) contratual sobre Fábricas do Futuro (*Factories of Future* – FoF). O roteiro plurianual das Fábricas do Futuro para os anos de 2014 a 2020 foi direcionado a tecnologias de fabricação de alto valor agregado para as fábricas do futuro, “que serão limpas, de alto desempenho, ecológicas e socialmente sustentáveis”, e foi consensado a partir de extensa consulta pública com todas as partes interessadas, em todo o continente europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2016 *apud* ZHONG *et al.*, 2017, p. 624).

A França passou por uma revisão estratégica em 2013, denominada “*La Nouvelle France Industrielle*”, na qual 34 iniciativas setoriais foram definidas como prioridades da política industrial francesa (CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE, 2013 *apud* LIAO *et al.*, 2017).

O “*Future of Manufacturing*”, plano do Reino Unido lançado em 2013, delineia um cenário de longo prazo para o setor manufatureiro inglês até o ano de 2050, com uma política reorientada e reequilibrada para apoiar o crescimento e a resiliência da manufatura do Reino Unido nas próximas décadas (FORESIGHT, 2013 *apud* LIAO *et al.*, 2017, p. 3610).

Em 2014, o governo da Coreia do Sul anunciou a “*Innovation in Manufacturing 3.0*” que enfatizou quatro estratégias principais para impulsionar a manufatura coreana (KANG *et al.*, 2016 *apud* LIAO *et al.*, 2017). O cerne da iniciativa era a conversão de mais de 10.000 fábricas, até 2020, em *Smart Factories* fundadas na convergência de TI, *software* e IoT (SUK-YEE, 2015).

Em 2015, o Japão estreou sua Iniciativa de Cadeia de Valor Industrial (*Industrial Value Chain Initiative – IVI*) visando conectar negócios via *Internet*, a exemplo da “*Plattform Industrie 4.0*” alemã. Empresas como Mitsubishi Electric, Fujitsu, Nissan Motor e Panasonic fazem parte da iniciativa. O fórum pretende criar um espaço colaborativo entre as empresas, num total de 30 participantes, e propõe reflexões sobre como a manufatura centrada no ser humano mudará com a *Internet* das Coisas. Dois princípios norteiam os trabalhos da IVI: 1. manufatura conectada que crie cadeias de valor inteligentes baseadas tanto na automação quanto na capacidade humana; 2. padrão que promova um modelo adaptável, ou seja, que seja vagamente definido, não rígido (ZHONG *et al.*, 2017).

Também inspirada pela Indústria 4.0, a China lançou, em 2014, a iniciativa “*Made in China 2025*”, projetada para transformar o país de uma oficina mundial em uma potência industrial mundial, acelerando a informatização e a industrialização, e permitindo avanços semelhantes aos da Alemanha e dos Estados Unidos (LI, 2015 *apud* LIAO *et al.*, 2017). A iniciativa chinesa trata da reestruturação de toda a indústria e de torná-la mais competitiva, usando o avanço da tecnologia de produção como apenas um dos instrumentos (EUROPEAN CHAMBER, 2017 *apud* LU, 2017).

Segundo Zhong *et al.* (2017, p. 625), são objetivos dessa iniciativa:

- i. aumentar a capacidade de inovação da manufatura;
- ii. promover uma fusão profunda de informação e industrialização;
- iii. fortalecer a capacidade industrial básica;
- iv. impulsionar a construção da marca chinesa de qualidade;
- v. promover a fabricação ecológica;
- vi. permitir avanços em setores-chave;
- vii. pressionar uma maior

reestruturação da indústria manufatureira; viii. encorajar uma manufatura avançada voltada para serviços e indústrias de serviços relacionados à manufatura; e ix. aumentar o envolvimento internacional na fabricação.

Em 2015, o governo japonês adotou o “5th *Science and Technology Basic Plan*”, no qual foi dada atenção especial ao setor manufatureiro para a realização de sua líder mundial “*Super Smart Society*”, que pretende mudar o foco de “solução de questões sociais” para “criação de um futuro melhor” (GABINETE, 2015 *apud* LIAO *et al.*, 2017).

O Plano RIE 2020 (*Research, Innovation and Enterprise*), de Singapura, é de 2016. Há oito indústrias principais já avançadas no domínio de manufatura e engenharia, e, para o plano, serão destinados cerca de US\$ 19 bilhões (NATIONAL RESEARCH FOUNDATION, 2016 *apud* LIAO *et al.*, 2017).

Fica evidente que não só governos, mas também empresas reunidas em consórcios, têm planos industriais e estão investindo pesadamente em projetos relacionados às tecnologias capacitadoras da *Internet* industrial. Além das já mencionadas empresas estadunidenses AT&T, Cisco, General Electric, IBM e Intel, que se associaram no “*Industrial Internet Consortium* (IIC)” (EVANS; ANNUNZIATA, 2012), outras grandes empresas como Siemens, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric e Emerson Electric trabalham e investem em conjunto para catalisar e coordenar as prioridades da Indústria 4.0 (LIAO *et al.*, 2017).

A compreensão da Indústria 4.0 envolve várias disciplinas — ciência da computação, engenharia, ciência política, sociologia e economia, entre outras — o que explica ainda não haver uma definição uniforme sobre ela (WILKESMANN; WILKESMANN, 2018). Também Lu (2017, p. 2) entende não haver, até o momento, uma definição de Indústria 4.0 adotada por unanimidade. Lasi *et al.* (2014, p. 240) afirmam que o termo “Indústria 4.0” refere-se, coletivamente, a uma ampla gama de conceitos atuais, cuja classificação clara a respeito de uma disciplina, bem como sua distinção precisa, não é possível em casos individuais. Destarte, estudiosos definiram o fenômeno da Quarta Revolução Industrial a partir de diversas perspectivas.

Cintra *et al.* (2019, p. 116) analisaram os conceitos de forma distinta, alegando que a “Indústria 4.0” “se refere a um conjunto tecnológico direcionado a produção”, e a “Quarta Revolução Industrial” apresenta “uma perspectiva composta por três tipos de tecnologias: biológica, digital e física”, sendo que “a categoria digital, que inclui *big data*, *Internet* das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA), é relacionada mais diretamente ao que se

convencionou chamar de Transformação Digital, que influencia de forma significativa elementos organizacionais como cultura, estratégia, processos e estruturas”.

Lu (2017) resume a Indústria 4.0 como um processo de fabricação integrado, adaptado, otimizado, orientado a serviços e interoperável, correlacionado com algoritmos, *big data* e altas tecnologias. Para o autor, o progresso no desenvolvimento da próxima geração de tecnologia de fabricação é que tem impulsionado a Quarta Revolução Industrial.

De acordo com o *Industrial Internet Consortium*, em seu *Fact Sheet* (2013 *apud* LU, 2017, p. 2), a *Internet* industrial é “a integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e *software* em rede, usados para prever, controlar e planejar melhores resultados comerciais e sociais”.

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013 *apud* LU, 2017, p. 2) definem a Indústria 4.0 como “um novo nível de organização e gestão da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos”.

Hermann, Pentek e Otto (2015) entendem não existir uma definição comumente aceita do termo “Indústria 4.0”, mas defendem que alguns princípios de *design*, derivados de quatro componentes básicos da Indústria 4.0, podem apoiar os acadêmicos na identificação, descrição e seleção de cenários para essa Quarta Revolução Industrial, sendo eles: sistemas cibernéticos físicos (*cyber-physical systems*, do inglês, ou *cyber-physikalische systeme*, do alemão, ou CPS); *Internet* das coisas (*Internet of things*, do inglês, ou *Internet der dinge*, do alemão, ou IoT); *Internet* dos serviços (*Internet of services*, do inglês, ou *Internet der dienste*, do alemão, ou IoS); fábrica inteligente (*smart factory*).

Para Lu (2017, p. 6), “computação móvel, computação em nuvem, *big data* e IoT são as principais tecnologias da Indústria 4.0”. Já na visão de Hermann, Pentek e Otto (2015), a comunicação máquina-a-máquina (M2M) e os produtos inteligentes, bem como o *big data* e a computação em nuvem, são entendidos como elementos que utilizam os dados gerados nas implementações da Indústria 4.0, mas não como componentes independentes desta. Hermann, Pentek e Otto definem “Indústria 4.0” como um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Dentro das estruturas modulares das fábricas inteligentes da Indústria 4.0, o CPS monitora processos físicos, cria uma cópia virtual do mundo físico e toma decisões descentralizadas. Ao longo da IoT, o CPS se comunica e coopera entre si e com os humanos em tempo real. Por meio da IoS, tanto os serviços internos quanto os transorganizacionais são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor.

No documento de Lasi *et al.* (2014), o termo “Indústria 4.0” descreve um projeto futuro que pode ser definido por duas direções de desenvolvimento. Por um lado, há uma grande atração de aplicativos, o que induz uma necessidade notável de mudanças devido às modificações nas condições operacionais da estrutura. Os gatilhos para isso são mudanças sociais, econômicas e políticas gerais. São eles, em particular: curtos períodos de desenvolvimento (“tempo para o mercado”), individualização sob demanda (também chamado de “tamanho de lote um”), flexibilidade, descentralização, eficiência de recursos (LASI *et al.*, 2014, p. 239). Por outro lado, há um impulso tecnológico excepcional na prática industrial. Esse impulso de tecnologia já influenciou a rotina diária em áreas privadas. No entanto, no artigo desses autores, especialmente em contextos industriais, as tecnologias inovadoras não estão amplamente difundidas. Portanto, abordagens extensas de um impulso de tecnologia, segundo os autores, podem ser identificadas: mecanização e automação ainda maiores, digitalização e rede, miniaturização. Os desenvolvimentos elaborados são bem conhecidos em detalhes, mas no total há o potencial de reverter a prática industrial de forma abrangente. Os conceitos fundamentais, segundo Lasi *et al.*, são fábrica inteligente, sistemas ciberfísicos, auto-organização, novos sistemas de distribuição e aquisição, novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços, adaptação às necessidades humanas, responsabilidade social corporativa. Em que pese o termo “Indústria 4.0” descrever diferentes mudanças nos sistemas de manufatura, principalmente impulsionadas por tecnologia de informação, tais desenvolvimentos não têm apenas implicações tecnológicas, mas também organizacionais versáteis. Como resultado, uma mudança da orientação de produto para serviço, mesmo em indústrias tradicionais, é esperada (LASI *et al.*, 2014).

Drath e Horch (2014) ponderam que a Indústria 4.0 reúne objetos físicos, sua representação virtual e serviços, bem como os aplicativos além deles, sendo a flexibilidade um dos seus principais direcionadores.

De acordo com Piccarozzi, Aquilani e Gatti (2018), a Indústria 4.0 é um domínio muito amplo que inclui processos de produção, eficiência, gerenciamento de dados, relacionamento com consumidores, competitividade etc. Nesse artigo, buscou-se dar uma definição sobre a Indústria 4.0 do ponto de vista gerencial, com base em revisão de literatura, explorando os principais tópicos e as principais lacunas de pesquisa na literatura de administração, com vistas à identificação de futuras possibilidades de análise. Inicialmente, segundo as autoras, a Indústria 4.0 foi associada a processos de automação de produção total e digitalização total. Essa abordagem envolve necessariamente uma mudança radical e inovação nos métodos de

manufatura, sendo que as implicações mais investigadas neste campo são, por exemplo, detalhes dos novos métodos de produção; integração de empresas, fornecedores e clientes; produção enxuta; nova qualificação de trabalhadores; novas práticas gerenciais; e processos logísticos. O segundo tema emergente da revisão da literatura foi o estudo de novos modelos de negócios, com contribuições mais significativas acerca dos impactos das novas tecnologias introduzidas pela Indústria 4.0 na criação e/ou adaptação de modelos de negócios novos ou existentes (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018). Praticamente, não houve, nos artigos analisados pelas autoras, a identificação de pontos fortes ou fracos ou de efeitos negativos da Indústria 4.0, mas foi percebida uma tendência a superestimar os benefícios de Indústria 4.0, como comumente ocorre com uma nova abordagem. São dignas de destaque as novas habilidades exigidas para operar no novo campo tecnológico, seja para os empregados em geral, seja para o nível gerencial, como também a importância da motivação do pessoal envolvido. Como as autoras colocam a estratégia no centro da definição da Indústria 4.0, as diferentes mentalidades, orientação, abertura e habilidades da alta administração são cruciais e certamente merecem mais atenção na literatura. Também aqui, a Indústria 4.0 é descrita pelas autoras como um novo tema de estudo, e, por conseguinte, as disciplinas envolvidas ainda não definiram seus limites, mas é possível afirmar que os aspectos técnicos da Indústria 4.0 são mais estudados e gozam de maior detalhamento na literatura, notadamente métodos de produção, em vez de outras questões que ainda merecem mais atenção, por exemplo, estratégia, modelos de negócios, sustentabilidade, recursos humanos, inovação social etc.

Como já apresentado neste estudo, a *Internet* industrial reúne os avanços de duas revoluções transformadoras — os relativos à Revolução Industrial e aqueles trazidos à tona pela Revolução da *Internet*. Juntos, esses desenvolvimentos reúnem três elementos, que incorporam a essência da *Internet* industrial: máquinas inteligentes, que conectam máquinas, instalações, frotas e redes do mundo com sensores, controles e aplicativos de *software* avançados; *advanced analytics*, que combina o poder da análise baseada em física, algoritmos preditivos, automação e profundo conhecimento de domínio; e pessoas no trabalho, que estão conectadas no trabalho ou em trânsito, a qualquer momento, para oferecer suporte a projetos, operações, manutenção mais inteligente e maior qualidade e segurança de serviço. A incorporação de sensores e outra instrumentação avançada em uma série de máquinas, das mais simples às altamente complexas, permite a coleta e análise de uma enorme quantidade de dados (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Os benefícios esperados desse casamento entre máquinas e análises podem ser múltiplos e significativos.

A *Internet* industrial exigirá a implementação de um conjunto de capacitadores e catalisadores principais. Para que haja equipamentos inteligentes, será necessário esforço sustentado em inovação tecnológica, juntamente a investimentos, para implantar sensores, instrumentação e sistemas de interface de usuário necessários; para que haja sistemas inteligentes, exige-se infraestrutura robusta de segurança cibernética, bem como abordagens para gerenciar vulnerabilidades e proteger informações confidenciais e propriedade intelectual; e para que haja tomada de decisão inteligente, deve-se desenvolver um grupo de talentos, incluindo novas funções transversais que combinam engenharia mecânica e industrial em novos “engenheiros mecânicos digitais”, cientistas de dados para criar as plataformas analíticas e algoritmos e especialistas em *software* e segurança cibernética (EVANS; ANNUNZIATA, 2012, p. 4).

Assim, o primeiro passo na Quarta Revolução Industrial passa pelo fornecimento de instrumentação digital para máquinas industriais. Isso se torna viável a partir da diminuição drástica dos custos de instrumentação; das melhorias contínuas nos *chips* microprocessadores, permitindo dotar as máquinas físicas com inteligência digital; *advanced analytics*, com melhorias em ferramentas de *software* de *big data* e técnicas analíticas fornecendo os meios para entender as grandes quantidades de dados que são gerados por dispositivos inteligentes.

A *Internet* industrial, segundo Evans e Annunziata (2012), pode ser pensada em termos de fluxo e interação de dados, *hardware*, *software* e inteligência. As informações inteligentes também podem ser compartilhadas entre máquinas, redes, indivíduos ou grupos para facilitar a colaboração inteligente e melhorar a tomada de decisão. Cada dispositivo instrumentado produzirá grandes quantidades de dados que podem ser transferidos através da rede para máquinas remotas e usuários. Uma parte importante da implementação da *Internet* industrial envolverá a determinação de quais dados permanecem residentes nos dispositivos e quais dados são transferidos para locais remotos para análise e armazenamento. Conforme evoluem, esses fluxos de dados abastecem um histórico de operações e desempenho que permite aos operadores compreender melhor a condição dos componentes críticos da planta. Dessa maneira, os dados operacionais e a análise preditiva podem ser combinados para evitar interrupções não planejadas e minimizar os custos de manutenção, tornando a implantação generalizada de dispositivos inteligentes potencialmente importante, podendo liberar desempenho adicional e eficiências operacionais (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Os potenciais benefícios dos sistemas inteligentes, de acordo com os estudiosos, são vastos e podem ser atingidos de

diferentes formas, tais como na otimização da rede, na otimização da manutenção, na recuperação do sistema, em forma de aprendizado.

Todo o poder da *Internet* industrial será realizado com um terceiro elemento, a decisão inteligente, quando informações suficientes são coletadas de dispositivos e sistemas inteligentes para facilitar o aprendizado baseado em dados. Este elemento é essencial para lidar com a complexidade crescente de máquinas, instalações, frotas e redes interconectadas. Essas potencialidades facilitarão a capacidade de pessoas e organizações fazerem seu trabalho de maneira mais eficaz. À medida que as peças inteligentes são reunidas, a *Internet* industrial reúne o poder do *big data* com a análise baseada em máquina. Essa maior capacidade de gerenciar e analisar dados em tempo real de alta frequência traz um novo nível de percepção sobre as operações do sistema, cujo resultado é juntar abordagens tradicionais com abordagens híbridas mais recentes que podem alavancar o poder dos dados históricos e em tempo real com análises avançadas específicas do setor (EVANS; ANNUNZIATA, 2012).

Nessa visão otimista, Evans e Annunziata (2012) fazem alusão a oportunidades, sob diversos aspectos. Em uma perspectiva econômica, ressaltam a mudança de foco da otimização do fluxo de mercadorias para o fluxo de informações e fluxos de trabalho de indivíduos, obtendo as informações certas, para a pessoa certa, no momento certo. Contudo, o ritmo do investimento para implantar a *Internet* industrial dependerá da velocidade com que as infraestruturas habilitadoras serão desenvolvidas. Outra perspectiva na escala da *Internet* industrial vem do entendimento da pegada energética associada ao sistema industrial global.

Evans e Annunziata (2012) defendem que a *Internet* industrial pode abrir as portas para uma variedade de benefícios para a economia industrial, com a instrumentação inteligente permitindo a otimização individual da máquina, o que pode levar a melhor desempenho, custos mais baixos e maior confiabilidade. Dado o tamanho da base de ativos envolvida, é esperada uma integração mais ampla de sistemas e subsistemas no nível do produto por meio de dispositivos inteligentes, à medida que os custos de detecção e manuseio de dados caem. No outro extremo do espectro, *softwares* e soluções de gerenciamento corporativo foram amplamente adotados para impulsionar a eficiência organizacional no nível da empresa. Os benefícios desses esforços incluem melhor rastreamento e coordenação de mão de obra, cadeia de suprimentos, qualidade, conformidade e vendas e distribuição em amplas áreas geográficas e linhas de produtos. No entanto, esses esforços às vezes fracassam porque, embora possam rastrear passivamente as operações dos ativos no nível do produto, a capacidade de afetar o

desempenho dos ativos é limitada. Otimizar o sistema para maximizar o desempenho dos ativos e da empresa é o que a *Internet* industrial pretende oferecer.

Em relação aos benefícios do setor industrial, existem temas comuns quanto à redução de risco, eficiência de combustível, maior produtividade do trabalho e ao custo reduzido. Para ilustrar os benefícios da *Internet* industrial em mais detalhes, Evans e Annunziata (2012, p. 19) examinaram uma série de exemplos específicos, destacando como pequenas melhorias, mesmo tão pequenas quanto um por cento, podem gerar enormes economias em todo o sistema quando ampliadas em todo o setor. Os autores dão exemplos de alguns setores como aviação comercial, transporte ferroviário, produção de energia e saúde.

Em termos dos ganhos em toda a economia, destaca-se a produtividade, considerada por Evans e Annunziata (2012) como o principal motor do crescimento econômico, um dos principais impulsionadores de maiores rendas e melhores padrões de vida. Segundo os autores, o crescimento mais rápido da produtividade do trabalho permite que a força de trabalho produza mais e ganhe salários maiores, o que leva também empresas e governos a serem mais conscientes em relação a gastos, dando uma contribuição crucial para a sustentabilidade, à proporção que as populações de grandes mercados emergentes se esforçam para alcançar melhores padrões de vida e maiores níveis de consumo. A produtividade do trabalho nos EUA acelerou drasticamente em meados da década de 1990, voltando aos níveis recordes de meados da década de 1960, impulsionada pela combinação da expansão da tecnologia da informação e comunicação, integrada por meio do surgimento da Revolução da *Internet* e da tecnologia de computação que ajudou a viabilizá-la. A aceleração da produtividade ocorreu em um período relativamente tardio de expansão econômica e foi impulsionada por um ritmo impressionante de inovação (Lei de Moore), que resultou em uma rápida queda nos preços dos equipamentos de informação e telecomunicações (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). À medida que o equipamento foi adotado em uma base cada vez mais ampla, a revolução, então, espalhou-se para o resto da economia, sugerindo que a Revolução da *Internet* foi essa força motriz. O investimento, segundo os autores, desempenhou um papel fundamental na alavancagem das inovações de *hardware* e *software*. Os serviços também experimentaram uma grande aceleração da produtividade.

Evans e Annunziata (2012) não consideram que a realização da *Internet* industrial seja uma conclusão precipitada. Para os autores, alguns capacitadores, catalisadores e condições de suporte serão necessários para combinar o mundo físico das máquinas com o mundo digital de dados e análises para atingir seu potencial total. Alguns dos elementos mais importantes serão

claramente o progresso contínuo em inovação e o gerenciamento vigoroso da segurança cibernética, permitindo a infraestrutura e o desenvolvimento de novos talentos (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Especificamente em termos de processos de negócios, fala-se em novas práticas de negócios que integram totalmente as informações da máquina na tomada de decisões e processos para monitorar a qualidade dos dados da máquina, entre outros. Inovações como essas exigirão investimentos por parte de empresas, grupos industriais, governos e instituições educacionais. Cada um deles tem algo a ganhar com os investimentos — a indústria quer vendas e relacionamento com o cliente; os governos querem obter empregos e receitas fiscais, mas também estão interessados em ganhos de eficiência para suas próprias operações; as instituições de ensino buscarão atrair alunos e financiamento ao assumir alguns dos desafios complexos neste espaço em evolução. Além das inovações, já existe tecnologia que precisará atingir maiores níveis de penetração e implantação, como em sensores e monitores — tecnologia que já existe hoje (EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Quanto ao desenvolvimento de talentos, a inovação não existe sem talento especializado. A ascensão da *Internet* industrial, conforme os autores, exigirá a criação e o crescimento de novos *pools* de talentos. Além das habilidades técnicas óbvias em engenharia mecânica ou elétrica, haverá a necessidade de uma onda de novas funções técnicas, analíticas e de liderança que sejam explicitamente interdisciplinares.

Segundo Borges (2021, p. 141), a Quarta Revolução Industrial funda-se em

[...] sistemas ciberfísicos (*cyber-physical systems*), isto é, a integração de dispositivos mecânicos com o poder computacional em máquinas capazes de reconhecer seu ambiente e agir de forma inteligente. Essa revolução está assentada sobre os avanços da tecnologia digital e dos sistemas computadorizados, além de toda uma gama de novas tecnologias que sustentam os pilares desta Indústria 4.0.

O CPS “envolve muitas metodologias transdisciplinares, como teoria cibernética, engenharia mecânica e mecatrônica, *design* e ciência de processos, sistemas de manufatura e ciência da computação” (ZHONG *et al.*, 2017, p. 620).

Os sistemas ciberfísicos são sistemas de automação industrial que contêm componentes cibernéticos e físicos para a conexão das operações da realidade física com infraestruturas de computação e comunicação (LU, 2017). Um dos principais métodos técnicos do CPS são os sistemas embarcados (*embedded systems*), que estão conectados em outros produtos ou equipamentos, com o objetivo de controlar ou monitorar uma determinada função, ou processo, e são formados por um conjunto de componentes, tais como microcontroladores, sensores e atuadores, em uma ligação coordenada e combinada. Assim, em um sistema ciberfísico, os

sensores cumprem funções de supervisão, controle e gerenciamento das informações do ambiente, fundamentais no armazenamento e análise de dados, com conseqüente apoio à tomada de decisão (ZHONG *et al.*, 2017). Tal fusão dos mundos físico e virtual feita por meio dos sistemas cibernéticos físicos é um importante elemento da Indústria 4.0 (KAGERMANN, 2014 *apud* HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). Outro aspecto importante dos sistemas ciberfísicos é que eles são colaborativos e envolvem agentes físicos, agentes de *software* e agentes humanos, o que permite integrar os processos técnicos e os de negócios, resultando em modelos mais flexíveis de organização do trabalho (GTAI, 2014 *apud* XU; XU; LI, 2018).

Os sistemas ciberfísicos estão presentes em sistemas de gerenciamento de energia, sistemas de transporte, monitoramento e controle de recursos hídricos, logística e gerenciamento de desastres, sistemas estruturais inteligentes, entre outros. O CPS se assemelha à *Internet* das coisas ao compartilhar a mesma arquitetura básica, contudo, apresenta maior combinação e coordenação entre elementos físicos e computacionais.

As informações dos sistemas ciberfísicos são armazenadas em modelos e objetos de dados que podem ser atualizados em tempo real, criando uma cópia do próprio objeto, o chamado “gêmeo digital”, permitindo, assim, que serviços inovadores sejam implementados em todo o ciclo de vida do produto, desde o início até o descarte dos produtos manufaturados (SISINNI *et al.*, 2018).

Com uma maior presença de sistemas de produção física cibernética na manufatura, que deverão operar em harmonia com ecossistemas industriais tradicionais, será necessária mais do que uma plataforma de TI que integre os sistemas físicos, os sistemas de decisão e os sistemas de informação; será, sobretudo, necessário desenvolver novos modelos de negócios nos níveis intraorganizacional e interorganizacional (COLOMBO; SCHLEUTER; KIRCHER, 2015, ARNOLD; KIEL; VOIGT, 2016 *apud* XU; XU; LI, 2018).

O grande volume de dados coletados de sensores, dispositivos, vídeo/áudio, redes, arquivos de *log*, aplicativos transacionais, *web* e *feeds* de mídia social, entre outros canais, implica a questão do *big data*, suscitando preocupações não só sobre o processamento adequado das informações, mas sobre a segurança relativa à sua utilização e finalidade (ZHONG *et al.*, 2017). O gerenciamento de *big data* (mineração de dados, classificação de dados e armazenamento de dados) torna-se um grande desafio (LU, 2017).

Segundo Borges (2021):

Softwares com abordagens tradicionais de análise de dados não estavam preparados para lidar com um volume tão grande de informações, geradas a todo instante, em tempo real, a partir de diferentes fontes. Para lidar com tal cenário, foi preciso que um novo corpo de conhecimentos, técnicas e aplicações surgisse de modo a lidar com esse grande volume de dados – o *big data* (BORGES, 2021, p. 146).

As aplicações de *big data* devem ser capazes de lidar com dados não estruturados, de descobrir padrões ocultos nos mesmos, correlações, tendências e até mesmo desenvolver modelos gerados pelos dados (*data-driven*) que permitam realizar análises preditivas sobre o mercado, os clientes e os consumidores. Para tanto, são utilizadas técnicas como *data mining*, *machine learning* e *deep learning*, capazes de interpretar dados de diferentes fontes e formatos, além de técnicas de distribuição de dados que viabilizem o processamento necessário para lidar com tal volume de dados sem gargalos (BORGES, 2021, p. 148).

Cloud computing, que é o armazenamento e compartilhamento de recursos de *hardware* e *software* em grande escala, serviço este fornecido por um terceiro a partir de qualquer local conectado à *Internet*, surge, então, da necessidade de empresas tratarem um maior volume de dados disponíveis em um maior número de pontos de acesso, a partir de soluções mais eficientes e seguras. A computação em nuvem permite ganhos em disponibilidade e poder de processamento, mas deve-se atentar para as questões de privacidade e segurança. Os serviços de *cloud computing* oferecidos podem ser de infraestrutura (*infrastructure-as-a-service*); de plataforma (*platform-as-a-service*) e de *software* (*software-as-a-service*) (ZHONG *et al.*, 2017; BORGES, 2021).

Realidade estendida (*eXtended Reality – XR*) é um conceito genérico para se referir a realidade aumentada (*Augmented Reality – AR*), realidade mista (*Mixed Reality – MR*) e realidade virtual (*Virtual Reality – VR*). Enquanto a realidade aumentada se refere à “superposição de objetos virtuais e informações no mundo real” e a realidade virtual, à “imersão completa do usuário em um mundo virtual tridimensional”, a realidade mista “mistura o ambiente e objetos reais com objetos virtuais” (BORGES, 2021, p. 162).

Também conhecida como manufatura aditiva ou fabricação aditiva (em inglês, *additive manufacturing*), a Impressão 3D diz respeito à “técnica de fabricação de objetos tridimensionais a partir de um processo produtivo que adiciona camadas sobre camadas” de materiais como polímeros, metais ou cerâmicas (BORGES, 2021, p. 165).

Sobre o que seja inteligência artificial (*Artificial Intelligence – AI*), Borges (2021, p. 169) a sintetiza como sendo uma inteligência apresentada por máquinas, faculdade esta normalmente atribuída aos seres humanos e outros animais. O conceito é abrangente, e “uma

visão moderna da inteligência reconhece a existência de múltiplas inteligências”, ultrapassando as noções de engenharia e de robótica e avançando para o campo da filosofia, na busca do entendimento sobre a capacidade de uma máquina apresentar os componentes criativos e conscientes da inteligência humana. A superinteligência artificial é um estágio mais avançado, que costuma ser antecedido por inteligência artificial estreita (também chamada de focada ou fraca) — realização de uma única função ou escopo de atividade — e por inteligência artificial generalista ou forte — aquela capaz de realizar diferentes funções.

Borges (2021) afirma que:

A não ser que alcancemos o desenvolvimento de uma superinteligência artificial que supere a capacidade humana (e que talvez consiga se libertar de qualquer amarra de seu código), as decisões éticas e morais — logo a noção do que é bom e ruim, certo e errado — ainda são resultado da ação humana no seu desenvolvimento (BORGES, 2021, p. 170).

Na AI, há camadas de métodos, habilidades e tarefas. Os métodos dizem respeito a sistemas especialistas, *machine learning*, *deep learning* etc.; as habilidades referem-se à visão computacional, fala, processamento de linguagem natural, planejamento e decisão, entre outras; as tarefas têm relação com a aplicação prática em áreas como saúde, automobilística, finanças, vigilância, mídia social, alimentos, exploração espacial e tantas mais que têm surgido. “Os métodos e habilidades vão permitir que as máquinas dotadas de inteligência artificial executem tarefas em diferentes contextos, reduzindo a necessidade do uso de recursos humanos para tal, permitindo a automação e aumentando a eficiência” (BORGES, 2021, p. 171).

O estudo de Adadi e Berrada (2018, p. 52138) aponta para uma das principais barreiras para o uso de sistemas baseados em inteligência artificial, que é “a natureza de caixa-preta desses sistemas”, o que desencadeou um novo debate — a importância de uma Inteligência Artificial Explicável (*Explainable Artificial Intelligence* – XAI). Para que haja entendimento e confiança por parte dos usuários, bem como um gerenciamento eficiente dos resultados que torne os sistemas de inteligência artificial mais confiáveis, faz-se necessário explicar a AI para justificar as decisões; explicar a AI para controlar e prevenir que coisas erradas aconteçam; explicar a AI para melhorar continuamente e explicar a AI para descobrir, aprender, colher informações, ganhar conhecimento. Há dois caminhos para se atingir a explicabilidade da AI: “*human-like explanations*”, que simulam o processo cognitivo humano; e “*human-friendly explanations*”, que usam modelos de aprendizado de máquina mais inteligíveis e transparentes para os seres humanos. “Um fator comum que impacta diretamente na qualidade da

explicabilidade e que é abordado sob diferentes óticas nos estudos anteriores é: o ser humano” (ADADI; BERRADA, 2018, p. 52152).

Robôs autônomos são das aplicações mais avançadas na Indústria 4.0 e usam elementos de outras tecnologias, como da inteligência artificial, da *Internet das Coisas* e do *big data*. São máquinas programadas para realizar tarefas de modo independente, sem a intervenção humana direta, apresentando estrutura na qual estão dispostos seus componentes, artefatos para se movimentar, sistema sensorial que recolhe informação sobre o ambiente, configuração para interagir com objetos, fonte de energia e “cérebro” computacional responsável por todo esse controle. A depender da autonomia para executar tarefas, podem ser classificados como robôs de classes mais baixas, que executam tarefas repetitivas sem muita possibilidade de readequar funções e de se adaptar ao ambiente, ou como robôs inteligentes, que interagem e entendem o ambiente. Por exemplo, um robô colaborativo, também chamado de *cobot*, “divide o espaço físico com os demais trabalhadores, atuando em conjunto, sem necessidades especiais de equipamentos de segurança ou zonas de afastamento e armações de proteção no entorno” (BORGES, 2021, p. 179). Todavia, a importante discussão tem sido “acerca do impacto social que a adoção de robôs poderá exercer no desemprego, já que, em geral, eles substituem humanos com baixa especialização na realização de tarefas” (BORGES, 2021, p. 177). Uma nova abordagem tem sido o aprendizado de máquina “*human-in-the-loop*”, cujos mecanismos “podem fornecer caminhos usando experiência ou conhecimento de domínio humano para entender melhor a colaboração” (ZHONG *et al.*, 2017, p. 627).

Com o avanço das novas tecnologias digitais, aumenta a necessidade de proteger os sistemas contra roubo ou danos ao *hardware*, *software* ou dados eletrônicos, bem como contra a interrupção das operações. Tais problemas acontecem não somente devido a ataques em sistemas de informação; eles podem acontecer por falha humana, pela falta de treinamento e/ou conscientização do usuário. Surge, então, o conceito de cibersegurança — a “aplicação contínua de boas práticas que busquem preservar a confidencialidade, a integridade e disponibilidade de informações digitais e a segurança de pessoas e ambientes” (BORGES, 2021, p. 183). Em um programa de cibersegurança, são necessários alguns tipos de controles: preventivos, que impeçam tentativas de ataques ou de acessos não permitidos; de detecção, que identifiquem, em tempo real, tentativas ou ocorrências de ataques; corretivos, que minimizem perdas, recuperem dados, corrijam falhas e atualizem sistemas; e compensatórios, que sustentem serviços e acessos, mesmo quando sob ataque.

É nesse cenário de cibersegurança que surge a tecnologia de *blockchain*, uma tecnologia de registro distribuído. Trata-se de “uma base de dados descentralizada, que guarda o registro de ativos e transações em uma rede de computadores conectados entre si (*peer-to-peer*)”, sendo que todos os dados são criptografados, validados, acrescentados à corrente, formando uma nova cadeia de blocos também criptografada, que é replicada de forma distribuída nessa rede (BORGES, 2021, p. 186-187).

Quanto à *Internet* das Coisas (IoT), Borges (2021, p. 158) considera ser este outro importante componente da Indústria 4.0, definindo-o como o “conjunto de objetos que podem ser conectados a outros objetos por meio da *Internet* [...] compartilhando dados que visam gerar informações para a tomada de decisão ou decisão automatizada”. Já a *Internet* dos serviços (*Internet of Services* – IoS) permite que fornecedores ofereçam suas conveniências e facilidades via *Internet*.

Para van Kranenburg (2008 *apud* XU; XU; LI, 2018, p. 2944), a *Internet* das Coisas é “uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde ‘coisas’ físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas à rede de informações”.

Trata-se de um campo em ascensão que promete conexão onipresente à *Internet*, transformando objetos comuns em dispositivos conectados. O paradigma IoT está mudando a maneira como as pessoas interagem com as coisas ao seu redor, sendo tal conectividade elemento essencial para suportar serviços inovadores, proporcionando maior flexibilidade e eficiência. As vantagens mencionadas são interessantes não só para uso pessoal, mas também para o ramo industrial (SISINNI *et al.*, 2018, p. 4724).

As tecnologias que permitem a coleta e o compartilhamento de dados em tempo real são a identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency IDentification* – RFID) e os padrões de comunicação sem fio (*Wireless Sensor Network* – WSN) (ZHONG *et al.*, 2017), formando uma rede de objetos inter-relacionados e equipados com sensores eletrônicos, atuadores ou outros dispositivos digitais. A tecnologia IoT já tem sido amplamente utilizada em diferentes campos, como cidades inteligentes, manufatura e saúde (ZHONG *et al.*, 2017).

Os avanços das tecnologias relacionadas à IoT — identificação por radiofrequência e redes de sensores sem fio — tiveram um impacto significativo nas novas tecnologias de informação e comunicação e abriram caminho para a realização da Indústria 4.0 (XU; HE; LI, 2014 *apud* XU; XU; LI, 2018). Atualmente, RFID, WSN e IoT são usadas para formar uma

base tecnológica sólida para apoiar o CPS, bem como as novas TIC emergentes. Como resultado, a Indústria 4.0 é capaz de desenvolver uma nova geração de sistemas de manufatura que integram e sincronizam dados em tempo real entre os objetos físicos e o espaço computacional cibernético (XU; XU; LI, 2018).

A identificação por radiofrequência teve início na década de 1980 a partir do emprego de campos eletromagnéticos para identificar e rastrear automaticamente etiquetas anexadas a objetos. Embora o RFID tenha sido inicialmente desenvolvido para fins de rastreamento e identificação, a crescente procura por outras possíveis utilizações resultou no desenvolvimento de uma nova série de dispositivos de sensores sem fio baseados em RFID, que podem dispensar a necessidade de trabalho humano na coleta de dados e possibilitar fábricas mais automatizadas. Porém, existem desafios a serem enfrentados, como a interferência de sinal, conflito de leituras de RFID, integração e padronização, o que evidencia que essa tecnologia ainda está em desenvolvimento (XU; XU; LI, 2018).

Já a partir de 1990, surgem as redes de sensores sem fio, com seus sensores inteligentes que possibilitavam monitoramento industrial, monitoramento de saúde, sensoriamento ambiental, entre outros atributos. Tais redes são consideradas a infraestrutura mais importante para a implementação da IoT (CHI *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2014; YAN *et al.*, 2014; BAG *et al.*, 2016; PANDA; MISHRA; RATHA, 2016; FINOGEEV; FINOGEEV, 2017 *apud* XU; XU; LI, 2018). Ambas, WSN e RFID, formam uma extensa rede para suportar IoT, mas a principal diferença entre elas reside no fato de que as redes de sensores sem fio permitem diferentes topologias de rede e comunicação de salto múltiplo, enquanto os dispositivos de identificação por radiofrequência não têm capacidade cooperativa. A integração de WSN e RFID capacita IoT na implementação de serviços industriais e na implantação de serviços em aplicações estendidas (XU; XU; LI, 2018).

A IoT, também conhecida como computação ubíqua, inteligência ambiental e eletrônica distribuída, é datada de 2009 e permite interconexão das coisas, processamento globalmente difundido e uma infraestrutura de rede com capacidade de autoconfiguração. A IoT é habilitada por dispositivos inteligentes capazes de integrar dispositivos, organizações e sistemas de informação para compartilhamento e troca de dados; monitoramento em tempo real; e usando qualquer coisa, em qualquer lugar, a qualquer hora para detectar, capturar, medir e transferir dados (XU; XU; LI, 2018).

Na esteira de RFID, WSN e IoT, surgem o sistema físico cibernético (CPS) e as novas tecnologias de informação e comunicação emergentes, que constituem a base da indústria 4.0 (XU; XU; LI, 2018).

A IoT Industrial (IIoT) é um subconjunto da IoT e abrange os domínios de máquina a máquina (M2M) e tecnologias de comunicação industrial com aplicações de automação (SISINNI *et al.*, 2018). IoT, IIoT e Indústria 4.0 são conceitos que, embora relacionados, não podem ser utilizados de forma similar. Como a *Internet* das Coisas é frequentemente considerada como uma espécie de *web* para as máquinas, com o intuito de permitir a troca de dados entre as coisas, poderia ser mais apropriadamente chamada de *Internet* das Coisas do consumidor, em contraposição à *Internet* Industrial das Coisas (SISINNI *et al.*, 2018).

A *Internet* Industrial das Coisas é o pilar básico da manufatura digital, pré-requisito para a fabricação inteligente, e consiste em unir todos os ativos industriais, como máquinas e sistemas de controle, aos sistemas de informação e processos de negócios. Isso possibilita a coleta de uma grande quantidade de dados que podem ser usados em soluções analíticas e levar a operações industriais mais eficientes. Enquanto o modelo de serviço da *Internet* das Coisas é centrado no ser humano, na *Internet* Industrial das Coisas esse é orientado para a máquina, cujo *design* enfatiza a importância de integrar e conectar unidades fabris que antes estavam isoladas, bem como ilhas de trabalho e máquinas. Alguns requisitos de comunicação mais gerais de IoT e IIoT são semelhantes, porém há especificidades para cada domínio, por exemplo, em termos de qualidade de serviço (determinismo, latência, taxa de transferência etc.), disponibilidade, confiabilidade, segurança e privacidade. Em relação à conectividade e criticidade, a IoT é mais flexível, enquanto a IIoT normalmente emprega soluções de rede fixas e baseadas em infraestrutura que são bem projetadas para atender às necessidades de comunicação e coexistência. Quanto ao volume de dados, na IoT ele varia de médio a alto, ao passo que na IIoT uma quantidade muito grande de dados é trocada atualmente (SISINNI *et al.*, 2018).

Quanto ao *design* para a implementação da Indústria 4.0, Hermann, Pentek e Otto (2015) identificam seis princípios: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviço e modularidade.

Na Indústria 4.0, o conceito de interoperabilidade inclui a habilidade da *Internet* de serviços, de humanos e de organizações se comunicarem por meio da *Internet* das Coisas e sistemas ciberfísicos, bem como abarca a troca de informações entre os sistemas que processam fluxos de dados (COLOMBO; SCHLEUTER; KIRCHER, 2015; KUSIAK, 2017; SHI *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2014 *apud* XU; XU; LI, 2018). A interoperabilidade significa que “todos

os CPS dentro da planta (transportadores de peças de trabalho, estação de montagem e produtos) são capazes de se comunicar uns com os outros por meio de redes abertas e descrições semânticas” (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, p. 12). Os sistemas — chamados “*calm systems*” — trabalham em segundo plano e realizam suas tarefas com base em informações provenientes do mundo físico e virtual, tais como a posição e o *status* de um objeto, ajudando pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. A principal diferença entre os chamados “*calm systems*” de uma fábrica inteligente e outros tipos de sistemas é exatamente essa capacidade de se comunicar e interagir com seu ambiente. A interoperabilidade da Indústria 4.0 integrará “componentes de *software*, soluções de aplicativos, processos de negócios e o contexto de negócios em todo o procedimento diversificado, heterogêneo e autônomo” (BERRE *et al.*, 2007 *apud* LU, 2017, p. 5).

A chamada arquitetura “5C” é uma proposta de orientação para o desenvolvimento da Indústria 4.0 a partir dos atributos dos sistemas cibernéticos físicos, em cinco níveis: “nível de conexão”, cujo foco é no *hardware* e no desenvolvimento de redes de sensores e comunicação sem fio; “nível de conversão”, que transforma dados brutos em informações úteis, por meio de tecnologias de análise de dados; “nível cibernético”, cujo principal atributo é o controle de toda a rede por meio do CPS; “nível de cognição” e “nível de configuração” que incorporam funções de manutenção preditiva e produção inteligente, respectivamente, a partir de inteligência artificial, sendo que o primeiro nível é mais baixo e o segundo apresenta atributos superiores, de autoconfiguração (LEE; BAGHERI; KAO, 2015 *apud* QIN; LIU; GROSVENOR, 2016).

Assim, interoperabilidade e consciência são dois princípios basais do *design* da Indústria 4.0, que, por sua vez, subdividem-se em outros subconceitos. A interoperabilidade engloba digitalização, comunicação, padronização, flexibilidade, responsabilidade em tempo real e customização; a consciência compreende manutenção preditiva, tomada de decisão, apresentação inteligente, autoconsciência, autoconfiguração. A ideia central da interoperabilidade é integração, que é também o ponto-chave da IoT e do CPS. Os três tipos de integração — horizontal, ponto a ponto e vertical — representam três dimensões que unem as redes de valor de negócios, a cadeia de produtos e o sistema de manufatura (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016).

A virtualização significa que o CPS é capaz de monitorar processos físicos, e os seres humanos podem ser ajudados no tratamento da crescente complexidade técnica.

Já a descentralização significa que, por meio das etiquetas de identificação por radiofrequência, as etapas de trabalho necessárias sejam informadas às máquinas, dispensando

o planejamento central e o controle (SCHLICK *et al.*, 2014, p. 75 *apud* HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

A capacidade em tempo real pressupõe que os dados sejam coletados e analisados instantaneamente para a realização das tarefas organizacionais.

Quanto à arquitetura orientada a serviços (*Service-Oriented Architecture – SOA*), trata-se de uma abordagem arquitetônica que consiste em dividir os aplicativos de fabricação em funções individuais, que podem ser utilizadas como serviços para a criação de novos processos e aplicativos a partir da integração de cada um desses serviços existentes, que representam tarefas reconstruídas (QUARTEL, 2009; UNGER; MIETZNER; LEYMAN, 2009; XU, 2011 *apud* XU; XU; LI, 2018). Assim, a operação do processo específico do produto pode ser composta com base nos requisitos específicos do cliente fornecidos pela etiqueta RFID (SCHLICK *et al.*, 2014 *apud* HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

Modularidade diz respeito aos sistemas modulares que se adaptam flexivelmente às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais, podendo ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou características alteradas do produto (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

Conforme mencionado anteriormente, uma das principais características da Indústria 4.0 é a integração, e diversos autores descrevem três tipos principais de integração: a integração horizontal, a integração vertical e a integração de ponta a ponta (CHENG *et al.*, 2016; LIAO *et al.*, 2017; OLIVEIRA; ÁLVARES, 2016; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016 *apud* XU; XU; LI, 2018). A integração horizontal diz respeito à colaboração dos diversos sistemas de TI utilizados nas distintas fases dos processos produtivos e gestão de negócios dentro de uma organização e entre múltiplas empresas distintas (KUSIAK, 2017 *apud* XU; XU; LI, 2018). A integração vertical permite a conexão dos diversos sistemas de TI em diferentes níveis hierárquicos (por exemplo, nível de atuador e sensor, nível de fabricação e execução, nível de gerenciamento de produção e níveis de planejamento corporativo), para entregar uma resposta completa nos níveis organizacional, gerencial e técnico. Por fim, a integração digital de ponta a ponta acontece quando os mundos digital e real são interligados para atender às demandas do mercado e dos consumidores, desde a concepção do produto até a sua distribuição.

Espera-se que a Indústria 4.0 atinja todas as três principais integrações descritas acima, além de integração de *hardware*, integração de *software* e integração de dados e informações. Contudo, para que isso seja possível, exigem-se padronização, colaboração e autorização de acesso entre todos aqueles envolvidos na cadeia de valor. Desse modo, são preconizadas

algumas áreas essenciais para o desenvolvimento tanto da interoperabilidade quanto da integração, sendo elas: padronização e arquitetura de referência; gerenciamento de sistemas complexos; entrega de uma infraestrutura abrangente de banda larga; segurança e proteção; organização e desenho do trabalho; treinamento e desenvolvimento profissional contínuo (*Continuing Professional Development – CPD*); marco regulatório; produtividade e eficiência de recursos (XU; XU; LI, 2018).

Segundo Xu (2011 *apud* LU, 2017), foram empregadas diversas técnicas e abordagens de integração de informações industriais na arquitetura corporativa e integração empresarial para a Indústria 4.0, tais como gerenciamento de processos de negócios (*Business Process Management – BPM*), gerenciamento de fluxo de trabalho (*Workflow Management – WM*), integração de aplicativos corporativos (*Enterprise Application Integration – EAI*), arquitetura orientada a serviços (*Service-Oriented Architecture – SOA*), computação em grade, planejamento de recursos empresariais (*Enterprise Resource Planning – ERP*) e gerenciamento da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management – SCM*).

Uma arquitetura corporativa (em inglês, *corporate architecture* ou *enterprise architecture*) é a estrutura que compreende os componentes de uma empresa — pessoas, processos, informações e tecnologias disponíveis — e suas relações mútuas e com as demais partes interessadas. Conseguir que a execução esteja alinhada à estratégia de negócios é um dos principais objetivos das arquiteturas corporativas. Tal modelo hierárquico, com responsabilidades bem definidas, existe há muito tempo, abrangendo desde sensores e atuadores, a controladores lógicos programáveis (*Programmable-Logic Controllers – PLC*), a sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados (*Supervisory Control and Data Acquisition Systems – SCADA*), a sistemas de execução de manufatura (*Manufacturing Execution Systems – MES*), Sistemas de Planejamento de Recursos Empresariais (*Enterprise Resource Planning Systems – ERP*). Uma arquitetura corporativa se baseia em um compromisso que visa equilibrar custo, desempenho e integração de sistemas, respeitando a hierarquia definida para os processos de negócios existentes (HELMANN; DESCHAMPS; LOURES, 2020).

Para desenvolver uma solução de fabricação inteligente e promover uma padronização sistemática, as arquiteturas são desenvolvidas por diferentes organizações industriais e organizações de desenvolvimento de padrões (*Standards Development Organizations – SDO*). Os principais modelos arquitetônicos existentes são o Modelo de Arquitetura de Referência Industrie 4.0 (RAMI4.0), desenvolvido pela iniciativa alemã *Industrie 4.0*; a *Industrial Internet*

Reference Architecture (IIRA), desenvolvida pelo estadunidense *Industrial Internet Consortium* (IIC); a Arquitetura da Indústria 4.0 da IBM; o Ecossistema de Manufatura Inteligente (*Smart Manufacturing Ecosystem – SME*), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia – NIST do governo americano; a Arquitetura de Sistema de Manufatura Inteligente (IMSA), desenvolvida por MIIT (*Ministry of Industry and Information Technology*) e SAC (*Standardization Administration of the People's Republic of China*), do governo chinês; a Arquitetura de Referência da Cadeia de Valor Industrial (IVRA), desenvolvida pela iniciativa japonesa IVI; o *Framework for Cyber-physical Systems* (F-CPS), desenvolvido pelo *Cyber-Physical Systems Public Working Group*, *Smart Grid* e *Cyber-Physical Systems Program Office* e *Engineering Laboratory*, publicado pelo NIST americano; o *Internet of Things Architectural Reference Model* (IoT-ARM), desenvolvido pelo projeto IoT-A (*European Lighthouse Integrated Project*) (HELMANN; DESCHAMPS; LOURES, 2020).

Três dimensões devem ser levadas em consideração na análise de uma arquitetura corporativa — o domínio (processos de gestão, ciclo de vida do produto, ciclo de vida da produção e cadeia de suprimentos); a tecnologia (novos equipamentos, técnicas fabris, energias e materiais) e a informação (processos de *design*, bancos de dados em nuvem e tecnologias em rede) (HELMANN; DESCHAMPS; LOURES, 2020). A arquitetura de referência comumente adota uma estrutura multicamada organizada em torno dos serviços oferecidos em cada nível, considerando tecnologias escolhidas, necessidades empresariais e especificações técnicas (SISINNI *et al.*, 2018).

Qin, Liu e Grosvenor (2016) asseveram que quatro aspectos devem ser considerados na visão e conceito da Indústria 4.0:

- 1) Fábrica, que deverá ser totalmente integrada, tornando-se consciente e inteligente o suficiente para prever e manter as máquinas, para controlar o processo de produção e para gerenciar o sistema fabril. Além disso, processos tais como *design* de produto, planejamento, engenharia, produção e serviços deverão ser simulados em módulos e depois conectados de ponta a ponta, o que significa que não apenas serão conduzidos por um sistema descentralizado, mas também controlados de forma interdependente. Esse é o conceito de uma Fábrica Inteligente;
- 2) Negócios: a Indústria 4.0 pressupõe a comunicação entre várias empresas, fábricas, fornecedores, logística, recursos, clientes etc., cada *player* configurando sua operação em tempo real a partir das demandas e *status* dos demais participantes da rede, de maneira otimizada. Em outras palavras, a futura rede de negócios é influenciada por

cada parte que trabalha em cooperação, podendo alcançar um *status* de auto-organização e transmitindo as respostas em tempo real;

3) Produtos: na Indústria 4.0 eles serão inteligentes, incorporados com sensores, componentes identificáveis e processadores que carregam informações e conhecimentos para transmitir a orientação funcional dos clientes e transmitir o *feedback* de usos para o sistema de fabricação;

4) Clientes: estes também terão vantagens sob a Indústria 4.0, permitindo total customização, ainda que seja um pedido de apenas uma unidade. As solicitações poderão ser alteradas a qualquer momento durante a produção, mesmo no último minuto, sem custo. Ademais, o benefício dos produtos inteligentes permite que o cliente não só conheça as informações de fabricação do produto, mas também receba indicações para sua utilização a partir de seus próprios comportamentos.

O sistema de fabricação é influenciado por muitos fatores diferentes, a saber: “tipos de operações”, “número de estações de trabalho”, “nível de automação” e “flexibilidade do sistema”. Qin, Liu e Grosvenor (2016), ao analisarem o sistema de fabricação atual e compará-lo aos conceitos da Indústria 4.0, afirmam que a fabricação atual não atingiu o nível Indústria 4.0 de forma abrangente, porque cobrem apenas alguns dos conceitos da Indústria 4.0, especialmente a interoperabilidade, e que ainda há um longo caminho a percorrer para melhorar a manufatura até o nível necessário para combinar todos os conceitos com todas as dimensões, principalmente a consciência. Eles propõem uma estrutura que associa os três níveis de inteligência das diferentes tecnologias — que começa no controle, passa pela integração, chegando até o nível de inteligência — aos três níveis de engenharia ou de automação — que se inicia com a máquina, passa pelos processos e culmina na fábrica — gerando um total de nove aplicações que vão desde a automação simples e de baixa inteligência até a automação complicada e de alta inteligência. Contudo, para que o sistema de produção se torne cada vez mais automatizado, flexível e inteligente, concluem os autores, é necessário que os alvos e tecnologias de alto nível de atuação sejam baseados nos níveis mais baixos, ou seja, a estrutura deve funcionar em sequência (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016).

Também para Lu (2017, p. 7), o termo “*smart*” tem sido utilizado na literatura para se referir às aplicações da Indústria 4.0 que demonstram inteligência e conhecimento. Fábrica e fabricação inteligentes, produto inteligente e cidade inteligente são mencionadas como as futuras implementações dessa Quarta Revolução Industrial.

2.2 RECURSOS HUMANOS E FATORES DE CONTEXTO

Muito se tem falado e escrito sobre tecnologia, ou seja, a pesquisa científica tem se concentrado na investigação de aspectos técnicos da Indústria 4.0, mas ainda há pouco estudo sobre os desafios gerenciais subjacentes à Indústria 4.0. Entre tais desafios, destaca-se o impacto em recursos humanos, devido a mudanças nos modelos de negócios, a uma organização fortalecida com relação às redes colaborativas, à importância relativa do *software* em oposição ao *hardware* e à implementação de tecnologias de mudança de processo, bem como o impacto nas mudanças organizacionais e culturais, que precisam ser governadas e controladas pelos gerentes, levando em consideração possíveis problemas de aceitação e tendências de inércia (SCHNEIDER, 2018). Em que pese ser relevante conhecer e entender sobre o que há de novo em relação à base técnica da Indústria 4.0, é preciso conhecer e entender qual deverá ser a nova dinâmica das organizações e como dar-se-á a articulação entre estruturas, pessoas e processos à luz desse *design* proposto, qual seja, de descentralização, virtualização, interoperabilidade, modularidade, capacidade em tempo real, orientação a serviços. O tema é inovador na medida em que muda a integração entre tecnologias, bem como mudam a forma e a intensidade de utilização destas para suporte e interação entre humanos e máquinas, sendo as mais presentes sistemas ciberfísicos, manufatura aditiva, realidade aumentada, robôs autônomos, *big data* e *analytics*, segurança cibernética, simulação, integração horizontal e vertical, *Internet* das Coisas, *Internet* de serviços, computação em nuvem.

Nas revoluções industriais anteriores, demorou décadas para serem construídos os sistemas educacionais e as instituições do mercado de trabalho necessários para promover os novos conjuntos de habilidades indispensáveis em grande escala. A Quarta Revolução Industrial está impactando o mercado de trabalho com tal ritmo, que talvez um intervalo relativamente confortável possa não ser possível neste momento. Será preciso reconhecer e investir no fator humano como um ativo valioso, com a implantação de estratégias proativas de gestão de talentos por empresas, em diálogo e colaboração permanentes com governos e provedores de educação. Antecipar e se preparar para os requisitos de habilidades futuras será fundamental para todos, mapeando novos modelos de trabalho que sejam saudáveis e criando mercados de trabalho mais fortes e que ofereçam proteções suficientes. As abordagens devem levar em conta algumas questões principais, tais como requalificação, mercados de trabalho inclusivos, criação de empregos e empreendedorismo, novos modelos de trabalho, *design* digital de trabalho, proteção social, entre outros (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023).

Apesar de a Quarta Revolução Industrial estar apenas começando, resta claro que uma completa reformulação das estruturas econômicas, organizacionais e sociais será necessária para que se possa compreender todo o seu valor e como ela poderá afetar as relações entre governos e cidadãos, bem como entre empresas e suas partes interessadas.

Borges (2021), em seu livro, intitulado **Transformação Digital: um guia prático para liderar empresas que se reinventam**, afirma que a luta atual se dá entre as empresas ágeis — normalmente pequenas e tecnológicas — e as lentas — quase sempre grandes e tradicionais, em que pequenas competem para atacar e vencer as ineficiências das grandes. O autor define transformação digital como “o processo contínuo de reimaginar as formas que uma empresa cria e entrega valor para atender às necessidades dos consumidores utilizando tecnologias digitais” (BORGES, 2021, p. 3). Esse processo deve ter início com a liderança, ser incorporado à estratégia e prática do negócio, e deve envolver toda a organização, promovendo mudança de cultura. A transformação digital pode ocorrer nos seguintes aspectos de um negócio: operações; ofertas; e modelos de negócios. Em qualquer um dos casos, a tecnologia desempenha — em maior ou menor grau — o papel de facilitadora, mas “a transformação digital não é sobre tecnologias, mas sobre pessoas” (BORGES, 2021, p. 7).

Cabe esclarecer que, em inglês, existem os termos “*digitization*” e “*digitalization*”. Em português, a tradução para ambos costuma ser digitalização. Ocorre que “*digitization*” se refere à “simples conversão de algo que é analógico para o digital” (BORGES, 2021, p. 15), e “*digitalization*”, ao uso de tecnologias digitais para modificar um negócio. A transformação digital, por sua vez, é processo contínuo: começa por tornar dados existentes em digitais, passando pela digitalização do negócio, até atingir a capacidade de a tecnologia digital registrar e analisar dados, projetar tendências e subsidiar a tomada de decisão (BORGES, 2021).

Para Borges (2021, p. 21), “transformação digital não é sinônimo de ‘*mobile*’, *Internet* das coisas, inteligência artificial, ‘*big data*’, realidade aumentada, ou exclusivamente equivalente à implantação de qualquer tecnologia”. Trata-se, antes, de inovação em operações, ofertas ou modelos de negócios; de um posicionamento estratégico que busca conceber novos produtos, serviços e experiências a partir de tecnologias digitais incorporadas ao negócio; requer o conhecimento do ambiente em que a empresa está inserida, bem como a formação de parcerias e a implementação de “uma cultura de colaboração, inovação e experimentação, onde o erro é valorizado” (BORGES, 2021, p. 28).

A utilização de “métodos (mais) ágeis de organização do trabalho”, combinada com uma “cultura de experimentação”, pode ser o início de uma jornada de transformação digital.

Significa dizer, então, que a tal transformação digital não depende somente de novas tecnologias complexas ou dispendiosas, ela pode ser alcançada com simples mudança no modelo mental, em busca de novas formas de agregar valor ao negócio (BORGES, 2021, p. 59-60). O autor acrescenta que “Estamos em uma economia da expectativa, marcada por um consumidor acostumado à interatividade instantânea na *Internet* e à possibilidade de escolher aquilo que deseja consumir a todo momento” (BORGES, 2021, p. 96).

A experimentação diz respeito ao “processo de criar uma situação em que seja possível testar se determinada característica do produto, modelo de negócio ou processo operacional irá trazer retornos, antes de investir mais tempo e dinheiro, reduzindo, portanto, os riscos envolvidos” (BORGES, 2021, p. 115). “Uma cultura que valoriza a experimentação, e que aprende com suas hipóteses não validadas, tem maiores chances de ser bem-sucedida em um cenário competitivo e tecnológico de constante mudança” (BORGES, 2021, p. 138).

2.2.1 Recursos Humanos

“Em qualquer organização, tudo se faz pela ação humana, direta ou indiretamente” (PAIVA, 2019, p. 12). Em sua obra, a autora diferencia os termos “gestão de recursos humanos” e “gestão de pessoas”, sendo o primeiro aplicado no caso de “atuação técnico-produtiva dos membros da organização” e o segundo, de “características individuais dos sujeitos”.

Há diferentes estudos sobre gestão de competências profissionais e gerenciais, seja na literatura nacional como na internacional. A partir desses conceitos e suas ênfases, Paiva (2019) define competência a partir de certos aspectos comuns encontrados nos diversos autores: a necessidade de um alicerce, composto por conhecimentos, habilidades e atitudes, que influencia o desempenho das pessoas; a busca constante pelo aperfeiçoamento destes conhecimentos, habilidades e atitudes; o amoldamento desse alicerce ao contexto de trabalho; e o bom emprego desse alicerce naquilo que agrega valor para pessoas e organizações. O conceito de competência laboral proposto pela autora é:

Mobilização de forma particular pelo trabalhador na sua ação laboral de conjuntos de saberes de naturezas diferenciadas (formados por componentes cognitivos, funcionais, comportamentais, éticos e políticos) que gerou resultados reconhecidos individual (pessoal), coletiva (profissional), econômica (organização) e socialmente (comunitário) (PAIVA, 2019, p. 57-58).

Gestão de competências é uma responsabilidade individual, do trabalhador, mas também de várias instituições, como as de ensino (técnico, profissional, superior etc.), as empresariais, as de interesse coletivo e o próprio Estado. Ou seja, a gestão de competências deve ser o resultado dos esforços coletivos de todos esses atores.

Dadas as dificuldades na implementação da gestão de competências, surge a preocupação de estudiosos quanto às competências gerenciais, tendo em vista ser este grupo de profissionais o responsável por gerir as ações nas organizações. Sobre a competência de gestores, Paiva (2019) menciona os quatro modelos de gestão baseados em Quinn *et al.* (2003) — processos internos, metas racionais, sistemas abertos, relações humanas — que derivam de aspectos como estabilidade (que demanda controle) *versus* flexibilidade (que demanda autonomia) e foco externo (que demanda diferenciação interna) *versus* foco interno (que demanda integração entre áreas e funções), abarcando tanto o conhecimento técnico quanto a capacidade comportamental que se exige no exercício dessa função. Quinn *et al.* (2003 *apud* PAIVA, 2019) também descrevem os papéis esperados do gestor, a depender do modelo de gestão. Assim sendo, o modelo de processos internos requer os papéis de coordenador e monitor; o modelo das metas racionais, os de diretor e produtor; o dos sistemas abertos, os de negociador e inovador; e o modelo das relações humanas requer os papéis de mentor e facilitador.

