

LUANA FERNANDA VOLPI

A Difusão e Transversalidade das Tecnologias da IV Revolução Industrial: Uma análise bibliométrica da Inteligência Artificial



ARARAQUARA – S.P.

2022

LUANA FERNANDA VOLPI

A Difusão e Transversalidade das Tecnologias da IV Revolução Industrial: Uma análise bibliométrica da Inteligência Artificial

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia da Tecnologia e da Inovação.

Orientador: Rogério Gomes.

Coorientador: Celso Pereira Neris Júnior.

ARARAQUARA – S.P

2022

V932d Volpi, Luana Fernanda
A Difusão e Transversalidade das Tecnologias da IV Revolução Industrial: Uma análise bibliométrica da Inteligência Artificial / Luana Fernanda Volpi. -- Araraquara, 2022
87 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara
Orientador: Rogério Gomes
Coorientador: Celso Pereira Neris Júnior

1. Análise bibliométrica. 2. Inteligência Artificial. 3. Tecnologia. 4. Inovação. 5. Scopus. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LUANA FERNANDA VOLPI

A Difusão e Transversalidade das Tecnologias da IV Revolução Industrial: Uma análise bibliométrica da Inteligência Artificial

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia da Tecnologia e da Inovação.

Orientador: Rogério Gomes.

Coorientador: Celso Pereira Neris Júnior.

Data da Defesa: 15/12/2022

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Coorientador: Dr. Celso Pereira Neris Júnior

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Membro Titular: Dra. Tatiana Massaroli de Melo

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Membro Titular: Dr. José Ricardo Fucidji

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Letras
UNESP – Campus de Araraquara

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu forças em todos os momentos da minha jornada do mestrado, apesar de todas as dificuldades, não me deixou desistir do objetivo.

Aos meus pais Regina e Luiz e também ao meu irmão Júnior, por todo apoio, carinho, por nunca duvidar das minhas capacidades, pela paciência, enfim não tenho palavras.

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Rogério Gomes pela paciência, calma, disponibilidade e profundo conhecimento que me permitiu chegar até aqui e me mostrou o melhor caminho.

Ao coorientador Prof. Dr. Celso Pereira Neris Júnior pela paciência, disponibilidade, conhecimento, pelas críticas construtivas que permitem que melhore todos os dias e por todo o apoio emocional que me forneceu.

Ao Grupo de Estudos em Economia Industrial (GEEIN), por me proporcionar diversos eventos e debates enriquecedores.

Aos colegas que me ajudaram e me apoiaram durante o mestrado, em especial ao meu amigo da Pós Paulo Caprara.

Agradeço à UNIVESP, pela bolsa concedida.

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as características do conhecimento científico da tecnologia de IA na China, nos Estados Unidos e no Brasil. Ademais, os objetivos específicos são: uma introdução à teoria da inovação segundo o referencial neoschumpeteriano das revoluções tecnológicas no sistema capitalista; são apresentadas brevemente as definições e características das três principais tecnologias digitais IA, computação em nuvem e *big data* do século XXI; apresentar e analisar dados bibliométricos da base Scopus da tecnologia IA na China, Estados Unidos e Brasil. O trabalho se justifica devido à importância de instrumentos de um conjunto de políticas de inovação, como políticas industrial e tecnológica que juntas aumentam a competitividade de cada país. A metodologia empregada foi a análise descritiva da frequência do termo escolhido de IA nos títulos, resumos e palavras-chave de publicações científicas vinculadas à base de dados Scopus. A análise justifica-se devido a tecnologia de IA ainda estar em fase de desenvolvimento. Assim, as publicações científicas podem ser usadas para medir o conhecimento científico atual com o objetivo de facilitar futuras inovações. A problemática que este estudo sugeriu para ser discutido é: quais são as características do conhecimento científico relacionada à IA na China, nos EUA e no Brasil? A hipótese adotada é que a IA e suas áreas ainda estão em fase de desenvolvimento, e o número de publicações sobre essa nova tecnologia deve aumentar ao longo dos anos. Algumas das conclusões do trabalho são: foram encontradas as principais áreas de pesquisa em IA: ciência da computação, engenharia e matemática. Também pode-se concluir que a principal fonte de financiamento para pesquisa em IA nesses três países é pública.

Palavras-chave: Análise bibliométrica; Inteligência Artificial; Tecnologia; Inovação; Scopus.