2.2.1.1 Gestão de Recursos Humanos (GRH)

Os principais processos técnicos da gestão de recursos humanos são: cargos e carreiras; recrutamento e seleção; remuneração e recompensas; treinamento e desenvolvimento; saúde e segurança do trabalhador; avaliação funcional (desempenho, resultado e potencial). Todos eles buscam o equilíbrio entre a motivação do indivíduo e, por parte das organizações, a coordenação e controle de suas funções (PAIVA, 2019).

O processo “cargos e carreiras” é aquele que descreve, analisa e avalia os cargos de uma organização, de forma a definir a estrutura de carreiras, sua valorização e os requisitos de acesso a elas. Entende-se “cargo” como “o conjunto de funções que atende a um fim específico e tem uma posição definida na estrutura organizacional” (PAIVA, 2019, p. 72). Descrever um cargo significa detalhar seus aspectos intrínsecos, quais sejam, atividades a serem desempenhadas com respectivos deveres e responsabilidades. A análise do cargo diz respeito às características extrínsecas, tais como requisitos físicos, de formação, conhecimentos necessários etc., também

chamado de perfil profissiográfico. Na avaliação, os cargos são analisados, comparados e posicionados conforme as políticas de carreira e remuneratórias. Destaca-se o desafio de se estabelecer uma política de carreiras ante a tendência mundial de estruturas organizacionais mais enxutas e horizontalizadas.

Chanlat (1995 *apud* PAIVA, 2019, p. 75) elenca quatro tipos de carreiras: (1) a burocrática, centrada na organização e em suas bases, ou seja, divisão do trabalho, hierarquia, regulamentação, centralização, impessoalidade; (2) a profissional, que se sustenta na *expertise* do sujeito, em sua especialização, em seu conhecimento específico, em sua profissão; (3) a empreendedora, que se baseia no indivíduo-trabalhador, em sua independência e em sua capacidade de promover inovação e lidar com riscos; e (4) a sociopolítica, também voltada para o indivíduo, porém em suas habilidades sociopolíticas.

Pelo lado das organizações, a estruturação de carreiras vai depender de aspectos como divisão do trabalho, especialização e hierarquia. Pelo lado do trabalhador, devem ser considerados tanto os valores e interesses pessoais que guiam as escolhas dos indivíduos — as chamadas “âncoras de carreiras” — quanto as oportunidades oferecidas pela organização. Assim, é importante que uma carreira gere valor tanto para as pessoas quanto para as organizações.

Apesar de serem tratados como um único processo, “recrutamento” e “seleção” têm objetivos próprios, sendo que o primeiro visa “abastecer quantitativa e qualitativamente o processo seletivo”, enquanto o segundo deve ajudar na escolha do candidato mais adequado dentre aqueles recrutados (PAIVA, 2019, p. 79). O recrutamento pode ser interno (por meio de promoção, progressão ou reclassificação), externo ou misto, mas é preciso levar em consideração quais são as vantagens e desvantagens de cada uma dessas fontes e cumprir algumas etapas, tais como: coleta de informações sobre o cargo e sobre o futuro ocupante; escolha da fonte do recrutamento; escolha da mídia de divulgação da vaga; divulgação da vaga; recepção dos dados dos candidatos; pré-seleção de currículos. Quanto ao processo de “seleção”, as principais etapas são: checagem das informações do cargo e do futuro ocupante; escolha e organização das técnicas de seleção de pessoas que serão aplicadas (teste psicométrico, teste de personalidade, teste de conhecimentos, técnicas de simulação, entrevistas etc.); separação de currículos e contatos dos candidatos; comparação de candidatos com base nos aspectos focalizados nas técnicas aplicadas; escolha e comunicação do resultado.

O processo “recompensa e remuneração” é um dos mais sensíveis na gestão de recursos humanos — sendo a remuneração a contrapartida econômico-financeira por um trabalho

realizado, ela pode afetar não só a vida do trabalhador, mas a de todos que dela dependem. Além da remuneração direta (salários) e da indireta (benefícios, serviços ou facilidades), esse processo engloba outras formas de reconhecimento e valorização. “A política salarial compreende quatro passos, a saber, (1) admissão; (2) promoção horizontal; (3) promoção vertical; e (4) reclassificação” (PAIVA, 2019, p. 88), sendo que a política de remuneração direta pode ser tradicional, aquela que utiliza parâmetros de equidade interna e externa para sua determinação, ou contemporânea, que “apresenta caráter variável e flexível” (PAIVA, 2019, p. 85). A remuneração variável busca valorizar o trabalhador pelo atingimento de metas individuais, de equipes e/ou metas corporativas, podendo ser: participação nas vendas; participação nos resultados; participação nos lucros; participação acionária (DUTRA, 2018).

Para melhorar o desempenho atual dos trabalhadores e da organização, bem como para enfrentar e superar os desafios futuros, faz-se necessário um processo educacional sistemático e organizado que abranja a formação profissional, o desenvolvimento de pessoal e o treinamento de pessoal. O processo “treinamento e desenvolvimento” passa pelas etapas de planejamento, que é o levantamento das necessidades de treinamento e desenvolvimento; de organização do processo educativo, em que são definidos públicos-alvo e necessidades, programação, custos envolvidos etc.; de implementação, que é a execução da programação de treinamento e desenvolvimento; e de controle, em que se avalia a efetividade das atividades de treinamento e desenvolvimento. “Treinamentos podem trabalhar informações, habilidades, atitudes e conceitos” (PAIVA, 2019, p. 97-98).

O processo “saúde e segurança”, também chamado de medicina ou higiene no trabalho, tem a finalidade de promover a saúde e proteger a integridade do trabalhador no local de trabalho, de acordo com o prescrito pela empresa nas descrições de cargos e em suas normas e métodos, bem como com a legislação estabelecida por órgãos competentes. As atividades de conscientização, educação e orientação dos trabalhadores para a prevenção de acidentes do trabalho e doenças ocupacionais são de extrema importância na eliminação ou mitigação de condutas típicas de negligência, imperícia ou imprudência.

O processo “avaliação funcional” inclui três dimensões: (1) o desempenho do indivíduo — o que ele fez; (2) seus resultados — o que ele entregou; e (3) seu potencial. Trata-se do exame das atitudes e comportamentos que se efetivam, seja no dia a dia do cargo que ocupa, seja no que o trabalhador apresenta de potencial futuro. Para que uma avaliação sensibilize e conscientize as pessoas de sua importância e abrangência, recomenda-se a adoção de um instrumento confiável, válido, sensível, objetivo e simples (PAIVA, 2019), que tem por objetivo

tanto a motivação quanto o controle. Escala gráfica, frases descritivas, escolha forçada, pesquisa de campo e comparação de pares são os métodos mais aplicados no mercado, com destaque para a escala gráfica.

Sistemas de informação específicos para a gestão de recursos humanos servem para “melhorar e facilitar o acesso às informações, evitar e/ou eliminar redundâncias nelas e permitir sua atualização e seu processamento de maneira integrada e simultânea”, sendo os dados da empresa, dos cargos e dos empregados os mais importantes e a partir dos quais são geradas as informações necessárias para organizar os recursos, realizar os processos, controlar os resultados e tomar as decisões (PAIVA, 2019, p. 111-112). Os principais requisitos para que tais sistemas operem de forma otimizada são confiabilidade, agilidade e privacidade.

2.2.1.2 Comportamento Humano nas Organizações (CHO)

Comportamentos humanos impactam em desempenho e resultados, e podem se manifestar no nível individual (motivação e tomada de decisão), no coletivo (comunicação, liderança, conflito) e no organizacional (cultura e mudança). Assim, o comportamento humano nas organizações “investiga o impacto que indivíduos, grupos e estrutura organizacional têm sobre o comportamento das pessoas nos espaços laborais, com o propósito de utilizar esse conhecimento para promover a melhoria da eficácia organizacional” (ROBBINS; JUDGE; SOBRAL, 2010, p. 7 *apud* PAIVA, 2019, p. 119). Contudo, o estudo desse tema não é trivial, por causa da complexidade dos seres humanos e da diversidade entre eles. Ainda assim, podem-se observar, mapear e acionar certos padrões no comportamento humano, com possibilidade de modificação e adaptação destes, de forma a conferir certa estabilidade e previsibilidade à organização, a partir de “elaborações de relações entre causas e efeitos de sua conduta” (PAIVA, 2019, p. 120). Para lidar com múltiplos desafios e oportunidades — globalização, diversidade da força de trabalho, incentivo à inovação e mudança, inserção em redes produtivas, atenção ao comportamento ético, dentre outros —, o CHO recorre à psicologia, psicologia social, sociologia e antropologia.

Para discutir os comportamentos em nível individual, dois temas devem ser explorados, a saber, motivação e tomada de decisão. Antes disso, porém, é preciso reconhecer que a vida de uma pessoa é pautada por valores, e estes fazem parte da formação da sua consciência e da sua maneira de agir e de se relacionar em sociedade. Quando os valores pessoais estão alinhados aos da sociedade e das organizações, há menor chance de haver conflitos. Assim, as atitudes

apresentam componentes cognitivos (opiniões e convicções); afetivos (sentimentos e emoções); e comportamentais.

A motivação é um processo que diz respeito à satisfação de necessidades individuais; nas organizações, uma vez identificadas, as necessidades individuais podem ser estimuladas apropriadamente e se traduzir em desempenho. Entretanto, não se deve confundir motivação com estímulo, que são coisas distintas. Apesar de todas as teorias que já foram desenvolvidas sobre motivação — teoria da hierarquia das necessidades de Maslow, teoria dos dois fatores de Herzberg, teoria de McClelland, teoria da expectativa de Vroom —, o fato é que não existe uma única explicação para a motivação humana, o que impõe ainda mais desafios para as políticas e práticas de RH (PAIVA, 2019). Já a tomada de decisão acontece a partir de escolhas entre opções disponíveis. Nas organizações, algumas decisões são programadas, relacionadas às rotinas e com resultados previsíveis; outras, não rotineiras, fogem do controle e não são programadas. Os processos decisórios afetam concretamente o resultado da decisão, seja em termos de eficiência em coordenação de recursos e esforços, seja em termos de congruência dos objetivos ou eficácia, e os mais usuais são: processo racional (eficiência e eficácia), processo comportamental (eficácia), processo incremental (nem eficiência nem eficácia) e processo político (eficiência). Dada a racionalidade limitada do ser humano, a alternativa encontrada deve ser a satisfatória, mas não ótima (PAIVA, 2019).

Para falar sobre comportamentos coletivos ou grupais, faz-se necessário explorar o conceito de grupo, qual seja, “a reunião de dois ou mais indivíduos interdependentes, que trabalham em interação visando à obtenção de determinado objetivo” (PAIVA, 2019, p. 138). Há diversas razões para as pessoas se reunirem em grupos — “sentimento de segurança, obtenção de apoio social, manutenção de *status* social, elevação da autoestima, entre outras” (PAIVA, 2019, p. 139) — mas não sem que haja interações entre participantes, o que envolve aspectos afetivos, emocionais, sociais e políticos. Daí a importância de se analisar como comunicação, liderança e conflitos afetam os comportamentos coletivos. Nas organizações, a comunicação tem por objetivo informar sobre direitos e deveres, dar orientação sobre direções e caminhos, promover o trânsito de informações, dar e receber *feedback* etc. Em um processo comunicacional, o emissor codifica a mensagem a ser transmitida por um canal, e esta deverá ser decodificada pelo receptor, devendo ser, portanto, a mais clara e compreensível para não haver prejuízos. Como pode haver barreiras mecânicas, de linguagem ou psicológicas no processo de codificação e decodificação da mensagem, o *feedback* se torna estratégico para uma plena comunicação. Quando este não ocorre de maneira efetiva, surgem comunicações

disfuncionais ou patológicas, sobretudo em organizações. Nesse sentido, a liderança — que não deve ser confundida com função gerencial — pode influenciar e conduzir o grupo a outros padrões de comportamento. Segundo Paiva (2019, p. 144), “na condição de processo de influência, a liderança é dinâmica e multifocada, ainda mais considerando ambientes de mudança que carecem de inovação periodicamente”. Além dos estudos sistemáticos da liderança nas organizações, sendo bastante difundidas as abordagens egocêntrica, alocêntrica e contingencial, estudos sobre estilos de liderança também são comuns na literatura: autocrático, democrático e *laissez-faire*, este último chamado de estilo liberal. Entendidas a complexidade e a disparidade de valores, opiniões e interesses em um grupo de pessoas, é de se esperar que conflitos aconteçam. Se bem gerenciados, os conflitos são chamados de funcionais ou positivos; se geram consequências negativas, são chamados de disfuncionais. Em quaisquer dos casos, estão relacionados a divergências sobre o conteúdo ou objetivo da tarefa ou sobre a forma como esta deve ser realizada, bem como relacionados a problemas de relacionamentos interpessoais. Assim, o gestor ou líder deve atuar e gerenciar o conflito de forma a minimizar suas consequências negativas nas pessoas e no trabalho. Existem técnicas tanto para a resolução de conflitos quanto para estimular conflitos (PAIVA, 2019).

Os comportamentos em nível organizacional podem ser analisados a partir da cultura e da mudança organizacional, na medida em que sinalizam o vínculo e o comprometimento que o indivíduo estabelece dentro da organização. O mundo está em permanente processo de transformação, exigindo que pessoas e organizações se adaptem constantemente. Mudanças podem ocorrer em termos de estrutura organizacional, tecnologia, instalações físicas e pessoas. As fontes individuais de resistência costumam ser o hábito, o medo do desconhecido, os fatores econômico-financeiros, o sentimento de insegurança e a própria racionalidade limitada do ser humano, que pode dificultar o entendimento do processo de mudança. Quanto às fontes coletivas de resistência, elas advêm de inércia do grupo, ameaça à especialização ou à alocação de recursos, foco limitado de mudança ou inércia estrutural. Lidar com resistências individuais e coletivas não é tarefa fácil, o que reforça a importância de se gerir adequadamente um processo de mudança, concentrando esforços naquele que está sendo impactado, direta ou indiretamente, e que deve responder por meio do aprendizado de novas informações, do desenvolvimento de habilidades, da mudança de atitudes ou conceitos, de adaptação — o ser humano (PAIVA, 2019).

A análise minuciosa de uma cultura organizacional deve considerar aspectos da cultura dominante, das subculturas e das contraculturas, sendo que, no caso da cultura dominante e das

subculturas, embora exista um pensamento grupal, há coesão e colaboração para a estabilidade do sistema social. Já no caso das contraculturas, apesar de elas apresentarem valores que “se opõem aos compartilhados pela maioria”, ainda assim “propiciam inovação e promovem mudança” (PAIVA, 2019, p. 158-159). Processos comunicacionais são fundamentais para que valores e símbolos sejam fortalecidos (ou enfraquecidos).

Outros teorias que têm ganhado destaque no estudo do comportamento humano nas organizações são: valores como pilares motivacionais; percepção de justiça organizacional; comportamentos contraproducentes nas organizações, tais como atitudes retaliatórias e retaliação; dimensão temporal como “meio de regulação da conduta e da sensibilidade humanas” (ELIAS, 1998, p. 30 *apud* PAIVA, 2019, p. 175); prazer e sofrimento no trabalho e a psicodinâmica do trabalho; estresse ocupacional e síndrome de *burnout*; vínculos organizacionais (comprometimento, entrincheiramento e consentimento). A literatura tem mostrado que, quando o ambiente organizacional não é considerado justo e saudável e nele se pratica retaliação, há, por parte dos empregados, sentimentos de injustiça e estresse, culminando tal associação em atitudes retaliatórias.

2.2.1.3 Relações de Trabalho

Para além de aspectos técnicos e operacionais, as relações de trabalho abarcam uma série de questões políticas e sociais que afetam o dia a dia do trabalhador. O sistema capitalista de produção e de acumulação de riqueza pressupõe relações de poder assimétricas e desiguais, apoiadas em um aparato legal, em que poucos são privilegiados e muitos, marginalizados. Falar de relações de trabalho requer o entendimento sobre os arranjos institucionais (legais) ou informais (costumes, valores e culturas); as regras que fundamentam a realização do trabalho; as técnicas de recursos humanos que garantem a manutenção da assimetria; os pontos de interface entre a organização do processo de trabalho e a organização política de produção (PAIVA, 2019). Resta claro ser impossível separar “as relações produtivas (econômicas), as relações sociais e as relações políticas que ocorrem dentro de qualquer organização, independentemente de porte e setor de atuação” (PAIVA, 2019, p. 206).

Já que organizações são sistemas políticos, é de se esperar que surjam nessa arena elementos como poder, interesses e conflitos, todos inter-relacionados. O conflito é inerente às organizações, na medida em que o poder é distribuído de maneira desigual. As relações de poder são estabelecidas não só por meio de hierarquia, mas também por meio de conhecimento técnico, fluxo produtivo, controle da incerteza, contingências estratégicas, dependência ou

controle de recursos, participação na tomada de decisão, a própria não necessidade de poder e o cerceamento organizacional (PAIVA, 2019). Contudo, o poder é circunstancial, por ser a todo tempo questionado por aqueles que têm interesses divergentes. Portanto, o gestor tem um papel importante na cena organizacional e deve estar atento às diversas fontes de conflito, para que possa conduzir adequadamente os processos de mediação nos campos econômico, político, ideológico e psicológico.

Tanto empregadores quanto empregados enfrentam desafios no cotidiano das organizações e instituições, desenvolvendo, assim, suas próprias estratégias nas relações de trabalho. No caso dos empregadores e demais representantes do capital, além do privilégio de poderem usar as políticas e práticas de recursos humanos em seu favor, sua principal estratégia é deslocar os conflitos do local de trabalho para as instâncias legais. Do lado do trabalhador, as estratégias englobam a ressignificação do trabalho, o distanciamento entre os atores, as tentativas de minar a autoridade formal e outros expedientes, tais como: reter informações; atuar com ativismo defensivo; protestar contra regras e normas; agir com morosidade ou desânimo; fomentar discórdia, boato, denúncia, desconfiança, conflitos; encorajar a desunião e a falta de solidariedade; entre outros (PAIVA, 2019). Em termos de atuação de agente coletivo, entram em cena os sindicatos, as associações e os conselhos profissionais, que perderam força e não estão preparados para lidar com as atuais demandas trabalhistas e sociais.

Atualmente, assédio (moral e sexual) e terceirização nas organizações são temas emergentes, dadas suas implicações. Segundo Leymann (1990), citado por Paiva (2019), entende-se assédio moral “como um conjunto de ações hostis, repetitivas e públicas envidadas por um ou mais sujeitos contra outro(s), com o objetivo de coagir sua conduta e debilitar sua estrutura psicológica” (LEYMANN, 1990 *apud* PAIVA, 2019, p. 221). O assédio se constitui em uma conduta abusiva e agressiva, de natureza psicológica, manifestada contínua e repetitivamente ao longo de um período, com finalidade de afastar a vítima do ambiente de trabalho. As atitudes hostis visam à deterioração proposital das condições de trabalho, ao isolamento e à recusa de comunicação, ao atentado contra a dignidade, bem como à violência verbal, física e sexual, gerando impactos, basicamente, para a vítima, para a organização e para a sociedade. O assédio pode ser praticado entre colegas de mesmo nível hierárquico (horizontal); por um subordinado sobre uma chefia (vertical ascendente), tipo mais raro; por um superior sobre um subordinado (vertical descendente), tipo mais comum; realizado por colegas e chefia (misto); pela organização (estratégico); e contra grupos de empregados (coletivo). Ainda que se reconheça a exigência por lucros e resultados que domina as

organizações, faz-se necessária uma análise do assédio moral em uma perspectiva multinível que considere as relações entre indivíduos (vértice interpessoal); as demandas e as imposições oriundas de competição ou pressão social e/ou política (vértice econômico-organizacional); a permissividade, sobretudo no caso brasileiro, que naturaliza diferenças e discriminações (vértice cultural); e o ainda incipiente aparato legal (vértice institucional) (PAIVA, 2019). O processo de terceirização de atividades genéricas, secundárias, acessórias e de suporte, no Brasil, expande-se na década de 1990, sendo este um fenômeno que merece ponderação por parte da gestão de recursos humanos. O apelo das organizações é por ganhos de produtividade e competitividade advindos da redução dos custos do trabalho, mas o que se vê é o enfraquecimento político da força de trabalho e das possibilidades e efetividade em torno de sua ação coletiva. Logo, a terceirização concretiza a acumulação por meio da exploração, fundamentada na instabilidade e na insegurança do trabalhador, que tem dificuldades de organização coletiva e de sindicalização. Há casos de terceirizados e empregados cujos contratos e proteções legais diferem bastante, apesar de as atividades exercidas serem muito similares. Assim, com a Reforma Trabalhista de 2017, que foi aprovada com o objetivo de diminuir os encargos sobre a mão de obra e promover o crescimento do Brasil, adequando nossas leis à economia contemporânea, muitos direitos e deveres foram alterados. Ao promover, entre outras coisas, o instituto da terceirização, a Lei n.º 13.467/17 deu um passo a mais para a deterioração de proteção legal dos trabalhadores, sem sopesar riscos de outras ordens.

Sobre o futuro da gestão de recursos humanos e de pessoas, Chryssolouris, Mavrikios e Mourtzis (2013) preveem que novas habilidades serão exigidas dos trabalhadores do conhecimento, e, no caso da formação industrial, esta deve estar preocupada com o fornecimento contínuo de competências integradas de engenharia e forte base multidisciplinar, mirando em negócios digitais, produção estendida e empresas virtuais, com destaque para o aspecto tecnológico da educação em associação com “*soft skills*”. Pesquisa, educação e inovação constituem, pois, o “triângulo do conhecimento”, fatores fundamentais e intimamente interdependentes em uma sociedade baseada no conhecimento.

Os fatores críticos de sucesso que devem ser cuidadosamente gerenciados ao introduzir a Indústria 4.0 e a manufatura ambientalmente sustentável, na visão de Piccarozzi, Aquilani e Gatti (2018), são liderança de gestão; prontidão para mudança organizacional; compromisso da alta administração; alinhamento estratégico; treinamento e capacitação; empoderamento; trabalho em equipe; cultura organizacional; comunicação; gestão de projetos; cultura nacional e diferenças regionais.

Gentner (2016), a despeito do aumento da automação, afirma que, desde a invenção do motor a vapor, as pessoas continuam tendo empregos. Para o autor, a Indústria 4.0 poderá significar empregos de alta qualidade, mas não fábricas sem pessoas. Com os empregados coordenando fluxos de trabalho, controlando processos de comunicação e tomando rapidamente suas próprias decisões, as funções organizacionais que precisam ser preenchidas devem se tornar cada vez mais complexas e as competências transversais, mais procuradas. Assim, faz-se necessário fornecer as oportunidades certas de treinamento e requalificação neste contexto, bem como um ambiente de trabalho que incentive a aprendizagem ao longo da vida.

Gentner (2016) dá exemplos de locais de trabalho, fabricação, planejamento, cadeia de suprimentos e manutenção operando em formato digital, o que comprova que a Indústria 4.0 já é realidade hoje. Para moldar o futuro, serão determinantes a forma como serão aplicadas tais tecnologias e como as pessoas serão envolvidas nessa transformação. Para serem bem-sucedidos, projetos de tecnologia da informação — que é a maior parte da necessidade da Indústria 4.0 — requerem boa comunicação e estabelecimento de metas. Como ainda há indefinição sobre o *design* da Indústria 4.0, tornando difíceis a comunicação e a definição de metas, projetos ágeis têm se provado úteis para a rápida geração de histórias de sucesso. Isso exige que gerentes de projetos e empreendedores se mantenham ágeis e estejam preparados para lidar com certa incerteza.

Também Becker e Stern (2016) relatam que o trabalho do futuro sofrerá mudanças, mas que as fábricas do futuro não prescindirão do trabalho humano, mas estarão organizadas como um sistema de produção híbrido em que homens e máquinas trabalharão lado a lado. O estudo enfoca especificamente a área de manufatura e não menciona os impactos em outras áreas da organização, como *marketing* ou contabilidade, apesar de afirmar que estas áreas também poderão ser afetadas pela integração de sistemas ciberfísicos. Os autores apresentam cinco principais previsões de especialistas em relação ao futuro do trabalho (em geral e na manufatura): (1) os humanos serão absolutamente necessários nas fábricas do futuro; (2) as novas tarefas serão mais complexas; (3) as novas tarefas serão intensamente conectadas a dispositivos computacionais; (4) as tarefas fáceis e repetitivas serão automatizadas; e (5) as habilidades humanas únicas desempenharão um papel mais significativo para o *design* de tarefas humanas (BECKER; STERN, 2016).

Ocorre que os profissionais têm sido treinados mais como engenheiros, cujo foco é na precisão, quando, na verdade, deveriam estar sendo preparados para o pensamento rápido e a tomada de risco. “A batalha pelas plataformas industriais será uma luta entre a precisão alemã

e a velocidade americana”, diz Clemens Westercamp, da Universidade de Ciências Aplicadas em Osnabrück (DOES Deutschland..., 2015).

Uma edição especial sobre “Mercado de Trabalho no Contexto de Transformações Tecnológicas”, publicada em 2017 pelo periódico **Foresight And STI Governance**, apresentou um quadro geral das tendências tecnológicas conhecidas como a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0), seu impacto na estrutura em mudança do mercado de trabalho, a demanda por habilidades prospectivas, bem como os desafios políticos emergentes. O artigo “Indústria 4.0: novos desafios e oportunidades para o mercado de trabalho” abre a edição especial, afirmando que:

[...] colher os benefícios que essas tecnologias emergentes podem trazer dependerá, entre outros desafios, da capacidade de adaptação dos mercados de trabalho. Na verdade, a mudança tecnológica é um dos principais fatores que provavelmente influenciam os mercados de trabalho, a demanda e a oferta de habilidades e a estrutura das ocupações (KERGROACH, 2017, p. 7).

Também dessa edição, o artigo de Fonseca (2017), intitulado “O futuro do emprego: avaliando o impacto dos exercícios prospectivos da STI”, destaca que os formuladores de políticas precisam de evidências e inteligência antecipatória para prever o impacto das mudanças tecnológicas nas qualificações e condições de trabalho, bem como no *design* e avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação.

Bögenhold, Klinglmair e Kandutsch (2017) descrevem formas não padronizadas de emprego, seja em tempo parcial, temporário, de plantão etc., e da fragmentação do emprego em unidades menores de trabalho autônomo, com um número crescente de trabalhadores com empregos atípicos ou operando um emprego atípico como um negócio paralelo para complementar a renda de seu trabalho regular. Nesse sentido, Kergroach (2017) alerta para o fato de que empregos atípicos costumam ser aqueles de baixa qualidade, de salários mais baixos e que exigem menos habilidades, o que poderia compelir as populações desfavorecidas a ficarem “presas em arranjos de trabalho não convencionais e terem menos oportunidades de acesso a oportunidades de treinamento e uma rede de segurança social” (OCDE, 2015b *apud* KERGROACH, 2017, p. 7).

O artigo de Roshchin, Solntsev e Vasilyev (2017), “As tecnologias de recrutamento e busca de empregos na era da *Internet*”, descreve plataformas de mediação de trabalho on-line que surgiram nos últimos anos ligando candidatos a emprego e *freelancers* com empresas que os convidam a apresentar propostas em uma variedade de tarefas.

O autor Ali Shamsi (2017), com seu artigo “Relação entre gestão do conhecimento e habilidades gerenciais: o papel do pensamento criativo”, destaca que, provavelmente, no mundo emergente aumentará a importância de *soft skills* tais como auto-organização, gerenciamento, trabalho em equipe e comunicação.

Em “Gestão de recursos humanos em empresas russas – líderes da economia global”, Zavyalova, Kucherov e Tsybova (2017) sublinham a necessidade de uma agenda de políticas de educação e treinamento renovada e novas abordagens para a formação de professores, além do fato de que o novo capital humano deve impor mudanças organizacionais e adoção de novas práticas de gestão que garantam um uso eficiente de ativos intangíveis.

Também sobre o futuro do trabalho, um importante estudo, elaborado por Carl Benedikt Frey e Michael Osborne e publicado pelo *Oxford Martin Programme on Technology and Employment*, em 2013, prevê que cerca de 47% do total de empregos nos EUA está em risco, mas os autores afirmam que nenhum estudo ainda quantificou o que o recente progresso tecnológico pode significar para o futuro do emprego. O estudo foi baseado, em primeiro lugar, na literatura da economia do trabalho sobre o conteúdo da tarefa do emprego, de autores como Autor *et al.*, Goos e Manning e Autor e Dorn, e, em segundo lugar, no exame da literatura sobre realocação de tarefas baseadas em informações para locais de trabalho estrangeiros. Neste caso, foram consultados estudos de autores como Jensen e Kletzer, Blinder, Jensen e Kletzer, Oldenski, Blinder e Krueger. As estimativas se basearam em duas características definidoras de trabalhos que não podem ser deslocados: (a) o trabalho deve ser executado em um local de trabalho específico; e (b) o trabalho requer comunicação pessoal face a face (FREY; OSBORNE, 2013).

Espera-se que os trabalhadores resistam às novas tecnologias, na medida em que elas tornam suas habilidades obsoletas e reduzem irreversivelmente os ganhos esperados. O balanceamento entre a conservação do emprego e o progresso tecnológico, portanto, em grande medida, reflete o equilíbrio de poder na sociedade e como os ganhos do progresso tecnológico estão sendo distribuídos (FREY; OSBORNE, 2013).

Já foi argumentado que, apesar das preocupações com o emprego em relação à mecanização, os trabalhadores não qualificados foram os maiores beneficiários da Revolução Industrial (CLARK, 2008 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). O processo de desqualificação ocorreu à medida que o sistema fabril começou a deslocar a oficina artesanal e acelerou com a produção cada vez mais mecanizada a partir da adoção da energia a vapor (GOLDIN; SOKOLOFF, 1982; ATACK *et al.*, 2008a *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Embora a primeira

linha de montagem tenha sido documentada em 1804, foi somente no final do século XIX que os processos de fluxo contínuo começaram a ser adotados em maior escala (FREY; OSBORNE, 2013). Assim, “a ideia de que os avanços tecnológicos favorecem os trabalhadores mais qualificados é um fenômeno do século XX” (ACEMOGLU, 2002, p. 7 *apud* FREY; OSBORNE, 2013, p. 11). A sabedoria convencional entre os historiadores econômicos, em outras palavras, sugere uma descontinuidade entre os séculos XIX e XX no impacto do aprofundamento do capital sobre a demanda relativa por mão de obra qualificada (FREY; OSBORNE, 2013). O padrão moderno de complementaridade capital-habilidade gradualmente emergiu no final do século XIX, à proporção que a produção manufatureira mudou para linhas de montagem cada vez mais mecanizadas. Essa mudança pode ser atribuída à mudança de vapor e energia hidráulica para eletricidade que, em combinação com processos contínuos e métodos de produção em lote, reduziu a demanda por trabalhadores manuais não qualificados em muitas tarefas de transporte e montagem, mas aumentou a demanda por habilidades (GOLDIN; KATZ, 1998 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Em suma, enquanto as linhas de montagem da fábrica, com sua extrema divisão de trabalho, exigiam grandes quantidades de operadores humanos, a eletrificação permitiu que muitos estágios do processo de produção fossem automatizados, o que por sua vez aumentou a demanda por trabalhadores de produção relativamente qualificados para operar a máquina. Além disso, a eletrificação contribuiu para uma parcela crescente de trabalhadores administrativos de “colarinho branco” (GOLDIN; KATZ, 1998 *apud* FREY; OSBORNE, 2013, p. 11).

Ao longo do século XIX, os estabelecimentos aumentaram de tamanho à medida que as tecnologias de energia a vapor e água melhoraram, permitindo-lhes adotar máquinas motorizadas para obter ganhos de produtividade por meio da combinação de maior divisão de trabalho e maior intensidade de capital (ATACK *et al.*, 2008a *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Além disso, a revolução do transporte reduziu os custos de embarque de mercadorias nacional e internacionalmente, conforme a infraestrutura se espalhou e melhorou (ATACK *et al.*, 2008b *apud* FREY; OSBORNE, 2013). À medida que os estabelecimentos se tornavam maiores e atendiam a mercados geograficamente expandidos, as tarefas gerenciais aumentavam em número e complexidade, exigindo mais funcionários gerenciais e administrativos (CHANDLER, 1977 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Muito provavelmente, a crescente proporção de trabalhadores de “colarinho branco” aumentou o elemento de interação humana no emprego (FREY; OSBORNE, 2013, p. 12). Desde a eletrificação, a história do século XX tem sido a corrida entre educação e tecnologia (GOLDIN; KATZ, 2009 *apud* FREY;

OSBORNE, 2013). O movimento do ensino médio nos Estados Unidos coincidiu com a primeira revolução industrial do escritório (GOLDIN; KATZ, 1995 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). É importante ressaltar que essas máquinas de escritório reduziram o custo das tarefas de processamento de informações e aumentaram a demanda pelo fator complementar — ou seja, trabalhadores de escritório qualificados (FREY; OSBORNE, 2013).

Os funcionários de escritório eram, de fato, relativamente educados, mas foi o resultado da oferta de trabalhadores qualificados, ultrapassando a demanda por suas competências, que fez com que os diferenciais salariais educacionais se comprimissem (FREY; OSBORNE, 2013). Embora haja claramente diversas variáveis em ação, o consenso é amplo de que isso pode ser atribuído a uma aceleração na complementaridade capital-habilidade, impulsionada pela adoção de computadores e tecnologia da informação (KRUEGER, 1993; AUTOR *et al.*, 1998; BRESNAHAN *et al.*, 2002 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

É comumente referido como a revolução do computador começou com os primeiros usos comerciais de computadores por volta de 1960 e continuou com o desenvolvimento da *Internet* e do comércio eletrônico na década de 1990. Com a diminuição do custo por computação, as operadoras de telefonia tornaram-se redundantes. O primeiro robô industrial foi introduzido pela General Motors na década de 1960, e, nos anos 1970, os sistemas de reservas aéreas abriram o caminho na tecnologia de autoatendimento (GORDON, 2012 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Durante as décadas de 1980 e 1990, os custos de computação diminuíram ainda mais rapidamente, em média 64% ao ano, acompanhados por um aumento no poder computacional (NORDHAUS, 2007 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Ao mesmo tempo, leitores de código de barras e caixas eletrônicos estavam se espalhando pelos setores de varejo e financeiro, e os primeiros computadores pessoais foram introduzidos no início dos anos 1980, com suas funções de processamento de texto e planilha eliminando as ocupações de digitador e permitindo a cálculos repetitivos serem automatizados (GORDON, 2012 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Essa substituição pelo trabalho marca uma outra reversão importante — as máquinas de escritório do início do século XX aumentaram a demanda por trabalhadores de escritório (CHANDLER, 1977; GOLDIN; KATZ, 1995 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

Além disso, estudos mais recentes descobriram que os computadores causaram uma mudança na estrutura ocupacional do mercado de trabalho. A expansão do emprego de alta qualificação pode ser explicada pela queda do preço da realização de tarefas rotineiras por meio de computadores, o que complementa serviços mais abstratos e criativos. O resultado tem sido um mercado de trabalho cada vez mais polarizado, com empregos crescentes em empregos

cognitivos de alta renda e ocupações manuais de baixa renda, acompanhados de esvaziamento de empregos rotineiros de renda média (FREY; OSBORNE, 2013).

Para esses autores, a preocupação com o desemprego tecnológico provou ser exagerada, segundo o capítulo sobre máquinas da obra de 1819 de David Ricardo, “Os princípios da economia política e tributação”, que sugere que a tecnologia para economizar trabalho reduz a demanda por trabalho não diferenciado, levando, assim, ao desemprego tecnológico. Isso acontece porque uma invenção que substitua os trabalhadores por máquinas terá efeitos em todos os mercados de produtos e fatores. Primeiro, como a tecnologia substitui o trabalho, há um efeito de destruição, exigindo que os trabalhadores realoquem sua oferta de trabalho; e, segundo, há o efeito de capitalização, à medida que mais empresas entram em setores nos quais a produtividade é relativamente alta, levando ao aumento do emprego nesses setores. Embora o efeito de capitalização tenha predominado historicamente, a descoberta de meios de economizar no uso da mão de obra pode ultrapassar o ritmo em que se podem encontrar novos usos para ela. O motivo pelo qual o trabalho humano tem prevalecido diz respeito à sua capacidade de adotar e adquirir novas competências por meio da educação (GOLDIN; KATZ, 2009 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Os trabalhadores altamente qualificados desceram na escala ocupacional, assumindo empregos tradicionalmente desempenhados por trabalhadores pouco qualificados, empurrando os trabalhadores pouco qualificados ainda mais para baixo na escala ocupacional e, em certa medida, até fora da força de trabalho. Isso levanta questões sobre: (a) a capacidade do trabalho humano de vencer a corrida contra a tecnologia por meio da educação; e (b) a extensão potencial do desemprego tecnológico, pois um ritmo crescente de progresso tecnológico causará maior rotatividade de empregos, resultando em uma maior taxa natural de desemprego (LUCAS; PRESCOTT, 1974; DAVIS; HALTIWANGER, 1992; PISSARIDES, 2000 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

Os computadores serão, portanto, relativamente produtivos para o trabalho humano quando um problema puder ser especificado — no sentido de que os critérios de sucesso são quantificáveis e podem ser avaliados prontamente (ACEMOGLU; AUTOR, 2011 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

A extensão da informatização do trabalho será determinada por avanços tecnológicos que permitem que os problemas de engenharia sejam suficientemente especificados. Daí o foco em avanços nas áreas relacionadas ao aprendizado de máquina (do inglês, *Machine Learning* – ML), incluindo mineração de dados, visão de máquina, estatística computacional e outros subcampos da inteligência artificial (do inglês, *Artificial Intelligence* – AI), nos quais os

esforços são explicitamente dedicados ao desenvolvimento de algoritmos que permitem que tarefas cognitivas sejam automatizadas. Foi também examinada a aplicação de tecnologias de aprendizado de máquina (*machine learning* – ML) em robótica móvel e, portanto, a extensão da informatização em tarefas manuais. A análise de Frey e Osborne (2013) baseia-se na categorização de tarefas de Autor, Levy e Murnane (“O conteúdo de habilidade da recente mudança tecnológica: uma exploração empírica”, de 2003), que usa uma matriz dois por dois para diferenciar tarefas rotineiras e não rotineiras em um eixo, e tarefas manuais *versus* cognitivas, no outro (FREY; OSBORNE, 2013, p. 16). Resumidamente, as tarefas de rotina são definidas como tarefas que seguem regras explícitas que podem ser realizadas por máquinas, enquanto as tarefas não rotineiras não são suficientemente bem compreendidas para serem especificadas em código de computador. Cada uma dessas categorias de tarefas pode, por sua vez, ser de natureza manual ou cognitiva — ou seja, elas se relacionam com trabalho físico ou trabalho de conhecimento. Historicamente, a informatização tem sido amplamente confinada a tarefas rotineiras manuais e cognitivas que envolvem atividades baseadas em regras explícitas. Os avanços tecnológicos recentes são, em grande parte, devido aos esforços para transformar tarefas não rotineiras em problemas bem definidos (AUTOR; DORN, 2013; GOOS *et al.*, 2009 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Ou seja, os dados são necessários para especificar as muitas contingências que uma tecnologia deve gerenciar para formar um substituto adequado para o trabalho humano. Assim, o progresso tecnológico tem sido auxiliado pela produção recente de conjuntos de dados cada vez maiores e complexos, conhecidos como *big data* (FREY; OSBORNE, 2013).

Como resultado, a informatização não está mais confinada a tarefas de rotina que podem ser escritas como consultas de *software* baseadas em regras, mas está se espalhando para todas as tarefas não rotineiras em que *big data* se torna disponível (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Ou seja, além da melhoria geral no progresso tecnológico devido ao *big data*, algoritmos para *big data* estão entrando rapidamente em domínios dependentes de armazenamento ou acesso a informações. O uso de *big data* é proporcionado por uma das principais vantagens comparativas dos computadores em relação ao trabalho humano: escalabilidade. Algoritmos de *machine learning* executados em computadores agora são, em muitos casos, mais capazes de detectar padrões em *big data* do que humanos. A informatização de tarefas cognitivas também é auxiliada por outra suposta vantagem comparativa central dos algoritmos: a ausência de alguns preconceitos humanos (FREY; OSBORNE, 2013).

Os autores argumentam que muitas funções que envolvem a tomada de decisões beneficiar-se-ão de soluções algorítmicas imparciais, tais como a detecção de fraudes, tarefa que atualmente é quase inteiramente automatizada (PHUA *et al.*, 2010 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). De maneira semelhante, as vantagens comparativas dos computadores provavelmente mudarão a natureza do trabalho em uma ampla gama de setores e ocupações, como, por exemplo, no domínio dos serviços jurídicos e financeiros. Além disso, o aprimoramento da tecnologia de sensoriamento fez dos dados do sensor uma das fontes mais importantes de *big data* (ACKERMAN; GUIZZO, 2011 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

Frey e Osborne (2013) sublinham o fato de os computadores serem livres de tendências irracionais e que sua vigilância não precisa ser interrompida por pausas para descanso ou lapsos de concentração. Os avanços nas interfaces de usuário também permitem que os computadores respondam diretamente a uma gama mais ampla de solicitações humanas, aumentando, assim, o trabalho de mão de obra altamente qualificada, enquanto permite que alguns tipos de trabalhos sejam totalmente automatizados. Essas tecnologias podem ser igualmente implementadas no recrutamento, provavelmente resultando na simplificação dos departamentos de recursos humanos. No setor financeiro, essa tomada de decisão automatizada tem desempenhado um papel há algum tempo. Os algoritmos de inteligência artificial são capazes de processar um número maior de anúncios financeiros, comunicados à imprensa e outras informações do que qualquer *trader* humano e, então, agir mais rapidamente sobre eles (MIMS, 2010 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). Até mesmo o trabalho dos engenheiros de *software* pode em breve ser amplamente computável. Essas melhorias algorítmicas sobre o julgamento humano provavelmente se tornarão cada vez mais comuns. Embora a extensão desses desenvolvimentos deva ser verificada, há estimativas que sugerem que algoritmos sofisticados podem substituir aproximadamente 140 milhões de trabalhadores do conhecimento em tempo integral em todo o mundo (FREY; OSBORNE, 2013).

Pode-se esperar que o progresso tecnológico no século XXI contribua para uma ampla gama de tarefas cognitivas que, até agora, permaneceram em grande parte um domínio humano. No entanto, a tendência é clara: os computadores desafiam cada vez mais o trabalho humano em uma ampla gama de tarefas cognitivas (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011 *apud* FREY; OSBORNE, 2013). A robótica móvel fornece um meio de alavancar diretamente as tecnologias de *machine learning* para auxiliar na informatização de um escopo crescente de tarefas manuais. O desenvolvimento tecnológico contínuo do *hardware* robótico está tendo um impacto notável sobre o emprego: nas últimas décadas, os robôs industriais assumiram as tarefas de rotina da

maioria dos operadores de manufatura. Agora, no entanto, robôs mais avançados estão ganhando sensores e manipuladores aprimorados, permitindo que executem tarefas manuais não rotineiras. Algoritmos são, portanto, *drivers* potencialmente mais seguros e eficazes do que humanos (FREY; OSBORNE, 2013).

A expansão das capacidades tecnológicas e a redução dos custos tornarão possíveis usos inteiramente novos para os robôs, que já estão realizando muitas tarefas de serviço simples, como aspirar, esfregar, cortar grama e limpar calhas. Enquanto isso, os robôs de serviço comercial agora são capazes de realizar tarefas mais complexas na preparação de alimentos, cuidados de saúde, limpeza comercial e atendimento a idosos (ROBOTICS-VO, 2013 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

Isso significa que muitos empregos manuais de baixa remuneração que antes eram protegidos da informatização podem diminuir com o tempo. O modelo de tarefa de Autor *et al.* (2003) entregou previsões intuitivas e precisas em que: (a) os computadores são mais substituíveis para o trabalho humano na rotina em relação às tarefas não rotineiras; e (b) uma maior intensidade de insumos de rotina aumenta a produtividade marginal de insumos não rotineiros. O capital do computador pode agora igualmente substituir uma ampla gama de tarefas comumente definidas como não rotineiras (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011 *apud* FREY; OSBORNE, 2013), o que significa que o modelo de tarefa de Autor *et al.* (2003) não será suficiente para prever o impacto da informatização no conteúdo da tarefa de emprego no século XXI (FREY; OSBORNE, 2013).

É provável que trabalhadores em tarefas suscetíveis sejam realocados para tarefas não suscetíveis. Mesmo havendo gargalos, os autores argumentam que já é tecnologicamente possível automatizar quase todas as tarefas, desde que quantidades suficientes de dados sejam reunidas para o reconhecimento de padrões. O ritmo em que esses gargalos podem ser superados determinará a extensão da informatização no século XXI, ou seja, eles estabelecerão os limites para a informatização de tarefas não rotineiras. Os vários gargalos de engenharia correspondem a três categorias de tarefas, quais sejam: tarefas de percepção e manipulação, tarefas de inteligência criativa e tarefas de inteligência social (FREY; OSBORNE, 2013). Assim, a extensão da informatização no século XXI dependerá, portanto, em parte de abordagens inovadoras para a reestruturação de tarefas, em que aquelas relacionadas a um ambiente de trabalho não estruturado podem tornar os empregos menos suscetíveis à informatização. Os principais desafios à informatização, percepção e manipulação da robótica,

portanto, permanecem em grande parte e provavelmente não serão totalmente resolvidos nas próximas duas décadas (ROBOTICS-VO, 2013 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

O principal obstáculo à criatividade informatizadora é declarar nossos valores criativos de forma suficientemente clara para que possam ser codificados em um programa. Além disso, os valores humanos mudam com o tempo e variam entre as culturas, porque a criatividade, por definição, envolve não apenas novidade, mas valor, e porque os valores são altamente variáveis. A inteligência social humana é importante em uma ampla gama de tarefas de trabalho, como aquelas que envolvem negociação, persuasão e cuidado. Embora algoritmos e robôs possam agora reproduzir alguns aspectos da interação social humana, o reconhecimento em tempo real da emoção humana natural permanece um problema desafiador (BODEN, 2003 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

Em resumo, embora algoritmos sofisticados e desenvolvimentos em *mobile robotics*, baseados em *big data*, agora permitam que muitas tarefas não rotineiras sejam automatizadas, ocupações que envolvem tarefas complexas de percepção e manipulação, tarefas de inteligência criativa e tarefas de inteligência social provavelmente não serão substituídas por capital de computador nas próximas duas décadas (FREY; OSBORNE, 2013). Ocupações generalistas que requerem conhecimento de heurísticas humanas e ocupações especializadas envolvendo o desenvolvimento de novas ideias e artefatos são as menos suscetíveis à informatização. Como um exemplo representativo de trabalho generalista que exige muita inteligência social, destacam-se as tarefas de executivos-chefes que envolvem a participação em reuniões para discutir questões, coordenar atividades ou resolver problemas e negociação ou aprovação de contratos ou acordos. Segundo Frey e Osborne (2013), a maioria das ocupações de administração, negócios e finanças, que são intensivas em tarefas generalistas que exigem inteligência social, está em grande parte confinada à categoria de baixo risco. O mesmo é verdade para a maioria das ocupações em educação, saúde, bem como em artes e empregos na mídia. Outra previsão dos autores sugere implicitamente fortes complementaridades entre computadores e trabalho na ciência criativa e nas ocupações de engenharia. Por exemplo, para que o trabalho dos advogados seja totalmente automatizado, será necessário superar gargalos de engenharia à inteligência criativa e social, implicando que a informatização das pesquisas jurídicas complementarizará o trabalho dos advogados a médio prazo.

As limitações do estudo de Frey e Osborne (2013) dizem respeito às invenções que poupam mão de obra, uma vez que estas só devem ser adotadas se o acesso à força de trabalho barata for escasso ou se os preços do capital forem relativamente altos (HABAKKUK, 1962

apud FREY; OSBORNE, 2013). Outra limitação é relativa a preocupações regulatórias e ativismo político, que podem retardar o processo de informatização (FREY; OSBORNE, 2013). Por último, os autores reconhecem a dificuldade de se fazer previsões sobre o progresso tecnológico (ARMSTRONG; SOTALA, 2012 *apud* FREY; OSBORNE, 2013).

O modelo prevê que a maioria dos trabalhadores nas ocupações de transporte e logística, juntamente à maior parte dos trabalhadores de escritório e de apoio administrativo, e a mão de obra nas ocupações de produção, está em risco. Essas descobertas são consistentes com os desenvolvimentos tecnológicos recentes documentados na literatura. Outro achado é que uma parte substancial do emprego em ocupações de serviços, em que a maior parte do crescimento do emprego nos Estados Unidos ocorreu nas últimas décadas (AUTOR; DORN, 2013 *apud* FREY; OSBORNE, 2013), é altamente suscetível à informatização. Finalmente, os autores fornecem evidências de que salários e realização educacional exibem uma forte relação negativa com a probabilidade de informatização. As descobertas, portanto, implicam que, à medida que a tecnologia avança, os trabalhadores de baixa qualificação serão realocados para tarefas que não são suscetíveis à informatização — ou seja, tarefas que requerem inteligência criativa e social. Para que o trabalhador ganhe a corrida, conforme Frey e Osborne (2013), ele terá que adquirir habilidades criativas e sociais.

Segundo Schwab (2018 *apud* ATAMANCZUK; SIATKOWSKI, 2019, p. 287),

[...] as tecnologias podem minar as escolhas dos seres humanos e suas capacidades de aplicação de habilidades e interesses em trabalhos que realmente tenham significado, podendo levar a criação de gerações de trabalhadores com vidas precárias e fragmentadas. Para que isso não ocorra, é necessária a criação de novos regulamentos para trabalhos atípicos, investimentos em educação de adultos e agências de empregos proativas. [...] Embora a revolução ainda esteja no início, é impossível estimar o impacto em diferentes grupos. Existem três grandes áreas de preocupação: desigualdade, segurança e identidade.

2.2.2 Fatores de Contexto

A necessidade de adequar a estrutura empresarial a modelos que estejam fundamentados em processos, ante a crescente complexidade dos ambientes de negócios, ficou mais evidente. Gerenciar processos, em vez de tarefas, ajuda a melhorar os resultados de desempenho de negócios e dão mais agilidade operacional. Os processos de negócio são fluxos de trabalhos que atendem a um ou mais objetivos da organização e que proporcionam agregação de valor sob a ótica do cliente final (DE SORDI, 2018). Eles compreendem as fronteiras organizacionais,

unindo pessoas, fluxos de informações, sistemas e outros ativos para criar e entregar valor aos clientes e demais interessados, implicando uma nova organização dos recursos humanos.

A partir dos princípios da administração científica, houve a propagação de estruturas organizacionais, nas quais a especialização dividiu o trabalho em funções e levou à verticalização, que culminou com o distanciamento das empresas dos seus objetivos de negócios. A principal característica observada nessas organizações foi a quebra das vias de comunicação entre departamentos, com a criação de barreiras funcionais que isolam áreas multidisciplinares que atuam nos mesmos processos. A proliferação de níveis hierárquicos de gestão, por seu lado, estimula a criação de barreiras hierárquicas, em que supervisores só falam com supervisores, gerentes com gerentes e diretores com seus pares (DE SORDI, 2018).

A busca por soluções eficazes levou as empresas a reverem suas estruturas organizacionais, arquitetando-as não mais a partir de agrupamentos de atividades em torno de suas áreas funcionais, mas sob a perspectiva do cliente. Houve a alteração do foco administrativo, do fluxo de trabalho de áreas funcionais para processos de negócio da organização. Ocorreram diversos movimentos administrativos fundamentados em soluções ou práticas empresariais que, embora tivessem outros recursos como objetivo principal, acabaram por privilegiar e direcionar as organizações para uma estrutura organizacional voltada para processos de negócios. Exemplos de algumas dessas práticas são: a gestão de relacionamentos com clientes ou *Customer Relationship Management* (CRM), a gestão da cadeia de fornecedores ou *Supply Chain Management* (SCM) e o desenvolvimento colaborativo de produtos ou *Product Life-cycle Management* (PLM) (DE SORDI, 2018).

De Sordi (2018) apresenta sete ativos organizacionais fortemente atrelados à abordagem da gestão por processos, quais sejam: recursos humanos; papéis e responsabilidades; estrutura organizacional; políticas e regras; tecnologias da informação e comunicação; facilidades; e conhecimento.

As tecnologias têm um papel fundamental nos extensos e complexos processos de negócios, sobretudo a tecnologia da informação e comunicação. Estas são empregadas para automação de regras e atividades, para monitoramento do desempenho e para formação de ambientes colaborativos de trabalho. A infraestrutura computacional é essencial para a comunicação das pessoas e para a integração dos diferentes sistemas de informação envolvidos ao longo do processo (DE SORDI, 2018).

De Sordi (2018) analisa e compara a gestão funcional e a gestão por processos, a partir de doze características presentes nessas abordagens administrativas: 1) alocação de pessoas; 2)

autonomia operacional; 3) avaliação de desempenho; 4) cadeia de comando; 5) capacitação dos indivíduos; 6) escala de valores da organização; 7) estrutura organizacional; 8) medidas de desempenho; 9) natureza do trabalho; 10) organização do trabalho; 11) relacionamento externo; e 12) utilização da tecnologia.

A evolução da tecnologia de comunicação, o advento da *Internet* e o fenômeno da globalização dos negócios, ocorridos no limiar do século XX, provocaram a reconfiguração das transações comerciais no mundo, em função principalmente da redução do tempo de execução dos processos. Empresas estruturadas verticalmente e geridas funcionalmente, demandando dos executores a obtenção de autorização dos níveis hierárquicos de supervisão para a condução dos processos, passam a operar com extrema dificuldade, levando em consideração a demanda atual de redução dos tempos de respostas, exigindo modelos mais flexíveis e descentralizados de gestão. A gestão por processos de negócios, por deslocar a gestão funcional — verticalizada — para uma administração direcionada ao cliente final e gerida por processos, cria princípios de autonomia gerencial nos executores dos processos, tornando-os mais produtivos, mais qualificados e com menores custos operacionais. Essa nova visão de gestão desloca o poder de decisão, dos tradicionais níveis hierárquicos (superiores) de supervisão e controle para os próprios executores dos processos de negócios. Na abordagem administrativa da gestão por processos, os operadores de processo e os “donos de processos” tornam-se responsáveis pela integral manutenção da produtividade e qualidade do processo como um todo. Dessa forma, na gestão por processo, atribuem-se de forma diferenciada não apenas a “autonomia para”, mas também a “responsabilidade por”. Obviamente, isso implica um perfil diferenciado para o corpo de colaboradores da organização (DE SORDI, 2018, p. 41).

A cadeia de comando na empresa orientada a processos não se baseia em comando e controle, mas em negociação e colaboração. Do ponto de vista de gestão dos trabalhos, o foco dos gerentes altera-se de supervisão e controle de empregados para capacitação e motivação destes (DE SORDI, 2018).

A abordagem administrativa da gestão por processos requer e incorpora outros valores à cultura das organizações. O amplo conjunto de entidades envolvidas e comprometidas com o processo de negócio, abrangendo clientes, fornecedores, parceiros e colaboradores da organização, cria uma expectativa de responsabilidade comum quanto aos comportamentos de transparência da informação, cooperação mútua, confiança e demais valores importantes para o trabalho em redes colaborativas (DE SORDI, 2018).

Outro importante aspecto dessa abordagem é que ela, por priorizar o processo em si, provoca várias alterações na estrutura organizacional, tais como: deslocamento de grande parte do processo decisório, que, antes, estava em mãos de superiores hierárquicos, para os “donos de processos” e operadores; eliminação das barreiras de comunicações hierárquicas e funcionais da organização; enxugamento dos níveis hierárquicos de decisão; reconfiguração das habilidades necessárias para o trabalho orientado a processos; fortalecimento de parcerias externas e terceirização de atividades não fundamentais para a organização, entre as mais importantes (DE SORDI, 2018).

A estruturação da arquitetura de negócios por meio de processos colaborativos ocorreu na década de 1990, marcada pela economia global e extremamente informatizada pela introdução dos recursos da *Internet*. A característica principal dessa era pós-industrial é de companhias multinacionais que operam sem considerar fronteiras ou países e competem com produtos e serviços por meio de fatores como inovação, preço e tempo. Essa arquitetura de negócios foi moldada com o objetivo de atender às demandas de cooperação e parcerias entre empresas pares, centros de pesquisas e fornecedores em que o principal requisito é operar por meio do emprego de poucos níveis hierárquicos, com uma cadeia de comunicação orientada a resultados de suas equipes de trabalho. Os processos de negócios colaborativos são a estrutura principal para operação e gerenciamento dessa nova arquitetura dos negócios (DE SORDI, 2018).

Nas duas últimas décadas do século passado, diversas práticas administrativas surgiram com o objetivo de melhorar a competitividade das empresas, todas tendo como fundamento principal a melhoria de alguns atributos de processos de negócios, como custo, qualidade, velocidade ou flexibilidade. Essas práticas são aplicadas nas grandes corporações de forma bastante abrangente, envolvendo desde empresas líderes em seus segmentos que queiram permanecer nessa posição até empresas extremamente enfraquecidas, nas quais os riscos de uma reengenharia total de seus processos é uma das poucas alternativas. De Sordi (2018) descreve como cada uma dessas práticas corroborou o aprimoramento da gestão por processos.

Processos de negócios são amplos, pois passam por diversas áreas que possuem vários *softwares* específicos para o apoio às suas atividades, ou seja, é inviável automatizar um processo de negócios sem integrar os sistemas de informação já empregados em sua operação (DE SORDI, 2018).

Na organização estruturada a partir de processos de negócios, empregados e demais colaboradores do processo participam de diversas atividades ao longo de sua execução e

gerenciamento. Referir-se à maioria das organizações, que vivenciam uma estrutura função-processo, significa dizer que os recursos humanos apresentam alta mobilidade interfuncional ou interáreas. Isso leva a uma crescente demanda por colaboradores polivalentes, que inviabiliza o modelo de RH tradicional, com base na descrição de funções bastante específicas para cada área funcional. A gestão por processos de negócios implica o gerenciamento das competências, ou seja, a descrição e a concretização da existência de modalidades de ação nos comportamentos profissionais dos seus colaboradores, tornando a competência uma preocupação crítica da gestão dos recursos humanos dessas empresas (DE SORDI, 2018).

Os clientes, cada vez mais, assumem um papel interessante e complexo com relação aos processos de negócios; não só consomem seus produtos e serviços, mas estão cada vez mais inter-relacionados e participativos, por exemplo, atuando diretamente na definição e especificação final dos produtos e serviços gerados pelo processo. Assim, eles passam a ser considerados não apenas consumidores, mas também parte da própria operação do processo de negócios. Como exemplo de interação direta do cliente com o produto, pode-se destacar a interação do cliente na seleção de cor, tamanho, opcionais e outras características do produto a ser fabricado. Em termos de serviços, podemos imaginar o cliente definindo opções de pagamento, local de entrega ou mesmo características que definem a atividade principal do serviço (DE SORDI, 2018).

Como os trabalhadores cada vez mais se confrontam com o inesperado, com o inusitado no dia a dia de trabalho, o imponderável e a exceção passam a ser parte integral do trabalho na era do conhecimento. Dessa forma, torna-se impossível determinar todo o conjunto de tarefas e atividades que o trabalhador terá de executar. Os desafios de lidar com o imponderado, de aprender e inovar, é tão significativo para as organizações contemporâneas que Le Boterf (2003 *apud* DE SORDI, 2018) sugeriu um quarto elemento constituinte de competência: “saber-aprender”, que consiste em saber tirar lições de experiências.

Esse novo contexto de trabalho, orientado a processos, gerou trabalhadores multifuncionais, com a capacidade de fazer a leitura do processo e ter atitude para selecionar e executar as funções mais apropriadas do momento (*on demand*), considerando as múltiplas instâncias em execução no processo de negócio (DE SORDI, 2018).

O histórico da tecnologia da informação aplicada aos negócios inicia-se, efetivamente, na década 1960, com a introdução de computadores de grande porte (*mainframes*) nas principais corporações. Havia inúmeras restrições tecnológicas em relação às atuais soluções. Para ilustrar isso, citamos os sistemas de informação que não trabalhavam com interfaces com o usuário

final, ou seja, não havia interação homem-máquina. Só essa característica já delimitava o tipo de aplicação dessa tecnologia no ambiente empresarial: tratar grande volume de dados, isto é, lotes de dados, em atividades repetitivas. Por essas características, esses primeiros sistemas de informação empresariais foram denominados sistemas de processamento em lotes ou EDP (*Electronic Data Processing*) ou simplesmente sistemas *batch* (lote) (DE SORDI, 2018).

O segundo modelo de processamento aplicado nas empresas foi o modelo transacional, que tinha como principal inovação tecnológica a possibilidade de interação homem-máquina. A facilidade do ambiente transacional serviu também para rotular essa geração de sistemas, conhecida como soluções OLTP (*Online Transaction Processing*). Os sistemas de informação OLTP foram concebidos para tratar interações pertinentes ao recurso específico e eram restritos ao limite da abrangência dos usuários do *mainframe*, ou seja, o público interno de usuários da empresa (DE SORDI, 2018).

O acúmulo do registro de transações de negócios geradas pela adoção de soluções *batch* e OLTP motivou profissionais de informática a desenvolver soluções para analisar esses grandes volumes de dados. Para atender a essa demanda, surgiram os sistemas OLAP (*Online Analytical Processing*), cujo principal objetivo era consolidar os dados gerados pelas outras categorias de sistemas. Ainda no contexto de soluções derivadas da consolidação de dados, tivemos o surgimento das soluções de *Decision Support System* (DSS) e *Executive Information System* (EIS) (DE SORDI, 2018).

O próximo avanço da tecnologia da informação no ambiente de processos de negócios ocorreu na década de 1980, com o surgimento da plataforma computacional cliente-servidor como alternativa ao ambiente computacional centralizado do *mainframe*. Esse fato permitiu a proliferação de aplicações de sistemas de informação especializadas para outras áreas e departamentos, além daqueles assistidos pelo *mainframe*, bem como para as empresas de menor porte sem possibilidades de arcarem com os custos de uma plataforma de grande porte. Os sistemas cliente-servidor não alteraram o comportamento dos sistemas de informação em termos de processos de negócios; os sistemas continuaram com o mesmo escopo, voltados para o gerenciamento de recursos e suas áreas funcionais. O aspecto positivo foi o aumento de empresas usuárias dos sistemas de informação, devido à redução de custos para aquisição inicial de plataforma computacional. Com o objetivo de integrar os diversos sistemas de informação e fazer a manutenção no volume crescente de *softwares*, foi desenvolvido o modelo de processamento integrado e configurável, que propunha a transferência de parte da lógica dos algoritmos para dentro do banco de dados de parâmetros das transações de negócio. O modelo

de processamento integrado e configurável trabalha fundamentalmente na plataforma computacional servidor-cliente (DE SORDI, 2018).

A próxima inovação tecnológica com grande impacto nos processos de negócios foi a introdução da *Internet* no ambiente empresarial. A padronização de interfaces homem-máquina no ambiente *Internet* facilitou a coleta e a entrega de informação em qualquer localidade, atendendo a públicos abrangentes de usuários, independentemente de restrições de plataformas tecnológicas (DE SORDI, 2018).

Web applications implementam lógica de negócio e podem alterar o estado de negócio a partir da captura de dados, enquanto *websites* são meramente informacionais (DE SORDI, 2018). O ambiente de sistemas de informação das empresas está cada vez mais diversificado. Na maioria delas, podem-se encontrar muitos sistemas transacionais on-line que atendem a processos e necessidades departamentais, sistemas *batch* que automatizam o fluxo de atividades repetitivas, sistemas integrados e configuráveis que atendem às demandas corporativas ou interdepartamentais e outros tantos disponíveis por meio da *Internet* na forma de *web applications*.

Toda essa diversidade de sistemas de informação dificulta a ação do administrador por ocasião da gestão por processos de negócios. O portfólio de sistemas de informação foi composto por projetos isolados, em momentos distintos, para atender a demandas específicas gerando uma arquitetura de sistemas de informação não compatível com atendimento das demandas da gestão por processos de negócios. O modelo de negócio que emprega redes colaborativas é mais complexo e dinâmico que as estruturas tradicionais de empresas verticalizadas. Há diversos requisitos críticos a que o gestor do processo de negócios deve estar atento ao longo da cadeia de processos, independentemente dos inúmeros locais ou responsáveis envolvidos. Os diversos *softwares* hoje disponíveis nas empresas pouco podem colaborar na gestão efetiva dos processos de negócios: eles estão voltados para a automação e o gerenciamento de processos verticalizados. A indústria de tecnologia da informação tem trabalhado não apenas para integrar a diversidade de sistemas, mas também no aspecto gerencial, acompanhando a operação e os eventos tratados por esses diversos sistemas a partir de uma camada de *software* para a gestão por processos de negócios denominada *Business Process Management* (BPM) (DE SORDI, 2018).

Como toda organização utiliza recursos para gerar produtos ou serviços apropriados que atendam às exigências definidas pelo mercado, o BPM em um ecossistema da Indústria 4.0 torna-se particularmente relevante na alocação eficiente de recursos de uma empresa, entre

empresas ou mesmo em toda a cadeia de suprimentos, visto que seu gerenciamento de fluxo de trabalho permite “rastrear automaticamente as informações relacionadas ao processo e disponibilizá-las em todo o sistema para fornecimento, produção, gerenciamento de estoque, gerenciamento de pedidos, detecção de demanda, controle de qualidade e reengenharia de processos” (XU; XU; LI, 2018, p. 2951).

No estudo de Wilkesmann e Wilkesmann (2018), foram investigadas as formas de organização do trabalho digitalizado que levam à reprodução de rotinas e aquelas formas que permitem a criação de inovações pela Indústria 4.0, constatando que algumas aplicações desse novo modelo modificam certas dimensões das organizações, como o grau de formalização, a localização da autoridade de controle, a localização do conhecimento e o grau de profissionalização. Assim, se de um lado a digitalização organiza um ambiente de trabalho que apoia pessoas altamente qualificadas, com autonomia para projetar e criar formas inovadoras de digitalização para o futuro, por outro, ela também pode estreitar o grau de autonomia e estabelecer uma estrutura de cima para baixo de autoridade de controle predeterminada por aplicativos digitais, com funcionários preenchendo lacunas com as quais as máquinas não conseguem lidar. Outra conclusão deste estudo foi que o estágio muito inicial de desenvolvimento da Indústria 4.0 faz com que ela esteja sendo empregada mais na organização de rotinas do que em inovações. Entretanto, há oportunidades para promover a reorganização dos processos organizacionais, tornando-os realmente inteligentes. Como a Indústria 4.0 pressupõe a troca de informações entre humanos, a interação homem-máquina (*Human-to-Machine* – H2M) e a troca de informações entre máquinas (*Machine-to-Machine* – M2M), pode-se dizer que as novas tecnologias de informação e comunicação serão fundamentais para o futuro desenvolvimento do trabalho.

A partir do referencial de Burns e Stalker (1961 *apud* WILKESMANN; WILKESMANN, 2018) que diferencia entre organizações mecanicistas e orgânicas, estes dois tipos de organizações foram descritos como extremos opostos de um *continuum*, sendo a organização mecanicista constituída por tarefas mais rotineiras, e a orgânica por tarefas mais inovadoras. Para a análise, foram considerados quatro atributos mais gerais: grau de formalização; distinção da autoridade de controle; localização do conhecimento; e grau de profissionalização. Em relação ao grau de formalização, este costuma ser alto em uma organização de orientação mecanicista, o que pode levar à substituição da força de trabalho por sistemas ciberfísicos inteligentes, mas sem alteração nas antigas formas de realizar as tarefas, focando apenas na transformação de sinais analógicos em formatos digitais. Já nos tipos

orgânicos, o baixo grau de formalização, com poucas obrigações formalizadas e com regras de trabalho mais amplas, propicia mais espaço para inovações. Assim, a estrutura orgânica pode ser vista como um ambiente de aprendizagem, que cria a oportunidade de mudar constantemente as tarefas de trabalho. No que tange à distinção da autoridade de controle, enquanto nas organizações mecanicistas a estrutura é mais hierarquizada e o processo decisório é *top down*, nas organizações orgânicas a autoridade de controle é horizontal ou organizada em redes, estabelecendo dispositivos digitais para apoiar o intercâmbio de uma forma flexível e aberta. Quanto à localização do conhecimento, em uma organização mecanicista este está localizado exclusivamente nos altos escalões, em oposição à organização orgânica, em que o conhecimento relevante para a solução de problemas organizacionais pode estar localizado dentro ou fora da organização, com priorização de aspectos como especialização, experiência e conhecimento pessoal que fomentem novos conhecimentos e novas ideias. Por fim, sobre grau de profissionalização, enquanto em uma organização mecanicista prevalece a comunicação vertical entre o superior e os subordinados, os tipos orgânicos valem-se mais da *expertise* e da notoriedade.

Sobre organizar rotinas ou inovações na Indústria 4.0, o estudo de Wilkesmann e Wilkesmann (2018) conclui que, em uma organização mecanicista, um sistema digital se presta mais a restringir, monitorar e orientar as pessoas e forçar a obediência, por meio de atividades rotineiras indispensáveis em um sistema de produção em massa que pode possibilitar, inclusive, a substituição dos seres humanos por sistemas ciberfísicos que realizem de forma autônoma as operações clássicas do dia a dia. Logo, tal abordagem pode levar a uma estrutura de controle digital estrita de cima para baixo e um baixo grau de autonomia naquelas organizações orientadas para o mecanicismo. Nestas, funcionários pouco profissionalizados são facilmente substituíveis por outros funcionários ou sistemas cibernéticos inteligentes. No lado mecanicista do *continuum*, como o conhecimento é incorporado no dispositivo digital, empregados nem ‘precisam pensar’, já que têm que atuar em uma determinada estrutura. Na extremidade orgânica do *continuum*, surgem organizações orientadas para o conhecimento e serviços ou unidades organizacionais, com estruturas descentralizadas e planas que apoiam a geração e a implementação de ideias inovadoras de maneira eficaz em toda a organização, sendo as fronteiras mais difusas, e as estruturas mais flexíveis e abertas, que admitem a autonomia dos funcionários. A transformação digital é um importante apoio para pessoas altamente qualificadas, com ferramentas que ajudam a melhorar o fluxo de novas ideias.

Wilkesmann e Wilkesmann (2018) seguem afirmando que a aplicação da Indústria 4.0 no lado mecanicista do *continuum* remete à chamada manufatura integrada por computador (*Computer-Integrated Manufacturing – CIM*) da década de 1980 e aos princípios básicos do taylorismo, tendo em comum o fato de todos os processos de produção serem informatizados, levando a um esvaziamento do chão de fábrica, em que humanos se tornam supérfluos. A Indústria 4.0 também pode ser considerada comparável ao taylorismo, uma vez que o lado orgânico do *continuum* descreve o trabalho cerebral, enquanto o lado mecanicista se refere ao trabalho manual altamente padronizado, sendo que agora o ambiente de trabalho é organizado por estruturas digitais, não mais por hierarquias humanas. A ascensão do taylorismo digital leva a uma forma agravada de princípios tayloristas, na medida em que aumenta o isolamento e a alienação entre os trabalhadores. Quanto às oportunidades, os trabalhadores do conhecimento do lado orgânico do *continuum* podem programar, organizar e produzir ambientes de trabalho com ampla margem de manobra e autonomia para os funcionários no meio do *continuum*, o que significa que os trabalhadores ganham mais autonomia e competências com a utilização das aplicações desenvolvidas. Pelo lado mecanicista, os humanos são liberados de realizar trabalhos entediantes e sem sentido. Por fim, há ainda muita incerteza e preocupação quanto às possíveis ameaças (por exemplo, mudanças sociais, proteção de dados e segurança de dados etc.), que devem ser consideradas nesse estágio inicial da Indústria 4.0.

De Paula e Paes (2021), a partir de levantamento bibliográfico, reforçam serem raros os estudos sobre a Indústria 4.0 no campo da teoria da administração e organizações, bem como corroboram que a descrição e definição do fenômeno ainda não atingiram o nível mais avançado de conhecimento ou de desenvolvimento, nem mesmo em áreas ligadas a engenharia e ciência da computação.

Partindo dos principais atributos dos modelos tayloristas, fordistas e pós-fordistas de produção, as autoras caracterizam a Indústria 4.0 como um novo modelo de produção, cognominado “ciberfordismo”, e o apresentam como “uma nova forma de organizar e otimizar o trabalho, fruto de uma visão de mundo econômica, social e política específica, inserida em um novo ciclo de ‘revolução industrial e tecnológica’” (DE PAULA; PAES, 2021, p. 2). Isso se dá devido ao próprio esgotamento dos paradigmas tayloristas e fordistas de produção, que abre espaço para o surgimento de novas tecnologias como a automação, a robótica e a microeletrônica, bem como de outros processos produtivos mais flexíveis, chamados pós-fordistas, entre estes o toyotismo e o volvismo. Apesar disso, o que se percebe é um *continuum* entre o fordismo, o pós-fordismo e a Indústria 4.0, uma vez que os mesmos preceitos estão

sendo potencializados, agora com o auxílio da base técnica da emergente Indústria 4.0 (DE PAULA; PAES, 2021).

Para ilustrar, De Paula e Paes (2021) propõem um quadro sintético que delimita certas especificidades desses modelos de produção, a saber: nível de mecanicismo, nível da mão de obra, relação entre operários e gerentes, relação capital-trabalho, paradigma industrial e paradigma econômico. Quanto ao nível de mecanicismo, o fordismo preconiza a relação ‘um homem e uma máquina’, com bastante rigidez; já no pós-fordismo, a relação é de ‘um homem e várias máquinas’, com flexibilidade; no ciberfordismo, a relação se dá entre máquinas, em integração sistêmica. A mão de obra, no fordismo, é caracterizada por superespecialização; no pós-fordismo, por sua especialização; e no ciberfordismo, pela automação desta. A visão sobre a relação entre operários — trabalho manual — e gerentes — trabalho intelectual — no fordismo, é de total separação; no pós-fordismo, há conexão entre trabalho manual/automatizado e trabalho intelectual; no ciberfordismo, a aposta está na conexão entre trabalho automatizado e inteligência artificial. Sobre a relação capital-trabalho, no fordismo, evidencia-se a regulamentação do trabalho; no pós-fordismo, a desregulamentação deste; e no ciberfordismo, o chamado pós-trabalho, marcado por terceirização, informalidade, flexibilidade, intermitência e precarização. Quanto aos paradigmas industrial e econômico, o fordismo revela traços das Indústrias 1.0 e 2.0, baseadas no keynesianismo e no Estado do bem-estar social; já a indústria do pós-fordismo é a 3.0, sob a égide do neoliberalismo e do Estado mínimo; o ciberfordismo, da Indústria 4.0, traz consigo o ultraneoliberalismo e o Estado como guardião do mercado (DE PAULA; PAES, 2021).

Em que pese a Indústria 4.0 abandonar aspectos ligados à hierarquia e à superespecialização de tarefas, esse novo paradigma “maximiza a memória de Taylor com um modelo ciberfordista que implica o uso da inteligência artificial para realizar esse controle hierárquico e da cadeia de decisão com grande eficiência e drástica redução dos custos de mão de obra” (ASTROLOGO; SUBORNE; TERNA, 2019 *apud* DE PAULA; PAES, 2021, p. 11). Segundo Ricardo Antunes (2020 *apud* DE PAULA; PAES, 2021, p. 11-12), vivencia-se uma supremacia informacional-digital e ciberindustrial que minimiza as tarefas humanas necessárias à produção, intensifica o uso de tecnologias, mas que solicita “uma ‘desantropomorfização do trabalho’, na medida em que subordina o trabalho real à ‘máquina-ferramenta-informacional’”.

No Brasil, ainda está havendo migração da Indústria 2.0 para a 3.0, com substituição das “linhas tradicionais de montagem alimentadas pelo homem pela automação por meio de eletrônica, robótica e programação. Mas essa realidade acontece em um ritmo baixo, abaixo do

necessário para ser competitivo” (HAHN FILHO, 2016 *apud* DORION; BRIZOLLA; PATIAS, 2020, p. 8). No estudo de caso de Dorion, Brizolla e Patias (2020, p. 15), quando questionados sobre os desafios da Indústria 4.0, alguns entrevistados fizeram referência à “necessidade urgente de formação de pessoal mais qualificado para realizar os procedimentos de manutenção e equipamentos”. Outros se referiram a uma tendência mundial de redução do trabalho humano, devido à automação de processos, e houve aqueles que disseram que:

[...] o impacto da Indústria 4.0 vai provocar a substituição de alguns empregos repetitivos e um novo padrão de seleção de colaboradores no mercado de trabalho. Facilitará o cumprimento dos processos de decisão e irá torná-los mais assertivos. Para os gestores de negócios, a participação da inteligência artificial em reuniões estratégicas terá impacto nas discussões, permitindo receber e tratar rapidamente dados e novas informações disruptivas. [Entrevistados] (DORION; BRIZOLLA; PATIAS, 2020, p. 15).

Também citado foi o impacto de uma “maior competitividade de vagas, mais treinamento, especialização e atributos diferenciados”, e que “profissionais precisarão estar cada vez mais qualificados para o mercado de trabalho para que as indústrias brasileiras ganhem em competitividade global”. Outro entrevistado afirmou que “o mercado de trabalho tende a mudar rapidamente sobretudo nos modelos da Indústria 4.0, mas, no Brasil, ainda há um longo caminho a percorrer nesse processo, pois está sendo fortemente influenciado por fatores sociais que podem alterar a evolução do mercado de trabalho”. Igualmente desafiadores são aspectos relacionados aos altos custos para a evolução da Indústria 3.0 para a 4.0 e aspectos culturais. Ao mesmo tempo que se espera que a alta diversidade e customização de produtos limitem a capacidade de transformação de Pequenas e Médias Empresas na Indústria 4.0, surge a afirmação de que “é preciso pensar fora da caixa e explorar as tecnologias e inovações que a Indústria 4.0 oferece”, o que demonstra “uma visão dialética da necessidade e da incapacidade, que pode se resumir com clareza na realidade nacional” (DORION; BRIZOLLA; PATIAS, 2020, p. 96).

Em síntese, a Indústria 4.0 refere-se a um conceito de manufatura que engloba um processo integrado, adaptativo, otimizado, orientado a serviços e interoperável, correlacionado com algoritmos, *big data* e tecnologias avançadas. Envolve a integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e *software* em rede para prever, controlar e planejar melhores resultados comerciais e sociais. A Indústria 4.0 representa um novo nível de organização e gestão dos processos de negócios ao longo do ciclo de vida do produto e serve

como um termo coletivo para tecnologias e conceitos organizacionais relacionados à cadeia de valor.

Sistemas ciberfísicos, *Internet das Coisas*, inteligência artificial e *cloud computing* constituem os pilares da base técnica e tecnológica da Indústria 4.0, que deverá operar de acordo com os princípios de interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviço e modularidade. Esse novo modelo prevê integração horizontal, vertical, ponta a ponta, bem como integração de *hardware*, de *software*, de dados e informações, o que exigirá padronização, colaboração e autorização de acesso entre todos os envolvidos na cadeia de valor.

Contudo, o fato de envolver disciplinas como ciência da computação, engenharia, ciência política, sociologia e economia, entre outras, não permitiu que se chegasse a um consenso sobre o tema e seus construtos.

Piccarozzi, Aquilani e Gatti (2018) afirmam que os aspectos técnicos da Indústria 4.0 têm sido mais estudados e têm gozado de maior detalhamento na literatura, notadamente métodos de produção, em vez de outras questões que ainda merecem mais atenção, por exemplo, estratégia, modelos de negócios, sustentabilidade, recursos humanos, inovação social etc.

Surge, portanto, o interesse de identificar os temas que têm sido mais estudados no contexto da produção científica sobre a Indústria 4.0, bem como aqueles relacionados a recursos humanos que têm sido abordados nesse contexto. O próximo capítulo apresentará a análise bibliométrica, método escolhido para mapear a estrutura e o desenvolvimento desse novo campo, ajudando na identificação de temas de pesquisa emergentes, notadamente recursos humanos.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa procura apresentar os temas relacionados a recursos humanos que têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0.

Tendo em vista o fato de a Indústria 4.0 ser um tema ainda recente, tanto para a academia quanto para as organizações, por sua maior visibilidade datar de pouco mais de uma década, tal fenômeno será descrito exatamente como se apresenta na literatura disponível, aplicando-se o método fenomenológico. O objetivo, portanto, é realizar um estudo descritivo sobre a Indústria 4.0, identificar os temas mais enfatizados sobre o fenômeno e apresentar, entre estes temas, aqueles relacionados a recursos humanos.

Neste estudo, a busca, a seleção, a coleta e a classificação dos artigos científicos se baseiam na metodologia de Pagani, Kovaleski e De Resende (2017, p. 162), com destaque para a equação *InOrdinatio* “que aplica três fatores considerados os mais relevantes em um artigo científico: fator de impacto, ano da publicação da pesquisa e número de citações, resultando em uma classificação dos artigos quanto à sua relevância científica”. Trata-se de metodologia precisa, reproduzível e útil para classificar os artigos mais relevantes de acordo “com o que é reconhecido internacionalmente como critérios científicos válidos” (DE CAMPOS *et al.*, 2018, p. 816).

As metodologias para avaliação da relevância científica existem há décadas, como, por exemplo, *The Management System of the Central Research Institute* (MSCRI), de 1985; *The Cochrane Collaboration*, de 1993; *ProKnow-C*, de 2010; *Methodi Ordinatio*, de 2015 (PAGANI; KOVALESKI, DE RESENDE, 2017). Em regra, dois fatores são considerados como importantes para um trabalho científico — o fator de impacto e o número de citações. O *Methodi Ordinatio*, de Pagani, Kovaleski e De Resende (2017, p. 168), inova ao incorporar um terceiro fator, que é o ano de publicação, pelo fato de este ser um indicador da atualidade dos dados, já que “quanto mais recente a pesquisa, mais provável é que novos avanços tenham sido alcançados e maior será a probabilidade de contribuição para inovações na área do conhecimento”.

O método bibliométrico de análise foi escolhido “para mapear a estrutura e o desenvolvimento de campos e disciplinas científicas” (ŽUPIČ; ČATER, 2015, p. 429), possibilitando, assim, resumir os resultados de pesquisas sobre a Indústria 4.0 divulgados até o momento. Especificamente, foi utilizada a análise de copalavras ou coocorrências, que “é uma técnica de análise de conteúdo que utiliza as palavras em documentos para estabelecer relações

e construir uma estrutura conceitual do domínio” (CALLON *et al.*, 1983 *apud* ŽUPIČ; ČATER, 2015, p. 435).

Os próprios Župič e Čater (2015) indicam o uso da análise de copalavras quando a pesquisa busca entender “as dinâmicas da estrutura conceitual de um campo”, descobrir “os blocos de construção conceituais de uma literatura”, saber “quais são os tópicos associados a uma determinada linha de pesquisa”, ou mesmo acompanhar o desenvolvimento de conceitos (ŽUPIČ; ČATER, 2015, p. 439). Também a revisão da literatura conduzida por Archambault e Gagné (2004, p. 51) mostra que “cocitação, análise de copalavras e acoplamento bibliográfico são os únicos métodos puramente bibliométricos que podem ajudar a identificar temas e campos de pesquisa emergentes” e que, embora sejam métodos imperfeitos, “ainda são úteis para várias disciplinas das Ciências Sociais e Humanas”.

A análise de copalavras, ou de coocorrências, pressupõe que a frequência de ocorrência das palavras em documentos é um indicativo da relação entre os conceitos que elas representam, sendo que esse método se diferencia dos demais por utilizar o conteúdo real dos documentos para compará-los, enquanto os outros métodos se baseiam em citações ou coautorias para conectá-los. O mapa semântico gerado na análise de copalavras é “uma rede de temas e suas relações que representam o espaço conceitual de um campo” [...] e “ajuda a compreender sua estrutura cognitiva” (BÖRNER; CHEN; BOYACK, 2003 *apud* ŽUPIČ; ČATER, 2015, p. 435). Na análise de copalavras ou coocorrências, a unidade de análise é um conceito, não um documento, autor ou periódico.

O percurso metodológico da presente pesquisa adotou as seguintes etapas da *Methodi Ordinatio*: estabelecimento do tema de pesquisa; definição das palavras-chaves; escolha da base de dados; busca na base de dados; aplicação de procedimentos de filtragem, remoção de artigos duplicados e análise de publicação, observando a triagem de artigos alinhados ao contexto da pesquisa; identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações de cada um dos artigos; aplicação da equação *InOrdinatio*, para a ordenação dos artigos com a maior pontuação; localização dos textos em formato integral; análise bibliométrica. Esse percurso se assemelha ao trabalho preconizado por Župič e Čater (2015) para realizar o mapeamento científico em gestão e organização: definição da(s) questão(ões) de pesquisa e escolha dos métodos bibliométricos apropriados que sejam capazes de responder à(s) questão(ões); seleção do banco de dados, seleção do conjunto de documentos principais e exportação desses documentos do banco de dados selecionado; emprego de *software* bibliométrico para análise;

escolha do método de visualização que será usado na análise; interpretação e descrição dos resultados.

A partir do estabelecimento do tema de pesquisa, já mencionado anteriormente, foram definidas as palavras-chave “Indústria 4.0” e “Quarta Revolução Industrial”, bem como suas variações em inglês, quais sejam “*Industry 4.0*”, “*Fourth Industrial Revolution*” e “*4th Industrial Revolution*”, para a seleção de artigos.

Atualmente, a *Web of Science* e a Scopus são as fontes predominantes de dados de citação (MONGEON; PAUL-HUS, 2015). Conforme observado por Archambault *et al.* (2009 *apud* MONGEON; PAUL-HUS, 2015), ambas as bases de dados são consideradas adequadas para análises cientométricas. Já os índices de citações nacionais ou específicos de campo não parecem oferecer uma alternativa viável ao *Web of Science* e Scopus ao realizar análises bibliométricas multidisciplinares e internacionais. Fundamentalmente, para a avaliação de pesquisas empregando métodos bibliométricos, é importante compreender as capacidades e restrições de cada ferramenta e fazer uma seleção criteriosa de acordo com os objetivos de pesquisa (MONGEON; PAUL-HUS, 2015). A escolha da base *Web of Science* deveu-se, entre outras razões, pelo fato de os dados poderem ser recuperados sem esforço considerável, o que é essencial para a rastreabilidade das citações e da fonte da citação. Essa menor carga de trabalho para recuperação de dados também contribuiu com o aumento do número de publicações a serem investigadas, influenciando o desenho de uma análise bibliométrica robusta. O *Web of Science* é uma fonte precisa em relação a metadados disponíveis de editores e repositórios, incluindo números de página, edições, listas de autores e títulos de periódicos, entre outros. Ademais, suas citações são baseadas em referências em periódicos acadêmicos (e cada vez mais também em outras fontes acadêmicas), ou seja, com o devido reconhecimento acadêmico (PRINS *et al.*, 2016).

Assim, a busca pelas palavras-chave foi feita na coleção principal da *Web of Science*, que contém os principais periódicos acadêmicos, livros e procedimentos do mundo nas ciências, ciências sociais, artes e humanidades, sendo que a coleção principal é composta pelos seguintes índices bibliográficos:

- 1) *Science Citation Index Expanded* (SCI-EXPANDED): cobre revistas científicas, em mais de 150 disciplinas, consideradas as mais importantes nos vários domínios da ciência e tecnologia. Está disponível desde 1945 até o presente;

2) *Social Sciences Citation Index* (SSCI): cobre as principais revistas acadêmicas do mundo em ciências sociais, em mais de 50 disciplinas. Está disponível desde 1956 até o presente;

3) *Arts & Humanities Citation Index* (AHCI): aborda temas como artes, humanidades, língua (incluindo linguística), poesia, música, obras clássicas, história, estudos orientais, filosofia, arqueologia, arquitetura, religião, televisão, teatro e rádio. Está disponível desde 1975 até o presente;

4) *Conference Proceedings Citation Index – Science* (CPCI-S): inclui anais de congressos na área de ciências, tais como cirurgia; engenharia elétrica e eletrônica; ciência da computação, teoria e métodos; sistemas de informação; ótica; ciência de materiais, engenharia de *software* etc. Está disponível desde 1990 até o presente;

5) *Conference Proceedings Citation Index – Social Sciences & Humanities* (CPCI-SSH): inclui anais de congressos na área de ciências sociais e humanas. Está disponível desde 1990 até o presente;

6) *Emerging Sources Citation Index* (ESCI): inclui publicações de importância regional e em campos científicos emergentes. Está disponível desde 2018 até o presente (*WEB OF SCIENCE CORE COLLECTION*, 2023).

Segundo Hicks (1999 *apud* ARCHAMBAULT; GAGNÉ, 2004, p. 26), o *Social Sciences Citation Index* é “o melhor banco de dados disponível sobre publicações de Ciências Sociais e Humanas”, pelas seguintes razões:

- indexação completa dos endereços dos autores;
- indexação completa de uma proporção conhecida de revistas acadêmicas;
- cobertura multidisciplinar;
- indexação de citações;
- cobertura internacional.

No *Web of Science*, todas as referências citadas para todas as publicações são totalmente indexadas e pesquisáveis, sendo possível examinar todos os autores e suas respectivas afiliações, acompanhar a atividade de citação por meio de alertas, ver a atividade de citação e tendências graficamente com o *Citation Report* e analisar resultados, de forma a identificar tendências e padrões de publicação. A *Clarivate Analytics* (2023) oferece:

[...] conteúdo confiável das principais fontes do mundo, sendo 1,9 bilhão de referências citadas; 85,9 milhões de registros que remontam a 1900; mais de 21 mil revistas revisadas por pares; mais de 300 mil conferências cobertas; mais de 134 mil livros cobertos; 20 mil registros com dados de financiamento; 17,2 milhões de

registros de acesso aberto com *links* de texto completo; 254 categorias de assuntos nas ciências, ciências sociais, artes e humanidades¹.

A busca por palavras-chave foi feita por tópico, ou seja, a palavra procurada devia constar no título, no resumo, nas palavras-chave de autor, ou em *keywords plus*®².

Quanto aos procedimentos de filtragem, foram selecionados apenas artigos e artigos de revisão. Nessa etapa, não houve delimitação temporal, nem de idiomas, nem de áreas de pesquisa, tampouco de categorias do *Web of Science*.

Uma vez realizada a pesquisa definitiva e depois de removidos os artigos duplicados, foram examinados os títulos do conjunto de documentos principais, para seguir somente com aqueles cujos títulos se relacionassem ao tema de pesquisa. Para cada um dos artigos com títulos alinhados, foi feita a identificação do fator de impacto do periódico em que está publicado, do ano de publicação e do número de citações recebido. Tal etapa é indispensável para a aplicação da equação *InOrdinatio* e posterior ordenação dos artigos com a maior pontuação. Esses parâmetros são apresentados na equação *InOrdinatio*, conforme abaixo:

$$\text{InOrdinatio} = (\text{IF}/1000) + (\alpha * (10 - (\text{ano da pesquisa} - \text{ano em que foi publicado o artigo})) + C_i$$
, sendo:

- 1) IF o fator de impacto. A divisão por 1.000 tem a função de ajustar a formatação do fator de impacto para o português brasileiro da planilha Excel;
- 2) alfa (α) uma constante que pode variar de 1 a 10, de acordo com o(a) pesquisador(a). O artigo de Campos *et al.* (2018) pontua que um constante alfa (α) igual a 10 prioriza artigos mais recentes; alfa (α) igual a 1 prioriza artigos publicados há mais tempo; alfa (α) igual a 5 seria um alfa equilibrado. O alfa (α) aplicado no presente estudo foi 10, dada a necessidade de se obter o que há de mais recente nos trabalhos científicos sobre a Indústria 4.0;
- 3) C_i o número de citações do artigo.

Finalmente, os textos em formato integral foram localizados para que se procedesse à análise bibliométrica.

Para empreender a análise bibliométrica, foi utilizada a versão 1.6.19 do *VOSviewer*®, *software* desenvolvido por Nees Jan van Eck e Ludo Waltman, inicialmente com apoio da

¹ Disponível em: <https://clarivate.com/webofsciencegroup/>. Acesso em: 8 maio, 2023.

² *Keywords Plus*® são termos de índice gerados automaticamente a partir dos títulos de artigos citados, aparecendo mais de uma vez na bibliografia e sendo ordenados de frases com várias palavras a termos únicos. O recurso aumenta o número de resultados tradicional de palavras-chave ou títulos. Disponível em: http://images.webofknowledge.com/WOKRS517B4/help/pt_BR/WOS/hp_full_record.html. Acesso em: 8 maio, 2023.

Erasmus University Rotterdam, e, mais recentemente, apoiado pelo Centro de Estudos de Ciência e Tecnologia da Universidade de Leiden. O uso e a distribuição do *software* são permitidas, gratuitamente, desde que sejam mantidas as condições de direitos autorais e de permissão, mas é vedada qualquer modificação.

Trata-se de “uma ferramenta de *software* para construção e visualização de redes bibliométricas” que podem, por exemplo, abranger periódicos, pesquisadores ou publicações individuais, e ser construídas com base em relações de citação, acoplamento bibliográfico, cocitação ou coautoria. A ferramenta também “oferece funcionalidade de mineração de texto que pode ser usada para construir e visualizar redes de coocorrência de termos importantes extraídos de um corpo de literatura científica” (VAN ECK; WALTMAN, 2023, p. 2).

Os mapas criados, visualizados e explorados usando o *VOSviewer*® incluem itens, que são os objetos de interesse. Os itens podem ser, por exemplo, publicações, pesquisadores ou termos. Entre qualquer par de itens, pode haver um *link*, que é uma conexão ou uma relação entre dois itens. São exemplos: os *links* de acoplamento bibliográfico entre publicações; os de coautoria entre pesquisadores; e os de coocorrência entre termos. Cada *link* tem uma força, representada por um valor numérico positivo, e quanto maior esse valor, mais forte o *link*. Assim, a força de um *link* indica o número de referências citadas que duas publicações têm em comum (no caso de *links* de acoplamento bibliográfico); o número de publicações em que dois pesquisadores são coautores (no caso de *links* de coautoria); ou o número de publicações em que dois termos ocorrem juntos (no caso de *links* de coocorrência). Itens e *links* juntos constituem uma rede. Assim, uma rede é um conjunto de itens juntamente aos *links* entre os itens. Os itens podem ser agrupados em *clusters* — um conjunto de itens incluídos em um mapa — sendo que um item pertence exclusivamente a apenas um *cluster*, bem como havendo itens que não pertencem a nenhum *cluster* (VAN ECK; WALTMAN, 2023).

Na primeira etapa da análise bibliométrica, foi colocado um limite mínimo de 20 ocorrências para cada termo, como forma de diminuir o número de palavras-chave. Para a identificação de temas estudados na Indústria 4.0 em relação a recursos humanos, o limite mínimo de ocorrências para cada termo foi reduzido para 5, de forma a ampliar essa cobertura, uma vez que no *cluster* 1 apenas as palavras “*Knowledge*”, “*Capabilities*”, “*Knowledge Management*”, “*Competences*”, “*Work*”, “*Skills*” e “*Employment*” surgiram; no *cluster* 2, o único termo relacionado a recursos humanos foi “*Training*”; do mesmo modo, somente os termos “*Collaboration*”, “*Human-Robot Collaboration*”, “*Collaborative Robots*” e “*Ergonomics*” apareceram no *cluster* 3. Não foram identificados termos nos *clusters* 4 e 5.

Assim, o mesmo percurso metodológico da etapa anterior se repetiu, agora com a associação dos termos relativos à Indústria 4.0 aos pertinentes a recursos humanos, tendo sido definidas as palavras-chave atitude, comportamento, capacidade, colaboração, competência, cultura, (des)emprego, ergonomia, HRM, humano, capital intelectual, trabalho, ocupação, habilidade, treinamento, conhecimento, gestão do conhecimento e estresse para a seleção de artigos. Cumpre destacar o emprego de operadores booleanos para permitir a combinação de palavras-chave na referida pesquisa, sendo AND para encontrar registros contendo todos dos seus termos de pesquisa e OR para encontrar registros contendo qualquer dos seus termos de pesquisa, bem como o uso de curingas, tais como asterisco (*), ponto de interrogação (?) e cifrão (\$), úteis para substituir caracteres desconhecidos em um valor de texto e para recuperar plurais e grafias variantes, conforme mostrado abaixo:

“Four Industrial Revolution”* OR “Quarta Revolução Industrial” OR “4* *Industrial Revolution*” OR “*Ind?str* 4.0*” AND “*attitude**” OR “*behavio\$r*” OR “*capabilit**” OR “*collaborat**” OR “*competenc**” OR “*cultur**” OR “**employ**” OR “*ergonomic**” OR “HRM” OR “*human**” OR “*intellectual capital*” OR “*job**” OR “*knowledge*” OR “*labo\$r*” OR “*occupation**” OR “*skill**” OR “*training*” OR “*work**” OR “*stress*”.

Os resultados tanto da primeira quanto da segunda etapa serão apresentados no capítulo Apresentação e Análise de Resultados.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentada a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, bem como serão abordados os tópicos de recursos humanos no contexto da Indústria 4.0. Inicialmente, será feita a análise dos dados coletados, com o objetivo de descrever quantos artigos foram publicados por ano, quais foram os autores mais citados e como a produção acadêmica se distribuiu por países, periódicos e organizações. Em seguida, a partir de análise bibliométrica de coocorrências, serão apresentados e analisados os *clusters* e seus principais termos, tanto dos temas estudados no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0 quanto daqueles relacionados a recursos humanos que emergiram nesse contexto.

4.1 A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE A INDÚSTRIA 4.0

Com o objetivo de contextualizar a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0 — também denominada por alguns autores de Quarta Revolução Industrial — foram definidas as palavras-chave “Indústria 4.0” e “Quarta Revolução Industrial”, bem como suas variações em inglês, quais sejam “*Industry 4.0*”, “*Fourth Industrial Revolution*” e “*4th Industrial Revolution*”, para a seleção de artigos. Em janeiro de 2023, procedeu-se à busca na coleção principal da *Web of Science*, que contém os principais periódicos acadêmicos, livros e procedimentos do mundo nas ciências, ciências sociais, artes e humanidades, desde 1945 até hoje (*WEB OF SCIENCE CORE COLLECTION*, 2023).

A busca foi feita por tópico, que abrange títulos, resumos, palavras-chave do autor e *keywords plus*®, utilizando os seguintes argumentos: “*Ind?str* 4.0*” ou “*Four* Industrial Revolution*” ou “Quarta Revolução Industrial” ou “*4* Industrial Revolution*”. A primeira busca, qual seja, de todos os tipos de documentos com os argumentos acima descritos, retornou um total de 18.583 documentos. Ao restringir a busca para somente artigos ou artigos de revisão, o resultado foi um total de 10.292 documentos, contendo dois títulos repetidos, cujos campos título, autores, *abstract* e palavras-chave do(s) autor(es) estavam idênticos, e que, portanto, precisaram ser excluídos, restando 10.290 documentos.

Como “uma análise bibliométrica sólida e válida requer grandes quantidades de dados”, sendo possível “aplicar a lei dos grandes números” (VAN RAAN, 2003 *apud* ARCHAMBAULT; GAGNÉ, 2004, p. 23), e ainda considerando o fato de que citações são usadas como uma medida de influência (USDIKEN; PASADEOS, 1995 *apud* ŽUPIČ; ČATER, 2015, p. 431), os artigos com duas ou menos citações foram excluídos, permanecendo um número ainda expressivo de 5.685 documentos. Entre os 4.605 artigos excluídos, 2.624 não continham nenhuma citação; em 1.147 documentos, apenas uma citação foi encontrada; e 834 artigos foram citados duas vezes.

A etapa seguinte envolveu a leitura dos títulos de todo o portfólio selecionado, restando 4.813 títulos alinhados ao tema de pesquisa. Ciente do grau de dispersão do conhecimento acadêmico em publicações, bancos de dados e outras fontes de pesquisa, foi necessário um processo estruturado para a seleção de estudos que fornecessem um arcabouço teórico robusto (TASCA *et al.*, 2010). Assim, sobre a base de 4.813 documentos, foi aplicada a equação *InOrdinatio*, já apresentada no capítulo de Metodologia.

No estudo em tela, os 3.413 arquivos extraídos do banco de dados bibliográficos *Web of Science* foram fornecidos como entrada para a construção da rede no *VOSviewer*®, porque, juntos, estes artigos acumularam 80% da pontuação na equação *InOrdinatio*. Assim, esse referencial teórico reúne o conhecimento acadêmico mais relevante e atualizado sobre a Indústria 4.0. A Tabela 1 resume a estratégia de busca na *Web of Science Core Collection* e demais filtros aplicados.

Tabela 1 – Estratégia de busca da Indústria 4.0 na *Web of Science Core Collection*

Busca <i>Web of Science Core Collection</i>	Filtros	N.º docs.
“ <i>Ind?str* 4.0</i> ” OR “ <i>Four* Industrial Revolution</i> ” OR “ <i>Quarta Revolução Industrial</i> ” OR “ <i>4* Industrial Revolution</i> ”	Tópico; todos os tipos de documentos	18.583
	Tópico; <i>articles</i> ou <i>review articles</i>	10.292
	Tópico; <i>articles</i> ou <i>review articles</i> , com exclusão de 2 títulos repetidos	10.290
	Exclusão de 4.605 artigos com 2 ou menos citações	5.685
	Exclusão de 872 artigos cujos títulos não estavam alinhados ao tema de pesquisa	4.813
	Artigos que acumularam 80% da pontuação na equação <i>InOrdinatio</i>	3.413

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Apesar de o termo “Indústria 4.0” não ser recente e ter surgido na Alemanha em 2011, os 3.413 artigos selecionados se distribuem entre os anos de 2015 e 2023, sendo que mais de 80% dessa produção científica se concentram nos anos de 2020, 2021 e 2022, conforme demonstrado na Tabela 2. O interesse pelo tema Indústria 4.0 apresentou crescimento progressivo nos anos iniciais, até 2021, quando houve uma queda abrupta. Não é possível afirmar se tal decréscimo deveu-se a uma questão conjuntural provocada pela pandemia de COVID-19, se significou um menor interesse da academia por esse campo de pesquisa, ou se outros termos têm absorvido a atenção ao tema.

Tabela 2 – Artigos sobre a “Indústria 4.0” publicados por ano

Ano de Publicação	N.º artigos
2015	5
2016	21
2017	71
2018	197
2019	316
2020	767
2021	1.334
2022	696
2023 ³	6

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Entre esses 3.413 trabalhos selecionados, foram identificados, inicialmente, 10.492 autores. Um arquivo de dicionário de sinônimos (*thesaurus*) costuma ser útil para mesclar sinônimos, mesclar termos abreviados com termos completos, corrigir diferenças ortográficas ou para ignorar termos. No caso específico de autores, foi necessário elaborar um *thesaurus* para mesclar os nomes de autores que apresentavam variações de escrita em diferentes documentos, indicando que, de fato, referiam-se ao mesmo pesquisador. Assim, o número final de autores passou para 10.226, sendo que, entre estes, 3.445 tiveram menos do que 10 citações. Um grupo de 37 autores, com citações superiores a 1.000, consta da Tabela 3. Cabe destacar a produção brasileira de Alejandro G. Frank, Néstor Fabián Ayala e Lucas Santos Dalenogare, 7º, 9º e 20º autores mais citados, respectivamente, representando a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), além de Guilherme Luz Tortorella, 16º autor mais citado, afiliado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

³ O levantamento na *Web of Science* foi feito em 12 jan. 2023.

Tabela 3 – Relação de autores mais citados no tema Indústria 4.0

Autores	N.º docs.	N.º citações
Wan, Jiafu	23	3.840
Li, Di	20	3.275
Xu, Xun	19	2.833
Wang, Shiyong	11	2.775
Tao, Fei	11	2.539
Ivanov, Dmitry	11	2.125
Frank, Alejandro German	12	2.035
Dolgui, Alexandre	10	1.905
Ayala, Nestor Fabian	9	1.901
Xu, Li Da	11	1.741
Li, Ling	8	1.685
Zhang, Chunhua	7	1.682
Zhong, Ray Y.	10	1.671
Gunasekaran, Angappa	12	1.541
Kamble, Sachin S.	17	1.538
Tortorella, Guilherme Luz	27	1.518
Voigt, Kai-Ingo	12	1.445
Mueller, Julian Marius	13	1.443
Sokolov, Boris	6	1.378
Dalenogare, Lucas Santos	2	1.364
Ghobakhloo, Morteza	15	1.314
Wang, Lihui	12	1.253
Adadi, Amina	1	1.239
Berrada, Mohammed	1	1.239
Jabbour, Ana Beatriz Lopes de Sousa	9	1.210
Xu, Eric L.	1	1.184
Vasilakos, Athanasios V.	4	1.170
Bag, Surajit	15	1.115
Mangla, Sachin Kumar	16	1.110
Imran, Muhammad Ali	15	1.107
Lu, Yuqian	9	1.104
Liu, Chao	7	1.045
Luthra, Sunil	16	1.034
Qi, Qinglin	3	1.028
Garza-Reyes, Jose Arturo	15	1.022
Klotz, Eberhard	1	1.016
Newman, Stephen T.	1	1.016

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software* VOSviewer®, 2023.

Os países com maior produção científica sobre a Indústria 4.0 — aqui medida pelo número de citações — somam 107, sendo os 5 primeiros colocados, na devida ordem: a China, os Estados Unidos, a Inglaterra, a Itália e a Alemanha. Em abril de 2022, quando o primeiro

levantamento foi feito, a China ocupava a segunda colocação, e hoje supera os Estados Unidos. Nessa mesma época, a Itália era a 5ª colocada em número de citações, tendo agora ultrapassado a própria Alemanha. O Brasil perdeu uma posição de 2022 para 2023 — de 7ª para a 8ª posição desse *ranking* —, o que ainda é um feito importante, ao considerar que pouco mais de 40% dos países superam 1.000 citações. A relação dos 43 países com produção acadêmica acima de 1.000 citações sobre a Indústria 4.0 consta da Tabela 4.

Tabela 4 – Países com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0

País	N.º docs.	N.º citações
China	498	24.428
EUA	366	20.402
Inglaterra	408	19.068
Itália	415	16.971
Alemanha	283	14.907
Índia	394	12.925
França	193	9.778
Brasil	177	9.386
Suécia	104	6.810
Austrália	192	6.550
Espanha	226	6.290
Canadá	118	4.661
Peru	109	3.975
Nova Zelândia	39	3.692
Coreia do Sul	132	3.600
Áustria	71	3.481
Portugal	105	3.263
Taiwan	102	3.249
África do Sul	96	3.226
Singapura	47	3.186
Malásia	125	3.120
Arábia Saudita	88	2.889
Finlândia	59	2.687
Hungria	44	2.647
Polônia	115	2.582
Noruega	63	2.472
Rússia	49	2.423
Paquistão	91	2.296
Suíça	42	2.203
Japão	37	2.075
Dinamarca	58	1.965
Grécia	76	1.897
Irã	46	1.789
Irlanda	49	1.785
México	46	1.758
Emirados Árabes Unidos	48	1.681

País	N.º docs.	N.º citações
Marrocos	23	1.676
Escócia	45	1.538
País de Gales	33	1.279
República Tcheca	49	1.278
Holanda	49	1.263
Eslovênia	24	1.069
Vietnã	30	1.056

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer®*, 2023.

Ao todo, 711 periódicos foram os responsáveis pela produção científica da Indústria 4.0 neste estudo, sendo que apenas 24 dessas fontes receberam número superior a 1.000 citações. Sendo o quartil do **Journal Impact Factor** o quociente da classificação de um periódico em sua categoria, em relação ao número total de periódicos nessa mesma categoria, observa-se que esses 24 periódicos são os mais bem classificados no **Journal Impact Factor**, quase todos listados nos quartis Q1 ou Q2, exceto o **Journal Sustainability**, que está no Q3. Quanto à classificação de 2017-2020 do Qualis Periódicos, sistema criado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em 1988, para aferir a qualidade de artigos e de outros tipos de trabalho, bem como classificar os periódicos científicos utilizados pelos programas nacionais de pós-graduação para a divulgação dos seus resultados, observa-se que, entre os 24 periódicos com maior produção sobre a Indústria 4.0, mais de 70% estão categorizados no estrato A1, quase 13% se situam no estrato A2 e aproximadamente 17% estão listados no estrato A3. A Tabela 5 apresenta esses 24 periódicos mais citados.

Tabela 5 – Periódicos com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0

Nome do Periódico	N.º docs.	N.º citações
International Journal of Production Research	93	9.925
IEEE Access	110	7.576
Computers in Industry	92	5.913
IEEE Transactions on Industrial Informatics	100	5.775
Technological Forecasting and Social Change	108	5.700
Sustainability	217	5.637
International Journal of Production Economics	51	4.444
Journal of Manufacturing Systems	74	3.757
Journal of Cleaner Production	64	3.355
Computers & Industrial Engineering	80	3.345
Production Planning & Control	56	2.486
Journal of Industrial Information Integration	36	2.416
Journal of Manufacturing Technology Management	55	2.292
Sensors	107	2.123
Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	42	2.122

Nome do Periódico	N.º docs.	N.º citações
Journal of Intelligent Manufacturing	35	1.866
Applied Sciences-Basel	104	1.826
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	60	1.755
Engineering	9	1.602
Process Safety and Environmental Protection	13	1.532
IEEE Internet of Things Journal	30	1.257
International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology	7	1.048
Resources Conservation and Recycling	15	1.034
CIRP Annals-Manufacturing Technology	6	1.031

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer®*, 2023.

Em termos de afiliação, foram localizadas, a princípio, 3.491 instituições e/ou empresas com produção científica sobre a Indústria 4.0, sendo que apenas 47 destas receberam mais de 1.000 citações. Considerando também a ausência de uniformização no nome dessas instituições, foi preparado um dicionário (*thesaurus*), reduzindo para 3.412 o total de organizações.

O Brasil é o país com maior número de instituições de ensino nessa relação, ao todo seis, sendo elas a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), o que demonstra que os pesquisadores brasileiros têm se empenhado em analisar o fenômeno da Quarta Revolução Industrial. Na sequência, aparecem a Alemanha, a China, os Estados Unidos e a Inglaterra, com 5 representantes institucionais cada, inclusive uma empresa, a alemã Festo, fornecedora de tecnologia de automação e educação técnica. Na Tabela 6, constam as 47 organizações com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0.

Tabela 6 – Organizações com maior produção acadêmica sobre a Indústria 4.0

Organização	País	N.º docs.	N.º citações
South China University of Technology	China	33	4.145
University of Auckland	Nova Zelândia	26	3.256
Beihang University	China	21	2.875
Univ. Fed. Rio Grande do Sul (UFRGS)	Brasil	32	2.496
Old Dominion University	Estados Unidos	19	2.250
University of Johannesburg	África do Sul	62	2.184
Berlin School of Economics & Law	Alemanha	11	2.125
Luleå University of Technology	Suécia	17	2.091
Univ. Federal de Santa Catarina (UFSC)	Brasil	34	1.886
Politecnico di Milano	Itália	39	1.875

Organização	País	N.º docs.	N.º citações
Hong Kong Polytechnic University	China	36	1.836
Montpellier Business School	França	22	1.759
King Saud University	Arábia Saudita	29	1.754
Brescia University	Estados Unidos	16	1.741
KTH Royal Institute of Technology	Suécia	20	1.698
University of Plymouth	Inglaterra	14	1.628
Norwegian University of Science & Technology	Noruega	32	1.603
National University of Singapore	Singapura	24	1.571
Nanyang Technological University	Singapura	17	1.477
University of Kentucky	Estados Unidos	6	1.477
National Institute of Industrial Engineering NITIE	Índia	18	1.471
University of Cambridge	Inglaterra	31	1.469
Free University of Bozen-Bolzano	Itália	24	1.429
Univ. Federal de São Carlos (UFSCAR)	Brasil	14	1.401
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Alemanha	14	1.383
Shanghai Jiao Tong University	China	21	1.365
Università di Padova	Itália	30	1.360
Technical University of Munich	Alemanha	20	1.351
Rhein Westfal TH Aachen University	Alemanha	16	1.310
University of Manchester	Inglaterra	15	1.302
Pont. Univ. Católica do Paraná (PUCPR)	Brasil	10	1.256
Sidi Mohammed Ben Abdellah Univ.	Marrocos	1	1.239
University of St. Gallen	Suíça	7	1.233
University of Minnesota	Estados Unidos	2	1.193
University of Derby	Inglaterra	16	1.191
Hungarian Academy of Sciences	Hungria	7	1.134
California State University	Estados Unidos	5	1.105
University of Hormozgan	Irã	5	1.104
University of New South Wales	Austrália	15	1.103
Universidade Federal do Paraná (UFPR)	Brasil	11	1.063
University of Bath	Inglaterra	2	1.051
University of Glasgow	Escócia	17	1.051
City University of Hong Kong	China	14	1.039
IMT Atlantique	França	8	1.020
Festo AG & Co. KG	Alemanha	1	1.016
University of A Coruña	Espanha	15	1.012
Univ. Tecnológica Fed. Paraná (UTFPR)	Brasil	9	1.002

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer®*, 2023.

O objetivo deste trabalho foi apresentar a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, bem como identificar os temas que têm sido mais estudados nesse contexto. Para tal identificação, foi feita uma análise bibliométrica de coocorrências.

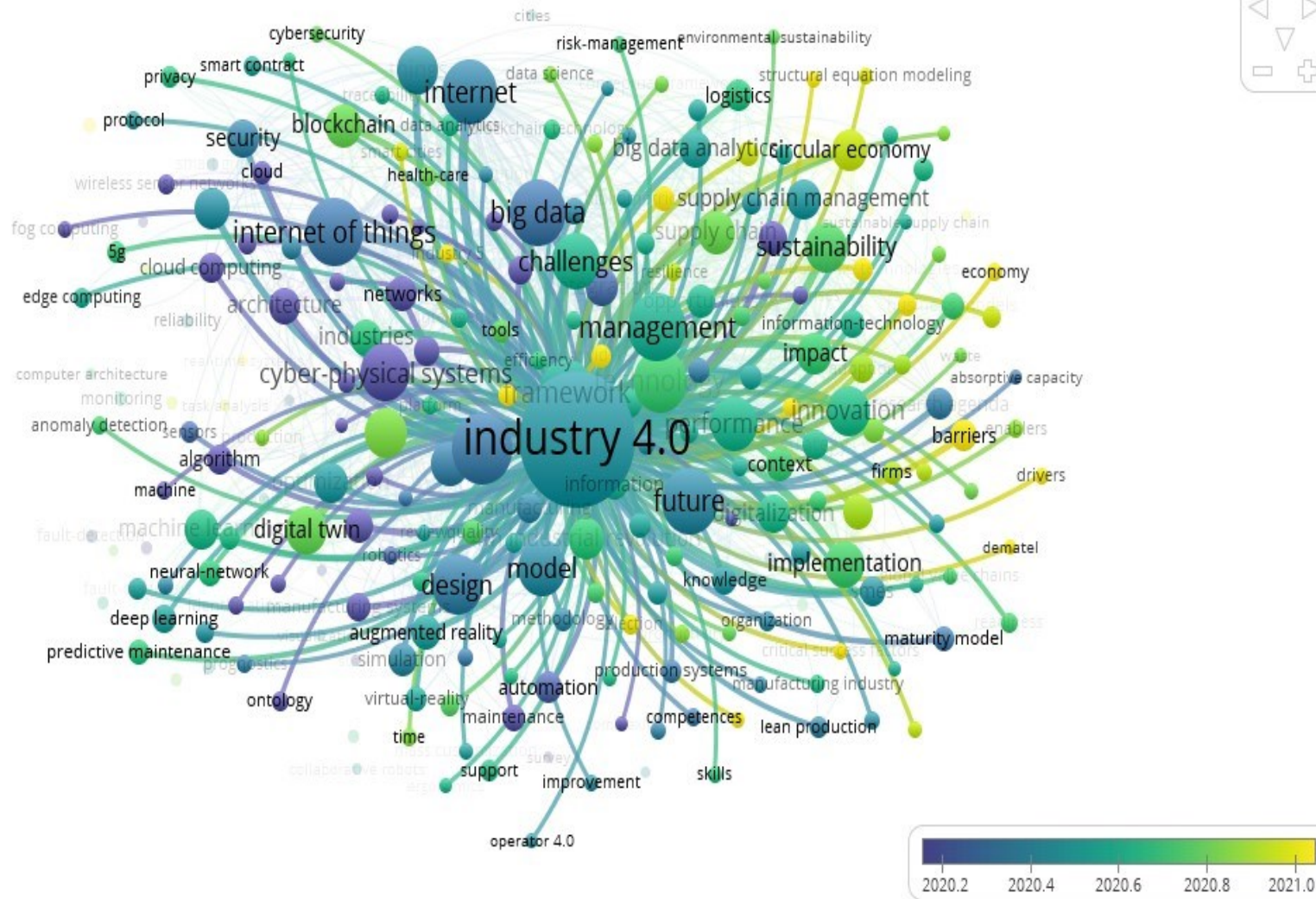
O número de todas as palavras-chave — aqui incluídas as palavras-chave do autor e as *keywords plus*® — surpreendeu: ao todo, foram identificados 11.262 termos. Igualmente ao ocorrido com a relação de autores e a de organizações, foi necessário construir um *thesaurus* para mesclar sinônimos, corrigir erros de digitação ou grafia, compatibilizar diferenças ortográficas entre o inglês britânico e o americano, padronizar termos abreviados e termos completos, ignorar termos, entre outras adequações, permanecendo, em cada situação, o termo com maior número de ocorrências. Depois desse processo de depuração, o número foi pouco reduzido: caiu para 11.111 termos. Ainda como forma de diminuir o número de palavras-chave, foi colocado um limite mínimo de 20 ocorrências para cada termo, restando um mapa de coocorrências com as 244 palavras-chave mais estudadas no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, gerando uma rede com cinco *clusters* e 14.090 *links*.

Segundo Nees Jan van Eck e Ludo Waltman (2023, p. 10):

Na visualização de rede, os itens são representados por seu rótulo e, por padrão, também por um círculo. O tamanho da etiqueta e do círculo de um item é determinado pelo peso do item. Quanto maior o peso de um item, maior o rótulo e o círculo do item. Para alguns itens, o rótulo pode não ser exibido. Isso é feito para evitar a sobreposição de rótulos. A cor de um item é determinada pelo *cluster* ao qual o item pertence. As linhas entre os itens representam *links*. Por padrão, no máximo 1.000 linhas são exibidas, representando os 1.000 *links* mais fortes entre os itens.

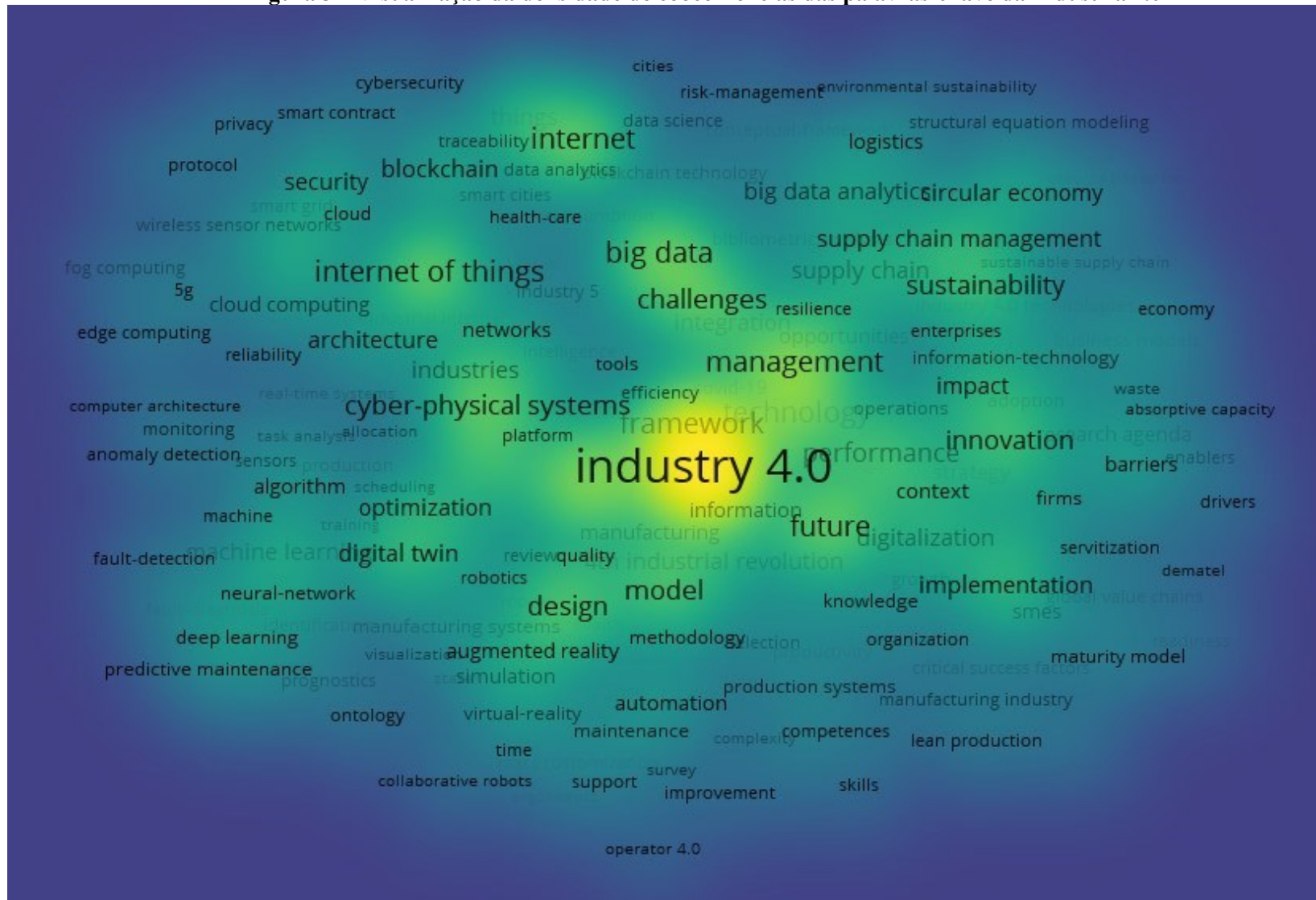
Em seguida, serão apresentados os cinco *clusters* e seus principais termos, bem como será feita a análise de cada um desses agrupamentos.

Figura 2 – Visualização de sobreposição de cocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora utilizando o software *VOSviewer*®, 2023.

Figura 3 – Visualização da densidade de coocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora utilizando o *software VOSviewer®*, 2023.

O *cluster* 1 (em vermelho na rede de coocorrências das palavras-chave da Indústria 4.0 – Figura 1) reúne um total de 97 termos, sendo o item “*Industry 4.0*” aquele com o maior número de ocorrências — 2.283 no total. Pode-se dizer que é um agrupamento com uma visão mais macro da Indústria 4.0, em que pesa a influência de fatores financeiros, políticos e socioculturais. O termo “*4th Industrial Revolution*” aparece na 12^a posição com 188 ocorrências, número bem inferior ao item “*Industry 4.0*”, denotando que pesquisadores empregam mais “*Industry 4.0*” do que “*4th Industrial Revolution*” em seus estudos. A relação dos 97 termos pertencentes ao *cluster* 1 consta da Tabela 7.

Tabela 7 – Cluster 1 I4.0 – 97 termos

Termos do Cluster 1 I4.0	N.º ocorrências
<i>Industry 4.0</i>	2.283
<i>Management</i>	547
<i>Future</i>	521
<i>Technology</i>	463
<i>Challenges</i>	366
<i>Performance</i>	344
<i>Sustainability</i>	293
<i>Innovation</i>	281
<i>Implementation</i>	239
<i>Supply Chain</i>	213
<i>Circular Economy</i>	195
<i>4th Industrial Revolution</i>	188
<i>Impact</i>	187
<i>Supply Chain Management</i>	179
<i>Digitalization</i>	169
<i>Big data Analytics</i>	147
<i>Digital Transformation</i>	136
<i>Opportunities</i>	123
<i>Context</i>	123
<i>Barriers</i>	113
<i>Information</i>	106
<i>Logistics</i>	106
<i>Research Agenda</i>	104
<i>Strategy</i>	101
<i>Manufacturing</i>	100
<i>Decision-making</i>	94
<i>SMEs⁴</i>	92
<i>Adoption</i>	87
<i>Information-technology</i>	85
<i>Knowledge</i>	84
<i>Business models</i>	78

⁴ SMEs – *Small and Medium-sized Enterprises*.

Termos do Cluster 1 I4.0	N.º ocorrências
<i>Maturity model</i>	65
<i>Capabilities</i>	65
<i>Perspective</i>	63
<i>Operations</i>	62
<i>Sustainable Development</i>	61
<i>COVID-19</i>	58
<i>Firm Performance</i>	57
<i>Firms</i>	54
<i>Digitization</i>	53
<i>Business</i>	53
<i>Industry 4.0 Technologies</i>	51
<i>Digital Technologies</i>	48
<i>Predictive Analytics</i>	46
<i>Lean Production</i>	43
<i>Dynamic Capabilities</i>	43
<i>Transformation</i>	40
<i>Determinants</i>	39
<i>Readiness</i>	38
<i>China</i>	36
<i>Education</i>	36
<i>Knowledge Management</i>	35
<i>Selection</i>	35
<i>Policy</i>	35
<i>Organization</i>	35
<i>Servitization</i>	34
<i>Green</i>	34
<i>Resilience</i>	33
<i>Competences</i>	33
<i>Companies</i>	33
<i>Work</i>	32
<i>Evolution</i>	32
<i>Research-and-development</i>	32
<i>Enablers</i>	32
<i>Enterprises</i>	30
<i>Economy</i>	30
<i>Manufacturing Industry</i>	29
<i>Technological Innovation</i>	29
<i>Risk-management</i>	28
<i>Global Value Chains</i>	28
<i>Operations Management</i>	27
<i>Case study</i>	27
<i>Drivers</i>	27
<i>Critical Success Factors</i>	27
<i>Revolution</i>	27
<i>Maturity</i>	26
<i>Information and Communication Technology</i>	25
<i>Business Model Innovation</i>	24

Termos do Cluster 1 I4.0	N.º ocorrências
<i>AHP</i> ⁵	24
<i>Skills</i>	24
<i>Growth</i>	24
<i>Mediating Role</i>	23
<i>Technology Adoption</i>	23
<i>Indicators</i>	23
<i>Sustainable Development Goals</i>	23
<i>Structural Equation Modeling</i>	23
<i>Sustainable Supply Chain</i>	22
<i>Absorptive Capacity</i>	22
<i>Dynamics</i>	21
<i>Automotive Industry</i>	21
<i>Management-practices</i>	21
<i>Complexity</i>	20
<i>Environmental Sustainability</i>	20
<i>Waste</i>	20
<i>Employment</i>	20
<i>Resource-based View</i>	20
<i>Dematel</i> ⁶	20

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer*®, 2023.

O *cluster 2* (em verde na Figura 1) reúne um total de 81 termos, sendo o item “*Systems*” aquele com o maior número de ocorrências — 616 no total. Pode-se dizer que é um agrupamento que abrange o nível intermediário, em que pesam os fatores técnicos e organizacionais da Indústria 4.0. Merecem destaque “*Internet of Things*”, “*Cyber-physical Systems*”, “*Artificial Intelligence (AI)*”, “*Digital Twin*”, “*Smart Manufacturing*”, “*Blockchain*”, “*Industrial Internet of Things*”, “*Security*”, “*Architecture*” e “*Smart Factory*”, termos ainda bastante explorados na academia, que constituem a base técnica e tecnológica da Indústria 4.0 e que, embora tenham avançado na última década, ainda demandam atenção e grande preocupação, dados os desafios e as incertezas envolvidas. Os 81 termos relativos ao *cluster 2* estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Cluster 2 I4.0 – 81 termos

Termos do Cluster 2 I4.0	N.º ocorrências
<i>Systems</i>	616
<i>Internet of Things</i>	539
<i>Internet</i>	501
<i>Cyber-physical Systems</i>	392
<i>Artificial Intelligence (AI)</i>	290

⁵ AHP – *Analytical Hierarchical Process*.

⁶ Dematel – *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*.

Termos do Cluster 2 I4.0	N.º ocorrências
<i>Things</i>	272
<i>Digital Twin</i>	271
<i>Smart Manufacturing</i>	219
<i>Blockchain</i>	206
<i>Industrial Internet of Things</i>	199
<i>Optimization</i>	172
<i>Machine Learning</i>	170
<i>Security</i>	155
<i>Architecture</i>	143
<i>Industries</i>	143
<i>Networks</i>	131
<i>Smart Factory</i>	122
<i>Algorithm</i>	93
<i>Cloud Computing</i>	90
<i>Manufacturing Systems</i>	89
<i>Deep Learning</i>	82
<i>Neural Network</i>	75
<i>Predictive Maintenance</i>	66
<i>Cloud</i>	57
<i>Prediction</i>	55
<i>Interoperability</i>	52
<i>Fault-diagnosis</i>	50
<i>Sensors</i>	49
<i>Privacy</i>	48
<i>Communication</i>	45
<i>Classification</i>	45
<i>5G</i>	44
<i>Smart Contract</i>	42
<i>Edge Computing</i>	41
<i>Wireless Sensor Networks</i>	40
<i>Ontology</i>	39
<i>Healthcare</i>	38
<i>Intelligent Manufacturing</i>	37
<i>Energy</i>	36
<i>Cloud Manufacturing</i>	36
<i>Energy Efficiency</i>	35
<i>Machine</i>	33
<i>Industrial Internet</i>	32
<i>Anomaly Detection</i>	32
<i>Traceability</i>	32
<i>Identification</i>	32
<i>Protocol</i>	31
<i>Genetic Algorithm</i>	31
<i>Prognostics</i>	30
<i>Platform</i>	30
<i>Artificial Neural-networks</i>	30
<i>Authentication</i>	29

Termos do Cluster 2 I4.0	N.º ocorrências
<i>Monitoring</i>	29
<i>Resources</i>	28
<i>Fog Computing</i>	28
<i>Review</i>	28
<i>Cybersecurity</i>	28
<i>Support Vector Machine</i>	27
<i>Convolutional Neural Networks</i>	27
<i>Reliability</i>	26
<i>Diagnosis</i>	26
<i>Consumption</i>	26
<i>Data Models</i>	26
<i>Smart Grid</i>	25
<i>Cyber-physical Production Systems</i>	25
<i>Wireless Communication</i>	25
<i>Production</i>	25
<i>Fault-detection</i>	24
<i>Recognition</i>	23
<i>Generation</i>	22
<i>Real-time Systems</i>	22
<i>Survey</i>	21
<i>Feature Extraction</i>	21
<i>Training</i>	21
<i>Standards</i>	20
<i>Computer Architecture</i>	20
<i>Scheme</i>	20
<i>Scheduling</i>	20
<i>Allocation</i>	20
<i>State</i>	20
<i>Task Analysis</i>	20

Fonte: Elaborado pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer*®, 2023.

O *cluster 3* (em azul, na Figura 1) reúne um total de 37 termos, sendo “*Framework*” o item com o maior número de ocorrências – 482 no total. Nesse agrupamento surge o debate sobre os fatores individuais e a intenção de serem aplicados os conceitos da Indústria 4.0 em contextos econômicos práticos. A tradução literal de “*Framework*” é estrutura, ou seja, um modelo que conduz a empresa não somente em relação aos propósitos, mas também em relação às ações. Destaque para a ocorrência de termos como “*Collaboration*”, “*Human-Robot Collaboration*”, “*Collaborative Robots*”, “*Robots*”, “*Robotics*”, “*Intelligence*”, “*Trust*”, “*Ergonomics*” e “*Health*”, explorando as questões relacionadas aos recursos humanos e à interação homem-máquina no contexto da manufatura e do trabalho inteligentes, este último ainda de maneira restrita. Na Tabela 9, estão relacionados os 37 termos do *cluster 3*.

Tabela 9 – Cluster 3 I4.0 – 37 termos

Termos do Cluster 3 I4.0	N.º ocorrências
<i>Framework</i>	482
<i>Design</i>	416
<i>Augmented Reality</i>	131
<i>Simulation</i>	122
<i>Automation</i>	102
<i>Service</i>	100
<i>Maintenance</i>	74
<i>Systematic Literature Review</i>	65
<i>Virtual-Reality</i>	60
<i>Additive Manufacturing</i>	56
<i>Collaboration</i>	46
<i>Safety</i>	44
<i>Support</i>	43
<i>Construction</i>	39
<i>3D Printing</i>	38
<i>Intelligence</i>	38
<i>Environment</i>	37
<i>Robots</i>	35
<i>Robotics</i>	34
<i>Time</i>	33
<i>Digital Manufacturing</i>	32
<i>Efficiency</i>	31
<i>Productivity</i>	30
<i>Building Information Modelling</i>	28
<i>Energy-Consumption</i>	28
<i>Risk</i>	28
<i>Construction Industry</i>	26
<i>Mass Customization</i>	26
<i>Trust</i>	25
<i>Human-Robot Collaboration</i>	23
<i>Real-Time</i>	22
<i>Collaborative Robots</i>	22
<i>Ergonomics</i>	22
<i>Health</i>	22
<i>Visualization</i>	21
<i>Operator 4.0</i>	20
<i>Tracking</i>	20

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do software VOSviewer®, 2023.

O *cluster* 4 (em amarelo na Figura 1) reúne um total de 16 termos, sendo “*Big data*” aquele com o maior número de ocorrências – 512 no total. Nesse *cluster*, a coocorrência do termo “*Big data*” com “*Smart Analytics*”, “*Data Analytics*”, “*Information Systems*”, “*Data Science*”, entre outros, sinaliza para o fato de que o uso de dispositivos inteligentes gera

conjuntos de dados complexos cuja coleta, análise e interpretação passaram a ser possíveis por meio de aplicações como *big data* e *analytics*. “*Smart Cities*”, por exemplo, são exatamente as cidades que alavancam essas tecnologias para melhorar a infraestrutura urbana, o transporte e os serviços públicos. Os termos do *cluster 4* fazem parte da Tabela 10.

Tabela 10 – Cluster 4 I4.0 – 16 termos

Termos do Cluster 4 I4.0	N.º ocorrências
<i>Big data</i>	512
<i>Smart</i>	124
<i>Analytics</i>	83
<i>Of-The-Art</i>	77
<i>Bibliometric Analysis</i>	60
<i>Tools</i>	53
<i>Data Analytics</i>	50
<i>Industry 5</i>	34
<i>Smart Cities</i>	33
<i>Trends</i>	33
<i>Science</i>	31
<i>Information Systems</i>	28
<i>Conceptual-Framework</i>	27
<i>Data Science</i>	23
<i>Issues</i>	22
<i>Cities</i>	21

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do software VOSviewer®, 2023.

O *cluster 5* (em roxo na Figura 1) reúne um total de 13 termos, sendo “*Model*” aquele com o maior número de ocorrências – 372 no total. Apesar de os termos “*Model*”, “*Integration*”, “*Quality*”, “*Methodology*” e “*Production Systems*” sinalizarem a importância de integração de diferentes tecnologias, processos ou sistemas, de forma a obter mais qualidade, eficiência e eficácia na produção, eles não são novos nem exclusivos da Indústria 4.0. Já os termos “*Sustainable Manufacturing*” e “*Lean Manufacturing*”, apesar de menos frequentes, começam a revelar a importância do uso de práticas e tecnologias ecologicamente corretas, e qual será o papel da Indústria 4.0 no ciclo de vida de um produto, desde a concepção até o descarte, minimizando o impacto no meio ambiente, eliminando desperdícios e tornando mais eficientes os processos produtivos. A palavra “*Blockchain*” traz consigo a importância da segurança e transparência das transações nesse ambiente altamente interconectado. A Tabela 11 exibe os 13 termos do *cluster 5*.

Tabela 11 – Cluster 5 I4.0 – 13 termos

Termos do Cluster 5 I4.0	N.º ocorrências
<i>Model</i>	372
<i>Integration</i>	158
<i>Quality</i>	61
<i>Methodology</i>	54
<i>Production Systems</i>	51
<i>Literature Review</i>	48
<i>Product</i>	48
<i>Blockchain Technology</i>	37
<i>Sustainable Manufacturing</i>	34
<i>Lean Manufacturing</i>	31
<i>Quality Management</i>	24
<i>Improvement</i>	23
<i>Life-Cycle</i>	21

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do software VOSviewer®, 2023.

A partir dessa análise bibliométrica de coocorrências, foram atingidos alguns objetivos específicos da pesquisa, quais sejam, apresentar a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, bem como identificar seus temas mais estudados.

Em que pese o tema recursos humanos ter aparecido em alguns dos termos apresentados, ainda não se pode afirmar quais temas relacionados a recursos humanos têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0. Nessa primeira fase, alguns termos associados a recursos humanos são mencionados, mas a próxima etapa realizará um levantamento mais específico para tentar solucionar o problema de pesquisa.

4.2 RECURSOS HUMANOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Esta segunda etapa do trabalho teve por objetivo apresentar quais temas relativos a recursos humanos têm emergido no contexto da produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, sejam eles relativos à gestão de recursos humanos, ao comportamento humano nas organizações ou às relações de trabalho.

Em fevereiro de 2023, foi feita busca na coleção principal da *Web of Science*, a partir dos já conhecidos argumentos “*Ind?str* 4.0*” ou “*Four* Industrial Revolution*” ou “Quarta Revolução Industrial” ou “*4* Industrial Revolution*”, em combinação com os seguintes parâmetros relativos a recursos humanos: “*attitude**” ou “*behavio\$r*” ou “*capabilit**” ou “*collaborat**” ou “*competenc**” ou “*cultur**” ou “**employ**” ou “*ergonomic**” ou “HRM” ou “*human**” ou “*intellectual capital*” ou “*job**” ou “*knowledge*” ou “*labo\$r*” ou “*occupation**”

ou “*skill**” ou “*training*” ou “*work**” ou “*stress*”. A primeira busca, qual seja, de todos os tipos de documentos com os argumentos acima descritos, retornou um total de 12.182 documentos. Ao restringir a busca para somente artigos ou artigos de revisão, o resultado foi um total de 7.134 documentos, contendo dois títulos repetidos, cujos campos título, autores, *abstract* e palavras-chave do(s) autor(es) estavam idênticos, e que, portanto, precisaram ser excluídos, restando 7.132 documentos. Em seguida, foi aplicado um filtro relativo ao fator de impacto dos periódicos, selecionando apenas aqueles com *JIF Quartile* Q1 e Q2, permitindo a eliminação de 3.695 artigos. Entre os 3.437 títulos restantes, houve aqueles cujas categorias *Web of Science* foram dispensadas, visto que não são o foco desta pesquisa, como se pode verificar na relação constante do Apêndice 2. Os títulos dos artigos pertencentes às categorias *Web of Science* selecionadas, conforme Apêndice 1, foram lidos para confirmar seu alinhamento ao tema de pesquisa, perfazendo um total de 101 artigos sobre o tema recursos humanos na Indústria 4.0. Essa redução significativa no número de artigos se deveu ao fato de que a maioria das categorias dispensadas estão relacionadas a áreas como biotecnologia, sistemas de automação e controle, comunicação, ciência da informação, engenharia, matemática, nanociência e nanotecnologia, robótica, telecomunicações, entre outras, o que confirma o interesse predominante pelos aspectos técnicos e tecnológicos da Indústria 4.0. A Tabela 12 demonstra a estratégia de busca do tema Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0 e demais filtros.

Tabela 12 – Estratégia de busca de Recursos Humanos na Indústria 4.0 na *Web of Science Core Collection*

Busca <i>Web of Science Core Collection</i>	Filtros	N.º docs.
“ <i>Four* Industrial Revolution</i> ” OR “ <i>Quarta Revolução Industrial</i> ” OR “ <i>4* Industrial Revolution</i> ” OR “ <i>Ind?str* 4.0</i> ”	Tópico; todos os tipos de documentos.	12.182
	Tópico; <i>articles</i> ou <i>review articles</i> .	7.134
AND	Tópico; <i>articles</i> ou <i>review articles</i> , com exclusão de 2 títulos repetidos.	7.132
“ <i>attitude*</i> ” OR “ <i>behavio\$*</i> ” OR “ <i>capabilit*</i> ” OR “ <i>collaborat*</i> ” OR “ <i>competenc*</i> ” OR “ <i>cultur*</i> ” OR “ <i>*employ*</i> ” OR “ <i>ergonomic*</i> ” OR “ <i>HRM</i> ” OR “ <i>human*</i> ” OR “ <i>intellectual capital</i> ” OR “ <i>job*</i> ” OR “ <i>knowledge</i> ” OR “ <i>labo\$*</i> ” OR “ <i>occupation*</i> ” OR “ <i>skill*</i> ” OR “ <i>training</i> ” OR “ <i>work*</i> ” OR “ <i>stress</i> ”	Remoção de 3.695 artigos com <i>JIF Quartile</i> ⁷ nos níveis Q3, Q4, #N/D e N/A.	3.437
	Exclusão de 3.336 artigos cujas categorias <i>WoS</i> ou títulos não estavam alinhados ao tema de pesquisa.	101

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A busca pelos termos relacionados a recursos humanos e à Indústria 4.0, concomitantemente, retornou 101 artigos publicados entre os anos de 2018 e 2023, sendo que mais de 60% destes foram publicados nos anos de 2021 e 2022.

Apenas três artigos, dois deles publicados em 2018 e outro em 2019, foram responsáveis por cerca de 30% do total de citações — Sung (2018), Abubakar *et al.* (2019) e Scheider (2018).

O artigo de Sung (2018), intitulado “*Industry 4.0: A Korea perspective*”, que fez jus a 211 citações, aborda, entre outros temas, a falta de conjuntos de habilidades adequados e a relutância geral em mudar por parte das partes interessadas e perda de muitos empregos para processos automáticos e processos controlados por TI na Coreia do Sul.

O artigo “*Knowledge management, decision-making style and organizational performance*”, de Abubakar *et al.* (2019), que recebeu 190 menções, elaborou abrangente análise da literatura atual sobre a Indústria 4.0, revelando a importância crítica da gestão do conhecimento e das estratégias de tomada de decisão para as organizações.

Paul Schneider (2018) recebeu 132 citações pelo “*Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field*”, artigo em que ele chama a

⁷ O **Journal Impact Factor** (JIF) identifica a frequência média com que um artigo de um periódico é citado em um determinado ano, e seu cálculo utiliza informações dos últimos 3 anos de dados. O quartil separa todas as revistas em quatro grupos, de Q1 a Q4, sendo que os periódicos avaliados em Q1 e Q2 estão entre os mais bem avaliados. Disponível em: [https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Journal_Citation_Reports_\(JCR\)_-Guia_de_uso_-03.10.2017.pdf](https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Journal_Citation_Reports_(JCR)_-Guia_de_uso_-03.10.2017.pdf). Acesso em: 16 maio, 2023.

atenção para uma certa negligência quanto aos profundos desafios gerenciais subjacentes à Indústria 4.0.

A Tabela 13 apresenta o número de artigos e citações sobre recursos humanos no contexto da Indústria 4.0 que foram publicados no período de 2018 a 2023⁸.

Tabela 13 – Artigos e citações sobre Recursos Humanos no contexto da “Indústria 4.0”, por ano

Ano de Publicação	N.º artigos	N.º citações
2018	5	445
2019	11	583
2020	14	293
2021	22	342
2022	39	104
2023	10	17

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Após a depuração com o *thesaurus*, foram encontrados 309 autores entre os 101 trabalhos selecionados. Desses, pouco mais de um terço — 108 autores — teve 10 ou mais citações, sendo que o número de citações por autor não ultrapassou a casa de 221, marca esta atingida pelo já mencionado Sung (2018).

No caso da produção científica nacional, além do artigo “*Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM*”, de Liboni, Cezarino, Jabbour, Oliveira e Stefanelli (2019), também a parceria luso-brasileira entre Meindl, Ayala, Mendonça e Frank (2021) destacou o Brasil na lista de autores mais mencionados.

A Tabela 14 apresenta um grupo de 32 autores com mais de 50 citações.

Tabela 14 – Relação de autores mais citados no tema Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

Autores	N.º citações
Sung, Tae Kyung	221
Abubakar, Abubakar Mohammed	192
Alatailat, Maher Ahmad	192
Elci, Alev	192
Elrehail, Hamzah	192
Schneider, Paul	153
Dabic, Marina	108
Manesh, Mohammad Fakhar	106
Marzi, Giacomo	106
Pellegrini, Massimiliano Matteo	106
Cezarino, Luciana Oranges	99

⁸ Levantamento realizado no WoS em 25 fev. 2023.

Autores	N.º citações
Jabbour, Charbel Jose Chiappetta	99
Liboni, Lara Bartocci	99
Oliveira, Bruno Garcia	99
Stefanelli, Nelson Oliveira	99
Popkova, Elena G.	91
Sergi, Bruno S.	91
Nam, Taewoo	87
Ayala, Nestor Fabian	62
Frank, Alejandro German	62
Meindl, Benjamin	62
Mendonça, Joana	62
Mahmood, Tarique	61
Mubarik, Muhammad Shujaat	61
Mohelska, Hana	55
Sokolova, Marcela	55
Jang, Tae-Won	51
Kim, Inah	51
Kim, Yangwoo	51
Lee, Sujin	51
Min, Jeehee	51
Song, Jaechul	51

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer®*, 2023.

Em relação à produção científica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0, foram identificados 43 países, sendo os 5 mais citados a Coreia do Sul, a Itália, a Inglaterra, o Peru e o Chipre, respectivamente. Com 172 citações, a Alemanha aparece na 7ª posição, enquanto o Brasil, com 166 menções, está em 8º lugar. Na Tabela 15, é possível encontrar a lista desses 43 países em ordem de citações, do mais citado para o menos citado.

Tabela 15 – Países com produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

País	N.º docs.	N.º citações
Coreia do Sul	7	399
Itália	15	351
Inglaterra	14	237
Peru	2	209
Chipre	3	207
Emirados Árabes Unidos	1	192
Alemanha	7	172
Brasil	4	166
França	6	154
Rússia	6	137
EUA	9	133

País	N.º docs.	N.º citações
Croácia	2	108
Paquistão	6	91
Austrália	9	79
China	7	68
Portugal	3	66
Índia	10	65
República Checa	3	58
Indonésia	1	44
Espanha	6	42
Noruega	3	41
Holanda	3	31
Dinamarca	4	25
África do Sul	6	17
Polônia	2	16
Luxemburgo	1	15
Tailândia	1	14
Colômbia	1	13
Malásia	2	11
País de Gales	1	4
Nova Zelândia	1	3
Singapura	2	3
Áustria	1	2
Grécia	2	2
Hungria	1	2
Eslovênia	1	2
Suíça	1	2
Chile	3	1
Equador	1	1
Argentina	2	0
Bangladesh	1	0
Finlândia	1	0
Irã	2	0

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do software *VOSviewer*®, 2023.

No estudo em tela, 43 periódicos foram os responsáveis pela produção científica sobre recursos humanos no contexto da Indústria 4.0, sendo que apenas 24 dessas fontes receberam número superior a 10 citações, quase 97% do total de menções. Somente a revista acadêmica revisada por pares, **Technological Forecasting and Social Change** (anteriormente **Technological Forecasting**), publicada pela Elsevier, obteve mais de 30% das citações. A Tabela 16 apresenta os 24 periódicos mais citados.

Tabela 16 – Periódicos com maior produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

Nome do Periódico	N.º docs.	N.º citações
Technological Forecasting and Social Change	22	583
Journal of Innovation & Knowledge	1	192
IEEE Transactions on Engineering Management	7	152
Review of Managerial Science	5	143
Journal of Intellectual Capital	6	139
Supply Chain Management-An International Journal	1	99
Safety and Health at Work	2	60
Heliyon	2	58
Frontiers in Psychology	13	55
Technological and Economic Development of Economy	1	55
International Journal of Operations & Production Management	2	50
Economy and Society	1	47
Journal of Business Research	2	44
Futures	2	21
Business Strategy and the Environment	1	20
Academy of Management Discoveries	1	17
Structural Change and Economic Dynamics	1	16
Operations Research Perspectives	1	15
Annals of Operations Research	1	14
Symmetry-Basel	1	14
Cambridge Journal of Economics	1	13
Human Resource Management Review	1	13
Journal of Business Logistics	1	12
Science and Engineering Ethics	1	11

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer®*, 2023.

Em termos de afiliação, foram localizadas, em princípio, 213 instituições e/ou empresas com produção científica sobre recursos humanos no contexto da Indústria 4.0. Considerando a ausência de uniformização no nome dessas instituições, foi preparado um dicionário (*thesaurus*), reduzindo para 210 o total de organizações, sendo que apenas 75 destas receberam mais de 10 citações.

Com um total de 10 instituições, a Itália lidera o *ranking* de países com mais universidades, seguida da Inglaterra, com 8, e França, com 5. Coreia do Sul e Brasil surgem com 4 instituições, cada, sendo as representantes brasileiras a Universidade Federal de Goiás (UFG), a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Tabela 17 lista as 75 instituições de ensino com 10 ou mais menções em artigos que tratam de recursos humanos no contexto da Indústria 4.0.

Tabela 17 – Organizações com maior produção acadêmica sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

Organização	País	N.º docs.	N.º citações
Kyonggi University	Coreia do Sul	1	221
Aksaray University	Turquia	1	192
American University in the Emirates	Emirados Árabes Unidos	1	192
Girne American University	Chipre	1	192
University of Cologne	Alemanha	2	153
Nottingham Trent University	Inglaterra	2	116
University of Lincoln	Inglaterra	2	116
University of Zagreb	Croácia	2	108
Università degli Studi di Roma Tor Vergata	Itália	1	106
Montpellier Business School	França	1	99
Universidade Federal de Goiás	Brasil	1	99
Universidade Federal de Uberlândia	Brasil	1	99
Universidade de São Paulo	Brasil	1	99
Harvard University	Estados Unidos	1	91
Moscow State Institute of International Relations MGIMO	Rússia	1	91
Università degli Studi di Messina	Itália	1	91
Sungkyunkwan University	Coreia do Sul	2	87
Univ. Fed. Rio Grande do Sul UFRGS	Brasil	2	62
Universidade de Lisboa	Portugal	1	62
Mohammad Ali Jinnah University	Paquistão	1	61
University of Hradec Králové	República Checa	1	55
Hanyang University	Coreia do Sul	1	51
Leeds Beckett University	Inglaterra	1	47
Università di Torino	Itália	1	45
University of Indonesia	Indonésia	1	44
Politecnico di Milano	Itália	4	43
Flinders University South Australia	Austrália	1	40
Ramon Llull University	Espanha	1	39
Universitetet i Stavanger UiS	Noruega	2	37
Ulsan National Institute of Science and Technology	Coreia do Sul	1	35
Ningbo University	China	1	31
NEOMA Business School	França	2	29
University of Management and Technology	Estados Unidos	2	24
Shandong University of Science & Technology	China	2	23
Manchester Metropolitan University	Inglaterra	1	20

Organização	País	N.º docs.	N.º citações
National Research Council CNR	Itália	1	19
Universidad de Palermo	Argentina	1	19
Qingdao University	China	1	18
Università Cattolica del Sacro Cuore	Itália	2	18
BML Munjal University	Índia	1	17
Cranfield University	Inglaterra	1	17
Erasmus University	Países Baixos	1	17
Indian Institute of Management	Índia	1	17
University of Gloucestershire	Inglaterra	1	17
University of Johannesburg	África do Sul	5	17
University of the West of England Bristol	Inglaterra	1	17
Yaşar University	Turquia	1	17
National Research University Higher School of Economics	Rússia	1	16
NMIMS University	Índia	1	16
RMIT University	Austrália	2	16
Scuola Superiore Sant'Anna	Itália	1	16
Università degli Studi di Bari Aldo Moro	Itália	1	16
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia	Itália	1	16
Università degli Studi della Tuscia	Itália	1	16
Université du Luxembourg	Luxemburgo	1	15
Chiang Mai University	Tailândia	1	14
Deakin University	Austrália	2	14
Emlyon Business School	França	1	14
Prince of Songkla University	Tailândia	1	14
The University of Applied Sciences in Nysa	Polônia	1	14
University of Nottingham	Inglaterra	1	14
University of Southern Denmark	Dinamarca	2	14
University of Zielona Góra	Polônia	1	14
Cyprus University of Technology	Chipre	1	13
Delft University of Technology	Países Baixos	1	13
University of Antioquia	Colômbia	1	13
University of Nicosia	Chipre	1	13
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Alemanha	1	12
Steinbeis-Hochschule Berlin	Alemanha	1	12
Aalborg University	Dinamarca	1	11
INSA Hauts-de-France	França	1	11
Université Polytechnique Hauts-de-France	França	1	11
Velux	Dinamarca	1	11

Organização	País	N.º docs.	N.º citações
Brigham Young University	Estados Unidos	1	10
Curtin University	Malásia	1	10

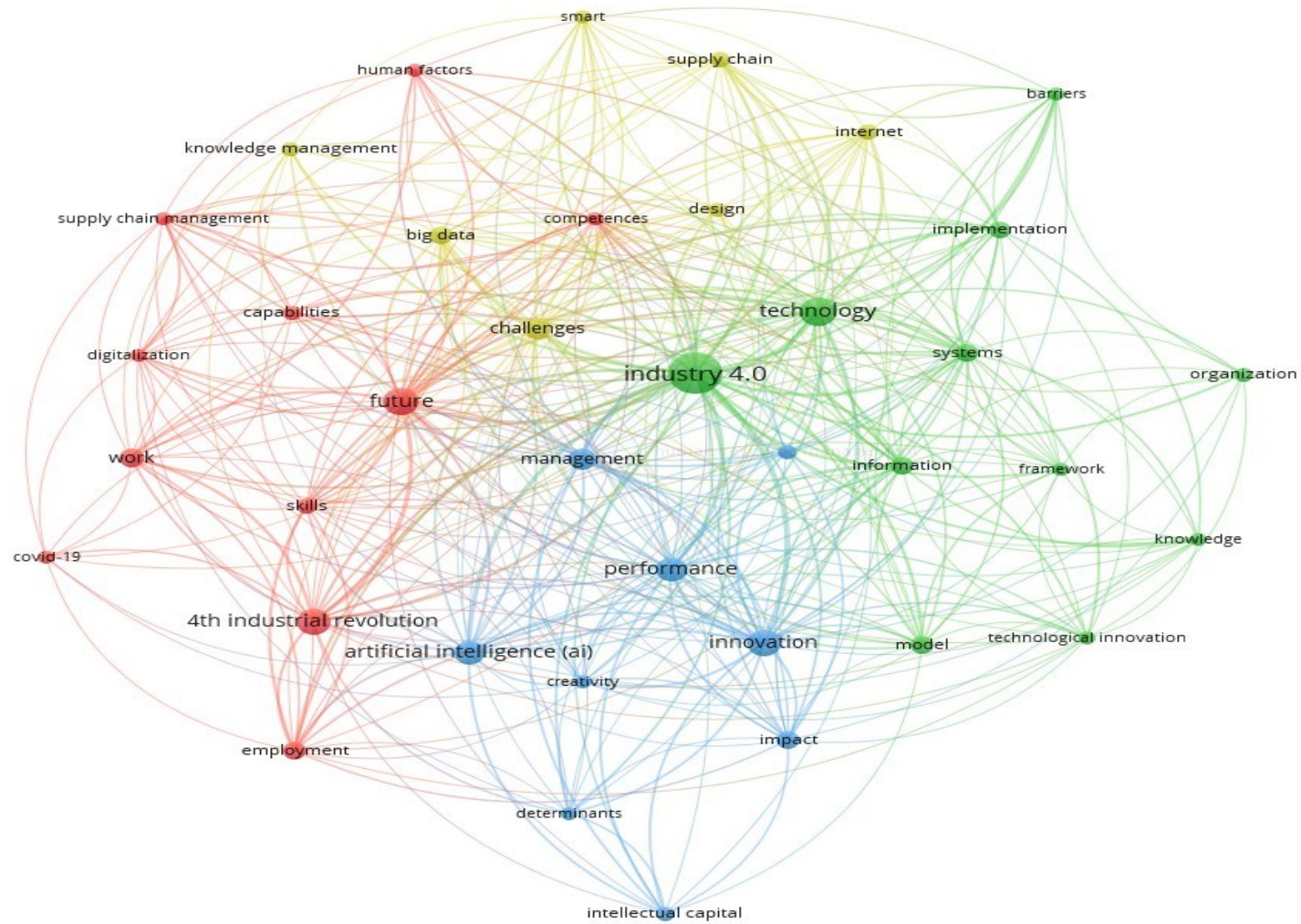
Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer*®, 2023.

Doravante, serão apresentados, entre os temas identificados na análise bibliométrica sobre a Indústria 4.0, aqueles relacionados a recursos humanos, igualmente por meio de análise bibliométrica de coocorrências.

O número de todas as palavras-chave — aqui incluídas as palavras-chave do autor e as *keywords plus*® — foi de 794 termos. Igualmente ao ocorrido com relação a autores e a organizações, foi necessário elaborar um *thesaurus* para permitir adequações e padronizações, permanecendo, em cada situação, o termo com maior número de ocorrências. Depois desse processo de depuração, o número foi pouco reduzido, caindo para 756 termos. Ainda como forma de diminuir o número de palavras-chave, foi colocado um limite mínimo de 5 ocorrências para cada termo, restando um mapa de coocorrências com as 38 palavras-chave mais frequentes na produção científica nacional e internacional sobre recursos humanos vis a vis a Indústria 4.0, gerando uma rede com quatro *clusters* e 401 *links*.

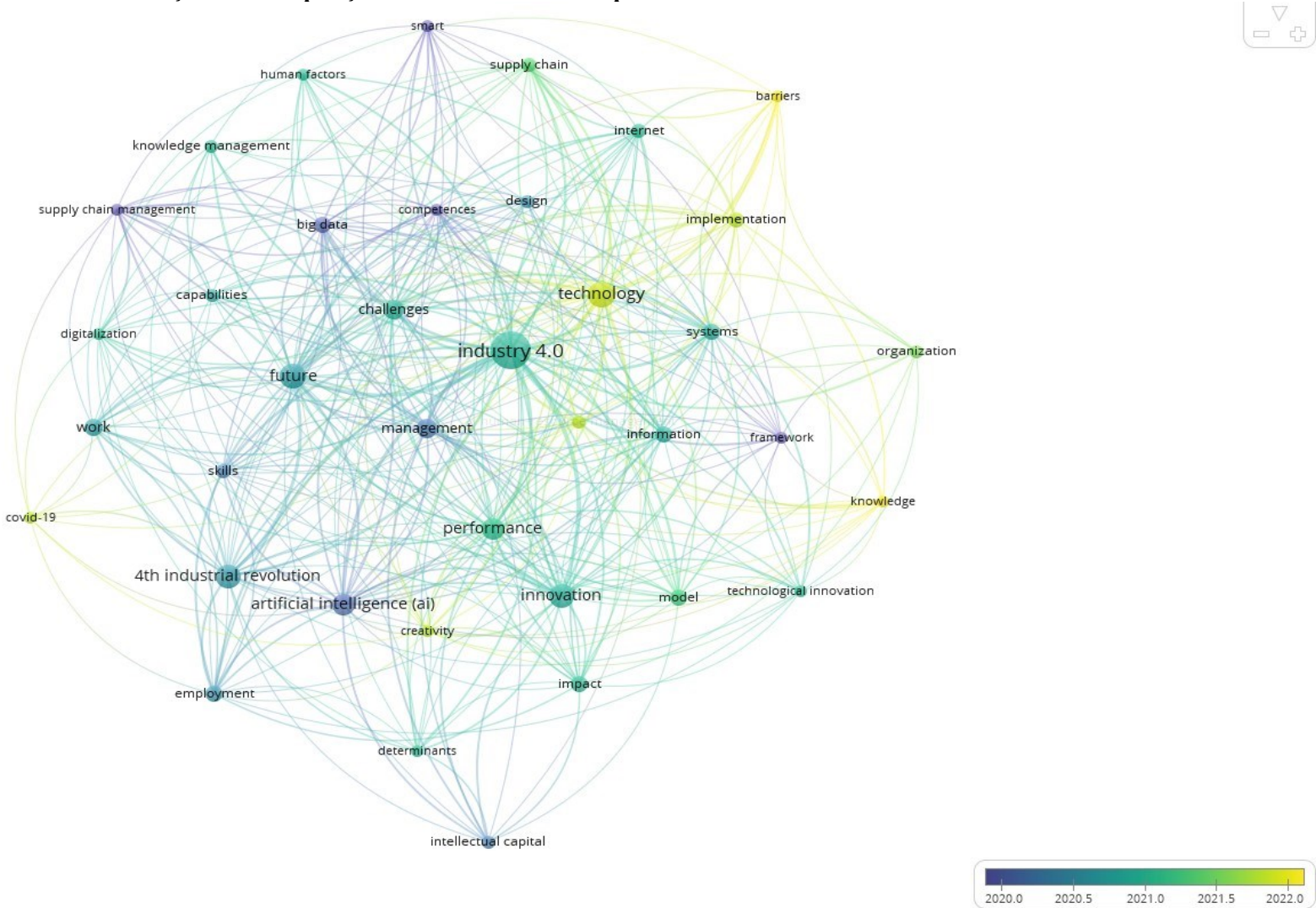
As Figuras 4, 5 e 6 apresentam a visualização de rede, a visualização de sobreposição e a visualização de densidade, respectivamente. A visualização de rede indica o parentesco dos itens, demonstrando que, quanto mais próximos dois itens estiverem localizados, mais forte é o relacionamento entre eles. Os itens — na presente análise, termos com mais ocorrências — são representados por um círculo, cujo tamanho é determinado pelo seu peso: quanto maior o peso de um item, maior o seu círculo. Nem todos os itens são exibidos para evitar sobreposição. A cor de um item é determinada pelo *cluster* ao qual pertence. Já as linhas entre os itens representam *links*. A visualização de sobreposição é idêntica à visualização de rede, exceto pelo fato de os itens serem coloridos de forma diferente. Uma barra de cores é mostrada no canto inferior direito da visualização e é usada para ilustrar a evolução dos itens ao longo do tempo. Na visualização de densidade, os itens são representados por seus rótulos, da mesma forma que na visualização de rede e na visualização de sobreposição. Cada ponto na visualização do item apresenta uma cor que indica a quantidade de itens naquele ponto, variando de azul a verde e amarelo. A cor do ponto tende a ser amarela quando há muitos itens próximos e com pesos elevados. Ao inverso, se o número de itens na vizinhança de um ponto for baixo e os pesos dos itens vizinhos forem pequenos, a cor do ponto estará mais próxima do azul.

Figura 4 – Visualização de rede de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora utilizando o *software VOSviewer®*, 2023.

Figura 5 – Visualização de sobreposição de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora utilizando o *software VOSviewer®*, 2023.

Figura 6 – Visualização da densidade de coocorrências das palavras-chave sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora utilizando o *software VOSviewer®*, 2023.

O *cluster* 1 é identificado pela cor vermelha e apresenta termos que tratam do futuro do trabalho e da dinâmica de mudança em recursos humanos. Os termos do *cluster* 2 estão exibidos em verde e enfatizam a necessidade de suporte organizacional, desenvolvimento de habilidades e superação de barreiras. A cor azul representa o *cluster* 3, em que é examinada a relação entre RH, avanços tecnológicos, capital intelectual, inovação, criatividade e desempenho organizacional. O *cluster* 4, apresentado em cor amarela, dedica-se à análise dos desafios gerenciais subjacentes. A Tabela 18 apresenta uma consolidação de todos os *clusters* e respectivos termos sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0.

Tabela 18 – Clusters e respectivos termos sobre Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

Termo	Cluster	N.º links	Força total do link⁹	N.º ocorrências
<i>Future</i>	1	30	97	22
<i>4th Industrial Revolution</i>	1	26	57	21
<i>Work</i>	1	20	36	11
<i>Employment</i>	1	19	37	9
<i>Skills</i>	1	22	36	7
<i>Capabilities</i>	1	17	23	6
<i>Competences</i>	1	23	34	5
<i>Covid-19</i>	1	11	12	5
<i>Digitalization</i>	1	20	26	5
<i>Human Factors</i>	1	13	21	5
<i>Supply Chain Management</i>	1	19	31	5
<i>Industry 4.0</i>	2	37	186	49
<i>Technology</i>	2	31	86	24
<i>Information</i>	2	24	46	10
<i>Systems</i>	2	29	59	10
<i>Model</i>	2	20	33	9
<i>Implementation</i>	2	20	36	8
<i>Organization</i>	2	10	14	6
<i>Barriers</i>	2	14	23	5
<i>Framework</i>	2	18	23	5
<i>Knowledge</i>	2	15	21	5
<i>Technological Innovation</i>	2	18	24	5
<i>Innovation</i>	3	33	84	21
<i>Performance</i>	3	31	70	17
<i>Artificial Intelligence (AI)</i>	3	27	63	16
<i>Management</i>	3	28	64	13
<i>Impact</i>	3	22	34	9

⁹ A força de um *link* indica o número de publicações em que dois termos ocorrem juntos.

Termo	Cluster	N.º links	Força total do link⁹	N.º ocorrências
<i>Human-resource Management</i>	3	17	23	6
<i>Intellectual Capital</i>	3	12	23	6
<i>Creativity</i>	3	18	25	5
<i>Determinants</i>	3	15	23	5
<i>Challenges</i>	4	31	69	13
<i>Big data</i>	4	25	48	10
<i>Internet</i>	4	21	38	7
<i>Supply Chain</i>	4	20	38	7
<i>Design</i>	4	18	23	6
<i>Knowledge Management</i>	4	12	18	6
<i>Smart</i>	4	16	24	5

Fonte: Elaborada pela autora a partir de resultados do *software VOSviewer*®, 2023.

4.2.1 Cluster 1 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

No mapa de visualização de rede de coocorrências, o *cluster* 1 é identificado pela cor vermelha. Nesse agrupamento, foram relacionados 40 artigos que contêm os 11 termos mais frequentes, sendo “*Future*” aquele com maior número de ocorrências, 22 no total. Os demais termos são “*4th Industrial Revolution*”, “*Work*”, “*Employment*”, “*Skills*”, “*Capabilities*”, “*Competences*”, “*COVID-19*”, “*Digitalization*”, “*Human Factors*” e “*Supply Chain Management*”. Os artigos contribuem coletivamente para a compreensão da dinâmica de mudança nos recursos humanos face a desafios e oportunidades apresentados pela digitalização e pelos avanços tecnológicos, com implicações em habilidades, competências, aspirações profissionais, adoção de tecnologia, cultura organizacional, saúde e segurança ocupacional, gestão de talentos, educação, desenvolvimento de liderança e estratégias organizacionais. Também fica evidente que a Indústria 4.0 foi significativamente influenciada pela pandemia de COVID-19, que acelerou a adoção de dispositivos tecnológicos e forçou uma reavaliação das abordagens tradicionais de trabalho.

4.2.1.1 Future

Segundo Morgan (2019), a Quarta Revolução Industrial emergiu como um conceito elaborado por consultorias, fábricas de ideias e formadores de opinião, sendo o Fórum Econômico Mundial, o *Boston Consulting Group*, a *Deloitte* e a *PricewaterhouseCoopers*, particularmente, os mais relevantes, com a mudança tecnológica iminente tornando-se uma

preocupação significativa. Nesse sentido, o autor revela que o futuro está sendo moldado pela forma como a Quarta Revolução Industrial está sendo posicionada por essas instituições. Embora ninguém tenha decidido argumentar ou defender o determinismo tecnológico, há uma sensação generalizada de ansiedade, passividade e complacência no contexto do quase-determinismo. Os estudos que quantificam o futuro, particularmente em termos do potencial de deslocamento de empregos, servem como uma fonte influente de autoridade para essa perspectiva. Uma narrativa de fundo de “o futuro está chegando, então é melhor você se acostumar com isso” está sendo disseminada. Essa narrativa favorece uma forma de capitalismo que pode “negar trabalho a muitos” em vez de um repensar mais fundamental que englobe mudanças que poderiam liberar muitos do trabalho. Consequentemente, coloca sobre os trabalhadores o ônus da responsabilidade pelo emprego futuro, reduzindo a urgência de uma preparação social mais ampla. Essa dinâmica afeta a compreensão e as políticas públicas e, consequentemente, o futuro do trabalho. A crítica de Morgan (2019) é se, afinal, haverá trabalho no capitalismo do século XXI.

Com o objetivo de analisar a relação entre a usabilidade do robô e a disposição do empregado em colaborar com robôs industriais, com foco nos papéis mediadores da confiança humano-robô e afinidade tecnológica, Babamiri *et al.* (2022) incluíram 400 trabalhadores de uma montadora que interagem regularmente com robôs industriais. Para avaliar variáveis como vontade de usar robôs, usabilidade do robô, confiança humano-robô e afinidade tecnológica do trabalhador, foram aplicados questionários, e o método *bootstrapping* foi empregado para avaliar as relações indiretas. Os resultados indicaram um ajuste satisfatório do modelo, demonstrando a relação direta e indireta entre a usabilidade do robô e a disposição do empregado (mediada pela confiança humano-robô). Além disso, a idade dos profissionais e o medo de *Smart Technology, Artificial Intelligence, Robotics, and Algorithms* (STARA) foram identificados como moderadores na relação entre usabilidade e disposição. Essas descobertas enfatizaram a importância de considerar a usabilidade do robô e a confiança dos trabalhadores para promover a colaboração humano-robô bem-sucedida em futuros locais de trabalho, principalmente à medida que os trabalhadores envelhecerem e seu medo de robôs aumentar.

Cunha, Silva e Maggioli (2022) exploraram os riscos potenciais associados à implementação de tecnologias da Indústria 4.0 e enfatizaram a necessidade de moldar o futuro do trabalho com cautela, evitando ceder a uma visão determinista da tecnologia. Abordagens tecnocentradas anteriores negligenciaram os desafios colocados pela tecnologia em ambientes reais de trabalho, incluindo riscos ocupacionais e seu impacto na saúde e bem-estar, o que

continua sendo uma questão pouco abordada na literatura. A evolução das interações entre humanos e tecnologia pode prejudicar a atividade laboral humana, introduzindo riscos físicos em contextos de trabalho e ampliando a influência de fatores de risco psicossociais. Em uma escala mais ampla, a reconfiguração do mercado de trabalho e da organização do trabalho trazida pela Indústria 4.0 apresenta ameaças à sustentabilidade social, incluindo aumento do desemprego, exclusão digital e distribuição desigual do trabalho. Outros riscos destacados incluem a incompatibilidade entre as habilidades dos trabalhadores e as demandas de empregos novos ou reconfigurados. Para reabilitar uma abordagem centrada no ser humano e monitorar efetivamente os riscos e impactos dessas tecnologias, é necessário reconhecer os fatores contextuais e históricos do operador humano, como sexo, idade, situação profissional e qualificação. A não consideração desses fatores pode resultar na exacerbação das desigualdades existentes. A literatura também carece de exploração suficiente da relação homem-máquina e suas dimensões de gênero no contexto da expansão Indústria 4.0. O envelhecimento da força de trabalho representa outro desafio para a sustentabilidade a longo prazo desses novos sistemas de trabalho, exigindo ambientes de trabalho mais seguros, treinamento vitalício e oportunidades de emprego para trabalhadores mais envelhecidos. Enquanto alguns consideram a Indústria 4.0 vantajosa para preservar a saúde e automatizar tarefas fisicamente perigosas, há preocupações sobre o privilégio de trabalhadores mais jovens em termos de demandas de aprendizado. Além disso, a introdução de novas tecnologias não garante estabilidade e segurança no trabalho; ao contrário, pode levar à intensificação do trabalho, à necessidade de adaptações constantes e à irregularidade dos horários de trabalho, o que pode comprometer a sustentabilidade desses sistemas. O conceito do Operador 4.0 permanece ambíguo, e o *status* do trabalho humano no contexto dos cenários da Indústria 4.0 precisa de mais consideração. A tecnologia por si só não pode criar ambientes de trabalho ideais, e a relação homem-máquina deve ser entendida dentro da estrutura das condições reais de trabalho e formas existentes de organização do trabalho. É fundamental reconhecer a dimensão de gênero e seus impactos diferenciados sobre mulheres e homens para alcançar locais de trabalho mais saudáveis, igualitários e sustentáveis alinhados com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

O artigo “*Dream Jobs and Employment Realities: How Adolescents’ Career Aspirations Compare to Labor Demands and Automation Risks*” (HOFF *et al.*, 2022) examinou as aspirações de carreira de adolescentes nos Estados Unidos e concluiu que a maioria dos entrevistados aspirava a carreiras com baixo potencial de automação. Os resultados indicaram também discrepâncias importantes entre os empregos dos sonhos dos jovens e a realidade do

emprego, bem como a necessidade de iniciativas de desenvolvimento de força de trabalho destinadas a promover equipes mais dinâmicas no futuro.

4.2.1.2 4th Industrial Revolution

Em seu ensaio, Josh Shirk (2022) apresentou uma perspectiva alternativa que questionou a necessidade de geração de mais empregos e enfatizou a necessidade de ação política exigindo automação, redistribuição de riqueza e redução progressiva da jornada de trabalho (GORZ, 1989; HUNNICUTT, 2013; WEEKS, 2011; FRASE, 2016; MASON, 2016; SRNICEK; WILLIAMS, 2015 *apud* SHIRK, 2022). Contudo, tal luta pela redução do tempo de trabalho deve abordar as hierarquias raciais e de gênero e desafiar a ênfase predominante nos empregos como a principal medida de valor e realização humana (MARX, 1992 *apud* SHIRK, 2022), o que se apresenta como uma visão mais radical de aproveitamento das tecnologias emergentes da Quarta Revolução Industrial para a criação de uma sociedade pós-trabalho.

4.2.1.3 Employment

O artigo de Nam (2019a) examinou as inter-relações entre a percepção atual da insegurança no trabalho, a insegurança no trabalho a longo prazo (“meu emprego vai existir”) e a percepção sobre a transição para a Quarta Revolução Industrial (“substituição por robôs”). Sobre as três categorias pesquisadas — sustentabilidade esperada do trabalho, uso de tecnologia e características do trabalho —, concluiu-se que as percepções de trabalho futuro a longo prazo afetam significativamente a insegurança no trabalho, contudo as características e os tipos de trabalho não têm um impacto significativo na percepção de insegurança no trabalho, exceto para trabalhos que exigem interação interpessoal. Quanto aos indivíduos com trabalhos que exigem conhecimento especializado, estes são mais propensos a se sentir inseguros. Existe consenso sobre a insegurança no trabalho deteriorar os resultados organizacionais, daí o interesse em reduzi-la. O autor afirma a importância de as organizações apoiarem os empregados na adaptação a esse futuro conjunto de habilidades, comunicando previamente as mudanças, envolvendo-os no desenho de novas funções e reforçando os contratos psicológicos. Nesse caso, a ênfase seria a transferência de recursos humanos para essas novas funções, e não a substituição de humanos por robôs e computadores.

Outro estudo de Nam (2019b), “*Citizen attitudes about job replacement by robotic automation*”, teve como objetivo investigar os fatores que influenciam as atitudes dos cidadãos em relação à substituição de empregos pela automação robótica e explorar as opções de políticas que abordaram o efeito de substituição, usando dados do *American Trends Panel Wave 2017 do Pew Research Center*. A justaposição de entusiasmo e preocupação com os impactos da substituição de empregos por meio da automação robótica foi capturada em uma visão bidimensional das atitudes dos cidadãos, manifestadas em quatro categorias de atitude: otimista (alto entusiasmo, baixa preocupação), pessimista (baixo entusiasmo, alta preocupação), cética (baixo entusiasmo, baixa preocupação) e híbrida (alto entusiasmo, alta preocupação). Foi empregada a análise de regressão para prever a qual categoria de atitude um indivíduo pertence e até que ponto ele apoia opções políticas específicas (como renda garantida, cotas de robôs, pagamento extra por interação humana e um programa nacional para trabalhadores deslocados) com base em sua consciência, probabilidade percebida e expectativas de resultados positivos da substituição do emprego. À medida que os governos se preparam para essas mudanças, também enfrentam o desafio de abordar as preocupações dos cidadãos sobre a substituição de empregos pela automação e suas atitudes em relação às políticas relacionadas (MANYIKA *et al.*, 2017 *apud* NAM, 2019b). A análise revelou que as atitudes diferem significativamente com base em ideologia e partidarismo.

Ghislieri, Molino e Cortese (2018) escreveram o “*Work and organizational psychology looks at the Fourth Industrial Revolution: how to support workers and organizations?*”, que focaliza dois aspectos: o da relação dos trabalhadores com a tecnologia e o conseqüente impacto no bem-estar das pessoas, no emprego e na igualdade; e o dos requisitos de competências, considerando *hard* e *soft skills*, que serão exigidas e esperadas no trabalho do futuro. As transformações que afetam os trabalhadores, as organizações e as sociedades foram tratadas à luz da psicologia organizacional e do trabalho, no sentido de auxiliar na compreensão de algumas das grandes questões que a força de trabalho e as organizações serão chamadas a enfrentar.

Kleinknecht (2020) abordou a crise de produtividade nos EUA, Japão e Europa Ocidental desde 2005, no meio do burburinho sobre inteligência artificial e Indústria 4.0. O artigo argumentou que as reformas do mercado de trabalho do lado da oferta impactaram negativamente a inovação e a produtividade. Esse efeito negativo foi proeminente em setores de média-alta e alta tecnologia caracterizados pelo conhecimento cumulativo, em que o acúmulo histórico de conhecimento tácito e específico da empresa foi crucial para as

capacidades inovadoras. Por outro lado, setores de baixa tecnologia e empreendedorismo de alta tecnologia, com baixa cumulatividade de conhecimento, apresentaram pouco ou nenhum impacto.

Waring, Bali e Vas (2020) conduziram, em 2019, um estudo de caso com funcionários e gerentes de Singapura para examinar a extensão e as formas pelas quais a inteligência artificial e as tecnologias autônomas começaram a impactar os locais de trabalho. Apesar da existência de uma estrutura política bem planejada naquele país, a evidência empírica indicou uma falta de prontidão da indústria para se alinhar com essas políticas. Os resultados da pesquisa indicaram que a maioria dos empregadores não demonstrou liderança suficiente na alocação de recursos para iniciativas da Quarta Revolução Industrial, e surgiram preocupações com relação à lacuna de habilidades entre os funcionários. Notavelmente, apesar da iniciativa “*SkillsFuture*” de Singapura e das oportunidades de treinamento apoiadas, os líderes da indústria pareceram ignorar a necessidade de melhorar a qualificação de sua força de trabalho. Incerteza, informação assimétrica e desequilíbrios de poder, características próprias da Quarta Revolução Industrial, aumentam o risco de as intervenções políticas ficarem aquém de motivar a preparação da indústria. As conclusões reforçaram a necessidade de os formuladores de políticas adotarem abordagens regulatórias inovadoras e adaptáveis, guiadas por fortes princípios éticos, para os benefícios de produtividade das tecnologias da Quarta Revolução Industrial serem aproveitados amplamente, ao mesmo tempo que são oferecidas redes de segurança social redesenhadas e proteções de emprego.

A liderança digital é definida como “a capacidade dos líderes de criar uma visão clara e significativa para o processo de digitalização e a capacidade de executar estratégias para atualizá-la” (LARJOVUORI *et al.*, 2016; DE ARAUJO *et al.*, 2021 *apud* ZHU *et al.*, 2022, p. 2). O artigo de Zhu *et al.* (2022) examinou a relação entre liderança digital e criatividade de 357 funcionários de várias empresas chinesas, que resultou na construção de um modelo teórico para testar como e quando a liderança digital afeta a criatividade dos funcionários, integrando o Modelo de Demandas-Recursos do Trabalho (*Job Demands-resources Model*) e a Teoria do Ajuste Pessoa-Organização (*Person-organization Fit Theory*). Os achados da pesquisa assinalaram que a liderança digital tem um efeito positivo na criatividade dos empregados e que a relação entre liderança digital e criatividade é impactada pelo *employee job crafting*¹⁰. Quanto

¹⁰ “*Employee job crafting* pode ser considerada como uma abordagem de baixo para cima para redesenhar o trabalho, na qual os empregados podem encontrar significado no trabalho e se adequar à sua organização, alterando seus empregos” (DEMEROUTI *et al.*, 2021 *apud* ZHU *et al.*, 2022, p. 4). Nesse estudo, foi adotada a perspectiva do Modelo de Demandas-Recursos do Trabalho para conceituar *employee job crafting*.

ao ajuste pessoa-organização, este modera positivamente tanto a relação entre liderança digital e *employee job crafting* quanto o efeito indireto da liderança digital na criatividade do empregado por meio de *employee job crafting*.

A substituição ou não de trabalho humano por máquinas inteligentes está sujeita, além de oportunidades tecnológicas, aos custos relativos do capital necessário e do trabalho potencialmente substituído, haja vista a possibilidade de terceirizar empregos para lugares onde os custos de mão de obra são menores, comumente de países desenvolvidos para países em desenvolvimento. A terceirização está intrinsecamente ligada a comércio, em particular às chamadas Cadeias Globais de Valor (*Global Value Chains – GVC*). O estudo de Foster-McGregor, Nomaler e Verspagen (2021) procurou entender se o comércio de produtos intermediários e finais e as cadeias globais de valor aumentam ou diminuem as diferenças no risco de automação (pré-comércio) entre os países europeus. Os autores examinaram a estrutura de emprego dentro dos setores e a estrutura de emprego setorial em termos de país e concluíram que há uma forte correlação entre países com risco elevado e produtividade laboral relativamente baixa, e vice-versa. Ao investigar se essa associação surge da terceirização de nações altamente produtivas ou do uso do comércio para realocar empregos suscetíveis à automação, a pesquisa revelou que o risco de automação em países de alta produtividade aumenta, de fato, devido ao comércio. Além disso, os resultados demonstraram que a troca de risco de automação ocorre predominantemente entre a União Europeia e países não pertencentes à União Europeia, e não dentro da própria União Europeia. O maior risco de automação em relação ao comércio se deu em setores como manufatura, comércio, transporte e finanças.

A transformação digital tem o potencial de exacerbar as desigualdades de gênero existentes no mercado de trabalho, exigindo ação imediata para prevenir tais consequências. O estudo de Egana-Delsol *et al.* (2022) examinou os níveis de risco enfrentados por mulheres e homens em quatro países da América Latina e Caribe — Bolívia, Chile, Colômbia e El Salvador — devido à automação. As descobertas revelaram que os homens estão mais envolvidos em tarefas associadas às “habilidades do futuro” (como ciência, tecnologia, engenharia, matemática, tecnologia da informação, comunicação e gerenciamento) em comparação com as mulheres. Consequentemente, as mulheres, quando consideradas coletivamente nos quatro países, tiveram um risco médio maior de serem impactadas com a automação, com uma proporção maior de mulheres (21%) enfrentando alto risco em comparação aos homens (19%). Para lidar com a diferença de gênero e criar condições equitativas para as mulheres, é crucial entender os fatores subjacentes que contribuem para as discrepâncias na distribuição de tarefas.

Essa divergência está diretamente ligada, em primeiro lugar, à tendência de segregação ocupacional por gênero, com os homens predominantemente empregados em setores como finanças, construção e agricultura, em que realizam tarefas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematic*), TIC e físicas, e à concentração de mulheres no setor de cuidados (educação, saúde e serviços domésticos), que também requer habilidades voltadas para o futuro; em segundo lugar, as mulheres enfrentam barreiras que impedem o seu acesso a cargos hierárquicos, que envolvem tarefas de gestão e comunicação com impacto mais significativo no risco de automação. Os impactos diferenciais das novas tendências tecnológicas para mulheres e homens devem ser avaliados a fim de orientar o processo de formulação de políticas para preparar os trabalhadores para o futuro. Finalmente, ações específicas em nível de país devem ser tomadas para evitar que a transformação digital agrave as desigualdades de gênero existentes no mercado de trabalho.

4.2.1.4 Work

Diante da dificuldade de técnicos especializados adquirirem e formalizarem um conhecimento único que acumularam sobre os processos produtivos ao longo dos anos, além do desafio de transferir esse conhecimento para novos empregados sem que haja o envolvimento desses profissionais experientes, é imperativo que empresas desenvolvam modelos de automação do processo de transferência de conhecimento especializado, apoiando não apenas os processos de aprendizagem dos empregados, mas também permitindo a retenção do conhecimento daqueles que deixam a organização. Foi isso que propuseram Patalas-Maliszewska e Halikowski (2019), ao desenvolver um modelo que usa rede neural convolucional com uma máquina de vetores de suporte (*Convolutional Neural Network with a Support Vector Machine – CNN-SVM*) para gerar instruções de trabalho. Para estabelecer o modelo de referência para procedimentos de trabalho em tempo real, o conhecimento especializado obtido foi capturado e documentado por meio de material de vídeo, e foi posteriormente formalizado como uma coleção de imagens que serviu como um conjunto de dados de referência, definindo os recursos necessários para a execução precisa e eficiente das tarefas, no caso em tela, o reparo da caldeira de combustível sólido. Os autores ressaltaram a impossibilidade de gestores das empresas de manufatura fornecerem suporte aos processos de aprendizagem interna devido à escassez de recursos para treinar os novos funcionários.

Schweinsberg *et al.* (2021), ao constatarem que o investimento em pesquisas relacionadas à prontidão para o trabalho, particularmente no campo da psicologia na Austrália, tem estado aquém do necessário, resolveram enfatizar a necessidade de explorar os atributos específicos da disciplina de graduados em psicologia que solidifiquem a diferenciação e singularidade da profissão. Com o estudo, pretenderam abordar o conceito de prontidão para o trabalho dentro do treinamento psicológico australiano e explorar a necessidade de esclarecer e integrar a prontidão para o trabalho na pedagogia da psicologia na Austrália, de forma a garantir que a disciplina permaneça adequada a uma sociedade moderna baseada na indústria (ou seja, a Quarta Revolução Industrial). Também objetivaram esclarecer informações valiosas para o avanço da prática científica da psicologia, como a revisão das recomendações do Carrick Institute à luz da década anterior e das inúmeras mudanças tanto na profissão de psicologia quanto na cultura australiana. O artigo também propõe que as habilidades de prontidão para o trabalho sejam rotineiramente mapeadas nos atributos de pós-graduação e nos resultados de aprendizado do curso para estarem prontamente disponíveis para os alunos, de modo a aumentar o potencial dos alunos para articular suas habilidades de prontidão para o trabalho aprendidas uma vez no local de trabalho.

4.2.1.5 Skills

O objetivo do artigo "*Managing skills for open innovation: the case of biotechnology*", de Lavrynenko, Shmatko e Meissner (2018), foi explorar a composição de conjuntos de habilidades no setor de biotecnologia a partir da perspectiva dos empregadores e sua relação com os processos de inovação aberta, tendo revelado que as habilidades necessárias em biotecnologia variam ligeiramente entre os diferentes países. Assim, a implementação de estratégias de inovação aberta em mercados altamente globalizados pode levar à globalização de tecnologias e convergência de habilidades necessárias. A pesquisa também revelou uma discrepância entre as habilidades enfatizadas em anúncios de emprego e aquelas articuladas em entrevistas. Os autores argumentaram que há uma incompatibilidade significativa entre as políticas de recursos humanos e os requisitos reais de habilidades induzidos pela inovação aberta, uma vez que as empresas tendem a descrever habilidades em anúncios de emprego que favorecem candidatos em potencial, com o objetivo de projetar uma imagem positiva de um local de trabalho inovador e de pensamento livre, o que, muitas vezes, não se alinha com a realidade, levando a possíveis desafios na gestão de recursos humanos e insatisfação dos

empregados. O estudo conclui que as empresas continuam a priorizar as *hard skills* em detrimento das *soft skills* em anúncios de emprego, assumindo que as *soft skills* são inerentemente possuídas por potenciais funcionários. A contradição reside nas empresas que reivindicam abertura enquanto descrevem requisitos detalhados de *soft skills*, o que pode ser percebido como indicativo de forte microgerenciamento e monitoramento contínuo. A pesquisa destacou a importância das habilidades na formação da cultura de inovação de uma organização e a necessidade de as empresas alinharem sua cultura anunciada com as condições reais de trabalho para atrair e reter talentos. Os anúncios de emprego devem fornecer uma descrição equilibrada e menos detalhada das expectativas de *soft skills*, enquanto os empregadores não devem ignorar a menção pública de *soft skills*, garantindo que os candidatos tenham expectativas precisas dos requisitos do trabalho e do ambiente de trabalho.

Levando em consideração que a relação entre o crescimento real dos salários e a mudança tecnológica depende cada vez mais das particularidades das tecnologias implementadas e dos tipos particulares de habilidades exigidas para usá-las, o artigo de Chiarello *et al.* (2021) analisou o alinhamento entre a ESCO (do inglês, *European Skills, Competences, Qualifications and Occupations*), classificação de competências criada pela Comissão Europeia para melhorar a disponibilidade de informações sobre a demanda de habilidades no mercado de trabalho, e as tendências tecnológicas da Indústria 4.0. Os autores propuseram uma solução que utiliza inteligência artificial e, em particular, mineração de texto para a identificação e classificação das habilidades emergentes como resultado da mudança tecnológica — associadas à Indústria 4.0 — que são incorporadas a um sistema classificatório existente, neste caso a ESCO, taxonomia que historicamente vem sendo construída manualmente com base em informações de especialistas do mercado de trabalho. As evidências do trabalho sugeriram que a classificação de competências europeia está parcialmente alinhada com as tendências tecnológicas relacionadas à Indústria 4.0 e que houve uma melhoria estatisticamente significativa no alinhamento entre as duas versões da ESCO examinadas. Contudo, a ESCO ainda não considera alguns pilares da Indústria 4.0, como sistemas ciberfísicos, gêmeo digital, sistemas de execução de manufatura, tampouco conhecimentos importantes como computação de ponta, rede sem fio e identificação por radiofrequência.

O estudo de Papoutsoglou *et al.* (2022) utilizou dados de rastreamento digital para analisar a dinâmica de oferta e demanda no mercado de trabalho em torno da indústria de veículos elétricos (*Electric Vehicles – EVs*). A coleta de dados incluiu *sites* de perguntas e respostas e o GitHub, que ofereceram dados históricos sobre a oferta de mão de obra;

repositórios de desenvolvedores de *software*; anúncios de emprego on-line, que forneceram informações sobre a disponibilidade de competências e habilidades nesse setor. Foram usados métodos de processamento de linguagem natural para a categorização das habilidades procuradas pelos empregadores da indústria de EVs no lado da demanda e os tópicos de interesse para os indivíduos no lado da oferta. Também foram destacadas as linguagens de programação e estruturas mais proeminentes na indústria de EVs. Os resultados indicaram uma demanda por trabalhadores altamente especializados em diversas áreas relacionadas aos EVs, destacando tanto desafios quanto oportunidades. O trabalho contribuiu para a ideia emergente de utilizar fontes de dados complementares para extração de conhecimento do mercado de trabalho, particularmente do lado da oferta. A abordagem técnica proposta ofereceu suporte à automação, mas a rotulagem e a interpretação humanas continuaram cruciais na extração de valor real. O objetivo futuro é tornar o processo mais fácil de usar e acessível aos formuladores de políticas, integrando os resultados em uma ferramenta on-line. Embora fontes de dados adicionais possam ser incorporadas, há necessidade de uma metodologia padronizada que se generalize entre os setores. Essa abordagem pode ser adaptada para detectar tendências de demanda e oferta em outras indústrias. Finalmente, empregando modelagem de tópicos, o estudo identificou habilidades específicas necessárias para lidar com termos de nível médio no setor de EVs.

Considerando as poucas evidências sobre a adoção conjunta de tecnologias da Indústria 4.0 e suas relações com habilidades em nível empresarial, o artigo de Pedota, Grilli e Piscitello (2023) buscou preencher essa lacuna ao examinar um extenso banco de dados de empresas italianas. Os resultados mostraram que as empresas tendem principalmente a se concentrar ou em tecnologias digitais ou em tecnologias físicas da Indústria 4.0, e a adoção de ambas leva ao desenvolvimento de habilidades tanto do pessoal não relacionado à tecnologia da informação e comunicação quanto de especialistas nessa área.

Para alcançar desempenho, competitividade e adaptabilidade ideais no ambiente de trabalho digital em constante mudança, as organizações exigem funcionários que possuam força psicológica significativa. Com o objetivo de examinar as correlações entre as variáveis adaptáveis ágeis (bem-estar na carreira e adaptabilidade na carreira) e o contrato psicológico orientado para o valor percebido, Potgieter e Ferreira (2022) propuseram um modelo de fortaleza psicológica (consistindo em recursos intrapessoais) que as organizações e os profissionais de carreira podem usar como base para melhorar a fortaleza psicológica dos empregados na era digital, bem como para futuras pesquisas de carreira. Os resultados

assinalaram uma forte conexão teórica e empírica entre adaptabilidade de carreira, bem-estar na carreira e o contrato psicológico orientado para o valor percebido. A satisfação com os insumos primários e secundários entregues à organização influenciou positivamente a adaptabilidade de carreira e o bem-estar, pois os indivíduos perceberam o valor de sua contribuição e experimentaram maior satisfação. No entanto, a correlação entre o bem-estar na carreira e as recompensas organizacionais não foi significativa. Empregados altamente adaptáveis expressaram satisfação com os resultados organizacionais, mas nenhuma correlação foi encontrada com o equilíbrio entre vida pessoal e profissional. O estudo confirmou a influência significativa e positiva das variáveis do construto adaptável ágil sobre a variável do construto psicológico orientado para o valor percebido, e a fortitude psicológica aprimorada contribuiu para o sucesso individual e organizacional. As autoras também concluíram que os indivíduos tendem a quebrar seu contrato psicológico e buscar um trabalho mais significativo e orientado a valores, em outro lugar, no caso de relações de trabalho negativas. Assim, organizações e profissionais de carreira devem implementar estratégias para melhorar o bem-estar e a adaptabilidade da carreira, criando um ambiente de apoio, promovendo relacionamentos positivos, proporcionando um trabalho significativo e melhorando a percepção dos funcionários sobre o controle da carreira, confiança, curiosidade e preocupação. Os atributos adaptáveis ágeis propiciam que os empregados desenvolvam percepções positivas de seu contrato psicológico orientado a valor, levando a uma fortaleza psicológica aprimorada no espaço de carreira digital.

4.2.1.6 Competences

Sobre as futuras equipes de projeto, Marnewick e Marnewick (2019) exploraram o impacto da Indústria 4.0 no gerenciamento de projetos, analisando especificamente as competências exigidas daqueles que lidarão com tecnologias emergentes, como inteligência artificial e robótica, sendo que a composição das futuras equipes de projeto também mudará drasticamente com a introdução de robôs artificialmente inteligentes como participantes dessa equipe. O time de projeto poderá ser gerenciado por meio de seus dispositivos interconectados, por exemplo ao serem utilizadas tecnologias vestíveis. Os autores identificaram quatro categorias de competências: técnica, pessoal, social e de processo. Como as competências técnicas refletem os conhecimentos ou práticas específicas de um domínio, não foram incluídas na pesquisa. Quanto às competências pessoais, distinguem-se criação de sentido, pensamento

inovador e adaptativo, pensamento computacional/compreensão holística do sistema, novas mídias/alfabetização digital, mentalidade de *design*/criatividade, gerenciamento de carga cognitiva, resolução criativa não estruturada de problemas, pensamento crítico, alfabetização e independência. As competências sociais listadas foram liderança e gestão de projetos, inteligência emocional, inteligência social, competência intercultural, transdisciplinaridade, colaboração virtual, trabalho em equipe e comunicação. A competência de processo diz respeito à compreensão processual. Mereceram destaque as competências de pensamento crítico e as habilidades de resolução criativa não estruturada de problemas.

Shet e Pereira (2021) identificaram um conjunto de 14 competências gerenciais como cruciais para a Indústria 4.0, a saber: agilidade, inteligência empreendedora, perspicácia nos negócios, *design thinking*, liderança disruptiva, mentalidade colaborativa, solução de problemas e tomada de decisão, orientação para pesquisa, arquitetura de tecnologia conectada, análise de dados, liderança de projetos, automação robótica de processos, inteligência digital e modelagem, sustentabilidade. A Indústria 4.0 deve transformar a natureza dos empregos, locais de trabalho e forças de trabalho, na medida em que a digitalização e a automação levarão à substituição de alguns empregos existentes por novos que exigirão tais habilidades, conhecimentos e competências identificadas.

Considerando a influência da Indústria 4.0 nas características do trabalho de tecnologia da informação (TI) e na demanda de mão de obra de TI, o estudo de Siddoo *et al.* (2019), realizado na Tailândia, explorou a competência da força de trabalho digital, uma questão identificada como vital para a agenda 2017–2021 daquele país. A partir de estudo e identificação de competências essenciais para a força de trabalho digital, por meio de revisão de literatura e análise de conteúdo, foram apresentadas 24 competências que, posteriormente, serviram de base para a aplicação de um questionário sobre as expectativas de competência de 260 especialistas em TI. Utilizando análise fatorial exploratória (*Exploratory Factor Analysis* – EFA), as competências da força de trabalho digital encontradas foram agrupadas. As três categorias mais significativas para as indústrias foram habilidades profissionais e conhecimento de TI, seguidas pela categoria técnica de TI e gerenciamento e suporte de TI. As cinco principais competências desejadas foram aprendizado contínuo, atitude pessoal, trabalho em equipe, confiabilidade e fundamentos de TI. No entanto, houve alguns requisitos ligeiramente diferentes entre o setor de TI e tecnologia da informação em setores não relacionados a TI.

O artigo “*Unlocking the Relationship Between Lean Leadership Competencies and Industry 4.0 Leadership Competencies: an ISM/Fuzzy MICMAC Approach*”, de Bianco *et al.*

(2023), empregou revisão sistemática da literatura (*Systematic Literature Review – SLR*), opiniões de especialistas, modelagem estrutural interpretativa (*Interpretive Structural Modeling – ISM*) e análise *fuzzy* MICMAC (*Matrice D'Impacts Croisés Multiplication Appliqué à un Classement*) para explorar a implementação de abordagens integradas de manufatura enxuta (*Lean Manufacturing – LM*) e Indústria 4.0. A pesquisa estabeleceu uma conexão entre as competências de liderança *lean* e Indústria 4.0, destacando sua interdependência. Estudos anteriores observaram essa sinergia, mas o referido artigo foi o primeiro a enfatizar o nível gerencial e sua importância. Os resultados suportaram a noção de que os líderes capacitam seus colaboradores, promovendo seu engajamento e envolvimento proativo em projetos. Evidências empíricas também demonstraram que a adoção da Indústria 4.0 requer a implementação simultânea da manufatura enxuta. O estudo contribuiu ao revelar a relação entre as competências de liderança no *lean* e na Indústria 4.0, priorizando as competências essenciais e enfatizando a importância do autoconhecimento, inteligência emocional, entendimento de processos e comunicação eficaz. Também foi ressaltada a forte sinergia entre a liderança *lean* e a Indústria 4.0, até então inexplorada, bem como a necessidade de mudanças na cultura organizacional centradas no ser humano no contexto da Indústria 4.0. Os resultados ainda identificaram competências que o líder 4.0 deve enfatizar, principalmente aquelas com maior poder de dependência e menor poder motriz. Por fim, o estudo enfatizou a necessidade de amplas ações para a plena adoção da Indústria 4.0 e o potencial que ela tem para líderes, empregados e sociedade. O modelo estrutural proposto serviu como uma ferramenta prática para líderes na adoção de estratégias e práticas da Indústria 4.0.

Santana e Diaz-Fernandez (2022) estudaram as competências e habilidades para implementar e alavancar a inteligência artificial (*Artificial Intelligence – AI*) nas organizações, destacando o desafio de conseguir trabalhadores com as competências digitais necessárias e adaptar as práticas de gestão de recursos humanos aos desafios da inteligência artificial. Tais competências e habilidades foram classificadas como motores (ciência de dados, desempenho da empresa), básicas (inteligência artificial, futuro e inovação), especializadas (autoeficácia, competência e resultados) e emergentes (análise). No futuro, o número de empregados em funções ligadas à percepção e ao sentimento deve aumentar, enquanto tarefas de pensamento e raciocínio serão executadas por inteligência artificial, do mesmo modo que tarefas mecânicas estão sendo assumidas por máquinas e robôs, segundo Huang *et al.* (2019 *apud* SANTANA; DIAZ-FERNANDEZ, 2022).

O estudo de Pacheco e Coello-Montecel (2023) analisou o papel de variáveis psicológicas como potenciais mediadoras na intensificação da influência das competências digitais no desempenho no trabalho. O chamado empoderamento psicológico é uma forma de motivação, própria de cada indivíduo, e se manifesta em quatro dimensões, quais sejam: significado, que são o valor e a importância atribuídos a um trabalho; competência, que é a crença na própria capacidade de desempenhar as funções no trabalho; autodeterminação, que se traduz na percepção de autonomia e independência na realização das tarefas no trabalho; e impacto, que é a crença de que o trabalho de alguém é importante e influencia os outros dentro da organização. As conclusões do estudo foram que as competências digitais aumentaram o desempenho no trabalho e melhoraram o empoderamento psicológico dos funcionários. As variáveis psicológicas impactaram positivamente o desempenho no trabalho, bem como mediaram parcialmente a relação entre competências digitais e desempenho no trabalho. Tais achados evidenciaram a importância das competências digitais no alcance de metas organizacionais, segundo os autores.

4.2.1.7 Supply Chain Management

A gestão de talentos é crucial na gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management* – SCM) para alcançar seus objetivos, mas a pesquisa tem negligenciado o papel futuro dos executivos da gestão da cadeia de suprimentos. O estudo empírico de Wehrle *et al.* (2020) preencheu essa lacuna ao investigar a influência da digitalização no futuro papel dos executivos em SCM. Foi realizado um estudo Delphi com 103 especialistas, revelando uma fusão de executivos e tecnologias digitais em algumas áreas da gestão de talentos, enquanto em outras surgiu uma clara divisão de papéis. O estudo indicou que os executivos terão um papel vital em aspectos estratégicos e tarefas com foco no ser humano, enquanto as tecnologias digitais assumirão o ensino técnico e determinados processos. O futuro executivo de gerenciamento da cadeia de suprimentos liderará pessoas em vez de gerenciar coisas.

4.2.1.8 Capabilities

Para Ul Zia, Burita e Yang (2023), existem três dimensões do capital social: o capital social estrutural, que diz respeito à construção de relações e como essas relações serão alcançadas, compreendendo fatores como densidade, padrões de rede, hierarquia e conectividade; o capital social relacional, que abrange aspectos como normas compartilhadas,

confiança interpessoal e conexão com outras pessoas; e o capital social cognitivo, que inclui os valores, a visão e os objetivos compartilhados pelos membros da organização. Os autores investigaram como essas três dimensões, entre empresas de economias desenvolvidas e em desenvolvimento, fortalecem a capacidade de inovação e aprimoram a prontidão para a Indústria 4.0, ao promover a entrada de conhecimento digital de economias desenvolvidas para economias em desenvolvimento.

4.2.1.9 Digitalization

O estudo de Schneider e Sting (2020) procurou obter uma compreensão abrangente das percepções e emoções dos funcionários em relação à Indústria 4.0, com base em evidências empíricas de iniciativas de mudança induzidas pela digitalização em duas empresas de manufatura alemãs. Por meio do *Zaltman Metaphor Elicitation Technique* (ZMET), método de entrevista em profundidade envolvendo imagens autosselecionadas como estímulos, foram descobertas crenças, valores e emoções profundamente arraigadas dos empregados de manufatura em relação à Indústria 4.0. As descobertas revelaram a existência de cinco quadros cognitivos distintos — utilitário, funcional, antropocêntrico, tradicional e lúdico — utilizados pelos funcionários para interpretar e dar sentido à mudança induzida pela digitalização. Esses quadros cognitivos explicaram por que certos indivíduos aceitam ou rejeitam tais mudanças. A pesquisa destacou as atitudes diferenciadas e variadas dos empregados da manufatura em relação à Indústria 4.0, demonstrando ambivalência emocional, ambivalência cognitiva e ambivalência afetivo-cognitiva. O estudo revelou diferenças na adoção do quadro com base na afiliação hierárquica dos funcionários, com os gerentes adotando predominantemente o quadro funcional. Os autores enfatizaram a importância de os gerentes reconhecerem as diversas percepções dos empregados e a necessidade de autorreflexão sobre seus próprios quadros e suposições. Ao fornecer uma descrição detalhada de cada estrutura cognitiva e suas subdimensões subjacentes, apoiada por citações de entrevistas, o estudo contribuiu para uma compreensão mais sutil da formação de atitude e conteúdo em relação à mudança induzida pela digitalização.

4.2.1.10 Human Factors

Min *et al.* (2019) discorreram sobre prováveis mudanças na saúde e segurança ocupacional na era da Quarta Revolução Industrial, bem como o papel que ela pode cumprir

para ajudar empregadores, empregados e governos no enfrentamento da vindoura transformação do trabalho. A implementação de novas tecnologias no local de trabalho apresenta aspectos positivos, na medida em que contribui para um ambiente mais seguro que reduz a exposição humana a condições perigosas. Além disso, a tecnologia de realidade virtual e óculos inteligentes pode aprimorar a educação em segurança, enquanto os robôs vestíveis podem fornecer suporte e prevenir distúrbios musculoesqueléticos. Contudo, há também aspectos negativos que precisam ser considerados, que podem advir da globalização, da automação ou da economia sob demanda. No caso da globalização, esta afeta o tempo de trabalho em função do aumento de turnos ou em função de turnos noturnos. Quando os ciclos biológicos de uma região do mundo e o tempo de trabalho estão dessincronizados, muitos problemas podem aparecer, especificamente distúrbios do ritmo circadiano por alteração da melatonina, risco de câncer de mama, risco de doenças cardiovasculares e cerebrovasculares, obesidade associada à exposição à luz artificial no período da noite, possibilidade de incidência de transtornos depressivos e de relação entre trabalho por turnos e diabetes tipo 2. O aspecto negativo relacionado à automação ou substituição de tarefas simples e repetitivas por robôs é que os empregados temem pela falta de segurança no emprego e pela instabilidade financeira, o que pode levar ao aumento de doenças mentais. Quando as questões ligadas à proteção social, como aposentadorias, licenças médicas, férias anuais e licenças-maternidade não são garantidas, quando não há oportunidade de crescimento e desenvolvimento profissional ou quando os direitos humanos básicos são preteridos, o ser humano é afetado. Outro aspecto é que a automação, implantada com o objetivo de aumentar a produtividade e a qualidade de vida, pode forçar os empregados a trabalharem ainda mais para maximizar resultados. Também a necessidade de manutenção corretiva feita manualmente pelos empregados em caso de mau funcionamento pode ocasionar condições de trabalho desfavoráveis, um outro aspecto negativo decorrente da automação (MIN *et al.*, 2019, p. 404). A economia sob demanda é também um aspecto negativo do novo trabalho, pelo fato de os empregados, que são contratados independentes, precisarem encontrar trabalho diariamente ou a cada hora, provocando *stress* e instabilidade. Algumas dessas pessoas escolhem empregos sob demanda porque não têm um emprego fixo e, por não fazerem parte da “classe trabalhadora” como definida em leis trabalhistas, sujeitam-se à falta de proteção legal e de regras claras de jornadas ou salários, por exemplo. Assim, essa falta de regulamentação, que explora a força de trabalho sem limites e prejudica a estabilidade do emprego, tende a afetar negativamente o estado de saúde, causando riscos psicológicos e físicos, particularmente problemas de saúde mental, insatisfação com a

saúde física, ansiedade ou pressão alta. Diante de todos esses desafios, é “preciso discutir quem vai fazer trabalho decente e trabalho ruim” (MIN *et al.*, 2019, p. 405), entendendo que o conceito de trabalho decente vai além de salários altos e fixos, jornada de trabalho estável e condições de emprego estáveis. Quanto aos serviços de saúde e segurança ocupacional, a abordagem deveria ser voltada para a saúde pública, não para o empregador. Como o novo trabalho não é contínuo nem constante, faltam fundamentos para julgar se a doença de um indivíduo é causada por uma determinada ocupação, dificultando a avaliação de risco de empregos. Assim como normas trabalhistas internacionais cobrem acordos básicos — remuneração; não discriminação com base em sexo, raça, cor, religião, opinião política, condição socioeconômica, origem social ou idade; liberdade de associação; direito à negociação coletiva; saúde e segurança ocupacional; proteção do emprego —, seriam necessárias a redefinição de “trabalho decente”, a implementação de regulamentos uniformes entre as nações, a alteração de saúde pública para um serviço de saúde e segurança ocupacional, entre outras novas preocupações.

Considerando que a tarefa atual das organizações é ter uma avaliação de prontidão para a tecnologia futura e alinhar o sistema de fabricação de acordo com os padrões exigidos pela Indústria 4.0, notadamente os conjuntos de habilidades interdisciplinares, cognitivas, analíticas, de resolução de problemas, de tomada de decisão, criativas, inovadoras e de tecnologia da informação que os operadores inteligentes deverão ter, Virmani e Salve (2022), no artigo “*Significance of Human Factors and Ergonomics (HFE): Mediating Its Role Between Industry 4.0 Implementation and Operational Excellence*”, identificaram os fatores que afetam a implementação da Indústria 4.0 por meio de uma extensa revisão da literatura, para posterior aplicação de um questionário que foi respondido por especialistas de 471 indústrias manufatureiras na Índia. Os achados indicaram que a maior preocupação da automação de ponta utilizada na Indústria 4.0 foi o alto investimento inicial. As tecnologias inteligentes de baixo custo/automação enxuta também precisam ser exploradas para que até mesmo as pequenas e médias empresas possam pagar por essa tecnologia e adquirir suas vantagens potenciais. Além disso, mais foco precisa ser dado para fortalecer as instalações de TI e fatores humanos e ergonomia (HFE), já que estes desempenham um papel crucial. Os resultados da pesquisa também mostraram o efeito de mediação na relação entre a Indústria 4.0 e a Excelência Operacional (OE).

O artigo de Pouyakian (2022) também se concentrou no estudo de questões ergonômicas emergentes relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0. A partir de uma revisão da linha do

tempo e do desenvolvimento da ergonomia e suas subdisciplinas, o autor propôs o conceito de ‘cibergonomia’, uma nova subdisciplina da ergonomia, tendo em vista que as subdisciplinas existentes da ergonomia não abordam totalmente os desafios impostos pela nova era de trabalho digital. Embora a ergonomia física, cognitiva e organizacional abranja aspectos da interação humana com o mundo real, ela falha em reconhecer e abordar a identidade cibernética dos humanos e do mundo virtual. A velocidade crescente da transferência de dados e a implementação de novas ideias nas tecnologias da Indústria 4.0 também levaram a mudanças na força de trabalho, no local de trabalho e no ambiente de trabalho, exigindo novas qualificações e habilidades para trabalhar no ciberespaço. O artigo também destacou a necessidade de pesquisas sobre os aspectos ergonômicos da interação humano-ciberespaço e os problemas de saúde associados às tecnologias da Indústria 4.0. A cibergonomia serviria, portanto, como uma plataforma para consolidar os esforços de pesquisa e aprofundar a compreensão de alcançar a harmonia entre os objetivos da ergonomia e as tecnologias da Indústria 4.0.

4.2.1.11 COVID-19

O artigo “*New technology and work: exploring the challenges*”, de Burgess e Connell (2020), fez parte de uma coleção que explorou temas-chave relacionados ao futuro do trabalho, incluindo avanços tecnológicos, implicações políticas, considerações sociais e fatores econômicos, ressaltando a necessidade de mais pesquisas e ações, especialmente em meio à pandemia de COVID-19, quando as desigualdades foram amplificadas. As principais conclusões da coleção destacaram a necessidade de colaboração entre governos e indústrias no desenvolvimento de habilidades, priorizando a agenda de trabalho decente da Organização Internacional do Trabalho, fornecendo acesso e treinamento igualitário em plataformas colaborativas digitais (*Digital Collaborative Platforms – DCPs*) e reavaliando o valor das habilidades linguísticas em um mundo cada vez mais multiétnico e globalizado, principalmente à luz de projeções como a da OCDE (2018 *apud* BURGESS; CONNELL, 2020), que revelou que a alfabetização digital e as lacunas de habilidades dificultam a participação de um bilhão de pessoas na economia digital, sobretudo mulheres que enfrentam maiores barreiras ao acesso à *Internet*.

O estudo “*New Working Capabilities for Coping With COVID Time Challenges*” sublinhou as competências-chave necessárias para lidar com os desafios da pandemia iniciada

em 2020, recomendando um conjunto de sete habilidades que possam sustentar o trabalho ágil, papéis profissionais híbridos e novos trabalhos e culturas organizacionais e gerenciais (FREGNAN *et al.*, 2022, p. 14), sendo elas:

- as pessoas e suas necessidades devem ser colocadas no centro (*Deal with Humans*);
- a confiança com as novas tecnologias é inevitável (*Deal with Technology*);
- é fundamental ter a mente aberta e flexível (*Agility*);
- uma verdadeira paixão potencializa cada resultado (*Engagement*);
- é essencial cooperar constantemente com os outros (*Collaboration*);
- diferentes saberes devem ser combinados para alcançar resultados relevantes (*Interdisciplinarity*);
- novas possibilidades e soluções devem ser continuamente perseguidas (*Innovation*).

Também sobre os impactos da pandemia nos ambientes de trabalho e nos processos operacionais, o trabalho elaborado por Koh e Yuen (2022) focalizou em uma estrutura de competências emergentes relevantes para profissionais de logística, resultando em quatro competências principais e 17 respectivas subcompetências. A primeira, competência de negócios, envolve planejamento da continuidade do negócio e e-business. O segundo grupo, de competências logísticas, abarca o controle de armazéns, as decisões de transporte, a gestão de inventários e a logística verde. As competências digitais são o terceiro grupo, contendo competências relativas à análise de dados, à cibersegurança, a simulações, a tecnologias de automação e à manutenção de sistemas. Por fim, surgem as competências pessoais e suas subcompetências: liderança, trabalho em equipe multifuncional, prontidão para gestão de mudanças, comunicação virtual, adaptabilidade e capacidade de trabalhar remotamente. O estudo, ao propor um quadro das competências digitais e pessoais exigidas atualmente, pretendeu contribuir com a gestão de recursos humanos, bem como ambicionou ser útil na atualização dos currículos de instituições de ensino superior, face aos desafios impostos pela Indústria 4.0 e pela pandemia de COVID-19.

Singaram e Mayer (2022) examinaram a influência da cultura organizacional na adoção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial (4IR) no ensino superior na África do Sul durante a pandemia e concluíram que a cultura ambiciosa e competitiva da universidade contribuiu para uma aceitação da tecnologia e dos princípios 4IR, mesmo antes da COVID-19. Além disso, a influência específica do vice-reitor da universidade para construir o pensamento 4IR na universidade ajudou a moldar mais pensamento 4IR e tecnologias como a inteligência artificial.

O estudo de Ngobeni, Saurombe e Joseph (2022) investigou as opiniões dos gerentes de linha acerca do impacto do contrato psicológico na dedicação dos bancários de uma instituição financeira sul-africana, com foco particular em como a integração de tecnologias da Quarta Revolução Industrial pode ter afetado o ambiente de trabalho no setor bancário. Os resultados revelaram que a transformação contínua no mundo, acentuada pela pandemia do COVID-19, influencia as expectativas dos empregados. Os temas mais recorrentes foram gestão de talentos, natureza do negócio, estrutura e operações, natureza do ambiente de trabalho e necessidades emocionais, reforçando a necessidade de as organizações se adaptarem para atrair e reter talentos.

O estudo *“The work identity of leaders in the midst of the COVID-19 pandemic”*, de Meadows e De Braine (2022), examinou a resposta dos líderes aos desafios do local de trabalho apresentados pela pandemia de COVID-19 e seu impacto em suas identidades de trabalho. Com base na teoria da identidade de papéis, teoria da identidade social e teoria da identidade do líder, o estudo explorou como os líderes equilibraram seus papéis e objetivos pré-pandêmicos com a necessidade de coesão e desempenho da equipe no contexto do trabalho remoto e da liderança virtual. A pesquisa destacou a adoção da liderança virtual por muitas organizações durante a pandemia e a necessidade de os líderes aprenderem novas formas de trabalhar, mantendo um ritmo acelerado. O estudo enfatizou a adaptação e qualificação dos líderes à medida que atravessaram a pandemia, o que contribuiu para o fortalecimento de suas identidades de trabalho. Também reconheceu os desafios impostos pela liderança à distância, incluindo a necessidade de construir e manter a confiança de funcionários, clientes e colegas. Embora a tecnologia tenha permitido a entrega de produtos e serviços, os líderes reconheceram a importância de evitar uma cultura “anônima” resultante da superdigitalização e focaram na construção de equipes eficazes. O estudo revelou, ainda, a reformulação das identidades de trabalho por meio de interações tecnológicas e frisou o papel da liderança no apoio às identidades dos funcionários diante da mudança tecnológica. Ao se tornarem “um membro da equipe”, os líderes aprimoraram suas identidades de trabalho e a continuidade da identidade social, levando a uma maior satisfação no trabalho e desempenho organizacional. O estudo concluiu que a identidade do líder é parte integrante da identidade do trabalho e sugeriu a incorporação dessas descobertas em programas de desenvolvimento de liderança para alinhar a identidade do papel do líder e aprimorar a identidade geral do trabalho. O estudo também enfatizou a relevância do gerenciamento de situações críticas e da priorização do bem-estar dos empregados em tempos de crise.

Carbajo e Kelly (2023) avaliaram a abrangência das relações entre empresa, jovens, educação, formação e trabalho, e como as ideias de “autoprojeto”, “autorrealização” e “criatividade” impactam os jovens, principalmente face a crises como a pandemia de COVID-19, com possíveis consequências em relação à saúde e bem-estar dos jovens e suas trajetórias educacionais, profissionais e de formação.

Segundo Sarbadhikari e Chitkara (2020), a adoção generalizada do trabalho remoto durante a pandemia afetou negativamente o biorritmo dos trabalhadores, levando a problemas de saúde, aumento do esgotamento e maior complexidade das tarefas. Os autores afirmaram também que a falta de interações face a face com os colegas representou um risco para a saúde mental dos trabalhadores. Tendo em vista que a formação de profissionais especializados em saúde digital ou informática em saúde é uma área crítica, os professores indianos examinaram as questões que envolvem a tecnologia, particularmente a inteligência artificial (*Artificial Intelligence – AI*), e seu impacto na educação profissional de saúde, com foco na educação possibilitada pela tecnologia, no desenvolvimento de sistemas de saúde éticos baseados em AI e na implementação ética e socialmente aceitável na prestação de cuidados de saúde habilitada pela inteligência artificial. O desenvolvimento de sistemas de saúde éticos e habilitados para AI provou ser valioso no combate à pandemia de COVID-19, melhorando as respostas médicas com a automação do diagnóstico, com a priorização dos recursos de saúde e com a ajuda no desenvolvimento de vacinas e medicamentos. Não obstante, mesmo com imenso potencial para a tomada de decisões na área da saúde, as questões de preconceito e privacidade precisam ser abordadas. A implementação responsável de sistemas de AI requer processos de governança que priorizem práticas éticas, justas e seguras para garantir a confiança do público e evitar consequências indesejadas, bem como seu uso correto e socialmente aceitável exige líderes proficientes em habilidades biomédicas e de ciência de dados, abrangendo alfabetização digital, genômica, inteligência artificial e aprendizado de máquina. Serão necessárias melhorias significativas na política, educação e implementação em todos os setores, com foco no alinhamento com as necessidades de desenvolvimento da população e capacidade, em vez de importar sistemas de outros países, independentemente de seu avanço.

4.2.2 Cluster 2 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

O *cluster 2* é exibido em verde no mapa de visualização de rede de coocorrências. Nesse agrupamento foram relacionados 14 artigos que contêm 11 termos principais, sendo “*Industry*

4.0” aquele com maior número de vezes, 37 no total. “*Technology*”, “*Information*”, “*Systems*”, “*Model*”, “*Implementation*”, “*Organization*”, “*Barriers*”, “*Framework*”, “*Knowledge*” e “*Technological Innovation*” são os demais termos desse agrupamento. Esse conjunto de artigos fornece elementos para a compreensão de desafios e oportunidades relacionados aos recursos humanos no contexto da Indústria 4.0, notadamente a necessidade de suporte organizacional, desenvolvimento de habilidades e superação de barreiras à adoção desse novo paradigma.

4.2.2.1 *Industry 4.0*

Sobre os termos “Indústria 4.0” ou “Quarta Revolução Industrial”, o já mencionado Sung (2018) empregou o primeiro termo em sua pesquisa. Apesar de o termo “Quarta Revolução Industrial” ser mais amplamente aceito na Coreia do Sul, esse conceito ainda não foi, segundo o autor, bem definido, caracterizado e elaborado. Para ele, “Quarta Revolução Industrial” é um termo mais abrangente, que revela o potencial para transformar a sociedade civil, as estruturas de governança e a identidade humana, muito além de implicações meramente econômicas e produtivas (SUNG, 2018, p. 41), sendo que “a maioria dos líderes da indústria se pergunta se uma mudança real de paradigma para a Quarta Revolução Industrial já ocorreu” (KIET, 2017 *apud* SUNG, 2018, p. 43). Já a “Indústria 4.0”, em termos de escopo, seria específica da produção fabril, estando assim afastada da “Quarta Revolução Industrial” (HERMANN *et al.*, 2016 *apud* SUNG, 2018, p. 41). Originada na Alemanha como um projeto para digitalização do setor manufatureiro, a Indústria 4.0 caracteriza-se pelo crescimento de dados, poder computacional e conectividade; pelo advento de recursos analíticos e de inteligência de negócios; novas configurações homem-máquina, como interfaces de contato e sistemas de realidade aumentada; e avanços na conversão de instruções digitais para o mundo físico, por meio de tecnologias como robótica avançada e impressão 3-D (LEE *et al.*, 2013 *apud* SUNG, 2018, p. 40), o que legitima a coocorrência dos termos “*Technology*”, “*Information*”, “*Systems*”, “*Model*”, “*Implementation*” e “*Technological Innovation*” com o termo “Indústria 4.0” nesse agrupamento. Entre os aspectos mais desafiadores da implementação da Indústria 4.0 estão os riscos de segurança de TI, considerando que a interligação virtual pode gerar vulnerabilidades e divulgação de dados, além de roubo cibernético. Sobre questões de emprego à luz da Indústria 4.0, é indubitável que os empregados necessitarão obter um conjunto diferente ou totalmente novo de habilidades. Mesmo que os sistemas educacionais sejam remodelados, ainda assim será preciso equacionar o problema de profissionais mais antigos, o que pode

demorar muito tempo. Para os clientes, por sua vez, o temor é que a Indústria 4.0 represente uma ameaça à privacidade, e isso demandará esforço de ambas as partes no sentido de uma aproximação. Face a esses possíveis obstáculos, justifica-se a ocorrência do termo “*Barriers*” no *cluster 2*. Para conduzir com sucesso as indústrias coreanas a um patamar superior da Indústria 4.0, Sung (2018) aponta algumas sugestões: a primeira diz respeito à construção de uma visão e estratégia de longo prazo do governo central, fundamental para a estruturação de sistemas econômicos e sociais que possam se adaptar às mudanças de forma flexível; a partir das estratégias, serão necessários planos de ação factíveis e objetivos, capazes de incorporar transformações inovadoras em um cenário econômico global instável e uma estrutura social desigual; e para que esses planos de ação tenham sucesso, é necessário que haja um ecossistema que englobe governos locais, indústrias, institutos de pesquisa, universidades, bem como a cultura social e a economia; por fim, o autor sugere a implantação de um sistema de acompanhamento que assegure a eficácia e harmonize as políticas, promovendo efeitos de sinergia.

O estudo de caso único de Margherita e Braccini (2021) teve como foco a filial de produção italiana de uma organização eletrotécnica internacional que adotou tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0). Essa linha de montagem I4.0 opera com uma interação sociotécnica entre tecnologias e trabalhadores, com a automação das atividades repetitivas e perigosas, sendo os empregados responsáveis por atividades de supervisão na linha de montagem. Para adquirir competências digitais e manter um maior nível de conhecimento das atividades produtivas, os empregados precisam de oportunidades contínuas de desenvolvimento de habilidades. A referida linha de produção semiautomática permitiu manter níveis de emprego estáveis. Contudo, apesar de a automação simplificar as tarefas, também pode levar à fragmentação do conhecimento. Para evitar que isso aconteça, os empregados se alternam entre tarefas intercambiáveis, adquirindo conhecimentos polifuncionais e sobrepostos, o que estimula o trabalho em equipe e permite que esses assumam funções gerenciais de tecnologia, enriquecendo suas posições. Por fim, as descobertas indicaram que as tecnologias I4.0, quando implementadas com uma abordagem centrada no trabalhador, facilitam um equilíbrio justo entre os benefícios de bem-estar do capital e do trabalho.

A partir de uma perspectiva holística que considerou tecnologia, organização e fatores ambientais, conhecida como estrutura *Technology–Organization–Environment framework* (T-O-E), Srivastava *et al.* (2022) examinaram a adoção da Indústria 4.0 em institutos de educação técnica (*Technical Education Institutes – TEIs*). O estudo, que foi realizado na Índia e se baseou

em 134 respostas válidas, enfatizou a importância dos fatores organizacionais, como recursos internos e capacidades do corpo docente, no processo de adoção da Indústria 4.0 pelos TEIs. Aqueles institutos que possuíam forte apoio da alta administração, recursos internos e corpo docente capacitado foram mais receptivos à adoção da Indústria 4.0. Entre as três dimensões identificadas no modelo, “organização” foi a que mais interferiu na decisão de adoção ou não da Indústria 4.0 por esses institutos. Apesar da adoção acelerada da tecnologia digital devido à pandemia de COVID-19, o estudo revelou a necessidade de aprimorar a infraestrutura de tecnologia nos institutos de educação técnica e transformar a entrega e o desenvolvimento de materiais educacionais. Além disso, as descobertas indicaram diferenças significativas entre TEIs públicos e privados em relação à adoção da Indústria 4.0. Com mais de 9.000 institutos e uma admissão anual de 3 milhões de alunos, muitos dos quais em breve entrarão no mercado de trabalho, alinhar a estrutura do programa com a Indústria 4.0 tornou-se inevitável.

Inshakova *et al.* (2020) investigaram três questões de pesquisa relacionadas à suscetibilidade dos processos de negócios à automação, os benefícios socioeconômicos da produção intelectual na Indústria 4.0, os setores com as perspectivas mais amplas de automação e os aspectos organizacionais específicos da produção intelectual em diferentes esferas econômicas. Ao analisar uma série de países digitalmente avançados, foram estabelecidas correlações estatísticas entre a eficácia dos processos de negócios, o desenvolvimento do setor econômico e a extensão da utilização de máquinas e trabalho humano. Os resultados revelaram diferenças significativas na automação dos processos de negócios, sendo o trabalho mecânico mais aplicável na produção e menos aplicável no *marketing* devido à natureza fechada do processo de produção. Em contraste, o processo de *marketing* depende fortemente da interação humana. O estudo também identificou abordagens variadas para a produção intelectual em diferentes setores econômicos. A indústria de serviços demonstrou uma alta demanda por automação, facilitada pelo comércio eletrônico e pela utilização de inteligência artificial na otimização da logística e no fornecimento de informações abrangentes aos consumidores. O setor da indústria, por outro lado, necessita de adaptação significativa e dependência de tecnologias digitais avançadas para automação. Na agricultura, as perspectivas de automação são limitadas, exigindo o desenvolvimento e adaptação de novas tecnologias digitais. Além disso, o estudo destacou a importância de considerar as especificidades da automação de processos de negócios e as características do setor econômico em diferentes categorias de países. Os países desenvolvidos se beneficiam de vantagens moderadas, mas consistentes, por meio da implementação do trabalho mecânico, portanto, a automação em grande escala é

recomendada. Os países em desenvolvimento, no entanto, obtêm maiores vantagens com a utilização de mão de obra mecânica, embora com variações entre setores e processos de negócios. Para eles, é aconselhável uma automação flexível, preservando uma base de trabalho humano. Em última análise, o modelo proposto pelo estudo para a distribuição ideal do trabalho humano e da máquina na produção intelectual dentro da Indústria 4.0 visa mitigar as disparidades na eficácia do processo de negócios, desenvolvimento do setor e taxas de crescimento entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, contribuindo, assim, para um sistema econômico global equilibrado.

Virmani *et al.* (2023) apresentaram a estrutura da teoria do raciocínio comportamental (*Behavioral Reasoning Theory – BRT*), que examinou a relação entre atitudes e intenções no ambiente da Indústria 4.0 (I4.0), usando valores e razões. Os resultados da pesquisa forneceram *insights* sobre padrões comportamentais em relação à adoção da I4.0. O modelo de pesquisa, testado com 215 respostas de indústrias manufatureiras indianas, também explorou os papéis mediadores de “razões para” (*Reasons For – RF*), “razões contra” (*Reasons Against – RA*) e atitudes (*Attitude – ATT*), bem como os papéis moderadores do tamanho da empresa. As descobertas ofereceram uma perspectiva psicológica sobre a adoção de tecnologias I4.0, propondo implicações significativas para gerentes industriais interessados em implementar I4.0. O construto “razões para” abrange vantagens potenciais, incluindo benefícios operacionais e de produção, ganhos econômicos e sustentabilidade. Apesar dessas vantagens, as preocupações entre os industriais e empresários surgem com o custo inicial e os riscos percebidos associados à adoção da I4.0, refletidos no construto “razões contra”, que engloba riscos, procedimentos, recursos humanos, uso e barreiras de imagem. Os resultados demonstraram uma forte intenção das organizações em adotar práticas I4.0. Dadas as barreiras de custo, explorar as tecnologias de automação enxuta pode permitir que até mesmo indústrias de pequena escala adotem a I4.0. Lidar com os obstáculos da I4.0, como a falta de arquitetura de adoção padrão, compreensão limitada de protocolos, lacunas de habilidades digitais e preocupações com segurança e privacidade requer maior apoio do governo por meio de centros de conhecimento. Esses centros podem ajudar as organizações fornecendo orientação abrangente sobre as principais tecnologias I4.0, elucidando os benefícios potenciais, superando barreiras, auxiliando na implementação, orientando a equipe e adotando uma abordagem holística.

4.2.2.2 Technology

Sobre o crescimento e desenvolvimento da *Internet das Coisas* (IoT), merece destaque o trabalho de Dachyar, Zagloel e Saragih (2019), que compreendeu, em primeiro lugar, uma análise abrangente da literatura na base *Scopus*, feita em 26.420 artigos de periódicos respeitáveis e *proceedings* sobre o tópico *Internet das Coisas* (IoT), desde o primeiro ano em que a palavra-chave IoT apareceu em 2006 até 2018, fornecendo informações sobre os principais temas componentes e o conhecimento em evolução no campo. Na sequência, o estudo explorou o campo da IoT com a classificação da indústria, por meio de análise de citação, possibilitando a identificação das indústrias mais influentes e produtivas no domínio IoT. Finalmente, o documento se concentrou no crescimento e desenvolvimento da IoT nas indústrias, avaliando questões relacionadas à identificação de necessidades, a suporte tecnológico, desafios de implementação e considerações pós-implementação. Os paradigmas de pesquisa existentes também foram analisados, e uma estrutura conceitual foi disponibilizada aos pesquisadores. Ao combinar duas perspectivas essenciais, ou seja, observar a evolução da IoT e seu impacto em temas industriais proeminentes, o artigo serviu de base para a identificação de novas oportunidades de negócios e caminhos de pesquisa no domínio da IoT. Os resultados indicaram que a Quarta Revolução Industrial, a pesquisa socioeconômica e a avaliação de risco foram fatores influentes para os pesquisadores no campo da IoT. Além disso, o estudo enfatizou a importância de focar nas lacunas de pesquisa, considerando conceitos, metodologias, ferramentas e tecnologias específicas da indústria e empregando uma abordagem dedutivo-científica, bem como de estar a par das tendências emergentes, como o crescente interesse em pesquisa em hospitais, saúde e setores de energia.

O estudo de caso “*Technology vs. workers: the case of Italy’s Industry 4.0 factories*” (CIRILLO *et al.*, 2021) buscou elucidar a interação entre os avanços tecnológicos e as mudanças organizacionais em três fábricas automotivas italianas que adotaram a alta tecnologia da Indústria 4.0. Não só foram identificados padrões de automação projetados para substituir funcionários diretamente, mas foi revelada uma interação multifacetada envolvendo a adoção de artefatos tecnológicos, habilidades e conhecimentos dos empregados, autoridade de intervenção no processo de produção e dinâmica de poder nas organizações. Os resultados demonstraram que a introdução e a utilização dos artefatos da Indústria 4.0 estão dispersas entre e dentro das empresas em diferentes departamentos. Os sistemas de comunicação e monitoramento foram mais fortemente influenciados do que as linhas de montagem, tendo em

vista que esses sistemas conectam máquinas, permitindo o registro em tempo real do progresso da produção, quantidades, erros e gargalos. Embora a tecnologia tenha se concentrado principalmente no monitoramento e controle do processo de produção para obter eficiência, isso se traduziu em menor autonomia do trabalhador e procedimentos mais rígidos, resultando em variações limitadas de tarefas. Complementarmente à pesquisa quantitativa sobre os efeitos da robotização e da automação no emprego, as descobertas qualitativas mostraram que as dicotomias de qualificação/desqualificação e atividades de trabalho rotinizadas/não rotinizadas não captaram totalmente a transformação em curso, exigindo que sejam consideradas variáveis como a autoridade de tomada de decisão do trabalhador, a dinâmica de poder e as hierarquias nas organizações, vitais para avaliar de forma abrangente o impacto das mudanças tecnológicas no desempenho da empresa e nos padrões de emprego.

Estudos recentes examinaram a flexibilidade do trabalho em termos de capacidade, possibilitada pelas tecnologias da Indústria 4.0, como realidade aumentada (*Augmented Reality* – AR) e interação homem-máquina (*Human-Machine Interaction* – HMI), que facilitam a transferência de conhecimento e a alocação de trabalhadores em diferentes tarefas. Embora o controle de carga de trabalho (*WorkLoad Control* – WLC) seja um mecanismo bem estabelecido em contextos de alta variedade e baixo volume, a flexibilidade da mão de obra costuma ser negligenciada. O artigo de Costa e Portioli-Staudacher (2021) apresentou um modelo matemático de controle de carga de trabalho, denominado WLWorker+, que integra flexibilidade de mão de obra durante a fase de revisão e liberação do pedido (*Order Review and Release* – ORR) e simula o impacto no desempenho. O WLWorker+ incorpora informações de carga de trabalho de cada estação para determinar a liberação de pedidos adicionais e a alocação de trabalhadores, otimizando as transferências de trabalhadores e minimizando o número de transferências em comparação com o WLWorker. Os principais resultados mostraram que as transferências de trabalhadores ocorreram quando foram mais necessárias e foram minimizadas comparativamente ao momento quando a flexibilidade do trabalho esteve em um nível mais baixo de controle — chão de fábrica — reduzindo, assim, o *lead time*.

4.2.2.3 Systems

A dissonância ética refere-se a conflitos entre crenças e comportamentos que impactam fatores éticos, como normalidade ou conformidade. Vanderhaegen (2021) demonstrou a aplicação dos princípios de inclusão de sistemas humanos, o que implica valorizar e aprender

com experiências positivas e negativas, mesmo aquelas inicialmente consideradas insignificantes. A análise se concentrou nas consequências éticas dessas experiências em termos de moralidade, legalidade, privacidade e padrões. O estudo propôs uma abordagem inovadora para investigar a dissonância ética e abordar experiências baseadas em sinais fracos. Para ilustrar esse processo de investigação, foram fornecidos exemplos práticos, destacando experiências que dificultam a mobilidade inclusiva. Um exemplo explorou a dissonância ética associada à aprendizagem e descoberta condicionadas, especificamente obstáculos que impedem a autonomia da mobilidade. As descobertas do método *Reverse Comic Strip* revelaram consequências de usabilidade emocionais e antiéticas dos processos de aprendizagem e descoberta. Outro exemplo investigou a análise de duas experiências relacionadas ao uso do *Lane Keeping Assist System (LKAS)* e do *Automated Speed Control System (ASCS)*, e demonstrou a relevância da dissonância ética, como a criação de situações perigosas por esses sistemas de segurança. O *feedback* dos participantes nos protocolos experimentais indicou que os cenários apresentados pelos indivíduos podem influenciar a percepção de um grupo. Investigações futuras devem considerar dissonâncias éticas relacionadas à competência, disponibilidade e capacidade de agir, que podem afetar as emoções e criar perigos quando os meios de interação são usados de forma intercambiável, ou os objetivos são atribuídos a diferentes meios de interação. Além disso, incorporar o princípio do *design* relacionado à deficiência é essencial para adaptar sistemas homem-máquina para pessoas com deficiência e respeitar seus direitos em relação à mobilidade e autonomia. Depoimentos de pessoas com deficiência podem auxiliar na identificação de experiências de sinais fracos que geram dissonância ética em relação a esses direitos. A estrutura proposta, que responde por um *feedback* fraco das experiências, contribuiu para o desenvolvimento de sistemas mais adaptáveis por meio do *design* inclusivo. Essa adaptabilidade envolve a aquisição de habilidades pedagógicas e de aprendizagem para detectar e gerenciar a dissonância ética, bem como analisar, explicar e aprender com ela. Alcançar tal plasticidade de sistema será facilitado ao permitir a cooperação ou competição entre usuários e sistemas. Em última análise, aumentar a plasticidade do sistema controlando a dissonância ética melhorará a resiliência dos sistemas homem-máquina, permitindo que eles se recuperem de distúrbios antiéticos ao alavancar as capacidades humanas e técnicas.

O estudo “*Engineering human-focused Industrial Cyber-Physical Systems in Industry 4.0 context*” (COLOMBO; KARNOUSKOS; HANISCH, 2021) examinou as implicações dos esforços de transformação digital industrial em curso na engenharia e operação de sistemas

industriais, no âmbito do Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0 (RAMI 4.0) e facilitado pela especificação, desenvolvimento e implementação de um *Shell* de Administração de Ativos (AAS). O foco está nos papéis e posições dos humanos nesses ambientes industriais transformados digitalmente, onde eles colaboram com ativos digitalizados em uma relação simbiótica. O estudo destacou como esses ambientes aprimoram as capacidades e interações humanas. Além disso, argumentou que os esforços centrados no ser humano na Indústria 4.0 devem ser considerados dentro do contexto mais amplo de sustentabilidade e economia circular, levando em consideração as dimensões sociotécnicas envolvidas. No futuro, será essencial estabelecer organizações que priorizem uma abordagem centrada no ser humano, pois desbloqueia o potencial humano, promove novas formas de criação de valor e garante a sustentabilidade.

4.2.2.4 Information

A discussão sobre o gerenciamento de trabalhadores do conhecimento, papel da gestão de recursos humanos, sugere que apenas ferramentas, planos e procedimentos eficazes de recursos humanos podem garantir o sucesso da gestão de conhecimento e da competência da nova força de trabalho no âmbito da Quarta Revolução Industrial. Assim, foi estudado o papel estratégico de RH e sua influência na tomada de decisões estratégicas por meio da ferramenta *Human Resource Information System* (HRIS), um sistema de informação de recursos humanos usado para “adquirir, armazenar, analisar, manipular, recuperar e distribuir conhecimento pertinente [...] e consiste em dados, *software*, *hardware*, pessoas, políticas e procedimentos” (TANNENBAUM, 1990, p. 27 *apud* MEMON *et al.*, 2022, p. 2). O HRIS, portanto, foi apresentado como uma alternativa ao sistema de gestão do conhecimento, que tanto permite lidar com as tarefas administrativas típicas da gestão de recursos humanos quanto acompanhar as habilidades e conhecimentos dos trabalhadores.

4.2.2.5 Implementation

Mahmood *et al.* (2021) investigaram as barreiras psicológicas críticas que as organizações podem encontrar ao implementar tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) no setor de manufatura. O estudo abordou quatro questões de pesquisa: em primeiro lugar, procurou identificar essas barreiras; em segundo lugar, determinou a ordem de prioridade dessas barreiras; em terceiro lugar, explorou as relações causais entre as barreiras identificadas; por

fim, procurou identificar os obstáculos psicológicos mais significativos e com alto poder motiviz. Para conseguir isso, foi realizada uma revisão abrangente da literatura, seguida de discussões com especialistas da indústria e acadêmicos, resultando no reconhecimento de 20 barreiras. Foram empregadas três técnicas estatísticas, a saber, AHP-TOPSIS híbrido (*Analytical Hierarchy Process-Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*), ISM (*Interpretative Structural Modeling*) e TOPSIS. As técnicas AHP e ISM envolveram a consulta a um grupo de 8 especialistas da indústria e da academia, enquanto o TOPSIS foi administrado a 443 usuários de nível operacional, incluindo gerentes e supervisores de várias áreas funcionais da indústria de manufatura no Paquistão. As descobertas revelaram que as barreiras psicológicas mais proeminentes nas economias em desenvolvimento são o medo de perder empregos, medo de perda de dados ou risco de violações de segurança, falta de educação avançada e continuada dos empregados e falta de padrões e arquitetura de referência. Essas barreiras foram classificadas como as mais altas em termos de pesos de importância. Além disso, uma interação entre essas barreiras resultou no desenvolvimento de um modelo estrutural de quatro camadas. As barreiras condutoras identificadas no modelo final indicam que os avanços na educação dos empregados, padrões e arquitetura de referência e a mitigação de medos relacionados à perda de trabalho e dados podem acelerar a adoção de tecnologias I4.0.

4.2.2.6 *Technological Innovation*

O estudo empírico de Hu (2021) examinou o impacto dos transbordamentos relacionados a importações e o investimento estrangeiro direto (*Foreign Direct Investment – FDI*) sobre o progresso tecnológico dos países membros do BRICS — Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul — no período de 1990 a 2017, da mesma forma que investigou o papel mediador do capital humano na relação entre efeitos de transbordamento, importações, FDI e progresso tecnológico subsequente. Para abordar as limitações dos estudos de dados de painel anteriores, a pesquisa usou técnicas de segunda geração para analisar o impacto dos transbordamentos de conhecimento sobre a inovação tecnológica nos países do BRICS. As descobertas revelaram relações estáveis de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis em todos os modelos. O aumento do PIB, do capital humano, de P&D e dos transbordamentos de FDI levaram a uma maior inovação tecnológica nas economias do BRICS. Notavelmente, o capital humano aprimorado fortaleceu a relação entre os transbordamentos relacionados à importação e a inovação tecnológica. O capital humano desenvolvido permitiu que os países se beneficiassem mais dos transbordamentos de conhecimento, absorvendo efetivamente

tecnologias avançadas. Provou-se haver uma forte complementaridade entre os *spillovers* relacionados com o FDI e o capital humano em termos do seu impacto na produtividade total dos fatores. Para estimular a inovação tecnológica nos países do BRICS, constatou-se que o apoio financeiro é crucial. Ainda, o conhecimento produzido fora das empresas demonstrou ser uma alternativa atraente para os investidores. Devem ser elaboradas estratégias para expandir o potencial de mercado e atrair FDI, o que pode aumentar a inovação tecnológica por meio de ligações para frente, para trás e verticais. Por fim, para que haja efeitos benéficos relacionados ao FDI, faz-se necessário capital humano aceitável, enfatizando a necessidade de desenvolver capital humano nos países do BRICS para melhorar a capacidade de absorção e aumentar a produtividade dos fatores.

4.2.2.7 Knowledge

Saabye, Kristensen e Waehrens (2022) conduziram, por dois anos, um estudo de pesquisa-ação que investigou o desenvolvimento de capacidades de aprender a aprender pela VELUX, fabricante dinamarquês de janelas de telhado, para facilitar a adoção da Indústria 4.0 (I4.0). Por meio de três ciclos de ação, descobriu-se que a adoção da I4.0 exige mais do que adquirir conhecimento técnico e implementar as melhores práticas; é necessário cultivar uma capacidade de aprender a aprender por meio da experimentação direta e da elaboração de perguntas perspicazes. O estudo demonstrou a importância de um processo de aprendizagem de ação emergente, em vez de uma abordagem tecnocêntrica para a transformação digital, com três principais achados: (1) O desenvolvimento de uma capacidade de aprender a aprender baseada em *lean* foi uma construção central e um facilitador para o fabricante adotar a Indústria 4.0 com sucesso; (2) A institucionalização de um andaime de aprendizagem organizacional que englobasse os processos de aprendizagem entrelaçados dos sistemas Alpha, Beta e Gamma serviu como uma maneira significativa de desenvolver uma capacidade de aprender a aprender para a adoção da Indústria 4.0 (habilidades sistemáticas de resolução de problemas, líderes como facilitadores de aprendizagem, presença de um ambiente de aprendizagem favorável e conhecimento da Indústria 4.0); (3) O *coaching* em grupo foi uma intervenção prática de aprendizado de ação para invocar o sistema *Gamma* e desenvolver líderes para se tornarem facilitadores de aprendizado — um papel de liderança essencial durante a adoção da Indústria 4.0.

4.2.3 Cluster 3 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

No mapa de visualização de rede de coocorrências, a cor azul indica o *cluster* 3. Nesse agrupamento, foram relacionados 35 artigos que contêm os 9 termos mais frequentes, sendo “*Innovation*” aquele com maior número de ocorrências, 33 no total. “*Performance*”, “*Artificial Intelligence (AI)*”, “*Management*”, “*Impact*”, “*Human-resource Management*”, “*Intellectual Capital*”, “*Creativity*” e “*Determinants*” são os demais termos. Os artigos desse *cluster* destacam a natureza disruptiva da Indústria 4.0 e seu impacto nas práticas de gestão de recursos humanos, abordando a relação entre RH, avanços tecnológicos, capital intelectual, inovação, criatividade e desempenho organizacional.

4.2.3.1 Innovation

Giselle Rampersad (2020) estudou o aprendizado integrado ao trabalho (*Work Integrated Learning – WIL*), uma ferramenta que estimula a capacitação de alunos para enfrentar desafios do mundo real e promove a inovação, também denominada de aprendizagem experiencial, educação cooperativa, aprendizado ativo em parceria com a indústria ou programa de desenvolvimento profissional. Foram realizadas medições, antes e depois da implantação dessa abordagem pedagógica, das condições que influenciam o desenvolvimento da inovação e seus potenciais impulsionadores, evidenciando a importância dos seguintes fatores: resolução de problemas, pensamento crítico, comunicação e trabalho em equipe. Outro resultado importante do estudo foi o desenvolvimento de uma ferramenta que mede os níveis de habilidade em alunos, informando áreas de deficiência que podem ser usadas para apoiar ações corretivas em programas de preparação WIL subsequentes e oferecer suporte adicional tanto a alunos quanto a educadores, bem como pode ser aplicada para melhorar a colaboração e a inovação entre a universidade e a indústria. A autora conclui que “em uma era cada vez mais caracterizada pela inteligência artificial, em vez de temer o robô, é preciso atenção para equipar a força de trabalho com as habilidades de inovação necessárias para o futuro do trabalho” (RAMPERSAD, 2020, p. 73).

Em regiões caracterizadas por manufatura tradicional e características marshallianas, as operações das empresas são frequentemente baseadas em conhecimento prático e incorporado localmente, conhecido como o modo de aprendizado “fazendo, usando e interagindo” (*Doing, Using, and Interacting – DUI*). Na medida em que mudanças radicais permeiam a estrutura industrial regional, as empresas de manufatura dentro do ecossistema em evolução devem

adaptar sua estrutura de base de conhecimento aos desafios que enfrentam. A primeira hipótese apresentada no estudo “*Industry 4.0 technological trajectories and traditional manufacturing regions: the role of knowledge workers*” (CORÒ *et al.*, 2021) afirma que, em regiões com características marshallianas, a adoção de tecnologias I4.0 está associada ao aumento das taxas de emprego de técnicos e profissionais intelectuais. Tecnologias I4.0, como inteligência artificial, manufatura aditiva, *Internet das Coisas*, realidade aumentada e virtual, serviços em nuvem, segurança cibernética, análise de *big data* e *blockchain*, exigem técnicos com conhecimento sintético para gerenciamento remoto de informações, manuseio de *software* e operações. Da mesma forma, espera-se que a adoção de realidade aumentada tenha uma maior incidência de conhecimento sintético, pois envolve governar sua integração nos processos de fabricação. A segunda hipótese sugere que a implementação de diferentes tecnologias I4.0 por empresas de manufatura está associada a mudanças nas proporções de trabalhadores do conhecimento com base no tipo de conhecimento necessário. Para investigar essa relação, dois conjuntos de dados principais foram mesclados: um mapeando a adoção da tecnologia I4.0 na região de Veneto e outro fornecendo informações sobre a força de trabalho e os perfis ocupacionais das empresas. Técnicos e profissionais intelectuais foram as duas principais categorias consideradas para os trabalhadores do conhecimento. Estatísticas descritivas e modelos de regressão econométrica foram empregados para analisar os dados e examinar a associação entre a adoção de tecnologia e as taxas de mudança de técnicos e profissionais intelectuais ao longo do tempo. Modelos lineares generalizados foram utilizados devido à natureza das variáveis dependentes. Os resultados indicaram um aumento nas taxas de ocupação dos trabalhadores do conhecimento com a adoção de tecnologias I4.0. A relação entre a adoção da tecnologia I4.0 e as proporções de trabalhadores do conhecimento variou de acordo com o tipo de conhecimento necessário. Tecnologias sintéticas baseadas em conhecimento, como manufatura aditiva e serviços em nuvem, correlacionaram-se com um aumento na proporção de especialistas que possuem tal conhecimento. Por outro lado, a realidade aumentada mostrou uma associação matizada, não afetando significativamente o *ratio* técnico, mas correlacionando-se negativamente com o *ratio* intelectual-profissional. As tecnologias I4.0 baseadas em conhecimento analítico, como segurança cibernética e inteligência artificial, exibiram resultados diferentes. No geral, os resultados confirmaram que a adoção de tecnologias I4.0 levou a mudanças no emprego de trabalhadores do conhecimento. No entanto, a associação entre a adoção de tecnologia e as proporções de trabalhadores do conhecimento diferiu com base no tipo de conhecimento necessário. O documento enfatizou a importância da

liderança regional e do engajamento institucional público para apoiar a transformação das regiões manufatureiras. Também contribuiu para medir a base de conhecimento de uma região, analisando a dinâmica ocupacional no nível da empresa. Os resultados mostraram que a mudança tecnológica neste tipo de região apresenta forte dependência de trajetória e caminha de mãos dadas principalmente com um aumento na taxa de emprego de trabalhadores do conhecimento sintético.

Heubeck e Meckl (2022) investigaram como as três dimensões das capacidades gerenciais dinâmicas — capital humano gerencial, capital social gerencial e cognição gerencial — interagem no contexto da inovação do modelo de negócios. Os resultados desse estudo indicaram que o capital humano e o capital social moldaram decisivamente como os gerentes avaliam cognitivamente as opções para a inovação do modelo de negócios, sendo o capital social gerencial um antecedente significativo para a cognição gerencial. A pesquisa demonstrou que níveis mais altos de capital humano gerencial levarão a uma avaliação mais consciente da inovação do modelo de negócios, sendo este um fator decisivo para sobreviver na economia digital.

O papel dos centros de competência italianos na adoção de uma Indústria 4.0 centrada no ser humano por pequenas e médias empresas foi examinado por Ietto *et al.* (2022), que alertaram para a importância de se pensar nas implicações sociais mais amplas da implantação desse modelo de negócio, que podem ameaçar o bem-estar humano e social em função de sua implementação excessivamente tecnocêntrica. As autoras advogam que as empresas devem inovar e manter a competitividade respeitando os valores humanos e desenvolvendo relações colaborativas entre humanos e robôs, melhorando o bem-estar social mais amplo, bem como reconhecendo fatores éticos e socioculturais.

Igualmente o caso dos centros de competência criados pelo governo alemão para apoiar a digitalização de pequenas e médias empresas (PRODI *et al.*, 2022) buscou explorar o papel das organizações intermediárias na mudança dos sistemas sociotécnicos e na superação das limitações do ecossistema de inovação, apoiando os participantes no envolvimento com as transformações que sustentam o sistema de produção da Indústria 4.0. A conclusão do artigo foi que, ainda que transições complexas exijam dos agentes governamentais vários intermediários em diversos níveis do sistema, com diferentes papéis e atividades, foi possível demonstrar que se pode integrar em rede todos esses agentes, ficando o centro de competência responsável pela mediação de conflitos por recursos e promovendo as transições sociotécnicas complexas.

A estrutura proposta por Kafetzopoulos (2022) sugere que o alinhamento entre as capacidades ambientais e organizacionais desempenha um papel significativo no potencial para práticas sustentáveis. Os fatores ambientais abrangem mudanças nos mercados, produtos e serviços, enquanto os fatores organizacionais envolvem a capacidade de inovação de uma empresa, flexibilidade estratégica e capital humano. O fator humano reconhece as necessidades de desenvolvimento dos empregados, seu acesso a oportunidades adequadas e a utilização de suas habilidades. A estrutura foi testada por confirmação análise fatorial e, finalmente, por modelagem de equações estruturais (*Structural Equation Modeling* – SEM) usando os dados da pesquisa de 513 empresas gregas. O estudo enfatizou os fatores organizacionais críticos que influenciam a adoção de programas de sustentabilidade pelas empresas em um ambiente de mercado dinâmico, abordando as seguintes questões: o dinamismo ambiental (*Environmental Dynamism* – ED) influencia a transição das empresas para a sustentabilidade? Qual o papel do processo de inovação, flexibilidade estratégica e desenvolvimento de recursos humanos na relação entre dinamismo ambiental (*Environmental Dynamism* – ED) e sustentabilidade? O desenvolvimento de hipóteses foi baseado na teoria da contingência, que sugere que as empresas implementam estratégias específicas para responder aos ambientes interno e externo. A pesquisa evidenciou que o dinamismo ambiental (*Environmental Dynamism* – ED) é um fator que contribui para a sustentabilidade das empresas, mas, para potencializar esse efeito, é necessário promover mudanças nos processos, produtos, *marketing* e abordagens de gestão, fazendo da inovação um elemento essencial para a sustentabilidade.

Tendo em vista que pesquisas sobre a inter-relação entre questões tecnológicas e administrativas na Indústria 4.0 ainda são escassas, particularmente a interação entre renovações tecnológicas e administrativas, Laubengaier, Cagliano e Canterino (2022) investigaram como a inovação de processo tecnológico (*Technological Process Innovation* – TPI) e a inovação de processo administrativo (*Administrative Process Innovation* – API) interagem na Indústria 4.0, bem como quais dimensões do núcleo administrativo são relevantes para a Indústria 4.0, por meio de uma meta-análise qualitativa. O foco da pesquisa foi em estudos qualitativos relacionados à Indústria 4.0, particularmente no campo da produção e gestão de operações. Artigos de periódicos revisados por pares foram considerados para validade, usando o **Academic Journal Guide** (AJG) 2018 como referência. Um total de 35 estudos qualitativos foram identificados para a meta-análise. A análise dos dados seguiu o raciocínio abduutivo, combinando elementos dedutivos e indutivos. A análise envolveu três etapas principais: desenvolver um esquema de codificação dedutivo com base na literatura,

conduzir a análise dentro do caso de cada estudo e realizar uma análise de caso cruzado para identificar padrões nos estudos. Os resultados indicaram que as inovações tecnológicas e de processos administrativos ocorrem de forma sequencial e simultânea e se complementam no contexto da Indústria 4.0. Consequentemente, a interação entre os dois tipos de inovações é complexa na Indústria 4.0. Além disso, o estudo revelou que o *design* do trabalho, a gestão de pessoas e a estratégia são cruciais para as iniciativas da Indústria 4.0. O estudo lançou luz sobre as maneiras pelas quais as empresas adotam inovações tecnológicas e de processos administrativos na busca da Indústria 4.0. Além disso, os resultados destacaram a importância de considerar a Indústria 4.0 não apenas de uma perspectiva tecnológica e forneceram *insights* sobre os vários fatores que devem ser considerados em relação à Indústria 4.0.

4.2.3.2 Performance

O estudo de Črešnar *et al.* (2022) coletou dados entre novembro de 2019 e janeiro de 2020, utilizando técnicas de amostragem aleatória no setor manufatureiro. O processo de seleção envolveu a identificação de organizações classificadas na Classificação Estatística de Atividades Econômicas da NACE na Comunidade Europeia, especificamente aquelas que se enquadram na categoria C, denotando manufatura. As informações necessárias sobre as organizações que se enquadram nesta categoria foram obtidas de um repositório on-line de informações comerciais da Eslovênia chamado AJPES. Nenhuma organização foi excluída da amostra com base em outros critérios além de sua classificação na NACE C. Para coletar as respostas da pesquisa, foi enviado um total de 2.800 e-mails contendo um *link* de pesquisa para os membros dessas organizações de manufatura, com ênfase particular nos gerentes. Ao final, foram obtidas 323 respostas completas, resultando em uma taxa de resposta de 7,96%, tamanho amostral considerado suficiente para conduzir uma análise multivariada de modelagem de equações estruturais. O estudo empregou um instrumento de três partes para a coleta de dados, sendo que a primeira consistiu em questões relacionadas às características demográficas dos participantes; a segunda focou na avaliação do nível de implementação da Indústria 4.0, englobando aspectos tecnológicos e não tecnológicos conforme as dimensões de dois modelos abrangentes desenvolvidos pela Acatech e pela Universidade de Warwick, em um total de 53 perguntas; a terceira parte do instrumento teve como objetivo aferir a percepção de gestores e especialistas sobre a produtividade associada à adoção da Indústria 4.0, com foco específico na produtividade dos empregados e da produção. Todos os critérios considerados no modelo de

implantação, englobando tanto os fatores tecnológicos quanto os não tecnológicos (organizacionais) da implantação da Indústria 4.0, exerceram influência positiva na produtividade organizacional. Os resultados da investigação, com base na modelagem de equações estruturais, revelaram os efeitos positivos dos fatores da Indústria 4.0 relacionados à tecnologia — como a *Internet das Coisas*, sistemas ciberfísicos e computação em nuvem — na produtividade. Os resultados também mostraram que esses efeitos são potencializados pelo efeito mediador de mudanças não tecnológicas em modelos de negócios, estruturas e culturas organizacionais, estratégias e mudanças de foco em relação a clientes, produtos e serviços. Assim, todos os fatores considerados devem ser implementados para garantir o sucesso organizacional sustentável a longo prazo.

4.2.3.3 Management

Tortorella *et al.* (2022) investigaram o impacto da adoção da Indústria 4.0 (I4.0) nas capacidades de aprendizagem em empresas de manufatura a partir de uma pesquisa com 129 profissionais de várias empresas de manufatura em diferentes estágios de adoção da tecnologia I4.0. O foco estava no nível de adoção das tecnologias de base I4.0, especificamente IoT, computação em nuvem, *big data* e *analytics*. O estudo usou sete dimensões de aprendizagem como *proxies* para capacidades de aprendizagem, com base em pesquisas anteriores de Marsick e Watkins (2003 *apud* TORTORELLA *et al.*, 2022) e Marsick (2013 *apud* TORTORELLA *et al.*, 2022). Foi empregada uma abordagem de teoria fundamentada para analisar os dados empíricos e propor padrões de dimensões de aprendizagem para diferentes níveis de adoção de tecnologias de base I4.0. O estudo também examinou os níveis de adoção das quatro tecnologias básicas na amostra completa de empresas e em *clusters* com base nas pontuações de adoção de tecnologia. Os achados contribuíram para um referencial teórico para a compreensão do desenvolvimento da aprendizagem em organizações que implementam I4.0. O questionário consistiu em três partes: a primeira reuniu informações demográficas sobre os participantes e suas organizações; a segunda avaliou o nível de adoção das tecnologias de base I4.0 usando uma escala de 5 pontos; e a terceira integrou itens do *Dimensions of Learning Organization Questionnaire* (DLOQ) para medir as condições de aprendizagem. Análise Fatorial Exploratória (EFA) foi realizada nas tecnologias de base I4.0; já a Análise Fatorial Confirmatória (CFA), nos construtos das dimensões de aprendizagem. Modelos de regressão ponderada localmente (*Locally Estimated Scatterplot Smoothing* – LOESS) foram usados para examinar a relação entre o desenvolvimento das dimensões de aprendizagem e o nível de

adoção das tecnologias de base I4.0. O estudo identificou um padrão de curva S girado no desenvolvimento das dimensões de aprendizagem durante a adoção do I4.0, compreendendo três estágios: iniciante, em transição e avançado. Esse padrão sugere um rápido desenvolvimento da aprendizagem no estágio inicial, seguido de estagnação e subsequente exploração.

O estudo de Mayer e Oosthuizen (2022) revelou conclusões práticas sobre o modelo CIBART (*Conflict, Identity, Boundaries, Authority, Roles, Task*) em uma empresa de engenharia alemã na África do Sul, destacando a relevância de todos os elementos desse modelo durante a transição para níveis tecnológicos mais avançados e processos de reestruturação. Os avanços tecnológicos da Quarta Revolução Industrial levaram a novos níveis de dinâmica inconsciente dentro das organizações. Os conflitos sociais e as questões infraestruturais têm afetado diretamente as organizações, causando conflitos e dificultando o desenvolvimento. O medo de ficar para trás cria conflitos interpessoais e intrapessoais. A compreensão complexa das identidades organizacionais, gerenciais e individuais é essencial, na medida em que elas mudam do local para o global, envolvendo conhecimento tecnológico. A autoridade baseada na tecnologia substitui a autoridade humana, mudando as funções de gestão. Gerenciar essa mudança é crucial, treinando os empregados para navegar e influenciar positivamente a dinâmica inconsciente. O modelo CIBART pode ajudar a compreensão do impacto nos processos em curso da Quarta Revolução Industrial. Foram oferecidas recomendações para lidar com as influências psicodinâmicas nos sistemas organizacionais.

4.2.3.4 Artificial Intelligence (AI)

A partir de informações dispersas de literatura científica e de artigos de notícias, a pesquisa de Lee e Lim (2021) identificou questões cruciais relacionadas à Indústria 4.0, abrangendo avanços tecnológicos e implicações sociais. O estudo empregou uma abordagem de mineração de texto utilizando algoritmos de aprendizado de máquina não supervisionados para analisar um conjunto de dados composto por 660 artigos de periódicos e 3.901 artigos de notícias, coletados até setembro de 2018, que resultou na identificação e classificação de 31 questões que foram organizadas em uma estrutura hierárquica de cinco níveis: 1) desenvolvimento de infraestrutura para conectividade; 2) desenvolvimento de inteligência artificial para facilitar a tomada de decisão baseada em dados; 3) otimização de sistemas e processos; 4) promoção da inovação industrial; e 5) avanço da sociedade como um todo. O

estudo também propôs uma estrutura abrangente para convergência dentro da Indústria 4.0, que abrangeu seis dimensões: conexão, coleta, comunicação, computação, controle e criação.

O estudo de Arias-Perez e Velez-Jaramillo (2022) utilizou a lente dupla da visão baseada em conhecimento (*Knowledge-based View* – KBV) e da teoria dos custos de transação (*Transaction Cost Theory* – TCT) para analisar o efeito moderador da síndrome do ‘não inventado aqui’ (*Not-Invented-Here Syndrome* – NIHS) na relação entre a orientação digital e o desempenho da inovação quando há mudança na conscientização sobre inteligência artificial e robótica do empregado (*Employee’s Artificial Intelligence Awareness* – EAIA), por meio de um modelo estatístico de interação de três vias que foi testado em empresas manufatureiras e de serviços, localizadas na Colômbia, de setores nos quais a adoção de robôs inteligentes está crescendo. As principais conclusões sugeriram que, quando a consciência sobre inteligência artificial e robótica do empregado é alta, o impacto negativo da síndrome do ‘não inventado aqui’ é mais forte, ou seja, esse nível alto de consciência desencadeia e intensifica comportamentos organizacionais oportunistas, como a NIHS. Programas de treinamento podem ajudar os empregados a adquirir novas competências e reduzir a tal resistência aos processos de inovação, além de criarem oportunidades para a realocação de profissionais para outros cargos, quando necessário. No entanto, o principal benefício de tais programas deveria ser a promoção de uma cultura de transparência, em que empregados avaliassem previamente os riscos ligados à automação inteligente de suas tarefas. Por fim, os achados demonstraram que, no processo de transformação digital, nem o discernimento nem as emoções dos indivíduos devem ser menosprezadas.

Considerando a influência das condições da pandemia na manutenção preditiva, o que levou as organizações a investirem em iniciativas de transformação digital, Chen *et al.* (2021) propuseram uma estrutura de suporte à decisão baseada em inteligência artificial focada em humanos, permitindo a manutenção preditiva na gestão de ativos para pequenas e médias empresas durante ambientes pandêmicos. Por meio de avaliações com bancos de dados de referência e do mundo real, os autores desenvolveram um modelo de conjunto de espaço de conhecimento de comportamento baseado em confiança (*Trust-based Behavior Knowledge Space* – T-BKS), juntamente a uma abordagem centrada no ser humano para suporte à decisão em situações dinâmicas durante pandemias, cuja estrutura demonstrou uma vantagem significativa ao incorporar o conhecimento tácito do especialista no domínio e o recurso *human-in-the-loop*. Os benefícios da transformação digital foram validados por meio da colaboração com uma empresa, incluindo redução de custos de inatividade, melhor agendamento e eficiência

de planejamento e melhor utilização de trabalhadores do conhecimento, principalmente em pequenas e médias empresas que enfrentaram reduções de força de trabalho em situações de pandemia.

Por meio de revisão sistemática e análise da literatura existente, Pereira *et al.* (2023) estudaram 60 artigos publicados em 30 periódicos internacionais de alto impacto, durante um período de 25 anos (1995–2020), com o objetivo de verificar a relação entre inteligência artificial e resultados no local de trabalho a partir das principais funções de gerenciamento de recursos humanos e da estrutura do processo de “antecedentes, fenômenos, resultados” em vários níveis de análise. Os artigos foram categorizados com base em anos de publicação, teorias, métodos e temas-chave em toda a estrutura de “antecedentes, fenômenos, resultados”. Foram pesquisadas diferentes funções de gerenciamento de recursos humanos, enfatizando o tratamento variado da inteligência artificial em cada uma delas e destacando a necessidade de consideração individual ao incorporar tecnologias inteligentes. Foi, também, empregada uma análise temática para ressaltar a natureza do processo das influências da inteligência artificial no trabalho, que explorou *drivers*, fenômenos e resultados relacionados à implementação de inteligência artificial. As técnicas de mineração de dados empregadas no estudo poderão ser úteis na identificação de candidatos e avaliação de perfil, bem como no desenvolvimento de fórmulas de pagamento que equilibrem o desempenho individual e a remuneração. O aprendizado de máquina e o aprendizado profundo poderão ser ferramentas valiosas para a adaptação das abordagens de treinamento dos empregados.

O artigo “*The Fifth Industrial Revolution: How Harmonious Human-Machine Collaboration is Triggering a Retail and Service [R]Evolution*” (NOBLE *et al.*, 2022), ao traçar a história das revoluções industriais, apresentou o conceito da Quinta Revolução Industrial (5IR) e seus potenciais impactos profundos em varejistas e prestadores de serviços. O 5IR gira em torno de colaborações harmoniosas entre humanos e máquinas, enfatizando o bem-estar de várias partes interessadas, como sociedade, empresas, funcionários e clientes. Essa revolução, segundo os autores, significará uma nova maneira de pensar e alavancar as colaborações homem-máquina para melhorar o bem-estar social. Embora as origens exatas do termo permaneçam obscuras, ele tem sido reconhecido em artigos de imprensa e *sites* populares. O campo da pesquisa em manufatura também reconheceu o conceito, com revistas especializadas promovendo pesquisas nessa área. Com base na teoria sociotécnica, a estrutura proposta no estudo destacou a maximização das forças tecnológicas e humanas por meio de colaborações sinérgicas, levando a interações homem-máquina harmoniosas. No 5IR, essas colaborações

serão aproveitadas para alcançar um bem-estar social mais amplo, envolvendo uma ampla gama de partes interessadas. O 5IR levanta questões relevantes para o varejo e serviços, incluindo a motivação dos empregados, pois as máquinas replicam as habilidades humanas, o estabelecimento de alianças efetivas de trabalho entre humanos e máquinas e os possíveis problemas de saúde mental decorrentes dos apegos homem-máquina. A fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas promete maior bem-estar para os atores sociais em todos os setores. Ao delinear essas prováveis implicações do 5IR para varejo e serviços, o artigo estabeleceu um roteiro de como a (r)evolução provavelmente progredirá e ofereceu um conjunto de questões-chave de pesquisa que surgem como resultado.

O objetivo de Kumar e Lee (2022) no artigo “*Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review*” foi obter uma compreensão abrangente das características das interfaces homem-máquina (*Human-Machine Interfaces – HMIs*) em fábricas inteligentes. Para tal, foram selecionados 77 artigos para a realização de uma revisão sistemática da literatura a partir de uma estrutura de pesquisa predefinida. As quatro funções de fábrica inteligente encontradas (operação e supervisão, gerenciamento, serviço de manutenção e segurança cibernética) são compostas por 18 tarefas, incluindo subtarefas e funções. Ademais, 5 modalidades de interação (olhar, voz, gesto, tátil e háptico¹¹) são usadas para executar essas funções e tarefas. O estudo se concentrou em dois aspectos principais das fábricas inteligentes: o sistema de fábrica inteligente, que englobava suas funções, tarefas e tipos de informações, e a HMI, incluindo sua interface e interação com o usuário. Esses fatores foram analisados em relação ao seu impacto nos operadores humanos, tanto do ponto de vista físico quanto cognitivo. É importante observar que o estudo abordou os conceitos e termos examinados — como funções, tarefas, tipos de informação e interação — do ponto de vista de fatores humanos e interação humano-computador (*Human-Computer Interaction – HCI*), em vez de focar apenas nos avanços tecnológicos. A pesquisa permitiu expandir a compreensão das HMIs em fábricas inteligentes.

Feher e Katona (2021) aplicaram o método PRISMA para uma revisão sistemática sobre Inteligência Artificial Sociocultural (SCAI) em que foram analisados 607 artigos de 7 bases de dados acadêmicas na última década. Ao utilizar redes de associação complexas, hierarquia e análise de linha do tempo por meio de modelagem de tópicos LDA (*Latent Dirichlet Allocation*)

¹¹ O termo “háptico” deriva do grego, “*haptēin*”, que significa “acelerar”. Inclui todas as formas de interação com as pontas dos dedos com as quais são operados os dispositivos, independentemente do tamanho ou do tipo de aplicativo. Disponível em: <https://techcd.com.br/noticias/dispositivos-hapticos/#:~:text=O háptico é derivado do, ou do tipo de aplicativo. Acesso em: 6 jun. 2023.>

e detecção de comunidade, foram identificados os 15 principais tópicos de pesquisa SCAI. A linha do tempo dos tópicos de pesquisa emergentes revelou que o ano de mudança para a SCAI foi 2018, principalmente com a Indústria 4.0 governando a inteligência artificial e as cidades inteligentes. Os resultados demonstraram que a economia da inovação e a comunicação humano-robô são temas centrais na pesquisa SCAI, enquanto outros campos de pesquisa exibem graus variados de interconexão. A natureza interdisciplinar da pesquisa SCAI é evidente, com ciências sociais e ciência da computação liderando o caminho, complementadas por contribuições de humanidades, engenharia e medicina. Embora os tópicos relacionados às humanidades sejam esporádicos em muitos casos, há um módulo de estudos culturais pouco conectado representado por arte e emoções. O campo mais intrincado e associado é a “cidade inteligente”, que abrange as indústrias culturais criativas, e a mídia desempenha um papel importante na pesquisa SCAI. A pesquisa SCAI cobriu um amplo espectro de funções e dilemas socioculturais, variando de regulamentações e economia a cidades inteligentes e mídia. Desafios como ambientes imparciais, riscos associados à superinteligência e a prevalência de mídia falsa exigirão pesquisas sobre confiança, sustentabilidade, regulamentação e democracia. O conceito de SCAI e as tendências de pesquisa identificadas podem fornecer suporte valioso para decisões acadêmicas e políticas, particularmente em termos de facilitar processos de adaptação social e culturalmente aceitáveis; identificar e abordar proativamente problemas e preconceitos; reconhecer a necessidade de mudança; informar a formulação de políticas, fornecendo informações valiosas; destacar os valores e vantagens da tecnologia AI.

A metodologia de pesquisa conhecida como análise dimensional estrutural-motórica (*Structural Dimensional Analysis-Motoric – SDA-M*) é empregada para coletar dados específicos do usuário sobre a força das associações entre representações mentais de ações dentro de uma atividade abrangente específica. As informações resultantes sobre o sistema de ação cognitivo-perceptivo fornecem *insights* que podem ser usados para atender às necessidades individuais. O artigo de Streng e Schack (2021) apresentou resultados de dois estudos empíricos que investigaram a relação prática entre os resultados das análises baseadas em SDA-M e a ocorrência de erros humanos em tarefas de montagem manual. Esses estudos violaram deliberadamente certas suposições teóricas dos algoritmos de avaliação baseados em SDA-M para simular cenários do mundo real. Na prática, análises automatizadas de estruturas de representação mental relacionadas à tarefa usando algoritmos como a análise das ações mais prováveis (*Most-Probable Actions – AMPA*) e a análise de probabilidade de seleção de ação correta (*Correct Action Selection Probability Analysis – CASPA*) muitas vezes se desviam das

condições assumidas. Para resolver isso, a precisão das previsões AMPA e CASPA na montagem manual foi examinada empiricamente para duas tarefas distintas. A primeira tarefa envolveu uma montagem *pick-and-place* usando tijolos Lego Duplo, enquanto a segunda tarefa envolveu uma montagem do mundo real usando componentes de uma maquete do sistema de gavetas da empresa Hettich. Ambas as tarefas foram escolhidas com base em sua viabilidade experimental, relevância prática e capacidade de violar diferentes suposições de AMPA e CASPA em graus variados. Uma escala ordinal foi utilizada para avaliar até que ponto cada suposição foi violada nos dois cenários, considerando fatores como completude, independência de contexto e atualidade. As questões de pesquisa foram formuladas como hipóteses: H1 afirmou que avaliações algorítmicas de estruturas de memória baseadas em dados SDA-M corresponderiam a resultados subsequentes de execuções de ações (sucesso ou erro) nas tarefas de montagem. Hipóteses adicionais foram propostas para o estudo Duplo (H2 e H3) e o estudo Hettich (H4) para explorar aspectos específicos relacionados a estruturas iniciais de memória, conhecimento relacionado à tarefa e experiência. Os testes experimentais para o estudo da Hettich ocorreram em um amplo ambiente de trabalho industrial, com duas áreas de montagem separadas e experimentadores dedicados. Os participantes foram recebidos, receberam um questionário para dados demográficos e foram solicitados a dar consentimento informado. O procedimento experimental consistiu em três etapas: instrução relacionada à montagem, introdução do SDA-M e procedimento de divisão e execução de tarefa autossuficiente. Durante a fase de instruções relacionadas à montagem, os participantes receberam instruções impressas e tiveram tempo suficiente para se familiarizar com o processo de montagem. Na introdução do SDA-M e no procedimento de divisão, os participantes foram guiados por um vídeo tutorial explicando o procedimento de divisão e, posteriormente, foram submetidos a um procedimento de divisão do SDA-M específico para o processo de montagem da maquete da gaveta. Por fim, os participantes executaram a tarefa de montagem sob a observação de um experimentador, que interveio e orientou caso os participantes se desviassem das ações pretendidas. Isso facilitou a conclusão dos subconjuntos corretos e garantiu o progresso contínuo ao longo do processo.

O objetivo inicial do estudo de Verma e Singh (2022) foi investigar, por meio da teoria da valência e da teoria componencial da criatividade individual, o impacto de percepções negativas e positivas na intenção dos empregados de trabalhar com robôs colaborativos, também chamados de *cobots*. As habilidades de criatividade de trabalho híbrido, experiência de trabalho híbrido e motivação de tarefa híbrida formam a teoria componencial da criatividade individual. Foram coletados dados de 596 profissionais da Índia, cuja conclusão foi que

habilidades de criatividade de trabalho híbrido e *expertise* de trabalho híbrido contribuíram significativamente para a intenção dos empregados de trabalhar com *cobots*, mas a motivação da tarefa híbrida teve contribuição insignificante. A percepção dos empregados de que a colaboração humano-*cobot* ajudará na obtenção de melhores resultados também aumentou a intenção de trabalhar com *cobots*. Mesmo com as percepções negativas dos empregados acerca de decisões desiguais e discriminatórias dos *cobots*, da qualidade dos dados e aspectos ligados à privacidade e segurança, tais preocupações não têm sido tratadas pelos gerentes, o que tem gerado tensão nas equipes. Assim, a futura colaboração humano-*cobot* deveria concentrar esforços não apenas nos benefícios que os robôs trazem, mas também em aspectos humanos, como habilidades e *expertise*.

No estudo “*A Connective Framework for Safe Human-Robot Collaboration in Cyber-Physical Production Systems*” (ISLAM; LUGHMANI, 2022), uma pesquisa foi realizada usando um *pool* de participantes composto por estudantes universitários e membros do corpo docente. A faixa etária dos participantes situou-se entre 19 e 40 anos, com média de 28,7 anos e desvio padrão de 7,73. Tendo em vista o fato de métricas já existentes não serem aplicáveis, já que o estudo em tela focou em diferentes sequências de tarefas em cada ciclo, em vez de um movimento estereotipado para a conclusão da tarefa, os pesquisadores desenvolveram as próprias métricas com base em trabalhos anteriores. O projeto experimental usou uma abordagem de medida repetida com dois grupos de sujeitos selecionados aleatoriamente. O primeiro grupo (n=11) trabalhou com um *design* de tomada de decisão, enquanto o segundo grupo (n=9) trabalhou com um *design* padrão sem um sistema de tomada de decisão. Os participantes desconheciam a condição atribuída e as métricas sendo medidas. Ambas as medidas quantitativas e subjetivas foram coletadas. As medidas quantitativas incluíram o tempo de tomada de decisão e a precisão, enquanto as medidas subjetivas envolveram a percepção de segurança, conforto e legibilidade com base nas respostas do questionário. A experiência decorreu em várias fases. Inicialmente, ambos os grupos passaram por uma rodada de treinamento para familiarização com a tarefa, realizando-a individualmente sem qualquer auxílio. Posteriormente, os participantes foram pareados com um assistente humano para realizar a tarefa de forma colaborativa, simulando a interação com um robô na fase subsequente. Foram realizadas duas execuções de tarefas, com uma sequência diferente para cada grupo. Os participantes preencheram um questionário após a execução de cada tarefa. Para estabelecer a compatibilidade mental, cada participante teve duas sessões de treinamento com o robô antes de cada execução da tarefa. Para minimizar o viés, a primeira execução da tarefa foi realizada

sem que os participantes soubessem da condição atribuída. Antes do modo alternativo, os participantes foram informados de que o sistema comportar-se-ia de maneira diferente. O questionário teve como objetivo avaliar a satisfação com o robô como companheiro de equipe, bem como a percepção de segurança, conforto e legibilidade. Uma escala Likert de 5 pontos foi usada para os dois questionários. Com base nas medidas dependentes, duas hipóteses principais foram formuladas para o experimento. A primeira hipótese afirmou que o uso de uma estrutura de tomada de decisão para ansiedade levaria a uma colaboração humano-robô mais suave com base em decisões automatizadas oportunas e precisão de abordagem. A segunda hipótese propôs que os participantes estariam mais satisfeitos com o desempenho da estrutura de tomada de decisão, sentindo-se mais confortáveis, seguros e capazes de compreender em comparação com um *Cyber-Physical Production System* (CPPS) que emprega planejamento de tarefas padrão. O tempo de decisão automatizada não foi calculável para ambas as condições devido à incapacidade da abordagem padrão de lidar com situações imprevistas sem intervenção manual. A precisão da abordagem foi determinada dividindo-se o número de erros (situações não tratadas automaticamente) observados durante um ciclo pelo número total de iterações. Cada tentativa gerou intencionalmente pelo menos duas situações para testar a resposta do sistema. Uma estrutura de quatro camadas foi proposta para um CPPS incorporando colaboração humano-robô para enfrentar desafios físicos e psicológicos. Essa estrutura considerou a ansiedade do CPS, que avalia os problemas de segurança combinados enfrentados por um CPS no domínio social. A estrutura executou o plano de produção, monitorou situações de mudança, avaliou a ansiedade e tomou decisões otimizadas usando os recursos disponíveis. Ele combinou conhecimento, inteligência humana, inteligência artificial e técnicas de detecção visual para aprimorar a tomada de decisões no CPPS. O sistema flexível resultante melhorou a resposta a várias situações, levando ao aumento da produtividade. A técnica proposta foi demonstrada em um cenário industrial baseado em *Human-Robot Collaboration* (HRC). Os resultados indicaram que o método foi eficiente, facilitando o HRC fluente e proporcionando conforto, segurança e legibilidade aos agentes colaboradores. Essa técnica oferece uma vantagem no desenvolvimento de mecanismos seguros para fábricas inteligentes, protegendo ativos físicos e trabalhadores humanos, otimizando a eficiência e a produtividade. A metodologia pode ser aplicada a outros contextos industriais onde a ansiedade é uma preocupação primordial para todas as partes colaborativas e os elementos de tomada de decisão do CPS.

4.2.3.5 Impact

Modlinski, Fortuna e Roznowski (2023) tiveram como objetivo em seu estudo demonstrar o impacto do Conflito de Funções Trans Homem-Máquina (*Human-machine Trans Roles Conflict* – HMTRC) na percepção do cliente. O estudo revelou que os clientes viam a rápida integração da força de trabalho digital como uma inovação irresponsável, levando a consequências negativas para as empresas. O HMTRC surge quando tarefas designadas para humanos são delegadas a máquinas, fazendo com que os clientes reconheçam cognitivamente e percebam negativamente esse conflito, experimentem emoções negativas e se comportem contra a empresa envolvida. Em termos práticos, o estudo pretendeu ajudar a construir uma organização tecnologicamente sustentável.

4.2.3.6 Creativity

O estudo de Balkova, Lejskova e Lizbetinova (2022) mapeou os valores que apoiam a criatividade dos empregados na República Tcheca e na Eslováquia, bem como a frequência com que as empresas desses países aplicam tais valores. Os valores relacionados ao apoio à criatividade dos empregados e ao aumento do pensamento inovador foram: significado do trabalho (os empregados sabem o significado de seu trabalho); engajamento; entusiasmo ou paixão; cooperação; reconhecimento (público, pessoal); comunicação aberta; suporte; autonomia; ênfase em saúde; confiança; responsabilidade (sentido interior de responsabilidade). Os achados mostraram que, tanto em empresas tchecas quanto em eslovacas, os valores foram aplicados principalmente com base no conhecimento do significado do trabalho e na ênfase em um ambiente de trabalho seguro. Na República Checa, os valores mais aplicados foram entusiasmo e autonomia, e na Eslováquia, independência no trabalho. Foi comprovada a relação entre tamanho da empresa e emprego dos valores. Em ambos os países, verificou-se que há mais espaço para criar uma cultura corporativa criativa em pequenas e microempresas, devido aos relacionamentos interpessoais e ao compartilhamento de valores como significado do trabalho, comunicação, paixão e apoio. Já em empresas maiores, são mais valorizadas a organização do trabalho, a criação de um ambiente de trabalho seguro, a cooperação e a responsabilidade.

4.2.3.7 Human-resource Management

Os impactos potenciais da Indústria 4.0 na gestão de recursos humanos, notadamente em relação a emprego, perfil de trabalho, requisitos de qualificação e habilidade, e a possíveis implicações no gerenciamento da cadeia de suprimentos, foram analisados por Liboni *et al.* (2019). Os quatro principais temas que emergiram da pesquisa dizem respeito: às mudanças necessárias do ponto de vista educacional, dadas as novas habilidades exigidas e suas consequências para o futuro; às mudanças trabalhistas decorrentes do uso de novas tecnologias, que alteram os padrões de trabalho e criam oportunidades de emprego, afetando não apenas o trabalho manual, pesado e repetitivo, mas também o trabalho intelectual e cognitivo; às condições de trabalho, com ênfase na implementação atual e futura de robôs colaborativos e seus impactos na força de trabalho e no espaço de trabalho; ao significado e à proposta do trabalho, cujas alterações nos sistemas tecnológico, operacional humano ou organizacional afetarão as pessoas no ambiente de trabalho, sem que se conheça, ainda, a relação entre as tecnologias da Indústria 4.0 e os possíveis problemas mentais. Os pesquisadores concluíram que a gestão de recursos humanos deverá sustentar a gestão da cadeia de suprimento em termos de qualificação e educação (competências humanas), de colaboração e integração da gestão da cadeia de suprimentos (competências organizacionais) e de gestão de dados e informações (competências técnicas).

O estudo de Mukhuty, Upadhyay e Rothwell (2022) examinou e organizou os principais desafios e obstáculos relacionados aos recursos humanos no desenvolvimento sustentável da Indústria 4.0, com uma avaliação dos impedimentos humanos para a Indústria 4.0 e uma crítica sobre como a gestão de recursos humanos (*Human Resource Management* – HRM) pode superar essas barreiras usando uma orientação socialmente responsável. Primeiramente, foram analisados os desafios relacionados ao ser humano para a Indústria 4.0 por meio de uma revisão temática da literatura. Posteriormente, por meio de uma revisão integrativa da literatura de diferentes correntes de pesquisa (Indústria 4.0, gestão de recursos humanos e responsabilidade social), novas perspectivas sobre como as práticas de recursos humanos podem permitir o desenvolvimento sustentável da Indústria 4.0 de maneira socialmente responsável foram discutidas criticamente. Foram reveladas barreiras relacionadas às pessoas, incluindo resistência à mudança, lacuna de habilidades digitais, ameaças de emprego que ampliam as desigualdades socioeconômicas, falta de colaboração em toda a indústria, desafios de liderança e cultura organizacional. O estudo demonstrou que, ao implementar as ferramentas e práticas

de recursos humanos propostas, as empresas e os profissionais de RH podem acelerar o progresso da fabricação digital, promovendo o comprometimento dos empregados e o avanço coletivo na Indústria 4.0. Essa abordagem pode beneficiar várias partes interessadas, incluindo empregadores, empregados, clientes e o setor como um todo. O documento enfatizou o papel central da gestão de recursos humanos (*Human Resource Management* – HRM) em permitir o desenvolvimento sustentável da Indústria 4.0 por meio de programas socialmente responsáveis, como colaborações estratégicas, gestão de talentos, liderança em mudanças, compartilhamento de conhecimento, pesquisa educacional e iniciativas de qualificação. A implementação dessas práticas não apenas ajudará na retenção de talentos e reduzirá a rotatividade, mas também contribuirá para os objetivos mais amplos de igualdade, diversidade, inclusão, geração de capital intelectual, cocriação de valor intergeracional, empregabilidade decente e proteção socioeconômica. Nesse estudo, não foram consideradas as variações de estruturas regulatórias e legislativas que regem a gestão de recursos humanos entre os países e sua aplicabilidade ao desenvolvimento da Indústria 4.0. No entanto, investigações futuras sobre esse aspecto serão cruciais para que as autoridades reguladoras e de governança orientem o desenvolvimento sustentável e socialmente responsável da Indústria 4.0 de maneira eficaz.

O artigo “*Green talent management and turnover intention: the roles of leader STARA competence and digital task interdependence*” (OGBEIBU *et al.*, 2022) investigou simultaneamente as dimensões da gestão de talentos, da competência do líder e da interdependência de tarefas no contexto da digitalização, STARA (*Smart Technology, Artificial intelligence, Robotics, Algorithms*) e sustentabilidade ambiental. Para garantir que o capital humano — talentos — seja adequadamente cuidado e retido nas organizações para promover a sustentabilidade ambiental, os autores sugerem que os profissionais e líderes considerem a incorporação de valores característicos da cultura local na gestão “*soft*” de talentos verdes em vez da gestão “*hard*” de talentos verdes, ainda que a gestão “*soft*” gere intenção de rotatividade, tendo em vista que a cultura organizacional hierárquica de uma economia emergente como a Nigéria tem peso e deve ser considerada nas decisões. Devem ser instituídas políticas que promovam o estabelecimento de valores como comunicação eficaz, inclusão de talentos, apoio ao bem-estar dos talentos, já que o controle excessivo dos membros da organização pode resultar em menos comprometimento, menos engajamento no trabalho e maiores intenções de rotatividade. Dado que o ambiente de trabalho é um preditor positivo da intenção de rotatividade, as organizações podem decidir alocar recursos para o desenvolvimento do ambiente de trabalho que apoie a demonstração eficaz e eficiente das competências STARA do

líder, bem como podem dar início a programas de treinamento que aumentem a conscientização, cultivem o interesse ou abracem efetivamente o modelo STARA para reforçar a sustentabilidade ambiental. Em que pese o fato de a gestão “*hard*” de talentos verdes levar à intenção de rotatividade, a implementação da competência STARA do líder e a interdependência de tarefas digitais pode reduzir a influência negativa da gestão “*hard*” de talentos verdes. A conclusão a que chegaram os autores é que organizações que conduzem iniciativas ecológicas por meio de práticas de gerenciamento de talentos ecológicos podem ser capazes de sustentar e reter ainda mais seus talentos, implantando os princípios da competência STARA do líder.

Considerando que a gestão de recursos humanos apresenta desafios significativos na implementação da Indústria 4.0, o estudo de James *et al.* (2022) identificou e priorizou, por meio de uma combinação do método “melhor-pior” (*Best Worst Method* – BWM) e da metodologia DEMATEL, os desafios enfrentados pelos departamentos de gestão de recursos humanos. A análise da DEMATEL revelou que habilidades técnicas inadequadas, falta de conscientização, conquista da confiança dos funcionários, restrições orçamentárias e desafios demográficos são as principais causas desses desafios. O enfrentamento desses desafios pode promover o comportamento ético, o comprometimento de longo prazo dos empregados e a retenção de talentos. A implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 na indústria automobilística indiana exigirá o compromisso da administração em investir no desenvolvimento de RH. Além disso, também será necessária a colaboração entre instituições educacionais e indústrias para atualizar o currículo e incorporar o conhecimento relacionado à Indústria 4.0 no ensino de engenharia. Tais medidas podem ajudar a superar desafios como a falta de conscientização e habilidades técnicas, na perspectiva dos pesquisadores.

A pesquisa de Yalenios e D'Armagnac (2023) utilizou um estudo de caso longitudinal de um único local, para conduzir uma investigação aprofundada dos processos de recursos humanos dependentes do tempo. A empresa focal do estudo foi o local de produção francês de uma empresa industrial internacional especializada na fabricação de componentes para os mercados automotivo e industrial. A seleção do caso em tela foi decorrente dos desafios impostos pela Quarta Revolução Industrial à estratégia de recursos humanos da referida empresa. A coleta de dados foi feita por meio de entrevistas formais, discussões informais, evidências documentais, pesquisas com funcionários e dados observacionais. Em uma primeira fase da coleta de dados, foi estabelecida uma estrutura de identificação de talentos de colarinho azul para iniciar um processo local de gerenciamento de talentos deste público. Como resultado

prático, uma abordagem de gerenciamento de talentos especificamente adaptada para trabalhadores de colarinho azul na unidade francesa foi desenvolvida. Em uma segunda fase, o objetivo foi integrar a abordagem local dentro do grupo maior, conectando os processos locais de gestão de talentos de colarinho azul aos processos globais de gestão de talentos. A análise de dados compreendeu quatro etapas. Inicialmente, foi empregada uma codificação teórica, seguida de uma fase abdução de codificação axial, que ajudou a identificar semelhanças e diferenças entre categorias de primeira ordem e agregá-las em temas de segunda ordem. Para rotular esses temas teóricos de ordem superior, foram examinados os temas empíricos na literatura. Posteriormente, foram considerados os temas de segunda ordem de forma holística, levando à identificação de quatro dimensões teóricas de ordem superior: (a) dinâmica do ecossistema de recursos humanos com foco em três momentos críticos do processo de alinhamento, (b) a fase de exploração colaborativa, (c) a zona colaborativa “sob demanda” e (d) a fase de integração. Dada a importância da cronologia no estudo dos processos de mudança ao longo do tempo, a quarta fase da análise de dados permitiu às pesquisadoras propor um modelo teórico do processo de alinhamento do ecossistema de recursos humanos no contexto da transformação do trabalho. Ao focar na progressão das fases de colaboração no nível micro, o estudo ofereceu informações sobre a complexidade social e o processo de alinhamento que segue uma interrupção no ecossistema de recursos humanos. Especificamente, examinou-se a dinâmica da criação de valor pelas partes interessadas em recursos humanos por meio da exploração, colaboração sob demanda e integração entre fronteiras funcionais. A fase de colaboração sob demanda surgiu como um elemento crucial para o *sensemaking* coletivo e se revelou como uma dimensão estruturante no processo de alinhamento.

4.2.3.8 *Intellectual Capital*

Popkova e Sergi (2020) abordaram o tema “*Intellectual Capital*” no artigo “*Human capital and AI in industry 4.0: convergence and divergence in social entrepreneurship in Russia*”, destacando a importância do capital intelectual para o funcionamento e desenvolvimento do empreendedorismo. Segundo os autores, o capital intelectual cumpre dois importantes papéis — o de criar e interpretar o conhecimento e a informação corporativa que conduzam à inovação, bem como o de impulsionar outras formas de capital (material, financeiro etc.) para a criação de bens e serviços. Com o advento da Indústria 4.0, afirmaram estar surgindo um novo tipo de capital intelectual, a inteligência artificial, uma tecnologia de processamento de informações de modo autônomo que se opõe à inteligência humana. Assim, Popkova e Sergi

(2020) comprovaram sua hipótese de que o empreendedorismo social tirará proveito das tecnologias emergentes da Indústria 4.0, sem, contudo, automatizar completamente suas atividades, lidando simultaneamente com o intelecto humano e a inteligência artificial, na mesma linha defendida por Feng (2019 *apud* POPKOVA; SERGI, 2020, p. 568), para quem as capacidades da AI “são limitadas e sempre serão limitadas”. Outrossim, asseguraram que empresas sociais podem se beneficiar com o uso de inteligência artificial, desde que considerem as particularidades do empreendedorismo social, sugerindo que AI seja aplicada durante os processos de coleta de ordens de bens e serviços sociais, de estudos de *marketing* e de promoção de bens e serviços sociais. O ideal, até 2030, seria o uso do intelecto humano e da inteligência artificial no apoio à decisão intelectual humana.

Outro estudo acerca do capital intelectual foi o elaborado por Tarique Mahmood e Muhammad Shujaat Mubarik (2020) a partir de um levantamento em 217 pequenas e médias empresas do setor manufatureiro do Paquistão. A partir da teoria dos Recursos Baseados em Conhecimento, os autores exploraram a função desempenhada pelo capital intelectual e pela capacidade de absorção de tecnologia no equilíbrio entre a inovação e a exploração na Quarta Revolução Industrial. No estudo, o capital intelectual abarcou as dimensões capital humano (*Human Capital – HC*), capital relacional (*Relational Capital – RC*) e capital estrutural (*Structural Capital – SC*), sendo HC as competências próprias dos empregados, provenientes de educação, experiência, treinamento e habilidades; RC o saber existente nas redes de interrelações e interações, tais como alianças estratégicas, relações com clientes e fornecedores e conhecimento do cliente; e SC o conhecimento institucional empregado por meio de patentes, bancos de dados, estruturas, processos e sistemas, a partir da pesquisa e do desenvolvimento, bem como dos direitos de propriedade intelectual (*Intellectual Property Rights – IPRs*). O equilíbrio entre a inovação e a exploração foi instrumentalizado pela ambidestria organizacional (*Organizational Ambidexterity – OA*), que sugere a divisão de recursos e atenção para atividades de exploração de competências organizacionais já existentes ao mesmo tempo que se empenha na busca de novas oportunidades. Tanto a inovação quanto a exploração requerem estratégias, estruturas de organização e contextos diferentes. Já a capacidade de absorção de tecnologia (*Technology Absorptive Capacity – AC*) foi definida como “a capacidade da empresa de identificar, assimilar e explorar o conhecimento relacionado à tecnologia do ambiente externo” (MAHMOOD; MUBARIK, 2020, p. 6). Como resultado, foi evidenciada uma forte influência de todas as três dimensões do capital intelectual na ambidestria das organizações, tanto de forma geral quanto em cada dimensão específica. Além disso, os resultados mostraram

um papel mediador parcialmente significativo da capacidade de absorção de tecnologia na relação entre o capital intelectual e a ambidestria. Os achados ressaltaram a importância de políticas específicas voltadas para o desenvolvimento do capital intelectual de uma empresa, o que, por sua vez, pode permitir um equilíbrio entre inovação e atividades de exploração de mercado. O estudo também destacou a integração da capacidade de absorção de tecnologia com a relação entre capital intelectual e ambidestria organizacional, considerada uma contribuição inovadora desta pesquisa.

A pesquisa de Bogoviz (2020) pretendeu identificar as direções potenciais para a regulação estatal da competição entre capital intelectual humano e artificial no contexto da Indústria 4.0, bem como procurou desenvolver recomendações científicas e metodológicas para a implementação dessa regulamentação. As tarefas de pesquisa incluíram: identificar e descrever as direções da regulamentação estadual; realizar o monitoramento da competição entre capital intelectual humano e artificial na Rússia contemporânea (2019); e formular recomendações científicas e metodológicas para regulamentação estatal e testá-las usando o exemplo da Rússia moderna (2019). O método empregado foi a avaliação de especialistas para coletar informações e dados empíricos. Bogoviz (2020) avaliou os indicadores relativos à direção da regulação em uma escala de 1 a 100 para garantir a compatibilidade dos dados. A análise comparativa foi usada para avaliar o sucesso da implementação das diretrizes da regulamentação estadual com base em estatísticas oficiais e avaliações das partes interessadas, incluindo uma previsão futura até 2045. Os resultados enfatizaram a necessidade de considerar dados abrangentes além das estatísticas oficiais para avaliar a regulamentação estadual na Indústria 4.0. As direções de perspectiva identificadas para a regulamentação estatal incluíram estimular a concorrência no mercado de capital intelectual, gerenciar riscos sociais e ecológicos e supervisionar a concorrência internacional. A pesquisa destacou que as medidas existentes para regular a concorrência entre capital intelectual humano e artificial são insuficientes na Rússia moderna, e, à medida que a Indústria 4.0 avança, sua deficiência aumentará. Portanto, uma abordagem estratégica será necessária, envolvendo reconsideração sistêmica, suplementação e o algoritmo proposto pelo autor.

O estudo “*Value creation during fourth industrial revolution: Use of intellectual capital by most innovative companies of the world*” (LI et al., 2021) teve como objetivo investigar a relação entre capital intelectual (*Intellectual Capital – CI*), criação de valor (*Value Creation – VC*) e o desempenho de empresas globais altamente inovadoras. A análise foi feita com base nas 100 maiores empresas inovadoras de diferentes países e setores, indexadas pela Forbes em

2016, para o período entre 2011 e 2015, usando o modelo de regressão *Pooled OLS*. Os resultados da pesquisa indicaram uma associação positiva entre a eficiência do capital humano (*Human Capital Efficiency – HCE*) e a eficiência do capital empregado (*Capital Employed Efficiency – CEE*) com o desempenho das empresas entre aquelas mais inovadoras do mundo. No entanto, o capital estrutural (*Structural Capital – SC*) pareceu não influenciar seu desempenho, pois a avaliação de mercado não o considerou. O capital estrutural eficiente, abrangendo sistemas, bancos de dados, marcas registradas e patentes, pode melhorar o desempenho de uma empresa. O estudo frisou ainda a importância do capital relacional na criação de valor para as empresas, sugerindo que as empresas inovadoras atribuem mais recursos a ele. Outros componentes do capital intelectual (*Intellectual Capital – IC*) e do capital intelectual com valor agregado modificado (*Modified ValueAdded Intellectual Capital – MVAIC*) não contribuíram significativamente para a criação de valor (*Value Creation – VC*) em empresas altamente inovadoras. Além disso, o estudo revelou uma relação positiva entre MVAIC e desempenho da empresa, enquanto uma associação negativa foi observada entre VC e desempenho da empresa. Essa discrepância pode ser atribuída à amostra internacional diversificada de empresas com foco em inovação e criação de valor. Um capital estrutural eficiente, incluindo sistemas, bancos de dados, marcas registradas e patentes, pode equipar as empresas para enfrentar os desafios dessa revolução, concluíram os autores. Por fim, o estudo defendeu que as políticas de inovação são críticas e exigem uma revisão rigorosa da alta administração para enfrentar os desafios da Quarta Revolução Industrial, que é fortemente baseada em inovação e exige novas competências.

O objetivo da pesquisa de Gashenko *et al.* (2020) foi investigar, sistematicamente, as implicações da automação abrangente do empreendedorismo nas partes interessadas, particularmente com foco na competição entre capital intelectual humano e artificial na produção e distribuição no contexto da Indústria 4.0. O estudo abordou dois pontos principais: i. modelagem da dinâmica competitiva entre capital intelectual humano e artificial na produção e distribuição na Indústria 4.0; e ii. gerenciamento proativo da competição entre capital intelectual humano e artificial na produção e distribuição dentro da Indústria 4.0, partindo da hipótese de que as consequências da competição entre capital intelectual humano e artificial na Indústria 4.0 variam em termos de vantagens, desvantagens, custos e externalidades. A hipótese foi fundamentada por meio de análise de cenário, análise de regressão, modelagem de imitação, previsão e otimização multiparamétrica não linear empregando o método simplex. Foram empreendidas quatro etapas sequenciais: 1. seleção de indicadores que caracterizam a

competição entre capital intelectual humano e artificial na Indústria 4.0 na produção e distribuição e suas consequências para empregadores, empregados e Estado; 2. desenvolvimento de cenários que retratam o desenvolvimento potencial da competição entre o capital intelectual humano e artificial na Indústria 4.0, analisando separadamente as consequências na produção e distribuição enquanto determina as características das variáveis dos fatores para cada cenário; 3. compilação de previsões para os cenários com base nas dependências estabelecidas, inserindo variáveis de fator em equações de regressão e determinando valores de variáveis dependentes; 4. avaliação qualitativa de cenários e seleção do cenário ótimo usando o método simplex para maximizar consequências positivas e minimizar consequências negativas. O estudo se concentrou nos países com a Indústria 4.0 mais avançada em termos de indicadores selecionados de automação de produção e distribuição em 2019. Os resultados da pesquisa demonstraram que, ao contrário das perspectivas existentes sobre a competição entre capital intelectual humano e artificial na Indústria 4.0, a automação da distribuição, em vez da produção, é preferível. Essa preferência surge da competitividade relativamente baixa do capital intelectual humano na produção em comparação com fábricas ‘inteligentes’ controladas por inteligência artificial e outros setores intelectuais. Por outro lado, na distribuição, o intelecto humano tem valor igual ao da inteligência artificial, e seu potencial cresce por meio da colaboração. Tecnologias como *Internet*, RFID e CRM contribuem para a impessoalidade e redução do valor do produto para os consumidores. No entanto, uma abordagem individualizada, comunicação interpessoal e criatividade ativa podem aumentar a criação de valor, um aspecto essencial da Indústria 4.0. O cenário com maior nível de automação favorece a superação do desemprego, e não sua exacerbação, diferenciando-o de outros cenários da Indústria 4.0. Isso destaca o aumento do valor do capital intelectual humano na distribuição quando combinado com automação baseada em inteligência artificial, levando a uma conclusão inovadora na ciência econômica moderna. Dessa forma, é possível alcançar a otimização das consequências sociais por meio do estímulo à automação da distribuição, ao mesmo tempo, limitando a automação na produção.

A pesquisa “*Industry 4.0 and intellectual capital in the age of FinTech*” (WANG *et al.*, 2021) utilizou dados secundários extraídos de relatórios anuais de bancos comerciais listados nas principais bolsas de valores da região da SAARC (*South Asian Association for Regional Cooperation*) do ano fiscal de 2008 ao ano fiscal de 2018. A seleção dos países seguiu uma abordagem tripla com base na classificação da renda econômica, classificação regional e presença de um sistema bancário dual. Devido à falta de um banco de dados centralizado, os

dados precisaram ser coletados dos relatórios anuais da empresa. Foi empregada a análise de dados de painel e metodologia econométrica para examinar a prevalência de ativos intangíveis e estratégias de investimento em tecnologia da informação ao longo do tempo. As variáveis dependentes escolhidas foram o capital intelectual e a vantagem competitiva, enquanto as variáveis de controle incluíram fatores macroeconômicos, no nível da empresa e no nível da indústria. A pesquisa testou empiricamente a hipótese de que os ativos intangíveis, particularmente aqueles relacionados a investimentos em planejamento de recursos empresariais/tecnologia da informação, contribuem para o capital intelectual, vantagem competitiva e desempenho do banco em várias categorias. As descobertas sugeriram que, embora os ativos intangíveis e o investimento em tecnologia da informação não tenham afetado o capital intelectual de valor agregado (*Value Added Intellectual Capital – VAIC*) geral ou seus subcomponentes, eles afetaram significativamente a vantagem competitiva. Notavelmente, os bancos islâmicos exibiram características únicas em termos de investimento em tecnologia da informação e capital intelectual. O estudo também revelou que a tecnologia beneficia os bancos em crescimento durante uma fase de crescimento, enquanto o posicionamento na indústria é crucial para o impacto positivo do investimento em planejamento de recursos empresariais/tecnologia da informação. Essas descobertas destacaram a necessidade de mudanças no modelo de negócios, parcerias estratégicas com empresas tecnológicas e fusões e aquisições para se adaptar à Indústria 4.0. Além disso, processamento de *big data* e regulamentação apropriada serão necessários para aumentar a eficiência, reduzir custos e mitigar riscos sistemáticos, priorizando a proteção do cliente. O setor bancário deve manter a competitividade, fomentar a inovação e garantir a segurança em meio aos avanços tecnológicos, visando ao aumento das receitas e à redução dos custos operacionais.

O estudo de Lobova *et al.* (2020) adotou uma abordagem hipotético-dedutiva e concentrou-se em uma hipótese ampla: o potencial das tecnologias de máquinas para contribuir para o desenvolvimento de ativos intangíveis por meio da aplicação de abordagens científicas e metodológicas adequadas. Para testar essa hipótese e tirar conclusões no contexto da economia global moderna representada pela Indústria 4.0, foram realizadas pesquisas internacionais em vários países. O IMD¹² *World Digital Competitiveness Ranking* 2019 serviu

¹² O IMD *World Digital Competitiveness Ranking*, produzido pelo *Institute for Management Development World Competitiveness Center*, mede a capacidade e a prontidão de 63 economias para adotar e explorar tecnologias digitais como um fator-chave para a transformação econômica nos negócios, no governo e na sociedade em geral. Disponível em: <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/#:~:text=Now in its sixth year,business%2C government and wider society>. Acesso em: 6 jun. 2023.

como fonte de informações e dados empíricos. Considerando a hipótese abrangente, várias hipóteses específicas foram examinadas: H1 enfocou o papel das tecnologias de máquinas em promover a criação de ativos intangíveis com apoio financeiro suficiente; H2 examinou as contribuições variadas da robótica e da inteligência artificial; H3 explorou a utilização de tecnologias de máquinas quando o mecanismo para a criação de ativos intangíveis por empregados estava subdesenvolvido; H4 investigou a criação de ativos intangíveis específicos em uma sociedade digital desenvolvida; H5 avaliou a influência de disposições normativas e legais na criação de ativos intangíveis; e H6 examinou os diferentes efeitos das tecnologias de máquinas em vários tipos de intangíveis ativos. Foram empregadas técnicas de análise de regressão e análise comparativa para validar as hipóteses de 1 a 5. Foram determinados os fatores que definem a contribuição das tecnologias de máquinas nesse processo e suas vantagens competitivas em relação ao capital intelectual humano durante a criação de ativos intangíveis. Tais vantagens comprovaram a possibilidade e conveniência da divisão do trabalho humano e da máquina durante a criação de ativos intangíveis.

4.2.3.9 Determinants

O trabalho “*Management approaches for industry 4.0: the organizational culture perspective*”, de Mohelska e Sokolova (2018), reforçou que o conceito de Indústria 4.0 requer inovação e educação contínuas que não dependem apenas das habilidades das pessoas, mas também da cultura organizacional e a importância de abordagens gerenciais apropriadas para o desenvolvimento dessa cultura organizacional. As autoras abordaram o conceito da Quarta Revolução Industrial e suas implicações para a cultura organizacional e abordagens gerenciais. Em linha com o estudo de Schneider (2018), elas afirmaram que muitos estudos têm se concentrado nos aspectos técnicos da Indústria 4.0, mas têm negligenciado a importância das abordagens gerenciais e da cultura organizacional para uma implementação bem-sucedida, tendo em vista esse novo modelo requerer inovação contínua, educação e uma cultura organizacional de apoio. Realizado na República Tcheca, o estudo aplicou uma pesquisa por questionário que incluiu três questões demográficas; cinco questões referentes às características da organização em que o respondente trabalhava; o nível de cultura organizacional medido pelo Índice de Cultura Organizacional (*Organizational Culture Index – OCI*), uma tradução tcheca do Questionário de Wallach (1983 *apud* MOHELKA; SOKOLOVA, 2018); e uma pesquisa de satisfação no trabalho, cujos resultados não foram incluídos no artigo. Wallach (1983 *apud* MOHELKA; SOKOLOVA, 2018) categorizou a cultura organizacional em três dimensões:

burocrática, solidária e inovadora, apresentando a cultura burocrática como uma estrutura hierárquica com uma cadeia de comando claramente definida e altos níveis de organização. Por outro lado, a cultura de apoio é a que enfatiza as relações interpessoais, caracterizadas por confiança mútua, encorajamento e cooperação. Enfim, a inovadora constitui uma cultura dinâmica, que estimula a criatividade, apresenta novos desafios e incentiva a tomada de riscos. No estudo, foram examinados o nível de cultura organizacional e as abordagens gerenciais em relação à Indústria 4.0, com resultados indicando que os respondentes perceberam suas organizações como sendo estabelecidas, sólidas, regulamentadas, orientadas para resultados, seguras e colaborativas, porém mais burocráticas do que inovadoras, uma vez que as características da cultura inovadora não estavam tão acentuadas. Não houve diferenças significativas nas percepções de mulheres e homens, mas houve diferença significativa em termos de faixa etária — entre os jovens, a expectativa de uma cultura inovadora e solidária esteve acima da média, enquanto os mais velhos não seguiram o mesmo padrão. O artigo também sugeriu que há uma necessidade de mudar as abordagens gerenciais para apoiar as soluções inovadoras necessárias para a implementação efetiva da Indústria 4.0. Além disso, o texto discutiu a importância do envolvimento da alta administração, das atividades de gerenciamento de mudanças e do treinamento e desenvolvimento dos empregados para a realização do potencial da Indústria 4.0. Ainda enfatizou os benefícios econômicos, ambientais e sociais associados. Também se constatou haver uma lacuna significativa entre a cultura organizacional atual e os requisitos da Indústria 4.0, o que exigirá uma mudança nas abordagens gerenciais para promover a inovação e apoiar a implementação bem-sucedida. Por fim, a investigação mostrou que existe uma oportunidade de melhoria na disseminação de informações sobre a Indústria 4.0 para as equipes, com a maioria das empresas (56%) relatando falta de conscientização entre os empregados de que a tendência da Indústria 4.0 é um fator motivacional para a força de trabalho.

4.2.4 Cluster 4 Recursos Humanos no contexto da Indústria 4.0

O *cluster 4* é representado pela cor amarela no mapa de visualização de rede de coocorrências. Nesse agrupamento foram relacionados 12 artigos que contêm 7 termos mais recorrentes, sendo “*Challenges*” aquele com maior número de ocorrências, 31 no total. “*Big data*”, “*Internet*”, “*Supply Chain*”, “*Design*”, “*Knowledge Management*” e “*Smart*” são os demais termos desse agrupamento. Os artigos do *cluster 4* tratam dos desafios gerenciais subjacentes à Indústria 4.0, bem como de tópicos ligados à gestão do conhecimento, a

dimensões inteligentes, à relação entre a Indústria 4.0 e cadeia de suprimentos e a potenciais impactos da adoção de uma Renda Básica Universal, entre outros.

4.2.4.1 Challenges

O termo “*Challenges*” remeteu ao artigo “*Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field*”, de Paul Schneider (2018). Ao considerar que os estudos sobre a Indústria 4.0 têm concentrado esforços na investigação de aspectos técnicos, com orientação eminentemente tecnológica, mas têm negligenciado os desafios gerenciais subjacentes a esse novo paradigma, o autor explorou 18 desafios gerenciais da Indústria 4.0, divididos em seis grupos interrelacionados: estratégia e análise; planejamento e implementação; cooperação e redes; modelos de negócios; recursos humanos; e mudança e liderança. O desafio relativo à estratégia e análise compreendeu os aspectos relativos à tomada de decisão, ou seja, como as empresas deverão abordar e lidar com o tópico da Indústria 4.0 em termos gerais, antes de investir em tecnologias específicas, parcerias estratégicas ou qualificação de empregados (SCHNEIDER, 2018). O autor acrescenta que, uma vez tomada a decisão sobre um caminho de transformação estratégica, o segundo grupo de desafios gerenciais, mais específicos, aprofundou os temas afetos a planejamento e implementação dessa transformação estratégica. Já um terceiro grupo de desafios gerenciais, conforme o autor, relacionou-se à importância da cooperação e das redes, um fator estratégico de sucesso, já que se supõe que os esforços individuais específicos da empresa resultarão em apenas soluções isoladas que poderão não ser capazes de alavancar todo o potencial da Indústria 4.0. O quarto grupo de desafios gerenciais explorou a necessidade de inovação dos modelos de negócios, os quais determinarão a profundidade da revolução e o ritmo da mudança, já que a tecnologia é vista apenas como o facilitador e se desenvolverá de maneira evolutiva (SCHNEIDER, 2018). Com tais mudanças nos modelos de negócios, conforme Schneider, uma organização fortalecida com relação às redes colaborativas, a importância relativa do *software* em oposição ao *hardware* e a implementação de tecnologias de mudança de processo, a Indústria 4.0 potencialmente terá um forte impacto em recursos humanos, um quinto grupo de desafios gerenciais. O autor assinala que todos os aspectos apresentados anteriormente desencadearam um sexto grupo de desafios gerenciais, qual seja, o relativo às mudanças organizacionais e culturais, que precisarão ser governadas e controladas pelos gerentes, levando em consideração possíveis problemas de aceitação e tendências de inércia. A revisão sistemática da literatura

sobre os desafios gerenciais da indústria 4.0 conduzida por Schneider foi seguida de uma triangulação dos dados por meio de pesquisa *on-line* com especialistas e acadêmicos, a qual possibilitou qualificar os desafios identificados em termos de importância prática e necessidade futura de pesquisa, aumentando, assim, a confiança da análise. Os resultados evidenciaram diferenças de visão entre fornecedores e usuários de tecnologia, com o primeiro público mais interessado nos desafios relacionados aos modelos de negócios, e o segundo, em temas relacionados a aceitação, mudança cultural e impacto no mundo do trabalho. Tanto os *experts* quanto os acadêmicos avaliaram “criar aceitação para a mudança”, “desenvolver recursos digitais” e “desenvolver novos modelos de negócios” em níveis significativamente maiores que todos os outros desafios, bem como avaliaram “decidir sobre fazer ou comprar” em nível significativamente menor do que todos os outros desafios. Foram levantados três enfoques sobre a necessidade de pesquisa no futuro: a pesquisa para aprimorar a prática, que identifique e desenvolva casos de usos específicos, que avalie o impacto da Indústria 4.0 na vida profissional e que estabeleça uma cultura de experimentação, assunção de riscos e colaboração; a pesquisa de aprimoramento do conhecimento, que possa desenvolver um caminho de transformação estratégica e planejar caminhos de migração para implementação; e a pesquisa de alto impacto, que resulte em desdobramentos para os modelos de negócios atuais e proponha novos modelos, que crie aceitação para mudanças e combata a inércia organizacional, que idealize o futuro ambiente de trabalho e aperfeiçoe os conhecimentos de seus profissionais, bem como construa capacidades digitais no nível organizacional.

A Renda Básica Universal (UBI) ganhou atenção significativa e tem gerado debates nos últimos anos. O artigo “*Analysing the impacts of Universal Basic Income in the changing world of work: Challenges to the psychological contract and a future research agenda*” (PERKINS *et al.*, 2022) teve como objetivo explorar as implicações da Renda Básica Universal no contrato psicológico, tanto do ponto de vista do empregado quanto do empregador. O contrato psicológico refere-se às expectativas e obrigações não escritas entre os empregados e suas organizações e desempenha um papel crucial na formação do relacionamento entre empregados e organizações, abrangendo as expectativas e obrigações mútuas que influenciam seus comportamentos e atitudes. Os debates em torno da UBI têm se concentrado em seu impacto nos mercados de trabalho e no bem-estar social. A influência da UBI no contrato psicológico tem implicações práticas e estratégicas significativas para a gestão de RH. Os pacotes de RH e as abordagens suaves de gestão de recursos humanos alinhadas com o desenvolvimento e manutenção do contrato psicológico podem ser exploradas, ao mesmo tempo que estendem os

sistemas de RH além dos limites organizacionais para influenciar o capital humano externo. Adotar a UBI de uma perspectiva de RH “*hard*” pode polarizar as carreiras, enquanto a automação pode reduzir a necessidade de trabalhadores menos qualificados. Tendo em vista a tensão própria da instabilidade e insegurança causadas por fatores como *downsizing* e estruturas organizacionais fragmentadas, atender às expectativas dos empregados e promover o comprometimento continua sendo um desafio para a gestão de recursos humanos e organizações em mercados voláteis. É improvável que a UBI mude as filosofias de RH de longa data, mas as organizações que dependem de empregados de baixa remuneração podem precisar ajustar seus termos e condições para manter a motivação. A reestruturação na função de RH pode ser necessária, especialmente nas fases de pré-contratação, recrutamento e socialização, em que o impacto da UBI nas motivações para o trabalho pode influenciar as expectativas e promessas iniciais na relação empregado-empregador.

4.2.4.2 *Big data*

O estudo de Omar, Minoufekar e Plapper (2019) investigou a área de *business analytics* na indústria de manufatura, baseado em uma definição abrangente de *business analytics*, que estende sua aplicabilidade para abordar os componentes e participantes específicos envolvidos no setor de manufatura. Vários domínios de fabricação foram examinados para identificar casos em que *business analytics* pode servir como um fator diferenciador, com exemplos de sucesso destacados sempre que possível. As descobertas revelaram que a adoção de *business analytics* na manufatura é esporádica, principalmente limitada a iniciativas departamentais, em vez de ser adotada como um esforço empresarial holístico. Essa limitação é atribuída a vários desafios, incluindo a presença de sistemas de TI herdados incompatíveis, comunicação interdepartamental inadequada e falta de envolvimento dos executivos seniores — todos cruciais para a transição para a tomada de decisões e ações baseadas em evidências. Consequentemente, o estudo concluiu que a superação de três barreiras principais será essencial para alcançar a liderança de mercado por meio da utilização eficaz de *business analytics*. A primeira barreira envolve a padronização tecnológica, abrangendo coleta, agregação e armazenamento de dados, exigindo um afastamento de sistemas de TI desatualizados e silos de dados fragmentados. A segunda barreira gira em torno da promoção de uma cultura organizacional que priorize a tomada de decisões, ações e compartilhamento de informações baseadas em evidências, ao mesmo tempo que facilita a interoperabilidade perfeita dentro e fora dos limites organizacionais. Ao estabelecer esse ambiente, as empresas podem aproveitar

business analytics para atender a consultas críticas de negócios e obter *insights* e recomendações acionáveis. Por fim, a terceira barreira refere-se à monetização de dados e *business analytics* por meio de modelos de negócios inovadores, permitindo que as empresas criem valor e ganhem vantagem competitiva em mercados anteriormente inexplorados. Essa abordagem estratégica permite a diferenciação entre ofertas comparáveis e assegura uma posição de liderança no mercado.

4.2.4.3 Supply Chain

O artigo “*Evaluate the challenges of sustainable supply chain 4.0 implementation under the circular economy concept using new decision-making approach*” (XIN; LANG; MISHRA, 2022) propôs uma estrutura inovadora para avaliar os desafios enfrentados pela Cadeia de Suprimentos 4.0 no contexto de *q-Rung Orthopair Fuzzy Sets* (q-ROFSs). A estrutura combinou a técnica *Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis* (SWARA) e a abordagem *Complex Proportional Assessment* (COPRAS). O processo SWARA estendido foi usado para determinar a importância dos critérios com base nas preferências dos especialistas e foi validado empiricamente através de um estudo de caso conduzido sob condições q-ROFSs. Também foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar a estabilidade do método proposto com valores de parâmetros variáveis. Inicialmente, uma pesquisa abrangente da literatura identificou um conjunto de 24 desafios mais críticos da cadeia de suprimentos 4.0 em empresas de manufatura dentro do conceito de economia circular, incluindo questões de segurança, agilidade e flexibilidade, falta de pesquisa e desenvolvimento (P&D) na adoção da Indústria 4.0, benefícios econômicos pouco claros de investimentos digitais, alta volatilidade, falta de visão e estratégia, falta de apoio governamental e políticas, falta de competência na adoção de novos modelos de negócios, ausência de padrões globais e protocolos de compartilhamento de dados, falta de conhecimento, ausência de cultura digital, falta de planejamento, questões legais, falta de compartilhamento de informações, excesso de confiança nos fornecedores, baixo suporte gerencial e dedicação, falta de integração, restrições financeiras, compreensão limitada das implicações da Indústria 4.0, infraestrutura inadequada e redes baseadas na *Internet*, baixa qualidade dos dados existentes, busca de soluções mágicas e questões de complexidade. A estrutura integrada proposta, baseada nos métodos SWARA e COPRAS aplicados a q-ROFSs, permitiu analisar e avaliar esses desafios. O SWARA serviu para obter as preferências dos especialistas em decisão na determinação dos pesos dos critérios, enquanto o COPRAS

possibilitou avaliar os desafios da cadeia de suprimentos 4.0. Segundo a análise, falta de visão e estratégia foi considerado o principal desafio, seguido pela falta de colaboração e coordenação, falta de infraestrutura e redes baseadas na *Internet*, baixa qualidade dos dados existentes, falta de conhecimento, falta de compartilhamento de informações e outros. Para confirmar a validade dos resultados, foram realizadas análises de sensibilidade e estudos comparativos, demonstrando que a estrutura proposta no artigo foi de maior consistência e força em comparação com outras abordagens predominantes.

Visando desvendar os fatores comportamentais indispensáveis para a adoção da Indústria 4.0 (I4.0) e retratar uma relação hierárquica entre esses fatores, o estudo de Taqi *et al.* (2023) identificou treze fatores comportamentais que desempenham um papel crítico na adoção da Indústria 4.0 (I4.0). Inicialmente, uma extensa revisão da literatura foi conduzida para identificar o comportamento crítico para a adoção da I4.0. Em seguida, foi empregada uma estrutura de suporte à decisão que combinou o método Delphi e uma abordagem modificada do DEMATEL para estabelecer correlações entre esses componentes comportamentais. Os resultados indicaram que a “comunicação” foi o fator comportamental mais crucial na adoção da I4.0, seguido por “treinamento I4.0” e “resistência a iniciativas I4.0”. Além disso, o estudo empregou diagramas de relações causais para representar visualmente as conexões entre esses fatores comportamentais. Cabe destacar que nem todos os fatores comportamentais podem ser igualmente relevantes para todas as organizações, e a relevância de fatores específicos também pode variar entre diferentes países. Por exemplo, o treinamento I4.0 pode ser mais acessível em países desenvolvidos em comparação com países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. Portanto, o estudo pode embasar a pesquisa sobre adoção da I4.0 e auxiliar em sua implantação, já que esse novo paradigma está sendo considerado como fundamental para a competitividade de um país. Assim, o documento poderá contribuir para a formulação de políticas relevantes.

O estudo de Núñez-Merino *et al.* (2022) utilizou uma metodologia conhecida como *Systematic Science Mapping*, combinada com a ferramenta Graphext, para oferecer um agrupamento dos aspectos que a literatura aborda sobre Indústria 4.0 e sua relação com a cadeia de suprimentos. Na identificação da literatura relevante, foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* e Scopus, com a busca sendo feita no início de 2021 e se limitando a artigos, artigos de imprensa e resenhas em inglês, publicados entre 2011 e 2020. Foi identificado um total de 41 tópicos de pesquisa que produziram um agrupamento de 663 artigos em 8 *clusters*. Três períodos diferentes (2011–2016, 2017–2019 e 2020) foram analisados para possibilitar a identificação de tópicos usando o SciMAT. Os resultados demonstraram um aumento

significativo da produção científica relacionada à I4.0 e à cadeia de suprimentos, com 45% dos artigos revisados publicados em 2020. A distribuição dos artigos publicados apresentou tendência exponencial, indicando contínuo crescimento e interesse pela área. A análise com o *Graphext* identificou 8 áreas temáticas que representam a base de conhecimento do campo de pesquisa, incluindo a integração dos fluxos, processos e atividades da empresa e da cadeia de suprimentos; o impacto da I4.0 na logística e na criação de redes de produção inteligentes; a relação entre I4.0 e produção inteligente; o impacto da I4.0 na segurança organizacional e da cadeia de suprimentos e soluções para aumentar a segurança das operações; desafios de sustentabilidade e economia circular nas cadeias de suprimentos globais; digitalização como força motriz para o gerenciamento de processos da cadeia de suprimentos; *big data* como ferramenta de tomada de decisão; e o impacto da I4.0 na resiliência ao lidar com as incertezas da cadeia de suprimentos. As inter-relações entre essas áreas temáticas foram observadas, proporcionando uma compreensão abrangente do campo.

4.2.4.4 *Smart*

Com a manufatura inteligente sendo considerada o núcleo da Indústria 4.0 e pelo fato de tal conceito estar sendo estudado em diferentes campos de pesquisa, de forma compartimentalizada e sem conexão entre tópicos, os quatro “*Smart*” da Indústria 4.0 — manufatura inteligente, produtos e serviços inteligentes, trabalho inteligente e cadeia de suprimentos inteligente — foram o tema do estudo luso-brasileiro “*The four smarts of Industry 4.0: evolution of ten years of research and future perspectives*” (MEINDL *et al.*, 2021). Os autores realizaram uma revisão dos trabalhos de pesquisa relacionados à Indústria 4.0, publicados entre 2011 e 2020, a partir de três tipos de análise. Em primeiro lugar, foram revisados artigos para identificar a sobreposição de pesquisas nos quatro “*Smart*” em um nível geral, demonstrando a evolução cronológica do cenário da Indústria 4.0 com base nas datas de publicação; em seguida, foram examinados os tópicos de pesquisa relacionados a cada “*Smart*” no nível de palavra-chave; por fim, foram analisados os periódicos mais relevantes para a Indústria 4.0 e cada conceito “*Smart*” no nível de periódico. A revisão sistemática da literatura partiu do modelo proposto por Frank *et al.* (2019a *apud* MEINDL *et al.*, 2021), que fornece diferentes dimensões de aplicações de tecnologia da Indústria 4.0 conectadas ao sistema de manufatura, enfatizando o que deve ser implementado em termos de tecnologias e práticas. A primeira dimensão interna é a manufatura inteligente, que representa a integração do projeto de engenharia com o sistema de manufatura, e a segunda dimensão interna é o trabalho inteligente,

que preconiza a utilização de tecnologias avançadas para dar suporte aos processos de tomada de decisão, gerenciar o conhecimento, estimular a criatividade e o *design* e melhorar a segurança e a satisfação do trabalhador. Entre as dimensões externas, desponta a cadeia de suprimentos inteligente, que utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar os fluxos de informações da cadeia de suprimentos, garantindo que os produtos certos sejam entregues no momento, local, quantidade, condição e preço certos. A outra dimensão externa são produtos e serviços inteligentes — produtos inteligentes, que utilizam tecnologias básicas para coletar, monitorar, controlar e otimizar os dados do usuário; e serviços inteligentes, que envolvem empresas que empregam tecnologias digitais para oferecer serviços aos usuários. Os achados revelaram pesquisas fragmentadas distribuídas em diferentes disciplinas, com concentração em torno da “*smart manufacturing*”, e sendo o “*smart working*” a dimensão menos explorada. As oportunidades para pesquisas futuras se concentram nas interfaces entre as diferentes dimensões inteligentes, e os resultados apoiam a visão da Indústria 4.0 como um conceito que transcende o campo da manufatura inteligente.

O objetivo do estudo de Cagliano *et al.* (2019) foi abordar a organização do trabalho na fábrica e, em particular, a interação entre a complexidade tecnológica e a organização do trabalho nos níveis micro (*design* de trabalho, descrito em termos de amplitude e autonomia do trabalho do operador, demanda cognitiva e interação social) e macro (estrutura organizacional, descrita em termos de centralização da tomada de decisão e número de níveis hierárquicos na planta) no contexto da manufatura inteligente. Foram identificadas quatro configurações, caracterizadas por diferentes níveis de complexidade tecnológica, ou seja, com diferentes números de tecnologias de manufatura inteligente implementadas e diferentes níveis de integração entre elas. Os resultados mostraram como baixos níveis de complexidade tecnológica no contexto de manufatura inteligente estão associados a um cenário organizacional em que os operadores executam um número limitado de tarefas, com limitada autonomia no trabalho, demanda cognitiva, enquanto níveis mais altos de complexidade tecnológica estão associados a um número maior de tarefas, autonomia no trabalho e demanda cognitiva dos operadores. Da mesma forma, um maior nível de complexidade tecnológica foi associado à descentralização da tomada de decisões e à redução do número de níveis hierárquicos. Assumindo uma perspectiva sociotécnica, os resultados suportaram empiricamente *insights* preliminares fornecidos por estudos de manufatura inteligente que previram a adequação da manufatura inteligente para permitir paradigmas organizacionais e de manufatura mais centrados no ser humano e socialmente sustentáveis (ROMERO *et al.*, 2016 *apud* CAGLIANO

et al., 2019). Além disso, o nível de complexidade tecnológica foi identificado como o discriminante para tal organização do trabalho em relação a uma organização tradicional. Ainda, o estudo ofereceu *insights* práticos relacionados à importância de incluir considerações de organização do trabalho ao definir a estratégia tecnológica nas empresas. Para concluir, as descobertas mostraram como a interação entre tecnologia e organização do trabalho não pode ser considerada de forma determinística — ou seja, há apenas uma melhor maneira de organizar o trabalho como consequência das oportunidades e restrições introduzidas pela nova tecnologia — como é defendido em uma série de contribuições acadêmicas — principalmente no campo da manufatura — e por muitos profissionais, por exemplo, Khanchanapong *et al.* (2014 *apud* CAGLIANO *et al.*, 2019).

4.2.4.5 Knowledge Management

Em relação ao termo “*Knowledge Management*”, Abubakar *et al.* (2019) analisaram os processos de criação do conhecimento, os facilitadores da gestão do conhecimento, os resultados organizacionais e as teorias de tomada de decisão e sua relação com a Indústria 4.0. O processo de gestão do conhecimento exige etapas meticulosas para a criação, captura, organização, armazenamento, disseminação e aplicação do conhecimento. As atividades de gestão do conhecimento podem ser influenciadas e potencializadas por alguns fatores, sendo os três principais: estrutura, cultura e tecnologia (GOLD; MALHOTRA, 2001; LAUPASE, 2003, SYED-IKHSAN; ROWLAND, 2004 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019). As três dimensões da estrutura organizacional — formalização (regras, regulamentos, políticas e procedimentos), centralização ou descentralização (estrutura e localização da autoridade, estratégia e alocação de recursos) e especialização (como são realizadas as diversas tarefas e como estas são distribuídas) — podem ou não facilitar a gestão eficaz do conhecimento dentro de uma organização, a depender de sua configuração (O'DELL; GRAYSON; ESSAIDES, 1998 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019). Quanto à cultura, organizações em que predominam a confiança, a sociabilidade e os valores tendem a favorecer o compartilhamento de conhecimento e a interação entre empregados. Já a tecnologia da informação, esta pode apoiar a aprendizagem colaborativa, a busca de conhecimento e a comunicação (NGOC, 2005 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019, p. 106). De acordo com Davenport e Prusak (1998 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019, p. 106), “a tecnologia da informação é um fator capacitador crucial e tem um papel dinâmico na gestão do conhecimento”. Em termos de estratégias de tomada de decisão, segundo Harren

(1979 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019), existem dois estilos — o intuitivo e o racional. O estilo intuitivo surge da experiência, do instinto (que é inato, não aprendido) e da aprendizagem dirigida a cultivar hábitos e obter respostas intuitivas (PATTON, 2003 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019). O racional, por sua vez, considera cenários alternativos e suas respectivas probabilidades antes de tomar uma decisão (BUSARI; SPICER, 2015, OLIVEIRA, 2007 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019). Os autores destacaram a importância das habilidades em forma de T no processo de criação do conhecimento e no desempenho organizacional, na medida em que esses profissionais apresentam, no eixo horizontal (*broad*), a capacidade de colaborar com *experts* em outras disciplinas e usar o conhecimento obtido a partir deles, e no eixo vertical (*deep*) exibem conhecimento e experiência de especialistas em um determinado campo, agregando teoria e prática, bem como assimilando conhecimentos de sua área com os de outras disciplinas. Esses serão considerados os profissionais típicos da Indústria 4.0 (HECKLAU *et al.*, 2016; PFEIFFER, 2015 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019). As conclusões do estudo foram que as competências em forma de T, a colaboração dos membros da organização e o suporte de TI têm um impacto significativo nos processos de criação de conhecimento e no desempenho organizacional, bem como os processos de criação de conhecimento e o desempenho organizacional são afetados pela aprendizagem. Também concluíram que os processos de criação de conhecimento podem melhorar o desempenho organizacional geral. No que tange à eficácia da tomada de decisão racional ou intuitiva, essa dependerá do contexto, e autores alegam que ambas as abordagens podem se complementar (ELBANNA, 2006; ELBANNA; CHILD, 2007 *apud* ABUBAKAR *et al.*, 2019), sendo que tanto o estilo de tomada de decisão racional quanto o intuitivo podem fortalecer o impacto dos processos de criação de conhecimento no desempenho organizacional.

Manesh *et al.* (2021) investigaram a estrutura intelectual e as tendências de gestão do conhecimento na Indústria 4.0 e discutiram sobre a importância de uma compreensão precisa dos processos de criação, compartilhamento, transferência, aquisição, armazenamento, recuperação e aplicação desse conhecimento em um sistema organizacional, sobretudo tendo em vista a interconectividade das máquinas e sua capacidade de aprender e compartilhar dados de forma autônoma.

O estudo de Ferreira *et al.* (2022) analisou obstáculos e dificuldades enfrentados pelos profissionais do conhecimento em suas práticas de mobilidade e transferência de conhecimento em empresas multinacionais e como a Visão Baseada em Conhecimento auxiliou no entendimento do processo de gestão dos fluxos de conhecimento nas redes intraorganizacionais

globais. O estudo também investigou quais podem ser as consequências das novas práticas e do uso crescente de tecnologia associada à Indústria 4.0, na medida em que muitas das tarefas dos profissionais do conhecimento poderão ser convertidas em conhecimento tácito e cobertas por inteligência artificial, reduzindo, assim, as exigências de movimentação física dos empregados (MARGHERITA; BRACCINI, 2020 *apud* FERREIRA *et al.*, 2022). Os estudos foram classificados em seis grupos, que demonstram a importância de uma estrutura organizacional apropriada para a gestão do conhecimento em toda a rede global das empresas multinacionais e o papel crítico que os profissionais do conhecimento cumprem. As principais conclusões foram que a dependência de indivíduos (profissionais do conhecimento, também conhecidos como “ativos ambulantes”) apresenta oportunidades, por tornar a transferência de conhecimento mais fácil do que outros recursos, mas oferece também desafios, devido a requisitos institucionais, à capacidade de assimilação dos destinatários e ao choque de culturas organizacionais, sobretudo nos casos de fusões e aquisições. Mereceram destaque algumas questões ligadas à direção da transferência de conhecimento, com um fluxo de conhecimento bidirecional entre a matriz, a subsidiária e seus expatriados e os estagiários. Do ponto de vista teórico, sob o olhar da Visão Baseada em Conhecimento, foi reconhecida a relevância do papel de profissionais do conhecimento para o fluxo eficaz de informações na rede global da organização, tendo em vista que documentos e políticas podem não ser suficientes para facilitar a transferência de conhecimento. Também foram encontradas evidências de ocultação do conhecimento em redes intraorganizacionais, contrariando a Visão Baseada no Conhecimento que preconiza o imperativo de o conhecimento espalhar-se por toda a organização e a disposição dos atores da organização em compartilhar o conhecimento.

Considerando a necessidade de entender de forma abrangente as experiências, os recursos e o planejamento organizacional da pesquisa e das partes interessadas acadêmicas envolvidas em projetos colaborativos, a fim de gerenciar e mitigar os riscos de inovação, Gómez-Marín *et al.* (2022) viabilizaram um modelo conceitual de gestão do conhecimento específico para os pesquisadores acadêmicos e *stakeholders* empresariais que atuam no contexto da inovação. Assim como empresas estão empregando uma gama mais ampla de técnicas analíticas para explorar novas oportunidades no contexto da Indústria 4.0, também os projetos de inovação que envolvem academia, pesquisa e *stakeholders* empresariais no contexto de P&D devem buscar não apenas a utilização da tecnologia, mas também a compreensão de como a gestão deve ser conduzida para garantir uma visão clara dos pontos fortes e necessidades das partes interessadas. O estudo incorporou o conceito de capitais intelectuais específicos para

o contexto da inovação: capital humano, capital organizacional, capital relacional e capital de P&D, que estão atrelados a um conjunto de indicadores-chave de desempenho, que servem como pontos cruciais na gestão do conhecimento. O objetivo foi fazer a transição de uma avaliação individual para uma visão compartilhada colaborativa que fornecesse um contexto mais amplo por meio do mapeamento de resultados. Além disso, indicadores sustentáveis foram incorporados para medir o compromisso com a pesquisa, reconhecendo a atividade de pesquisa como um caminho para o desenvolvimento sustentável global. Um total de 20 indicadores foram discutidos como principais direcionadores, e mapas funcionais, mapas de tópicos e taxonomia e análise de redes sociais foram propostos como ferramentas para conduzir estudos de mapeamento do conhecimento. Além disso, as etapas de gerenciamento foram especificadas para orientar a academia, a comunidade de pesquisa e as partes interessadas no contexto de P&D, abordando a heterogeneidade das partes interessadas e implementando um plano sustentável de longo prazo em um ambiente em mudança, ao mesmo tempo que busca metas sustentáveis em suas atividades e resultados de inovação. Essa abordagem contribui para a educação em gestão responsável (*Responsible Management Education – RME*), bem como promove a tradução de conceitos da academia e instituições de pesquisa por meio da educação para o desenvolvimento sustentável (*Education for Sustainable Development – EDS*). O guia destina-se a organizações de pesquisa que buscam aprimorar suas estratégias de inovação, independentemente de seu nível de experiência gerencial, e tem o potencial de fomentar a colaboração nos níveis local, nacional e internacional.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa objetivou apresentar a produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0, identificar os temas mais estudados nesse campo e, a partir de análise bibliométrica, apresentar aqueles relacionados a recursos humanos que têm sido abordados, tópico este que ainda está em evolução, tanto para a academia quanto para empresas, governos e sociedade.

A busca, a seleção, a coleta e a classificação dos artigos científicos foram baseadas no *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovalski e De Resende (2017), por sua precisão, reprodutibilidade e utilidade na classificação de artigos mais relevantes, consoante o reconhecimento acadêmico internacional. A análise foi feita pelo método bibliométrico de copalavras, ou de coocorrências, em que a unidade de análise é um conceito, não um documento, autor ou periódico. Foi utilizada a coleção principal da *Web of Science* para a busca de artigos, e, para a análise bibliométrica, foi utilizado o *software VOSviewer*®.

Na primeira etapa da análise bibliométrica, a de identificação dos temas mais estudados na Indústria 4.0, não houve delimitação temporal, nem de idiomas ou áreas de pesquisa, tampouco de categorias do *Web of Science*. Foram analisados 3.413 documentos, publicados entre os anos de 2015 e 2023, que resultaram em 244 palavras-chave, cada uma delas com um limite mínimo de 20 ocorrências, gerando uma rede com cinco *clusters* e 14.090 *links*:

- O *cluster* 1 reuniu um total de 97 termos que apresentaram uma visão mais macro da Indústria 4.0, sendo o item “*Industry 4.0*” aquele com o maior número de ocorrências. O termo “*4th Industrial Revolution*” também foi relacionado nesse agrupamento, contudo em menor número, o que denotou a prevalência do emprego do termo “*Industry 4.0*” sobre o termo “*4th Industrial Revolution*”. Os termos do *cluster* 1 forneceram coletivamente *insights* sobre as interações complexas e multifacetadas entre Indústria 4.0, gestão, sustentabilidade, inovação e práticas operacionais em vários setores e contextos. Sendo este um agrupamento com uma visão macro da Indústria 4.0, pesou a influência de fatores organizacionais, políticos e socioculturais. Considerando os aspectos organizacionais, a contribuição se deu em questões econômico-financeiras como modelos de negócios, competição e dependências, além de gestão e comportamento, entre outros. No rol dos fatores políticos, mereceu destaque a importância de apoio governamental e de formulação de políticas públicas para

a adoção da Indústria 4.0, além de uma estrutura regulatória que equacione coordenação, colaborações e questões de segurança, de perfil e de complexidade. Quanto às questões socioculturais, surgiram temas igualmente importantes como consumo, poluição, tamanho de lote um, perda de empregos, estrutura organizacional e liderança, cultura corporativa e resistência interna, *stress*, necessidade de qualificação e treinamento de equipes, preocupações em relação à inteligência artificial (BIRKEL *et al.*, 2019; LUTHRA; MANGLA, 2018; SCHNEIDER, 2018).

- O *cluster 2* relacionou um total de 81 termos, sendo “*Systems*” o mais frequente deles, que enfatizaram os fatores técnicos e organizacionais da Indústria 4.0. Os termos desse agrupamento destacaram o potencial transformador da Indústria 4.0 e tecnologias relacionadas em vários aspectos da manufatura, desde fábricas inteligentes e análise de energia até gêmeos digitais, otimização de manutenção e modelagem organizacional. Evidenciou-se que a prometida mudança nos processos de fabricação e produção está estreitamente interligada com tecnologias como *Internet* das Coisas (IoT), *Cyber-Physical Systems* (CPS), inteligência artificial, *digital twin*, *blockchain*, computação em nuvem, entre outras. Do ponto de vista técnico e tecnológico, tais achados poderão orientar estudos sobre remodelagem de processos de fabricação, aprimoramento da tomada de decisões e geração de ganhos de eficiência em todo o cenário industrial, mas também poderão trazer à tona a necessidade de estabelecimento de padrões globais e protocolos de compartilhamento de dados, a importância da qualidade dos dados existentes, da integração de plataformas tecnológicas, de infraestrutura e redes baseadas na *Internet*, bem como a conveniência de análise dos desafios relacionados a ciberataques, à posse de dados, à segurança de dados, à manipulação de dados, à computação na nuvem etc. Alcançar a interoperabilidade e a flexibilidade entre todos esses componentes continuará sendo um desafio crítico.
- O *cluster 3* resultou em 37 termos, liderados por “*Framework*”, associados a fatores individuais e com a intenção de serem aplicados os conceitos da Indústria 4.0 em contextos econômicos práticos. Nesse terceiro agrupamento, surgiram as primeiras questões relacionadas a recursos humanos e à interação homem-máquina no contexto da manufatura e do trabalho inteligentes, este último ainda

de maneira restrita. Nele foram ressaltados temas relacionados à estrutura da Indústria 4.0, especialmente a necessidade de estruturas abrangentes que levem em conta o desenvolvimento organizacional sustentável. Propostas de estruturas de integração e os desafios de adoção e medição de desempenho também foram tópicos em destaque. Ao abordar as tecnologias emergentes, como realidade mista, realidade aumentada, realidade virtual e suas aplicações em vários domínios industriais, incluindo interface com o trabalhador, gerenciamento de logística, assistência remota, educação e gestão da cadeia de suprimento, procurou-se destacar o potencial de transformação de indústrias, bem como os desafios inerentes à implementação, interação, usabilidade e carga cognitiva, entre outros. Por fim, o *cluster* 3 apresentou um termo ainda pouco frequente, “Operador 4.0”, que atuará em espaços de trabalho inteligentes compostos por sistemas humanos-ciberfísicos de colaboração entre humanos e máquinas, podendo variar desde o trabalho manual à colaboração humano-robô, estendendo-se a robôs colaborativos e operadores aprimorados por realidade aumentada (RUPPERT *et al.*, 2018).

- O *cluster* 4 agrupou um total de 16 termos, sendo “*big data*” o mais recorrente, e tratou do uso de dispositivos inteligentes que geram conjuntos de dados complexos por meio de aplicações como *big data* e *analytics*. Nesse agrupamento, os termos sinalizaram para a maior dependência de robôs, tecnologias incorporadas, colaboração de máquinas, tomada de decisão autônoma e impressão 3D, com a expectativa de que a *Internet* vestível, *big data analytics*, a vida baseada em sensores e as cidades inteligentes desempenhem papéis significativos, levando a uma transformação na fabricação para atender às crescentes demandas dos clientes e sustentar a competitividade. Para a academia, pesquisas sobre esses tópicos poderão ajudar no entendimento, definição e desenvolvimento de sistemas, modelos de negócios e metodologias relacionadas à Indústria 4.0; para a indústria, a contribuição poderá ocorrer na adaptação de máquinas e produtos, bem como no envolvimento do cliente nessa mudança de paradigma.
- O *cluster* 5 apresentou um total de 13 termos, sendo “*Model*” aquele com o maior número de ocorrências, evidenciando a importância da integração de diferentes tecnologias, processos e sistemas. Ao explorar temas relacionados a processos

industriais, controle de qualidade, otimização e avanços tecnológicos, foram destacadas várias abordagens, metodologias e estratégias destinadas a melhorar a qualidade do produto, reduzir custos, melhorar a eficiência organizacional e a competitividade. Dentre os temas, emergiram a importância do controle de qualidade, a integração de tecnologias avançadas, otimização, segurança cibernética, a importância da tomada de decisão baseada em dados e a busca da melhoria contínua nas práticas de fabricação. Ainda nesse quinto agrupamento, termos como “*Sustainable Manufacturing*” e “*Lean Manufacturing*”, apesar de menos frequentes, pautaram a importância do uso de práticas e tecnologias ecologicamente corretas, dando ênfase para a necessária compreensão da interação entre desenvolvimento sustentável, Indústria 4.0 e vários paradigmas de fabricação e produção, bem como promovendo o alinhamento dos avanços tecnológicos com práticas de negócios sustentáveis e metas ambientais.

Os países com maior produção científica sobre a Indústria 4.0, em número de citações, somaram 107, sendo os 5 primeiros colocados a China, os Estados Unidos, a Inglaterra, a Itália e a Alemanha.

Ficou evidenciado o alto grau de concentração das redes de colaboração em poucos atores, sejam pesquisadores, universidades ou periódicos, que vêm promovendo o conhecimento e a evolução das pesquisas e publicações científicas sobre a Indústria 4.0. Os estudos sobre a Indústria 4.0 mostraram que a iniciativa germânica já não é a única e nem a com maior expressão, atualmente. Países asiáticos como China e Coreia do Sul lideram os *rankings* de citações da Indústria 4.0 e de recursos humanos, respectivamente.

A produção científica nacional e internacional sobre a Indústria 4.0 se reuniu em um grupo de 37 autores, com citações superiores a 1.000. O Brasil se destacou na 8ª posição desse *ranking*. No caso da produção brasileira, Alejandro G. Frank, Néstor Fabián Ayala e Lucas Santos Dalenogare constaram como os 7º, 9º e 20º autores mais citados, respectivamente, representando a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), além de Guilherme Luz Tortorella, 16º autor mais citado, afiliado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Outra constatação diz respeito ao fato de a transformação digital implicar mais do que somente a manufatura ou a produção: ela pode vir a impactar indivíduos, organizações e sociedade, já que não se restringe apenas a produtos, mas pressupõe a disponibilização de serviços de modo abrangente.

Em uma segunda etapa de análise bibliométrica, para a identificação dos temas ligados a recursos humanos mais frequentes na Indústria 4.0, foram selecionados 101 artigos, publicados entre os anos de 2018 e 2023, tendo sido mais de 60% destes publicados nos anos de 2021 e 2022. Os termos mais presentes, considerando um mínimo de 5 ocorrências para cada termo, geraram um mapa de coocorrências com 38 palavras-chave, quatro *clusters* e 401 *links*:

- No *cluster* 1, “*Future*” foi o termo com maior número de ocorrências, e nesse agrupamento foi abordado o futuro do trabalho no contexto da Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) e os desafios associados aos avanços tecnológicos e à automação. Foi enfatizada a necessidade de equilibrar a narrativa do futuro iminente com uma consideração cuidadosa das implicações sociais. Os artigos sublinharam a importância da colaboração homem-robô, considerando fatores como a usabilidade do trabalhador e a confiança nos robôs, bem como ressaltou que fatores contextuais e históricos — tais como gênero, idade e qualificações — devem ser considerados para evitar o agravamento das desigualdades existentes. Alguns autores destacaram a necessidade de gerar mais empregos e ação política para resolver questões de automatização, redistribuição de riqueza e redução do horário de trabalho. As hierarquias relacionadas com a raça e o gênero foram desafiadas e a ênfase tradicional no emprego como a principal medida do valor e das realizações humanas foi questionada. Aptidões e competências deverão ser cruciais nesse cenário de trabalho em evolução e as empresas precisarão alinhar os requisitos do trabalho com as exigências reais de competências, considerando tanto as competências técnicas como as interpessoais. A mudança para a Indústria 4.0 exigirá formação contínua e oportunidades de melhoria de competências para promover uma cultura de transparência e inovação. Os fatores humanos, incluindo a saúde, a segurança e o bem-estar, deverão ser abordados à medida que a tecnologia remodela o ambiente de trabalho. Nesse contexto, surgiu o conceito de “ciberergonomia” como uma nova subdisciplina focada na adaptação ao cenário de trabalho em mudança no domínio cibernético.
- O *cluster* 2 teve o termo “*Industry 4.0*” como o mais repetido, denotando a necessidade de desenvolvimento de habilidades, de ajustes em suporte organizacional e de superação de barreiras para uma adoção bem-sucedida desse novo paradigma. Considerando o escopo, o termo “*Industry 4.0*” se revelou mais

específico da produção fabril, enquanto a expressão “Quarta Revolução Industrial” ultrapassou implicações meramente econômicas e produtivas, abarcando também aspectos sociais, de governança e de identidade humana. Sobre questões de emprego à luz da Indústria 4.0, os estudos indicaram que os empregados necessitarão de novas competências, o que representará desafios para os profissionais mais antigos. As razões para adotar as práticas da Indústria 4.0 incluíram benefícios operacionais, ganhos econômicos e sustentabilidade, enquanto as razões contra compreenderam riscos, questões de recursos humanos e custos iniciais de implementação. Assim sendo, a criação de um ecossistema que envolva governos locais, indústrias, institutos de investigação, universidades e aspectos sociais e econômicos será de grande valia. No domínio da tecnologia, os artefatos da Indústria 4.0 poderão impactar mais os sistemas de comunicação e monitoramento do que as linhas de montagem, o que poderá levar à redução da autonomia dos trabalhadores e a procedimentos mais rígidos. As implicações éticas dos esforços contínuos de transformação digital destacaram a importância de uma abordagem centrada no ser humano. No que diz respeito à informação, a gestão eficaz dos recursos humanos e a aquisição de conhecimentos serão essenciais para o sucesso na gestão do conhecimento e das competências na Quarta Revolução Industrial. Nesse cenário, sistemas de informação de recursos humanos poderão servir como alternativas aos sistemas de gestão do conhecimento, rastreando as competências e o conhecimento dos trabalhadores. As barreiras à implementação da Indústria 4.0 abrangeram fatores psicológicos como medo de perda de emprego, violações de dados e falta de educação. A adoção da Indústria 4.0 demandará, pois, o cultivo de uma mentalidade de aprendizagem e de habilidades de resolução de problemas, e a liderança desempenhará um papel fundamental neste processo de adoção.

- O *cluster* 3, com o termo “*Innovation*” com maior número de aparições, tratou de diversos aspectos da Indústria 4.0 e seu impacto na educação, inovação, gerenciamento, desempenho, inteligência artificial, criatividade, gestão de recursos humanos, capital intelectual e determinantes. A Indústria 4.0 envolverá a integração de tecnologias como IoT, AI e computação em nuvem em vários setores. A aprendizagem integrada ao trabalho deverá se apresentar como uma abordagem que promove a resolução de problemas, o pensamento crítico e as

habilidades de trabalho em equipe. A colaboração entre universidades e indústrias, portanto, deverá ser crucial, especialmente na era do crescimento da AI. Em vez de temerem a automatização, os empregados deverão ser capacitados com competências inovadoras. O surgimento da Indústria 4.0 está trazendo mudanças tecnológicas e não tecnológicas, exigindo uma implementação holística para o sucesso organizacional sustentável. A gestão desta transformação, incorporando tecnologias como AI e IoT, será decisiva e envolverá a compreensão das identidades organizacionais, a resolução de conflitos e a gestão da mudança para uma autoridade baseada na tecnologia. Foi destacado o impacto na percepção do cliente devido aos conflitos de papel homem-máquina, incentivando a integração responsável da força de trabalho digital. Apoiar a criatividade dos empregados envolverá promover valores como trabalho significativo, engajamento, autonomia e comunicação. Os desafios da gestão de recursos humanos na era da Indústria 4.0 incluirão lacunas de competências, mudanças na força de trabalho e desigualdades socioeconômicas, enfatizando práticas socialmente responsáveis para a retenção e desenvolvimento de talentos. Foi explorada a emergência da AI como uma nova forma de capital intelectual, exigindo um equilíbrio entre inteligência humana e artificial no contexto da Indústria 4.0. O alinhamento da cultura organizacional e das abordagens de gestão adequadas com o conceito da Indústria 4.0 será vital para o sucesso da implementação. Será necessário colmatar a lacuna entre a cultura organizacional atual e os requisitos da Indústria 4.0 através do envolvimento da gestão, estratégias de mudança e desenvolvimento dos empregados para promover a inovação e a implementação eficaz.

- O *cluster* 4 apresentou “*Challenges*” como o termo mais recorrente e abordou tópicos ligados à gestão do conhecimento, a dimensões inteligentes, à relação entre a Indústria 4.0 e cadeia de suprimentos e a potenciais impactos da adoção de uma Renda Básica Universal, entre outros. As discussões sobre a Indústria 4.0 têm se concentrado principalmente nos aspectos tecnológicos, muitas vezes negligenciando desafios de gestão tais como estratégia, planejamento, cooperação, modelos de negócio, recursos humanos e gestão da mudança. Ademais, as perspectivas entre fornecedores e usuários de tecnologia têm sido diferentes, com os fornecedores a enfatizar os desafios relacionados a modelos

de negócio, enquanto os usuários estão preocupados com a mudança cultural e o impacto na força de trabalho. Quanto à adoção de *big data* e *analytics* na produção, esta tem se demonstrado esporádica, prejudicada por questões como sistemas de TI legados, comunicação interdepartamental deficiente e falta de envolvimento dos executivos seniores. A superação destas barreiras vai requerer padronização tecnológica, promoção de uma cultura de tomada de decisão baseada em evidências e monetização inovadora de dados. Também a cadeia de suprimento 4.0 vem enfrentando desafios críticos no contexto da economia circular, que incluem segurança, agilidade, falta de investimento em P&D, benefícios econômicos pouco claros, entre outros. Visão e estratégia, colaboração, infraestrutura digital e lacunas de conhecimento foram identificadas como questões críticas. As dimensões “*smart*” da Indústria 4.0 — manufatura inteligente, produtos e serviços inteligentes, trabalho inteligente e cadeias de suprimento inteligentes – foram exploradas, revelando pesquisas fragmentadas distribuídas em diferentes disciplinas, com concentração em torno da “*smart manufacturing*”, e sendo o “*smart working*” a dimensão menos explorada, bem como reforçando a visão da Indústria 4.0 como um conceito que transcende o campo da manufatura inteligente. Compreender a interação entre a complexidade tecnológica e a estrutura organizacional na produção inteligente será essencial para a criação de paradigmas de produção mais centrados no ser humano e sustentáveis. Foi também discutida a gestão do conhecimento na Indústria 4.0, com ênfase em estrutura organizacional, cultura e tecnologia. Profissionais “*T-shaped*” (especialistas multidisciplinares), colaboração organizacional e suporte de TI têm sido considerados fundamentais para a criação de conhecimento e desempenho organizacional. Estudos também abordaram os desafios de transferência de conhecimento em empresas multinacionais, destacando a importância dos profissionais do conhecimento e a necessidade de gerir o conhecimento em projetos de inovação colaborativa. Em resumo, o agrupamento forneceu informações sobre a natureza complexa da Indústria 4.0, destacando a importância de enfrentar os desafios de gestão, adotar abordagens baseadas em dados, melhorar a resiliência da cadeia de suprimento e promover a gestão do conhecimento para prosperar na era da Indústria 4.0.

Ao todo, 43 países se destacaram na produção científica sobre recursos humanos no contexto da Indústria 4.0, sendo os mais citados a Coreia do Sul, a Itália, a Inglaterra, o Peru e o Chipre. Com 172 citações, a Alemanha apareceu na 7ª posição, enquanto o Brasil, com 166 menções, ficou em 8º lugar.

Nos artigos, foram relacionados 309 autores, sendo que pouco mais de um terço — 108 autores — teve 10 ou mais citações. Quanto aos periódicos, a revista acadêmica **Technological Forecasting and Social Change** obteve mais de 30% das citações. Com um total de 10 instituições, a Itália liderou o *ranking* de países com mais universidades envolvidas nas pesquisas de recursos humanos, seguida da Inglaterra, com 8, e França, com 5. Coreia do Sul e Brasil surgiram com 4 instituições, cada, sendo as representantes brasileiras a Universidade Federal de Goiás (UFG), a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A importância teórica do estudo está no fato de fornecer uma visão geral dos impactos em recursos humanos face à adoção da Indústria 4.0, abrangendo suas principais áreas, e não somente uma específica, o que pode servir de guia para futuras pesquisas. Os 101 artigos revisados cobriram praticamente todos os processos técnicos da Gestão de Recursos Humanos (GRH), bem como o Comportamento Humano nas Organizações (CHO) e as relações de trabalho. Em se tratando de GRH, foram explorados tópicos como cargos e carreiras, recrutamento e seleção, remuneração e recompensas, treinamento e desenvolvimento, saúde e segurança, avaliação funcional e sistemas de informações de gestão de recursos humanos (GRH), com destaque para treinamento e desenvolvimento, tendo em vista a necessidade de um processo educacional sistemático e organizado que permita a mobilização de “conjuntos de saberes de naturezas diferenciadas” (PAIVA, 2019, p. 57) condizentes com as demandas a serem instituídas pela Indústria 4.0. Fatores humanos, incluindo saúde, segurança e bem-estar também foram abordados, ressaltando o imperativo de adaptação do ambiente de trabalho a um domínio cibernético. Quanto a CHO, aspectos ligados a comunicação, liderança e conflito, bem como cultura e mudança, foram enfatizados, sendo comunicação um dos fatores vitais na adoção da I4.0. Estudos exploraram possíveis resistências aos processos de inovação e às iniciativas I4.0. No tocante às relações de trabalho, foram abordadas preocupações com o potencial impacto social dos robôs no desemprego, fragmentação do emprego em unidades menores de trabalho autônomo, empregos atípicos com salários e requisitos de competências mais baixos, entre outras. Apresentaram-se como necessárias abordagens regulamentares éticas que garantam os benefícios da adoção da tecnologia, proporcionando simultaneamente redes de

segurança social e proteções laborais redesenhadas. Com relação às consequências negativas da automação, foram incluídas questões de saúde mental, quando faltam proteções sociais e estabilidade no emprego, com apelo à redefinição do “trabalho decente” e à implementação de regulamentos uniformes em nível mundial que versem sobre desigualdades, segurança, identidade e disparidades de gênero no contexto da Quarta Revolução Industrial.

Em se tratando de competências, os estudos sublinharam quais devem ser as mais procuradas no contexto da Indústria 4.0, distinguindo, entre as competências pessoais, a criação de sentido, o pensamento inovador e adaptativo, o pensamento computacional/compreensão holística do sistema, alfabetização digital em novas mídias, a mentalidade de *design*/criatividade, o gerenciamento de carga cognitiva, a resolução criativa não estruturada de problemas, o pensamento crítico e a independência. Quanto às competências sociais, foram enfatizadas a liderança e a gestão de projetos, a inteligência emocional, a inteligência social, a competência intercultural, a transdisciplinaridade, a colaboração virtual, o trabalho em equipe e a comunicação.

A ressalva que se deve fazer é quanto ao volume de publicações: os estudos de aspectos técnicos e tecnológicos da Indústria 4.0 superaram, em muito, os estudos ligados à área de recursos humanos. Entre 3.437 títulos, apenas 101 artigos sobre o tema recursos humanos na Indústria 4.0 pareceu indicar uma superestimativa do tópico tecnologia ante uma subestimativa dos temas afetos a recursos humanos. Contudo, o interesse pelos fatores humanos no contexto da Indústria 4.0 parece estar crescendo ao longo dos anos.

Do ponto de vista prático, o estudo pode ser útil ao abordar as oportunidades e os desafios da gestão de recursos humanos e apoiar a transição digital, tendo em vista que o estudo sobre a Indústria 4.0 e recursos humanos trouxe à tona discussões fundamentais sobre um tópico nada menos que o futuro do trabalho e o futuro da sociedade como um todo, desafiando o “mantra de que a Indústria 4.0 é completamente centrada no ser humano e, portanto, não abrirá caminho para fábricas totalmente automatizadas e desertas” (PFEIFFER, 2017, p. 108). A gestão de recursos humanos poderá cumprir papel central no enfrentamento da vindoura transformação do trabalho, seja para empregadores ou empregados, ao desenvolver programas como colaborações estratégicas, gestão de talentos, liderança em mudanças, compartilhamento de conhecimento, pesquisa educacional e iniciativas de qualificação. Tais práticas não apenas poderão ajudar na retenção de talentos e na redução da rotatividade, mas também poderão contribuir para os objetivos mais amplos de igualdade, diversidade, inclusão, geração de capital intelectual, cocriação de valor intergeracional, empregabilidade decente e proteção

socioeconômica. Também será de particular relevância para a Indústria 4.0 a interação entre humanos e máquinas, uma vez que a tecnologia não deverá ser vista apenas como um conjunto de ferramentas físicas, mas “como um parceiro em uma nova força de trabalho colaborativa” (ACCENTURE, 2015, p. 88-89 *apud* PFEIFFER, 2017, p. 118). A literatura ainda carece de exploração suficiente da relação homem-máquina e suas implicações no contexto da expansão da Indústria 4.0. Questões ligadas à proteção social, como aposentadorias, licenças médicas, férias anuais e licenças-maternidade, bem como as ligadas a oportunidade de crescimento e desenvolvimento, devem ser discutidas, antecipando “quem vai fazer trabalho decente e trabalho ruim” (MIN *et al.*, 2019, p. 405). Torna-se, assim, imprescindível moldar o futuro do trabalho com cautela, evitando ceder a uma visão determinista da tecnologia (CUNHA; SILVA; MAGGIOLI, 2022).

As limitações da pesquisa são decorrentes do uso exclusivo de documentos indexados à base *Web of Science*, ignorando outras fontes relevantes, bem como da escolha de categorias *Web of Science* para o estudo, que podem ter levado a um viés de amostragem. Também a escolha das palavras-chave para a seleção de artigos do presente estudo pode ter representado uma restrição, na medida em que foi priorizada a iniciativa alemã ‘Indústria 4.0’, em detrimento da ‘*Internet Industrial*’, dos Estados Unidos, e das ‘Fábricas do Futuro’, da Comissão Europeia, já que são essas as três propostas mais frequentemente mencionadas ou comparadas na literatura.

REFERÊNCIAS

- ABUBAKAR, A. *et al.* Knowledge management, decision-making style and organizational performance. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 4, n. 2, p. 104-114, Apr. 2019.
- ADADI, A.; BERRADA, M. Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). **IEEE Access**, v. 6, p. 52138-52160, 2018.
- ARCHAMBAULT, É.; GAGNÉ, É. V. The Use of Bibliometrics in the Social sciences and Humanities. **Final Report**, Aug. 2004.
- ARIAS-PÉREZ, J.; VÉLEZ-JARAMILLO, J. Ignoring the three-way interaction of digital orientation, Not-invented-here syndrome and employee's artificial intelligence awareness in digital innovation performance: A recipe for failure. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 174, p. 1-11, Jan. 2022.
- ATAMANCZUK, M. J.; SIATKOWSKI, A. Indústria 4.0: o panorama da publicação sobre a Quarta Revolução Industrial. **Scientific Periodicals Electronic Library – SPELL**, São Paulo, 2019.
- BABAMIRI, M. *et al.* Insights into the relationship between usability and willingness to use a robot in the future workplaces: Studying the mediating role of trust and the moderating roles of age and STARA. **PLOS ONE**, v. 17, n. 6, p. 1-12, 3 June 2022.
- BALKOVA, M.; LEJSKOVA, P.; LIZBETINOVA, L. The Values Supporting the Creativity of Employees. **Frontiers in Psychology**, v. 12, n. 3, Feb. 2022.
- BECKER, T.; STERN, H. Future Trends in Human Work area Design for Cyber-Physical Production Systems. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 404-409, 2016.
- BIANCO, D. *et al.* Unlocking the Relationship Between Lean Leadership Competencies and Industry 4.0 Leadership Competencies: An ISM/Fuzzy MICMAC Approach. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 70, n. 6, p. 2268-2292, June, 2023.
- BIRKEL, H. *et al.* Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 384, 14 Jan. 2019.
- BMW-FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMICS AFFAIRS AND CLIMATE ACTION. **Industrie 4.0**. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>. Acesso em: 11 maio, 2023.
- BÖGENHOLD, D.; KLINGLMAIR, R.; KANDUTSCH, F. Solo Self-Employment, Human Capital and Hybrid Labour in the Gig Economy. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 23-32, 26 Dec. 2017.
- BOGOVIZ, A. V. Perspective directions of state regulation of competition between human and artificial intellectual capital in Industry 4.0. **Journal of Intellectual Capital**, v. 21, n. 4, p. 583-600, 12 Apr. 2020.
- BORGES, F. R. **Transformação Digital**. [S.l.]: Atlas, 2021.

BURGESS, J.; CONNELL, J. New technology and work: Exploring the challenges. **The Economic and Labour Relations Review**, v. 31, n. 3, p. 310-323, Sept. 2020.

CAGLIANO, R. *et al.* The interplay between smart manufacturing technologies and work organization: The role of technological complexity. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 39, n. 6/7/8, p. 913-934, 2 Dec. 2019.

CARBAJO, D.; KELLY, P. COVID-19, young people and the futures of work: Rethinking global grammars of enterprise. **Sociological Review**, v. 71, n. 1, p. 65-84, Jan. 2023.

CHEN, J. *et al.* Artificial intelligence-based human-centric decision support framework: an application to predictive maintenance in asset management under pandemic environments. **Annals of Operations Research**, 11 Nov. 2021.

CHIARELLO, F. *et al.* Towards ESCO 4.0-Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 173, Dec. 2021.

CHRYSSOLOURIS, G.; MAVRIKIOS, D.; MOURTZIS, D. Manufacturing Systems: Skills & Competencies for the Future. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 17-24, 31 Dec. 2013.

CINTRA, L. P. *et al.* Indústria 4.0 e transformação digital: uma discussão conceitual, sob perspectiva neoschumpeteriana, que inclui políticas de CT&I e catch up. **Revista Economia & Gestão**, v. 19, n. 54, p. 114-132, 20 dez. 2019.

CIRILLO, V. *et al.* Technology vs. workers: the case of Italy's Industry 4.0 factories. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 56, p. 166-183, Mar. 2021.

COLOMBO, A.; KARNOUSKOS, S.; HANISCH, C. Engineering human-focused Industrial Cyber-Physical Systems in Industry 4.0 context. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 379, n. 2207, p. 1-14, 4 Oct. 2021.

CORÒ, G. *et al.* Industry 4.0 technological trajectories and traditional manufacturing regions: the role of knowledge workers. **Regional Studies**, v. 55, n. 10-11, p. 1681-1695, 2 Nov. 2021.

COSTA, F.; PORTIOLI-STAUDACHER, A. Labor flexibility integration in workload control in Industry 4.0 era. **Operations Management Research**, v. 14, n. 3-4, p. 420-433, Dec. 2021.

ČREŠNAR, R. *et al.* It takes two to tango: technological and non-technological factors of Industry 4.0 implementation in manufacturing firms. **Review of Managerial Science**, 26 Mar. 2022.

CUNHA, L.; SILVA, D.; MAGGIOLI, S. Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 20 Sept. 2022.

DACHYAR, M.; ZAGLOEL, T.; SARAGIH, L. Knowledge growth and development: internet of things (IoT) research, 2006-2018. **HELIYON**, v. 5, n. 8, Aug. 2019.

DE CAMPOS, E. A. R. *et al.* Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology Methodi Ordinatio. **Scientometrics**, v. 116, n. 2, p. 815-842, Aug. 2018.

DE PAULA, A. P. P.; PAES, K. D. Fordismo, pós-fordismo e ciberfordismo: os (des)caminhos da Indústria 4.0. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 19, n. 4, p. 1047-1058, Dec. 2021.

DE SORDI, J. O. **Gestão por Processos**. 5. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2018.

DOES Deutschland do digital? **The Economist**, 21 Nov. 2015.

DORION, E. C. H.; BRIZOLLA, R. K.; PATIAS, T. Z. The understanding and the implementation of Industry 4.0: An exploratory Study of a Brazilian metal-mechanic SME. **Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Administração**, v. 12, n. 2, p. 85-99, 22 Sept. 2020.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, June, 2014.

DUTRA, J. S. **Gestão de Pessoas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

EGANA-DELSOL, P. *et al.* Automation in Latin America: Are Women at Higher Risk of Losing Their Jobs? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, Feb. 2022.

EVANS, P.; ANNUNZIATA, M. **Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines**. [S.l: s.n.], 2012.

FEHER, K.; KATONA, A. I. Fifteen shadows of socio-cultural AI: A systematic review and future perspectives. **Futures**, v. 132, p. 1-19, Sept. 2021.

FERREIRA, J. J. *et al.* Knowledge worker mobility and knowledge management in MNEs: A bibliometric analysis and research agenda. **Journal of Business Research**, v. 142, p. 464-475, Mar. 2022.

FONSECA, R. S. D. The Future of Employment: Evaluating Impact of STI Foresight Exercises. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 9-22, 26 Dec. 2017.

FOSTER-MCGREGOR, N.; NOMALER, O.; VERSPAGEN, B. Job Automation Risk, Economic Structure and Trade: a European Perspective. **Research Policy**, v. 50, n. 7, Sept. 2021.

FREGNAN, E. *et al.* New Working Capabilities for Coping With COVID Time Challenges. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 21 Apr. 2022.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 114, p. 1-79, 17 Sept. 2013.

GASHENKO, I. V. *et al.* Competition between human and artificial intellectual capital in production and distribution in Industry 4.0. **Journal of Intellectual Capital**, v. 21, n. 4, p. 531-547, 21 Apr. 2020.

GENTNER, S. Industry 4.0: Reality, Future or just Science Fiction? How to Convince Today's Management to Invest in Tomorrow's Future! Successful Strategies for Industry 4.0 and Manufacturing IT. **Chimia**, v. 70, n. 9, p. 628, 14 Sept. 2016.

GHISLIERI, C.; MOLINO, M.; CORTESE, C. Work and Organizational Psychology Looks at the Fourth Industrial Revolution: How to Support Workers and Organizations? **Frontiers in Psychology**, v. 9, 28 Nov. 2018.

GÓMEZ-MARÍN, N. *et al.* Sustainable knowledge management in academia and research organizations in the innovation context. **The International Journal of Management Education**, v. 20, n. 1, p. 1-13, Mar. 2022.

GORDON, R. J. **The Rise and Fall of American Growth**. [S.l.]: Princeton University Press, 2017.

HELMANN, A.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. D. F. R. Reference Architectures for Industry 4.0: Literature Review. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v. 12, p. 171-180, 2020.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles For Industrie 4.0 Scenarios: a literature review. **Technische Universität Dortmund**, Dortmund, v. 45, p. 1-15, 2015.

HEUBECK, T.; MECKL, R. Antecedents to cognitive business model evaluation: a dynamic managerial capabilities perspective. **Review of Managerial Science**, v. 16, n. 8, p. 2441–2466, Nov. 2022.

HOFF, K. *et al.* Dream Jobs and Employment Realities: How Adolescents' Career Aspirations Compare to Labor Demands and Automation Risks. **Journal of Career Assessment**, v. 30, n. 1, p. 134-156, Feb. 2022.

HU, G.-G. Is knowledge spillover from human capital investment a catalyst for technological innovation? The curious case of fourth industrial revolution in BRICS economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 162, p. 1-7, Jan. 2021.

IETTO, B. *et al.* The Role of External Actors in SMEs' Human-Centered Industry 4.0 Adoption: An Empirical Perspective on Italian Competence Centers. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1-16, 2022.

INSHAKOVA, A. O. *et al.* The model of distribution of human and machine labor at intellectual production in industry 4.0. **Journal of Intellectual Capital**, v. 21, n. 4, p. 601-622, 26 Apr. 2020.

ISLAM, S. O. B.; LUGHMANI, W. A. A Connective Framework for Safe Human–Robot Collaboration in Cyber-Physical Production Systems. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 12 Dec. 2022.

JAMES, A. T. *et al.* Analysis of human resource management challenges in implementation of industry 4.0 in Indian automobile industry. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 176, p. 1-10, Mar. 2022.

KAFETZOPOULOS, D. Environmental dynamism and sustainability: the mediating role of innovation, strategic flexibility and HR development. **Management Decision**, 13 Dec. 2022.

KAGERMANN, H.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; SCHUH, G.; WAHLSTER, W. (Eds.): **Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY)**. Munich: Herbert Utz Verlag, 2016.

KERGROACH, S. Industry 4.0: New Challenges and Opportunities for the Labour Market. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 6-8, 26 Dec. 2017.

KLEINKNECHT, A. The (negative) impact of supply-side labour market reforms on productivity: an overview of the evidence. **Cambridge Journal of Economics**, v. 44, n. 2, p. 445-464, 19 Mar. 2020.

KOH, L.; YUEN, K. Emerging competencies for logistics professionals in the digital era: A literature review. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 25 Oct. 2022.

KUMAR, N.; LEE, S. C. Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 174, p. 1-12, Jan. 2022.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, Aug. 2014.

LAUBENGAIER, D. A.; CAGLIANO, R.; CANTERINO, F. It Takes Two to Tango: Analyzing the Relationship between Technological and Administrative Process Innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 180, p. 1-13, July, 2022.

LAVRYNENKO, A.; SHMATKO, N.; MEISSNER, D. Managing skills for open innovation: the case of biotechnology. **Management Decision**, v. 56, n. 6, p. 1336-1347, 11 June, 2018.

LEE, C.; LIM, C. From technological development to social advance: A review of Industry 4.0 through machine learning. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167, June, 2021.

LI, X. *et al.* Value creation during fourth industrial revolution: Use of intellectual capital by most innovative companies of the world. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 163, p. 1-10, Feb. 2021.

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, 18 June, 2017.

LIBONI, L. B. *et al.* Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 24, n. 1, p. 124-146, 14 Jan. 2019.

LOBOVA, S. V. *et al.* Labor division and advantages and limits of participation in creation of intangible assets in industry 4.0: humans versus machines. **Journal of Intellectual Capital**, v. 21, n. 4, p. 623-638, 11 Apr. 2020.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 17 Apr. 2017.

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, July, 2018.

LYDON, B. **Industry 4.0 - Only One-Tenth of Germany's High-Tech Strategy**. Disponível em: <https://www.automation.com/en-us/articles/2014-1/industry-40-only-one-tenth-of-germanys-high-tech-s>. Acesso em: 11 Maio, 2023.

MAHMOOD, A. *et al.* Developing an interplay among the psychological barriers for the adoption of industry 4.0 phenomenon. **PLOS ONE**, v. 16, n. 8, 2021.

MAHMOOD, T.; MUBARIK, M. Balancing innovation and exploitation in the fourth industrial revolution: Role of intellectual capital and technology absorptive capacity. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 160, Nov. 2020.

MANESH, M. *et al.* Knowledge Management in the Fourth Industrial Revolution: Mapping the Literature and Scoping Future Avenues. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 1, p. 289-300, Feb. 2021.

MARGHERITA, E. G.; BRACCINI, A. M. Managing industry 4.0 automation for fair ethical business development: A single case study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 172, p. 1-14, Nov. 2021.

MARNEWICK, C.; MARNEWICK, A. L. The Demands of Industry 4.0 on Project Teams. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1-9, 2019.

MAYER, C.; OOSTHUIZEN, R. Unconscious system-psychodynamics within a German 4IR engineering company in South Africa. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 25 Aug. 2022.

MEADOWS, S.; DE BRAINE, R. The work identity of leaders in the midst of the COVID-19 pandemic. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 26 Sept. 2022.

MEINDL, B. *et al.* The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 168, p. 1-13, 11 Apr. 2021.

MEMON, K. *et al.* Management of knowledge and competence through human resource information system-A structured review. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 26 Oct. 2022.

MIN, J. *et al.* The Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Occupational Health and Safety, Worker's Compensation and Labor Conditions. **Safety and Health at Work**, v. 10, n. 4, p. 400-408, Dec. 2019.

MODLIŃSKI, A.; FORTUNA, P.; ROŻNOWSKI, B. Human-machine trans roles conflict in the organization: How sensitive are customers to intelligent robots replacing the human workforce? **International Journal of Consumer Studies**, v. 47, n. 1, p. 100-117, Jan. 2023.

MOHELKA, H.; SOKOLOVA, M. Management approaches for Industry 4.0 – The Organizational Culture Perspective. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 24, n. 6, p. 2225-2240, 2018.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213-228, 19 Oct. 2015.

MORGAN, J. Will we work in twenty-first century capitalism? A critique of the fourth industrial revolution literature. **Economy and Society**, v. 48, n. 3, p. 371-398, 3 July, 2019.

MUKHUTY, S.; UPADHYAY, A.; ROTHWELL, H. Strategic sustainable development of Industry 4.0 through the lens of social responsibility: The role of human resource practices. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 5, p. 2068-2081, July, 2022.

NAM, T. Technology usage, expected job sustainability, and perceived job insecurity. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 138, p. 155-165, Jan. 2019a.

NAM, T. Citizen attitudes about job replacement by robotic automation. **Futures**, v. 109, p. 39-49, May, 2019b.

NGOBENI, D.; SAUROMBE, M.; JOSEPH, R. The influence of the psychological contract on employee engagement in a South African bank. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 2 Aug. 2022.

NOBLE, S. *et al.* The Fifth Industrial Revolution: How Harmonious Human-Machine Collaboration is Triggering a Retail and Service [R]evolution. **Journal of Retailing**, v. 98, n. 2, p. 199-208, June, 2022.

NORTH, D. C.; THOMAS, R. P. The First Economic Revolution. **The Economic History Review**, May, 1977, New Series, v. 30, n. 2, p. 229-241, May, 1977. Published by: Wiley on behalf of the Economic History Society Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/2595144>.

NÚÑEZ-MERINO, M. *et al.* Industry 4.0 and supply chain. A Systematic Science Mapping analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 181, p. 1-13, Aug. 2022.

OGBEIBU, S. *et al.* Green talent management and turnover intention: the roles of leader STARA competence and digital task interdependence. **Journal of Intellectual Capital**, v. 23, n. 1, p. 27-55, 17 Jan. 2022.

OMAR, Y.; MINOUFEKR, M.; PLAPPER, P. Business analytics in manufacturing: Current trends, challenges and pathway to market leadership. **Operations Research Perspectives**, v. 6, 2019.

PACHECO, P.; COELLO-MONTECEL, D. Does psychological empowerment mediate the relationship between digital competencies and job performance? **Computers in Human Behavior**, v. 140, Mar. 2023.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; DE RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v. 46, n. 2, p. 161-187, maio/ago. 2017.

PAIVA, K. C. M. de. **Gestão de Recursos Humanos**. [S.l.]: Intersaberes, 2019.

PAPOUTSOGLU, M. *et al.* Online labour market analytics for the green economy: The case of electric vehicles. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 177, p. 1-14, Apr. 2022.

PATALAS-MALISZEWSKA, J.; HALIKOWSKI, D. A Model for Generating Workplace Procedures Using a CNN-SVM Architecture. **Symmetry-Basel**, v. 11, n. 9, Sept. 2019.

PEDOTA, M.; GRILLI, L.; PISCITELLO, L. Technology adoption and upskilling in the wake of Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 187, Feb. 2023.

PEREIRA, V. *et al.* A systematic literature review on the impact of artificial intelligence on workplace outcomes: A multi-process perspective. **Human Resource Management Review**, v. 33, n. 1, p. 1-22, Mar. 2023.

- PERKINS, G. *et al.* Analysing the impacts of Universal Basic Income in the changing world of work: Challenges to the psychological contract and a future research agenda. **Human Resource Management Journal**, v. 32, n. 1, p. 1-18, Jan. 2022.
- PFEIFFER, S. The Vision of “Industrie 4.0” in the Making – a Case of Future Told, Tamed, and Traded. **NanoEthics**, v. 11, n. 1, p. 107-121, Apr. 2017.
- PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3821, 22 Oct. 2018.
- POPKOVA, E. G.; SERGI, B. S. Human capital and AI in industry 4.0. Convergence and divergence in social entrepreneurship in Russia. **Journal of Intellectual Capital**, v. 21, n. 4, p. 565-581, 26 Feb. 2020.
- POTGIETER, I.; FERREIRA, N. Psychological fortitude model for digitally mindset working adults. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 24 Nov. 2022.
- POUYAKIAN, M. Cybergonomics: Proposing and justification of a new name for the ergonomics of Industry 4.0 technologies. **Frontiers in Public Health**, v. 10, 3 Nov. 2022.
- PRINS, A. *et al.* Using Google Scholar in research evaluation of social science programs, with a comparison with Web of Science data. **Research Evaluation**, v. 25, n. 3, p. 264-270, 2016.
- PRODI, E. *et al.* Industry 4.0 policy from a sociotechnical perspective: The case of German competence centres. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, p. 1-12, Feb. 2022.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173-178, 2016.
- RAMPERSAD, G. Robot will take your job: Innovation for an era of artificial intelligence. **Journal of Business Research**, v. 116, p. 68-74, Aug. 2020.
- ROSHCHIN, S.; SOLNTSEV, S.; VASILYEV, D. Recruiting and Job Search Technologies in the Age of Internet. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 33-43, 26 Dec. 2017.
- RUPPERT, T. *et al.* Enabling Technologies for Operator 4.0: A Survey. **Applied Sciences**, v. 8, n. 9, p. 1650, 13 Sept. 2018.
- SAABYE, H.; KRISTENSEN, T.; WAEHRENS, B. Developing a learning-to-learn capability: insights on conditions for Industry 4.0 adoption. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 42, n. 13, p. 25-53, 27 Jan. 2022.
- SANTANA, M.; DIAZ-FERNANDEZ, M. Competencies for the artificial intelligence age: visualisation of the state of the art and future perspectives. **Review of Managerial Science**, 29 Dec. 2022.
- SARBADHIKARI, S.; CHITKARA, K. The Need for Developing Technology-Enabled, Safe, and Ethical Workforce for Healthcare Delivery. **Safety and Health at Work**, v. 11, n. 4, p. 533-536, Dec. 2020.

SCHNEIDER, P. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. **Review of Managerial Science**, v. 12, n. 3, p. 803-848, July, 2018.

SCHNEIDER, P.; STING, F. J. Employees' Perspectives on Digitalization-Induced Change: Exploring Frames of Industry 4.0. **Academy of Management Discoveries**, v. 6, n. 3, p. 406-435, Apr. 2020.

SCHWEINSBERG, A. *et al.* Psychology Education and Work Readiness Integration: A Call for Research in Australia. **Frontiers in Psychology**, v. 12, 9 Apr. 2021.

SHAMSI, A. Relationship between Knowledge Management and Managerial Skills: The Role of Creative Thinking. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 44-51, 26 Dec. 2017.

SHET, S. V.; PEREIRA, V. Proposed managerial competencies for Industry 4.0 – Implications for social sustainability. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 173, p. 1-13, Dec. 2021.

SHIRK, J. From Bureaucratic Discipline to Self-Actualization: Using Marx and Foucault to Critique the Demand for Better Work Rather Than Less Work. **Administration & Society**, v. 54, n. 9, p. 1827-1847, Oct. 2022.

SIDDOO, V. *et al.* An exploratory study of digital workforce competency in Thailand. **Heliyon**, v. 5, n. 5, May, 2019.

SINGARAM, S.; MAYER, C. The influence of the Fourth Industrial Revolution on organisational culture: An empirical investigation. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 24 Nov. 2022.

SISINNI, E. *et al.* Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 11, p. 4724-4734, Nov. 2018.

SRIVASTAVA, D. K. *et al.* Adopting Industry 4.0 by leveraging organisational factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 176, p. 1-10, Mar. 2022.

STRENGE, B.; SCHACK, T. Empirical relationships between algorithmic SDA-M-based memory assessments and human errors in manual assembly tasks. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 4 May, 2021.

SUK-YEE, J. **Innovation in Manufacturing 3.0 Strategy Needs Better Focus with Clearer Direction**. Disponível em:
<http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=13060>. Acesso em: 12 maio, 2023.

SUNG, T. K. Industry 4.0: A Korea perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 40-45, July, 2018.

TAQI, H. MD. M. *et al.* Behavioural factors for Industry 4.0 adoption: implications for knowledge-based supply chains. **Operations Management Research**, 18 Jan. 2023.

TASCA, J. E. *et al.* An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, v. 34, n. 7, p. 631-655, 31 Aug. 2010.

TORTORELLA, G. L. *et al.* Modeling the impact of industry 4.0 base technologies on the development of organizational learning capabilities. **Operations Management Research**, 2 Nov. 2022.

UL ZIA, N.; BURITA, L.; YANG, Y. Inter-organizational social capital of firms in developing economies and industry 4.0 readiness: the role of innovative capability and absorptive capacity. **Review of Managerial Science**, v. 17, n. 2, p. 661-682, Feb. 2023.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual**, 23 Jan. 2023.

VANDERHAEGEN, F. Weak Signal-Oriented Investigation of Ethical Dissonance Applied to Unsuccessful Mobility Experiences Linked to Human–Machine Interactions. **Science and Engineering Ethics**, v. 27, n. 1, p. 2, Feb. 2021.

VERMA, S.; SINGH, V. The Employees Intention to Work in Artificial Intelligence-Based Hybrid Environments. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1-12, 2022.

VIRMANI, N. *et al.* Adoption of industry 4.0 evidence in emerging economy: Behavioral reasoning theory perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 188, p. 1-12, Mar. 2023.

VIRMANI, N.; RAVINDRA SALVE, U. Significance of Human Factors and Ergonomics (HFE): Mediating Its Role Between Industry 4.0 Implementation and Operational Excellence. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1-14, 2022.

WANG, X. *et al.* Industry 4.0 and intellectual capital in the age of FinTech. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 166, p. 1-22, May, 2021.

WARING, P.; BALI, A.; VAS, C. The fourth industrial revolution and labour market regulation in Singapore. **Economic and Labour Relations Review**, v. 31, n. 3, p. 347-363, Sept. 2020.

WEB OF SCIENCE CORE COLLECTION. Clarivate, [s.d.]. Disponível em: <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/web-of-science/web-of-science-core-collection/>. Acesso em: 8 maio, 2023.

WEHRLE, M. *et al.* Digitalization and its Impact on the Future Role of SCM Executives in Talent Management - An International Cross-Industry Delphi Study. **Journal of Business Logistics**, v. 41, n. 4, p. 356-383, Dec. 2020.

WILKESMANN, M.; WILKESMANN, U. Industry 4.0 – organizing routines or innovations? **VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems**, v. 48, n. 2, p. 238-254, 14 May, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Strategic Intelligence | World Economic Forum**. Disponível em: <https://intelligence.weforum.org>. Acesso em: 11 maio, 2023.

XIN, L.; LANG, S.; MISHRA, A. Evaluate the challenges of sustainable supply chain 4.0 implementation under the circular economy concept using new decision making approach. **Operations Management Research**, v. 15, n. 3-4, p. 773-792, Dec. 2022.

XU, L. D.; 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, 9 Mar. 2018.

YALENIOS, J.; D'ARMAGNAC, S. Work transformation and the HR ecosystem dynamics: A longitudinal case study of HRM disruption in the era of the 4th industrial revolution. **Human Resource Management**, v. 62, n. 1, p. 55-77, Jan. 2023.

ZAVYALOVA, E.; KUCHEROV, D.; TSYBOVA, V. Human Resource Management at Russian Companies – Leaders of the Global Economy. **Foresight and STI Governance**, v. 11, n. 4, p. 52-61, 26 Dec. 2017.

ZHONG, R. Y. *et al.* Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 1 Oct. 2017.

ZHU, J. *et al.* Digital Leadership and Employee Creativity: The Role of Employee Job Crafting and Person-Organization Fit. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 9 May, 2022.

ŽUPIČ, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, July, 2015.

APÊNDICE A – Categorias *Web of Science* Seleccionadas

1. Area Studies
 - 1.1. Area Studies; Economics
 - 1.2. Area Studies; History & Philosophy of Science; Asian Studies
2. Behavioral Sciences; Engineering, Industrial; Ergonomics; Psychology, Applied; Psychology
3. Business
4. Business, Finance
 - 4.1. Business, Finance; Economics; Management
 - 4.2. Business; Business, Finance
5. Business; Communication
6. Business; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications
 - 6.1. Business; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Economics; Management
7. Business; Development Studies; Management
8. Business; Economics
 - 8.1. Business; Economics; Geography
 - 8.2. Business; Economics; Management
9. Business; Education & Educational Research; Management
10. Business; Engineering, Industrial; Management
11. Business; Environmental Studies; Management
12. Business; Ethics
13. Business; Management
 - 13.1. Business; Management; Social Sciences, Mathematical Methods
14. Business; Regional & Urban Planning
15. Cultural Studies; History
16. Development Studies
 - 16.1. Development Studies; Economics
 - 16.2. Development Studies; Economics; Geography
 - 16.3. Development Studies; Green & Sustainable Science & Technology; Regional & Urban Planning
 - 16.4. Development Studies; Information Science & Library Science
 - 16.5. Development Studies; Regional & Urban Planning
17. Economics
18. Economics; Engineering, Civil; Operations Research & Management Science; Transportation; Transportation Science & Technology
19. Economics; Environmental Studies; Geography; Regional & Urban Planning
 - 19.1. Economics; Environmental Studies; Law; Political Science
20. Economics; Geography
21. Economics; Industrial Relations & Labor
22. Economics; International Relations; Political Science
23. Economics; Management
 - 23.1. Economics; Management; Mathematics, Interdisciplinary Applications
24. Economics; Mathematics, Interdisciplinary Applications
25. Economics; Political Science
26. Economics; Regional & Urban Planning
27. Economics; Sociology
28. Economics; Transportation

- 28.1. Economics; Transportation; Transportation Science & Technology
- 29. Ergonomics
- 29.1. Ergonomics; Management
- 30. Ethics
- 30.1. Ethics; Engineering, Multidisciplinary; History & Philosophy of Science; Multidisciplinary Sciences; Philosophy
- 30.2. Ethics; History & Philosophy of Science
- 30.3. Ethics; History & Philosophy of Science; Management; Social Issues
- 30.4. Ethics; Medical Ethics; Social Issues; Social Sciences, Biomedical
- 31. History
- 31.1. History & Philosophy of Science
- 31.2. History & Philosophy of Science; Multidisciplinary Sciences
- 32. Humanities, Multidisciplinary
- 32.1. Humanities, Multidisciplinary; Chemistry, Analytical; Materials Science, Multidisciplinary; Spectroscopy
- 32.2. Humanities, Multidisciplinary; Computer Science, Interdisciplinary Applications
- 32.3. Humanities, Multidisciplinary; Linguistics
- 32.4. Humanities, Multidisciplinary; Social Sciences, Interdisciplinary
- 32.5. Humanities, Multidisciplinary; Social Sciences, Interdisciplinary; Sociology
- 33. Industrial Relations & Labor
- 33.1. Industrial Relations & Labor; Management
- 34. Management
- 34.1. Management; Multidisciplinary Sciences
- 34.2. Management; Operations Research & Management Science
- 34.3. Management; Social Sciences, Interdisciplinary
- 34.4. Management; Transportation
- 35. Multidisciplinary Sciences
- 36. Neurosciences
- 36.1. Neurosciences; Psychology
- 37. Operations Research & Management Science
- 37.1. Operations Research & Management Science; Mathematics, Applied
- 37.2. Operations Research & Management Science; Mathematics, Interdisciplinary Applications; Statistics & Probability
- 38. Philosophy
- 39. Political Science
- 39.1. Political Science; Public Administration
- 40. Psychiatry
- 41. Psychology, Applied
- 41.1. Psychology, Applied; Management
- 41.2. Psychology, Applied; Psychology, Social
- 41.3. Psychology, Educational
- 41.4. Psychology, Educational; Psychology, Multidisciplinary
- 41.5. Psychology, Multidisciplinary
- 41.6. Psychology, Multidisciplinary; Psychology, Experimental
- 41.7. Psychology, Social
- 41.8. Psychology; Psychology, Multidisciplinary
- 42. Public Administration
- 42.1. Public Administration; Social Issues; Social Work
- 43. Public, Environmental & Occupational Health

- 43.1. Public, Environmental & Occupational Health; Mathematics, Interdisciplinary Applications; Social Sciences, Mathematical Methods
- 43.2. Public, Environmental & Occupational Health; Pharmacology & Pharmacy
- 44. Social Issues
 - 44.1. Social Issues; Social Sciences, Interdisciplinary
 - 44.2. Social Issues; Sociology
- 45. Social Sciences, Interdisciplinary
 - 45.1. Social Sciences, Interdisciplinary; Sociology
- 46. Social Sciences, Mathematical Methods
- 47. Social Work
- 48. Sociology
 - 48.1. Sociology; Urban Studies
- 49. Women's Studies

APÊNDICE B – Categorias *Web of Science* Dispensadas

1. Art
2. Asian Studies
3. Automation & Control Systems
 - 3.1. Automation & Control Systems; Chemistry, Analytical; Computer Science, Artificial Intelligence; Instruments & Instrumentation; Mathematics, Interdisciplinary Applications; Statistics & Probability
 - 3.2. Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence
 - 3.3. Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Cybernetics
 - 3.4. Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence; Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Electrical & Electronic
 - 3.5. Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence; Mathematics, Applied
 - 3.6. Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence; Robotics
 - 3.7. Automation & Control Systems; Computer Science, Cybernetics
 - 3.8. Automation & Control Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Industrial
 - 3.9. Automation & Control Systems; Engineering, Chemical
 - 3.10. Automation & Control Systems; Engineering, Electrical & Electronic
 - 3.11. Automation & Control Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Engineering, Mechanical; Robotics
 - 3.12. Automation & Control Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Instruments & Instrumentation
 - 3.13. Automation & Control Systems; Engineering, Manufacturing
 - 3.14. Automation & Control Systems; Engineering, Manufacturing; Engineering, Electrical & Electronic; Engineering, Mechanical
 - 3.15. Automation & Control Systems; Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Electrical & Electronic; Mathematics, Interdisciplinary Applications
 - 3.16. Automation & Control Systems; Engineering, Multidisciplinary; Instruments & Instrumentation
 - 3.17. Automation & Control Systems; Instruments & Instrumentation
 - 3.18. Automation & Control Systems; Operations Research & Management Science
 - 3.19. Automation & Control Systems; Robotics
4. Biochemical Research Methods
 - 4.1. Biochemical Research Methods; Biotechnology & Applied Microbiology
 - 4.2. Biochemical Research Methods; Chemistry, Analytical
5. Biochemistry & Molecular Biology
 - 5.1. Biochemistry & Molecular Biology; Cell Biology
6. Biodiversity Conservation; Ecology
 - 6.1. Biodiversity Conservation; Plant Sciences; Ecology
7. Biology
 - 7.1. Biology; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Biomedical; Mathematical & Computational Biology
 - 7.2. Biology; Mathematical & Computational Biology
 - 7.3. Biology; Mathematical & Computational Biology; Medicine, Research & Experimental
8. Biotechnology & Applied Microbiology

- 8.1. Biotechnology & Applied Microbiology; Chemistry, Multidisciplinary
- 8.2. Biotechnology & Applied Microbiology; Chemistry, Multidisciplinary; Engineering, Environmental; Engineering, Chemical
- 8.3. Biotechnology & Applied Microbiology; Engineering, Chemical
- 8.4. Biotechnology & Applied Microbiology; Engineering, Environmental; Environmental Sciences
- 8.5. Biotechnology & Applied Microbiology; Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing
- 8.6. Biotechnology & Applied Microbiology; Food Science & Technology
- 8.7. Biotechnology & Applied Microbiology; Genetics & Heredity
- 8.8. Biotechnology & Applied Microbiology; Multidisciplinary Sciences
9. Cardiac & Cardiovascular Systems
10. Chemistry, Analytical
- 10.1. Chemistry, Analytical; Electrochemistry; Instruments & Instrumentation
- 10.2. Chemistry, Analytical; Engineering, Electrical & Electronic; Instruments & Instrumentation
- 10.3. Chemistry, Analytical; Nanoscience & Nanotechnology; Instruments & Instrumentation; Physics, Applied
11. Chemistry, Applied; Engineering, Chemical
12. Chemistry, Inorganic & Nuclear; Chemistry, Physical; Materials Science, Multidisciplinary
13. Chemistry, Medicinal; Pharmacology & Pharmacy
14. Chemistry, Multidisciplinary
- 14.1. Chemistry, Multidisciplinary; Chemistry, Physical; Nanoscience & Nanotechnology; Materials Science, Multidisciplinary
- 14.2. Chemistry, Multidisciplinary; Chemistry, Physical; Nanoscience & Nanotechnology; Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied; Physics, Condensed Matter
- 14.3. Chemistry, Multidisciplinary; Engineering, Chemical
- 14.4. Chemistry, Multidisciplinary; Engineering, Multidisciplinary; Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied
- 14.5. Chemistry, Multidisciplinary; Green & Sustainable Science & Technology
- 14.6. Chemistry, Multidisciplinary; Materials Science, Multidisciplinary
- 14.7. Chemistry, Multidisciplinary; Pharmacology & Pharmacy
15. Chemistry, Physical
- 15.1. Chemistry, Physical; Electrochemistry; Materials Science, Multidisciplinary
- 15.2. Chemistry, Physical; Energy & Fuels; Materials Science, Multidisciplinary
- 15.3. Chemistry, Physical; Energy & Fuels; Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied; Physics, Condensed Matter
- 15.4. Chemistry, Physical; Engineering, Chemical
- 15.5. Chemistry, Physical; Materials Science, Multidisciplinary; Metallurgy & Metallurgical Engineering; Physics, Applied; Physics, Condensed Matter
- 15.6. Chemistry, Physical; Nanoscience & Nanotechnology; Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied
16. Communication
- 16.1. Communication; Information Science & Library Science
17. Computer Science, Artificial Intelligence
- 17.1. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Cybernetics
- 17.2. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Cybernetics; Computer Science, Information Systems

- 17.3. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Theory & Methods; Engineering, Electrical & Electronic
- 17.4. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems
- 17.5. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications
- 17.6. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*
- 17.7. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Theory & Methods
- 17.8. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic
- 17.9. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems; Telecommunications
- 17.10. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Interdisciplinary Applications
- 17.11. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary
- 17.12. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Manufacturing
- 17.13. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, *Software Engineering*; Engineering, Electrical & Electronic
- 17.14. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Theory & Methods
- 17.15. Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Theory & Methods; Logic
- 17.16. Computer Science, Artificial Intelligence; Engineering, Electrical & Electronic
- 17.17. Computer Science, Artificial Intelligence; Engineering, Electrical & Electronic; Operations Research & Management Science
- 17.18. Computer Science, Artificial Intelligence; Engineering, Manufacturing
- 17.19. Computer Science, Artificial Intelligence; Engineering, Multidisciplinary
- 17.20. Computer Science, Artificial Intelligence; Neurosciences; Psychology, Experimental
- 17.21. Computer Science, Artificial Intelligence; Robotics
- 17.22. Computer Science, Artificial Intelligence; Robotics; Neurosciences
- 18. Computer Science, Cybernetics
- 18.1. Computer Science, Cybernetics; Computer Science, Information Systems
- 18.2. Computer Science, Cybernetics; Ergonomics
- 19. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, Theory & Methods; Engineering, Electrical & Electronic
- 19.1. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*; Computer Science, Theory & Methods
- 19.2. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications
- 19.3. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Information Systems; Optics; Telecommunications
- 19.4. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Information Systems; Telecommunications
- 19.5. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, *Software Engineering*

- 19.6. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Electrical & Electronic
- 19.7. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, *Software Engineering*
- 19.8. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, *Software Engineering*; Engineering, Electrical & Electronic
- 19.9. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Computer Science, Theory & Methods; Engineering, Electrical & Electronic
- 19.10. Computer Science, *Hardware & Architecture*; Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications
- 20. Computer Science, Information Systems
- 20.1. Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications
- 20.2. Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Electrical & Electronic
- 20.3. Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Mathematical & Computational Biology; Medical Informatics
- 20.4. Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Multidisciplinary Sciences
- 20.5. Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*
- 20.6. Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*; Computer Science, Theory & Methods
- 20.7. Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*; Computer Science, Theory & Methods; Engineering, Electrical & Electronic
- 20.8. Computer Science, Information Systems; Computer Science, *Software Engineering*; Engineering, Electrical & Electronic
- 20.9. Computer Science, Information Systems; Computer Science, Theory & Methods
- 20.10. Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic
- 20.11. Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Operations Research & Management Science; Telecommunications
- 20.12. Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Physics, Applied
- 20.13. Computer Science, Information Systems; Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications
- 20.14. Computer Science, Information Systems; Geography, Physical; Remote Sensing
- 20.15. Computer Science, Information Systems; Information Science & Library Science
- 20.16. Computer Science, Information Systems; Information Science & Library Science; Management
- 20.17. Computer Science, Information Systems; Materials Science, Multidisciplinary
- 20.18. Computer Science, Information Systems; Mathematics, Applied
- 20.19. Computer Science, Information Systems; Multidisciplinary Sciences
- 20.20. Computer Science, Information Systems; Telecommunications
- 21. Computer Science, Interdisciplinary Applications
- 21.1. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, *Software Engineering*
- 21.2. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, *Software Engineering*; Engineering, Multidisciplinary
- 21.3. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, Theory & Methods
- 21.4. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Education & Educational Research

- 21.5. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Education, Scientific Disciplines; Engineering, Multidisciplinary
- 21.6. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Biomedical; Mathematical & Computational Biology; Medical Informatics
- 21.7. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Chemical
- 21.8. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Industrial
- 21.9. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science
- 21.10. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Manufacturing
- 21.11. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Manufacturing; Operations Research & Management Science
- 21.12. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Manufacturing; Robotics
- 21.13. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Mechanical
- 21.14. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary
- 21.15. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary; Materials Science, Multidisciplinary
- 21.16. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary; Mathematics, Interdisciplinary Applications
- 21.17. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Engineering, Multidisciplinary; Mechanics
- 21.18. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Information Science & Library Science
- 21.19. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Information Science & Library Science; Management
- 21.20. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Information Science & Library Science; Social Sciences, Interdisciplinary
- 21.21. Computer Science, Interdisciplinary Applications; Mathematics, Interdisciplinary Applications; Social Sciences, Mathematical Methods
- 22. Computer Science, *Software* Engineering
- 22.1. Computer Science, *Software* Engineering; Computer Science, Theory & Methods
- 22.2. Computer Science, *Software* Engineering; Computer Science, Theory & Methods; Logic
- 23. Computer Science, Theory & Methods
- 23.1. Computer Science, Theory & Methods; Logic
- 24. Construction & Building Technology
- 24.1. Construction & Building Technology; Engineering, Civil
- 24.2. Construction & Building Technology; Engineering, Civil; Materials Science, Characterization & Testing; Materials Science, Composites
- 24.3. Construction & Building Technology; Engineering, Civil; Transportation Science & Technology
- 24.4. Construction & Building Technology; Engineering, Industrial; Engineering, Civil
- 24.5. Construction & Building Technology; Green & Sustainable Science & Technology; Energy & Fuels
- 24.6. Construction & Building Technology; Materials Science, Multidisciplinary
- 25. Criminology & Penology
- 26. Crystallography; Materials Science, Multidisciplinary
- 27. Dermatology
- 28. Ecology
- 29. Education & Educational Research

- 29.1. Education & Educational Research; Education, Scientific Disciplines
- 29.2. Education & Educational Research; History & Philosophy of Science; Social Sciences, Interdisciplinary
- 29.3. Education & Educational Research; Hospitality, Leisure, Sport & Tourism
- 29.4. Education & Educational Research; Music
- 29.5. Education & Educational Research; Philosophy
- 30. Education, Scientific Disciplines
- 30.1. Education, Scientific Disciplines; Engineering, Chemical
- 30.2. Education, Scientific Disciplines; Engineering, Electrical & Electronic
- 30.3. Education, Scientific Disciplines; Engineering, Multidisciplinary
- 30.4. Education, Scientific Disciplines; Public, Environmental & Occupational Health
- 30.5. Education, Special
- 31. Endocrinology & Metabolism
- 32. Energy & Fuels
- 32.1. Energy & Fuels; Engineering, Chemical
- 32.2. Energy & Fuels; Engineering, Environmental; Environmental Sciences
- 32.3. Energy & Fuels; Engineering, Petroleum
- 32.4. Energy & Fuels; Nuclear Science & Technology
- 33. Engineering, Aerospace
- 34. Engineering, Biomedical; Engineering, Electrical & Electronic
- 34.1. Engineering, Biomedical; Engineering, Mechanical
- 34.2. Engineering, Biomedical; Rehabilitation
- 35. Engineering, Chemical
- 35.1. Engineering, Chemical; Engineering, Mechanical
- 35.2. Engineering, Chemical; Food Science & Technology
- 35.3. Engineering, Chemical; Materials Science, Multidisciplinary; Mechanics
- 35.4. Engineering, Chemical; Mineralogy; Mining & Mineral Processing
- 35.5. Engineering, Chemical; Polymer Science
- 36. Engineering, Civil
- 36.1. Engineering, Civil; Engineering, Electrical & Electronic; Transportation Science & Technology
- 36.2. Engineering, Civil; Engineering, Geological
- 36.3. Engineering, Civil; Transportation Science & Technology
- 36.4. Engineering, Civil; Transportation; Transportation Science & Technology
- 36.5. Engineering, Civil; Water Resources
- 37. Engineering, Electrical & Electronic
- 37.1. Engineering, Electrical & Electronic; Engineering, Mechanical
- 37.2. Engineering, Electrical & Electronic; Imaging Science & Photographic Technology
- 37.3. Engineering, Electrical & Electronic; Instruments & Instrumentation
- 37.4. Engineering, Electrical & Electronic; Instruments & Instrumentation; Physics, Applied
- 37.5. Engineering, Electrical & Electronic; Mathematics, Interdisciplinary Applications
- 37.6. Engineering, Electrical & Electronic; Quantum Science & Technology; Optics
- 37.7. Engineering, Electrical & Electronic; Quantum Science & Technology; Optics; Physics, Applied
- 37.8. Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications
- 37.9. Engineering, Electrical & Electronic; Telecommunications; Transportation Science & Technology
- 37.10. Engineering, Electrical & Electronic; Urban Studies
- 38. Engineering, Environmental; Engineering, Chemical
- 38.1. Engineering, Environmental; Environmental Sciences

- 38.2. Engineering, Environmental; Environmental Sciences; Water Resources
- 39. Engineering, Geological
- 39.1. Engineering, Geological; Geosciences, Multidisciplinary
- 40. Engineering, Industrial
- 40.1. Engineering, Industrial; Engineering, Civil
- 40.2. Engineering, Industrial; Engineering, Civil; Management
- 40.3. Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing
- 40.4. Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing; Management
- 40.5. Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing; Materials Science, Multidisciplinary
- 40.6. Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing; Operations Research & Management Science
- 40.7. Engineering, Industrial; Ergonomics
- 40.8. Engineering, Industrial; Ergonomics; Psychology, Applied
- 40.9. Engineering, Industrial; Ergonomics; Psychology, Applied; Psychology
- 40.10. Engineering, Industrial; Management
- 40.11. Engineering, Industrial; Management; Operations Research & Management Science
- 40.12. Engineering, Industrial; Materials Science, Multidisciplinary
- 40.13. Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science
- 40.14. Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science; Statistics & Probability
- 40.15. Engineering, Industrial; Robotics
- 40.16. Engineering, Industrial; Statistics & Probability
- 41. Engineering, Manufacturing
- 41.1. Engineering, Manufacturing; Engineering, Electrical & Electronic; Materials Science, Multidisciplinary
- 41.2. Engineering, Manufacturing; Engineering, Electrical & Electronic; Physics, Applied; Physics, Condensed Matter
- 41.3. Engineering, Manufacturing; Engineering, Mechanical
- 41.4. Engineering, Manufacturing; Engineering, Mechanical; Materials Science, Multidisciplinary
- 41.5. Engineering, Manufacturing; Ergonomics
- 41.6. Engineering, Manufacturing; Materials Science, Composites
- 41.7. Engineering, Manufacturing; Materials Science, Multidisciplinary
- 41.8. Engineering, Manufacturing; Materials Science, Multidisciplinary; Metallurgy & Metallurgical Engineering
- 41.9. Engineering, Manufacturing; Operations Research & Management Science
- 42. Engineering, Marine
- 42.1. Engineering, Marine; Engineering, Civil; Engineering, Ocean; Oceanography
- 42.2. Engineering, Marine; Engineering, Ocean; Oceanography
- 42.3. Engineering, Marine; Transportation; Transportation Science & Technology
- 43. Engineering, Mechanical
- 43.1. Engineering, Mechanical; Instruments & Instrumentation
- 43.2. Engineering, Mechanical; Materials Science, Multidisciplinary
- 43.3. Engineering, Mechanical; Mechanics
- 43.4. Engineering, Mechanical; Mechanics; Materials Science, Characterization & Testing
- 43.5. Engineering, Multidisciplinary
- 43.6. Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Electrical & Electronic
- 43.7. Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing

- 43.8. Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science
- 43.9. Engineering, Multidisciplinary; Engineering, Manufacturing; Nanoscience & Nanotechnology; Instruments & Instrumentation
- 43.10. Engineering, Multidisciplinary; Instruments & Instrumentation
- 43.11. Engineering, Multidisciplinary; Management; Operations Research & Management Science
- 43.12. Engineering, Multidisciplinary; Materials Science, Multidisciplinary
- 43.13. Engineering, Multidisciplinary; Mathematics, Interdisciplinary Applications
- 43.14. Engineering, Multidisciplinary; Operations Research & Management Science; Mathematics, Applied
- 43.15. Engineering, Multidisciplinary; Operations Research & Management Science; Mathematics, Interdisciplinary Applications
- 43.16. Engineering, Multidisciplinary; Physics, Applied
- 44. Engineering, Petroleum
- 45. Entomology
- 46. Environmental Sciences
- 46.1. Environmental Sciences; Environmental Studies; Geosciences, Multidisciplinary; Public, Environmental & Occupational Health; Meteorology & Atmospheric Sciences
- 46.2. Environmental Sciences; Geosciences, Multidisciplinary; Remote Sensing; Imaging Science & Photographic Technology
- 46.3. Environmental Sciences; Meteorology & Atmospheric Sciences
- 46.4. Environmental Sciences; Operations Research & Management Science
- 46.5. Environmental Sciences; Public, Environmental & Occupational Health
- 47. Environmental Studies
- 47.1. Environmental Studies; Geography
- 47.2. Environmental Studies; Geography; Regional & Urban Planning; Urban Studies
- 47.3. Environmental Studies; International Relations
- 48. Ethics; Medical Ethics
- 49. Food Science & Technology
- 49.1. Food Science & Technology; Nutrition & Dietetics
- 50. Forestry
- 50.1. Forestry; Materials Science, Paper & Wood
- 51. Genetics & Heredity
- 52. Geochemistry & Geophysics; Mineralogy; Mining & Mineral Processing
- 53. Geography
- 53.1. Geography; Regional & Urban Planning
- 54. Geology
- 55. Geosciences, Multidisciplinary
- 55.1. Geosciences, Multidisciplinary; Meteorology & Atmospheric Sciences; Water Resources
- 55.2. Geosciences, Multidisciplinary; Mining & Mineral Processing
- 56. Green & Sustainable Science & Technology
- 56.1. Green & Sustainable Science & Technology; Energy & Fuels
- 56.2. Green & Sustainable Science & Technology; Energy & Fuels; Engineering, Environmental; Engineering, Chemical; Environmental Sciences
- 56.3. Green & Sustainable Science & Technology; Engineering, Environmental; Environmental Sciences
- 56.4. Green & Sustainable Science & Technology; Engineering, Environmental; Environmental Sciences; Environmental Studies

- 56.5. Green & Sustainable Science & Technology; Engineering, Manufacturing; Engineering, Mechanical
- 56.6. Green & Sustainable Science & Technology; Environmental Sciences
- 56.7. Green & Sustainable Science & Technology; Environmental Sciences; Environmental Studies
- 56.8. Green & Sustainable Science & Technology; Environmental Sciences; Environmental Studies; Urban Studies
- 56.9. Green & Sustainable Science & Technology; Environmental Studies
- 56.10. Green & Sustainable Science & Technology; Environmental Studies; Transportation
- 56.11. Green & Sustainable Science & Technology; Materials Science, Multidisciplinary
- 57. Health Care Sciences & Services
- 57.1. Health Care Sciences & Services; Health Policy & Services
- 57.2. Health Care Sciences & Services; Medical Informatics
- 57.3. Health Care Sciences & Services; Public, Environmental & Occupational Health
- 58. Health Policy & Services
- 59. Hospitality, Leisure, Sport & Tourism
- 59.1. Hospitality, Leisure, Sport & Tourism; Management
- 60. Imaging Science & Photographic Technology
- 61. Information Science & Library Science
- 61.1. Information Science & Library Science; Management
- 62. Instruments & Instrumentation
- 62.1. Instruments & Instrumentation; Materials Science, Characterization & Testing
- 62.2. Instruments & Instrumentation; Materials Science, Characterization & Testing; Quantum Science & Technology
- 62.3. Instruments & Instrumentation; Materials Science, Multidisciplinary
- 62.4. Instruments & Instrumentation; Physics, Applied
- 63. Integrative & Complementary Medicine
- 64. International Relations
- 64.1. International Relations; Law
- 64.2. International Relations; Political Science
- 64.3. International Relations; Social Sciences, Interdisciplinary
- 65. Language & Linguistics
- 65.1. Language & Linguistics; Literature
- 66. Law
- 67. Linguistics
- 67.1. Linguistics; Language & Linguistics
- 68. Literature
- 69. Materials Science, Biomaterials
- 70. Materials Science, Characterization & Testing
- 70.1. Materials Science, Characterization & Testing; Polymer Science
- 71. Materials Science, Coatings & Films
- 71.1. Materials Science, Coatings & Films; Physics, Applied
- 72. Materials Science, Composites
- 72.1. Materials Science, Composites; Polymer Science
- 73. Materials Science, Multidisciplinary
- 73.1. Materials Science, Multidisciplinary; Materials Science, Coatings & Films; Physics, Applied
- 73.2. Materials Science, Multidisciplinary; Mechanics; Materials Science, Characterization & Testing

- 73.3. Materials Science, Multidisciplinary; Mechanics; Materials Science, Characterization & Testing; Materials Science, Composites
- 73.4. Materials Science, Multidisciplinary; Metallurgy & Metallurgical Engineering
- 73.5. Materials Science, Multidisciplinary; Optics
- 73.6. Materials Science, Multidisciplinary; Optics; Physics, Applied
- 73.7. Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied
- 73.8. Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Condensed Matter
- 73.9. Materials Science, Multidisciplinary; Polymer Science
- 74. Materials Science, Paper & Wood
- 75. Materials Science, Textiles
- 76. Mathematical & Computational Biology
- 76.1. Mathematical & Computational Biology; Neurosciences
- 77. Mathematics
- 78. Mathematics, Applied
- 78.1. Mathematics, Applied; Mathematics
- 78.2. Mathematics, Applied; Mathematics; Logic
- 79. Mathematics, Interdisciplinary Applications
- 79.1. Mathematics, Interdisciplinary Applications; Multidisciplinary Sciences
- 80. Mechanics
- 80.1. Mechanics; Materials Science, Composites
- 81. Medical Ethics
- 82. Medical Informatics
- 83. Medicine, General & Internal
- 84. Medicine, Research & Experimental
- 85. Metallurgy & Metallurgical Engineering
- 85.1. Metallurgy & Metallurgical Engineering; Mining & Mineral Processing
- 86. Mining & Mineral Processing
- 87. Nanoscience & Nanotechnology
- 87.1. Nanoscience & Nanotechnology; Materials Science, Multidisciplinary
- 87.2. Nanoscience & Nanotechnology; Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied
- 88. Nuclear Science & Technology
- 89. Nursing
- 90. Nutrition & Dietetics
- 91. Oceanography; Water Resources
- 92. Ophthalmology
- 93. Optics
- 94. Orthopedics
- 94.1. Orthopedics; Sport Sciences
- 95. Pharmacology & Pharmacy
- 96. Physics, Applied
- 97. Physics, Multidisciplinary
- 98. Plant Sciences
- 99. Polymer Science
- 100. Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging
- 101. Regional & Urban Planning
- 102. Rehabilitation
- 103. Religion
- 104. Remote Sensing
- 105. Robotics

106. Spectroscopy
107. Sport Sciences
108. Statistics & Probability
109. Surgery
110. Telecommunications
111. Theater
112. Thermodynamics
 - 112.1. Thermodynamics; Energy & Fuels
 - 112.2. Thermodynamics; Energy & Fuels; Engineering, Chemical; Engineering, Mechanical
 - 112.3. Thermodynamics; Energy & Fuels; Engineering, Mechanical
 - 112.4. Thermodynamics; Energy & Fuels; Mechanics
 - 112.5. Thermodynamics; Engineering, Mechanical
113. Transportation
 - 113.1. Transportation Science & Technology
114. Urban Studies
115. Urology & Nephrology
116. Water Resources

APÊNDICE C – Artigos Selecionados

Quadro 1 – Artigos Selecionados para a pesquisa

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
SUNG, Tae Kyung. Industry 4.0: a Korea perspective. Technological Forecasting and Social Change , v. 132, p. 40-45, 2018.	211	2018
ABUBAKAR, Abubakar Mohammed <i>et al.</i> Knowledge management, decision-making style and organizational performance. Journal of Innovation & Knowledge , v. 4, n. 2, p. 104-114, 2019.	190	2019
SCHNEIDER, Paul. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. Review of Managerial Science , v. 12, n. 3, p. 803-848, 2018.	132	2018
MANESH, Mohammad Fakhar <i>et al.</i> Knowledge management in the fourth industrial revolution: Mapping the literature and scoping future avenues. IEEE Transactions on Engineering Management , v. 68, n. 1, p. 289-300, 2020.	104	2021
LIBONI, Lara Bartocci <i>et al.</i> Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. Supply Chain Management: An International Journal , 2019.	96	2019
POPKOVA, Elena G.; SERGI, Bruno S. Human capital and AI in industry 4.0. Convergence and divergence in social entrepreneurship in Russia. Journal of Intellectual Capital , 2020.	88	2020
NAM, Taewoo. Technology usage, expected job sustainability, and perceived job insecurity. Technological Forecasting and Social Change , v. 138, p. 155-165, 2019.	65	2019
MAHMOOD, Tarique; MUBARIK, Muhammad Shujaat. Balancing innovation and exploitation in the fourth industrial revolution: Role of intellectual capital and technology absorptive capacity. Technological Forecasting and Social Change , v. 160, p. 120248, 2020.	58	2020
MEINDL, Benjamin <i>et al.</i> The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. Technological Forecasting and Social Change , v. 168, p. 120784, 2021.	57	2021
MOHELKA, Hana; SOKOLOVA, Marcela. Management approaches for Industry 4.0—the organizational culture perspective. Technological and Economic Development of Economy , v. 24, n. 6, p. 2225-2240, 2018.	52	2018
MIN, Jeehee <i>et al.</i> The fourth industrial revolution and its impact on occupational health and safety, worker's compensation and labor conditions. Safety and Health at Work , v. 10, n. 4, p. 400-408, 2019.	50	2019

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
MORGAN, Jamie. Will we work in twenty-first century capitalism? A critique of the fourth industrial revolution literature. Economy and Society , v. 48, n. 3, p. 371-398, 2019.	44	2019
GHISLIERI, Chiara; MOLINO, Monica; CORTESE, Claudio G. Work and organizational psychology looks at the fourth industrial revolution: how to support workers and organizations?. Frontiers in Psychology , v. 9, p. 2365, 2018.	42	2018
DACHYAR, M.; ZAGLOEL, Teuku Yuri M.; SARAGIH, L. Ranjaliba. Knowledge growth and development: <i>Internet of things (IoT) research, 2006–2018</i> . Heliyon , v. 5, n. 8, p. e02264, 2019.	41	2019
CAGLIANO, Raffaella <i>et al.</i> The interplay between smart manufacturing technologies and work organization: The role of technological complexity. International Journal of Operations & Production Management , 2019.	36	2019
RAMPERSAD, Giselle. Robot will take your job: Innovation for an era of artificial intelligence. Journal of Business Research , v. 116, p. 68-74, 2020.	36	2020
LEE, Changhun; LIM, Chiehyeon. From technological development to social advance: A review of Industry 4.0 through machine learning. Technological Forecasting and Social Change , v. 167, p. 120653, 2021.	32	2021
HU, Gang-Gao. Is knowledge spillover from human capital investment a catalyst for technological innovation? The curious case of fourth industrial revolution in BRICS economies. Technological Forecasting and Social Change , v. 162, p. 120327, 2021.	30	2021
NAM, Taewoo. Citizen attitudes about job replacement by robotic automation. Futures , v. 109, p. 39-49, 2019.	18	2019
BOGOVIZ, Aleksei V. Perspective directions of state regulation of competition between human and artificial intellectual capital in Industry 4.0. Journal of Intellectual Capital , v. 21, n. 4, p. 583-600, 2020.	17	2020
LI, Xin <i>et al.</i> Value creation during fourth industrial revolution: Use of intellectual capital by most innovative companies of the world. Technological Forecasting and Social Change , v. 163, p. 120479, 2021.	17	2021
MUKHUTY, Sumona; UPADHYAY, Arvind; ROTHWELL, Holly. Strategic sustainable development of Industry 4.0 through the lens of social responsibility: The role of human resource practices. Business Strategy and the Environment , v. 31, n. 5, p. 2068-2081, 2022.	17	2022
MARNEWICK, Carl; MARNEWICK, Annlizé L. The demands of industry 4.0 on project teams. <i>IEEE Transactions on Engineering Management</i> , v. 67, n. 3, p. 941-949, 2019.	16	2020

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
CIRILLO, Valeria <i>et al.</i> Technology vs. workers: the case of Italy's Industry 4.0 factories. Structural Change and Economic Dynamics , v. 56, p. 166-183, 2021.	16	2021
MARGHERITA, Emanuele Gabriel; BRACCINI, Alessio Maria. Managing industry 4.0 automation for fair ethical business development: A single case study. Technological Forecasting and Social Change , v. 172, p. 121048, 2021.	16	2021
OMAR, Yamila M.; MINOUFEKR, Meysam; PLAPPER, Peter. Business analytics in manufacturing: Current trends, challenges and pathway to market leadership. Operations Research Perspectives , v. 6, p. 100127, 2019.	15	2019
SCHNEIDER, Paul; STING, Fabian J. Employees' perspectives on digitalization-induced change: Exploring frames of industry 4.0. Academy of Management Discoveries , v. 6, n. 3, p. 406-435, 2020.	15	2020
PATALAS-MALISZEWSKA, Justyna; HALIKOWSKI, Daniel. A model for generating workplace procedures using a CNN-SVM architecture. Symmetry , v. 11, n. 9, p. 1151, 2019.	14	2019
SIDDOO, Veeraporn <i>et al.</i> An exploratory study of digital workforce competency in Thailand. Heliyon , v. 5, n. 5, p. e01723, 2019.	14	2019
SHET, Sateesh V.; PEREIRA, Vijay. Proposed managerial competencies for Industry 4.0—Implications for social sustainability. Technological Forecasting and Social Change , v. 173, p. 121080, 2021.	14	2021
SRIVASTAVA, Deepak Kumar <i>et al.</i> Adopting Industry 4.0 by leveraging organisational factors. Technological Forecasting and Social Change , v. 176, p. 121439, 2022.	14	2022
KLEINKNECHT, Alfred. The (negative) impact of supply-side labour market reforms on productivity: an overview of the evidence. Cambridge Journal of Economics , v. 44, n. 2, p. 445-464, 2020.	12	2020
WEHRLE, Manuel <i>et al.</i> Digitalization and its Impact on the Future Role of SCM Executives in Talent Management- An International Cross - Industry Delphi Study. Journal of Business Logistics , v. 41, n. 4, p. 356-383, 2020.	12	2020
ARIAS-PÉREZ, José; VÉLEZ-JARAMILLO, Juan. Ignoring the three-way interaction of digital orientation, Not-invented-here syndrome and employee's artificial intelligence awareness in digital innovation performance: A recipe for failure. Technological Forecasting and Social Change , v. 174, p. 121305, 2022.	12	2022

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
CHEN, Jacky <i>et al.</i> Artificial intelligence-based human-centric decision support framework: an application to predictive maintenance in asset management under pandemic environments. Annals of Operations Research , p. 1-24, 2021.	11	2021
VANDERHAEGEN, Frédéric. Weak signal-oriented investigation of ethical dissonance applied to unsuccessful mobility experiences <i>linked</i> to human-machine interactions. Science and Engineering Ethics , v. 27, p. 1-25, 2021.	11	2021
SAABYE, Henrik; KRISTENSEN, Thomas Borup; WÆHRENS, Brian Vejrum. Developing a learning-to-learn capability: insights on conditions for Industry 4.0 adoption. International Journal of Operations & Production Management , 2022.	11	2022
PEREIRA, Vijay <i>et al.</i> A systematic literature review on the impact of artificial intelligence on workplace outcomes: A multi-process perspective. Human Resource Management Review , v. 33, n. 1, p. 100857, 2023.	11	2023
INSHAKOVA, Agnessa O. <i>et al.</i> The model of distribution of human and machine labor at intellectual production in industry 4.0. Journal of Intellectual Capital , v. 21, n. 4, p. 601-622, 2020.	9	2020
SARBADHIKARI, Suptendra N.; PRADHAN, Keerti B. The need for developing Technology-Enabled, safe, and ethical workforce for healthcare delivery. Safety and Health at Work , v. 11, n. 4, p. 533-536, 2020.	9	2020
OGBEIBU, Samuel <i>et al.</i> Green talent management and turnover intention: the roles of leader STARA competence and digital task interdependence. Journal of Intellectual Capital , v. 23, n. 1, p. 27-55, 2022.	9	2022
LAVRYNENKO, Alina; SHMATKO, Natalia; MEISSNER, Dirk. Managing skills for open innovation: the case of biotechnology. Management Decision , 2018.	8	2018
GASHENKO, Irina V. <i>et al.</i> Competition between human and artificial intellectual capital in production and distribution in Industry 4.0. Journal of Intellectual Capital , v. 21, n. 4, p. 531-547, 2020.	8	2020
WANG, Xiaoying <i>et al.</i> Industry 4.0 and intellectual capital in the age of FinTech. Technological Forecasting and Social Change , v. 166, p. 120598, 2021.	6	2021
BURGESS, John; CONNELL, Julia. New technology and work: Exploring the challenges. The Economic and Labour Relations Review , v. 31, n. 3, p. 310-323, 2020.	5	2020

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
LOBOVA, Svetlana V. <i>et al.</i> Labor division and advantages and limits of participation in creation of intangible assets in industry 4.0: humans versus machines. Journal of Intellectual Capital , v. 21, n. 4, p. 623-638, 2020.	5	2020
BIANCO, Débora <i>et al.</i> Unlocking the Relationship Between Lean Leadership Competencies and Industry 4.0 Leadership Competencies: An ISM/Fuzzy MICMAC Approach. IEEE Transactions on Engineering Management , 2021.	5	2021
JAMES, Ajith Tom <i>et al.</i> Analysis of human resource management challenges in implementation of industry 4.0 in Indian automobile industry. Technological Forecasting and Social Change , v. 176, p. 121483, 2022.	5	2022
NOBLE, Stephanie M. <i>et al.</i> The Fifth Industrial Revolution: How harmonious human-machine collaboration is triggering a retail and service [r] evolution. Journal of Retailing , v. 98, n. 2, p. 199-208, 2022.	5	2022
CORO, Giancarlo <i>et al.</i> Industry 4.0 technological trajectories and traditional manufacturing regions: The role of knowledge workers. Regional Studies , v. 55, n. 10-11, p. 1681-1695, 2021.	4	2021
PERKINS, Graham <i>et al.</i> Analysing the impacts of Universal Basic Income in the changing world of work: Challenges to the psychological contract and a future research agenda. Human Resource Management Journal , v. 32, n. 1, p. 1-18, 2022.	4	2022
WARING, Peter; BALI, Azad; VAS, Chris. The fourth industrial revolution and labour market regulation in Singapore. The Economic and Labour Relations Review , v. 31, n. 3, p. 347-363, 2020.	3	2020
CHIARELLO, Filippo <i>et al.</i> Towards ESCO 4.0—Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach. Technological Forecasting and Social Change , v. 173, p. 121177, 2021.	3	2021
COSTA, Federica; PORTIOLI-STAUDACHER, Alberto. Labor flexibility integration in workload control in Industry 4.0 era. Operations Management Research , v. 14, p. 420-433, 2021.	3	2021
VIRMANI, Naveen; SALVE, Urmi Ravindra. Significance of human factors and ergonomics (HFE): mediating its role between industry 4.0 implementation and operational excellence. IEEE Transactions on Engineering Management , 2021.	3	2021
COLOMBO, Armando; KARNOUSKOS, Stamatis; HANISCH, Christoph. Engineering human-focused industrial cyber-physical systems in industry 4.0 context. Philosophical Transactions of the Royal Society A , v. 379, n. 2207, p. 20200366, 2021.	3	2021

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
FERREIRA, João J. <i>et al.</i> Knowledge worker mobility and knowledge management in MNEs: A bibliometric analysis and research agenda. Journal of Business Research , v. 142, p. 464-475, 2022.	3	2022
HEUBECK, Tim; MECKL, Reinhard. Antecedents to cognitive business model evaluation: a dynamic managerial capabilities perspective. Review of Managerial Science , v. 16, n. 8, p. 2441-2466, 2022.	3	2022
KUMAR, Naveen; LEE, Seul Chan. Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review. Technological Forecasting and Social Change , v. 174, p. 121284, 2022.	3	2022
XIN, Lulu; LANG, Shuai; MISHRA, Arunodaya Raj. Evaluate the challenges of sustainable supply chain 4.0 implementation under the circular economy concept using new decision making approach. Operations Management Research , v. 15, n. 3-4, p. 773-792, 2022.	3	2022
FEHER, Katalin; KATONA, Attila I. Fifteen shadows of socio-cultural AI: A systematic review and future perspectives. Futures , v. 132, p. 102817, 2021.	2	2021
MAHMOOD, Asif <i>et al.</i> Developing an interplay among the psychological barriers for the adoption of industry 4.0 phenomenon. PLOS ONE , v. 16, n. 8, p. e0255115, 2021.	2	2021
SCHWEINSBERG, Ashleigh <i>et al.</i> Psychology education and work readiness integration: A call for research in Australia. Frontiers in Psychology , v. 12, p. 623353, 2021.	2	2021
FREGNAN, Ezio <i>et al.</i> New working capabilities for coping with COVID time challenges. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	2	2022
GÓMEZ-MARÍN, N. <i>et al.</i> Sustainable knowledge management in academia and research organizations in the innovation context. The International Journal of Management Education , v. 20, n. 1, p. 100601, 2022.	2	2022
HOFF, Kevin <i>et al.</i> Dream jobs and employment realities: how adolescents' career aspirations compare to labor demands and automation risks. Journal of Career Assessment , v. 30, n. 1, p. 134-156, 2022.	2	2022
IETTO, Beatrice <i>et al.</i> The role of external actors in SMEs' human-centered industry 4.0 adoption: an empirical perspective on Italian competence centers. IEEE Transactions on Engineering Management , 2022.	2	2022
PAPOUTSOGLU, Maria <i>et al.</i> Online labour market analytics for the green economy: The case of electric vehicles. Technological Forecasting and Social Change , v. 177, p. 121517, 2022.	2	2022

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
ZHU, Jian <i>et al.</i> Digital leadership and employee creativity: The role of employee job crafting and person-organization fit. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	2	2022
ČREŠNAR, Rok <i>et al.</i> It takes two to tango: technological and non-technological factors of Industry 4.0 implementation in manufacturing firms. Review of Managerial Science , v. 17, n. 3, p. 827-853, 2023.	2	2023
UL ZIA, Najam; BURITA, Ladislav; YANG, Yumei. Inter-organizational social capital of firms in developing economies and industry 4.0 readiness: the role of innovative capability and absorptive capacity. Review of Managerial Science , v. 17, n. 2, p. 661-682, 2023.	2	2023
FOSTER-MCGREGOR, Neil; NOMALER, Önder; VERSPAGEN, Bart. Job automation risk, economic structure and trade: a european perspective. <i>Research Policy</i> , v. 50, n. 7, p. 104269, 2021.	1	2021
BALKOVÁ, Miluše; LEJSKOVÁ, Pavla; LIŽBETINOVÁ, Lenka. The values supporting the creativity of employees. Frontiers in Psychology , v. 12, p. 6689, 2022.	1	2022
NGOBENI, Dzunani Azania; SAUROMBE, Musawenkosi Donia; JOSEPH, Renjini Mary. The influence of the psychological contract on employee engagement in a South African bank. Frontiers in Psychology , p. 4692, 2022.	1	2022
PRODI, Elena <i>et al.</i> Industry 4.0 policy from a sociotechnical perspective: The case of German competence centres. Technological Forecasting and Social Change , v. 175, p. 121341, 2022.	1	2022
MODLIŃSKI, Artur; FORTUNA, Paweł; ROŻNOWSKI, Bohdan. Human-machine trans roles conflict in the organization: how sensitive are customers to intelligent robots replacing the human workforce? International Journal of Consumer Studies , v. 47, n. 1, p. 100-117, 2023.	1	2023
YALENIOS, Jocelyne; D'ARMAGNAC, Sophie. Work transformation and the HR ecosystem dynamics: A longitudinal case study of HRM disruption in the era of the 4th industrial revolution. Human Resource Management , v. 62, n. 1, p. 55-77, 2023.	1	2023
STRENGE, Benjamin; SCHACK, Thomas. Empirical relationships between algorithmic SDA-M-based memory assessments and human errors in manual assembly tasks. Scientific Reports , v. 11, n. 1, p. 9473, 2021.	0	2021
BABAMIRI, Mohammad <i>et al.</i> Insights into the relationship between usability and willingness to use a robot in the future workplaces: Studying the mediating role of trust and the moderating roles of age and STARA. PLOS ONE , v. 17, n. 6, p. e0268942, 2022.	0	2022

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
CUNHA, Liliana; SILVA, Daniel; MAGGIOLI, Sarah. Exploring the <i>status</i> of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. 2022.	0	2022
EGANA-DELSOL, Pablo <i>et al.</i> Automation in Latin America: Are Women at Higher Risk of Losing Their Jobs? Technological Forecasting and Social Change , v. 175, p. 121333, 2022.	0	2022
ISLAM, Syed Osama Bin; LUGHMANI, Waqas Akbar. A Connective Framework for Safe Human–Robot Collaboration in Cyber-Physical Production Systems. Arabian Journal for Science and Engineering , p. 1-24, 2022.	0	2022
KAFETZOPOULOS, Dimitrios. Environmental dynamism and sustainability: the mediating role of innovation, strategic flexibility and HR development. Management Decision , n. ahead-of-print, 2022.	0	2022
KOH, Le Yi; YUEN, Kum Fai. Emerging competencies for logistics professionals in the digital era: A literature review. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	0	2022
LAUBENGAIER, Désirée A.; CAGLIANO, Raffaella; CANTERINO, Filomena. It takes two to Tango: Analyzing the relationship between technological and administrative process innovations in Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change , v. 180, p. 121675, 2022.	0	2022
MAYER, Claude-Hélène; OOSTHUIZEN, Rudolf M. Unconscious system-psychodynamics within a German 4IR engineering company in South Africa. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	0	2022
MEADOWS, Stephanie; DE BRAINE, Roslyn. The work identity of leaders in the midst of the COVID-19 pandemic. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	0	2022
MEMON, Khalid Rasheed <i>et al.</i> Management of knowledge and competence through human resource information system – A structured review. Frontiers in Psychology , v. 13, p. 944276-944276, 2022.	0	2022
NÚÑEZ-MERINO, Miguel <i>et al.</i> Industry 4.0 and supply chain. A Systematic Science Mapping analysis. Technological Forecasting and Social Change , v. 181, p. 121788, 2022.	0	2022
POTGIETER, Ingrid; FERREIRA, Nadia. Psychological fortitude model for digitally mindset working adults. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	0	2022
POUYAKIAN, Mostafa. Cybergonomics: Proposing and justification of a new name for the ergonomics of Industry 4.0 technologies. Frontiers in Public Health , p. 4227, 2022.	0	2022

Artigo	N.º Citações	Ano de Publicação
SANTANA, Mónica; DÍAZ-FERNÁNDEZ, Mirta. Competencies for the artificial intelligence age: visualisation of the state of the art and future perspectives. Review of Managerial Science , p. 1-34, 2022.	0	2022
SHIRK, Josh. From Bureaucratic Discipline to Self-Actualization: Using Marx and Foucault to Critique the Demand for Better Work Rather Than Less Work. Administration & Society , v. 54, n. 9, p. 1827-1847, 2022.	0	2022
SINGARAM, Shwetha; MAYER, Claude-Hélène. The influence of the Fourth Industrial Revolution on organisational culture: An empirical investigation. Frontiers in Psychology , v. 13, 2022.	0	2022
TORTORELLA, Guilherme Luz <i>et al.</i> Modeling the impact of industry 4.0 base technologies on the development of organizational learning capabilities. Operations Management Research , p. 1-14, 2022.	0	2022
VERMA, Surabhi; SINGH, Vibhav. The Employees Intention to Work in Artificial Intelligence-Based Hybrid Environments. IEEE Transactions on Engineering Management , 2022.	0	2022
CARBAJO, Diego; KELLY, Peter. COVID-19, young people and the futures of work: Rethinking global grammars of enterprise. The Sociological Review , v. 71, n. 1, p. 65-84, 2023.	0	2023
PACHECO, Paola Ochoa; COELLO-MONTECEL, David. Does psychological empowerment mediate the relationship between digital competencies and job performance? Computers in Human Behavior , v. 140, p. 107575, 2023.	0	2023
PEDOTA, Mattia; GRILLI, Luca; PISCITELLO, Lucia. Technology adoption and upskilling in the wake of Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change , v. 187, p. 122085, 2023.	0	2023
TAQI, Hasin Md <i>et al.</i> Behavioural factors for Industry 4.0 adoption: implications for knowledge-based supply chains. Operations Management Research , p. 1-18, 2023.	0	2023
VIRMANI, Naveen <i>et al.</i> Adoption of industry 4.0 evidence in emerging economy: Behavioral reasoning theory perspective. Technological Forecasting and Social Change , v. 188, p. 122317, 2023.	0	2023

Fonte: Elaborado pela autora a partir do banco de dados bibliográficos *Web of Science*, 2023.