ABSTRACT

The general objective of this work is to evaluate the characteristics of scientific knowledge of AI technology in China, the United States and Brazil. Furthermore, the specific objectives are: an introduction to the theory of innovation according to the neo-Schumpeterian framework of technological revolutions in the capitalist system; are briefly the definitions and characteristics of the three main digital technologies AI, cloud computing and big data of the 21st century; present and analyze bibliometric data from the Scopus database of AI technology in China, the United States and Brazil. The work is justified due to the importance of instruments of a set of innovation policies, such as industry and technological policies that together increase the competitiveness of each country. The methodology used was the descriptive analysis of the frequency of the chosen AI term in the titles, abstracts and keywords of scientific publications linked to the Scopus database. The analysis is justified because the AI technology is still in the development phase. Thus, scientific publications can be used to measure current scientific knowledge with the aim of facilitating future innovations. The problem that this study suggested to be discussed is: what are the characteristics of scientific knowledge related to AI in China, the US and Brazil? The accepted hypothesis is that AI and its areas are still in the development phase, and the number of publications about this new technology should increase over the years. Some of the attempts of the work are: the main areas of research in AI were found: computer science, engineering and mathematics. It can also be concluded that the main source of funding for AI research in these three countries is public.

Keywords: Bibliographic analysis; Artificial Intelligence; Technology; Innovation; Scopus

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação de publicações em IA por países selecionados entre 2010 e 2021...42	
Gráfico 2 – Universidades brasileiras por região.....51	

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – As cinco ondas longas de revoluções tecnológicas.....	21
Quadro 2 - Tecnologias digitais segundo entidades internacionais.....	26
Quadro 3 – Evolução anual das Publicações de IA.....	37
Quadro 4 – Os 13 (treze) países com maior número de publicações de IA.....	37
Quadro 5- Publicações de IA nos periódicos classificados entre os dois principais líderes globais (China, EUA) e Brasil.....	41
Quadro 6 – Números de publicações por áreas de destaques.....	45
Quadro 7 - Números de publicações por fontes de financiamento público às pesquisas na China, nos EUA e no Brasil.....	47
Quadro 8 – Financiamento privado às pesquisas na China, nos EUA e no Brasil.....	48
Quadro 9 – Principais instituições de ensino superior brasileiras e parcerias com empresas.....	50
Quadro 10 – Números de publicações por Universidades Brasileiras.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de árvore de busca de um algoritmo de um jogo de damas.....30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARPANET - *Advanced Research Projects Agency Network*

BMS - Bristol Myers Squibb

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

CERN - *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*

CGVs - Cadeias Globais de Valor

CIFAR - *Canadian Institute for Advanced Research*

CINI-AIIS Lab - Laboratório de Inteligência Artificial e Sistemas Inteligentes)

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CSNET - *Computer Science Network*

CT&I – Ciência, tecnologia e inovação

DARPA - Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa

DEC - *Digital Equipment Joint Stock Company*

DOD - Departamento de Defesa dos EUA

DOE - Departamento de Energia dos EUA

E- Digital - Estratégia de Transformação Digital do Brasil

EBIA - Estratégia brasileira de Inteligência Artificial

EBIA - Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial

ENIAC - *Electronic Numerical Integrator and Computer*

EUA – Estados Unidos da América

FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FMI - Fundo Monetário Internacional

GSK - *GlaxoSmithKline*

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

IA - Inteligência Artificial

IaaS - Infraestrutura como Serviço

IBM - *International Business Machines Corporation*

IFMT - Instituto Federal de Mato Grosso

IoT- Internet das Coisas

IPO - *Initial Public Offering*

LT - *Logic Theorist*

MCC - *Microelectronics and Computer Technology Corporation*

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MILNET - *Military Network*

NCI - Instituto Nacional do Câncer

NCP - *Network Control Protocol*

NFSC - Fundação Nacional de Ciências Naturais da China

NIH – Institutos Nacionais de Saúde

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

NITI - Instituto Nacional para Transformação da Índia

NITI - *National Institute for the Transformation of India*

NITRD - *Networking and Information Technology Research and Development*

Subcommittee

NSCAI - A Comissão de Segurança Nacional de Inteligência Artificial

NSF - Agência de Defesa Nacional Americana

NSF - Fundação Nacional de Ciências

NSTC - *National Science and Technology Council*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMC - Organização Mundial do Comércio

ONR - Escritório de Pesquisa Naval

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PaaS - Plataforma como Serviço

PI – Política Industrial

PLN - Processamento de Linguagem Natural

PMEs- Pequenas e médias empresas

PNIA - Plano Nacional de Inteligência Artificial de Próxima Geração

PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

SaaS - *Software a Serviço*

TCP/IP - *Transmission Control Protocol e Internet Protocol*

TICs - Tecnologia da Informação e Comunicação

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UFF- Universidade Federal Fluminense

UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFPA - Universidade Federal do Pará
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
UFU - Universidade Federal de Uberlândia
UNCTAD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
UNESP - Universidade Estadual Paulista
UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá
UPE - Universidade de Pernambuco
USP – Universidade de São Paulo
WWW - *World Wide Web*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 INOVAÇÕES E MUDANÇAS ESTRUTURAIS.....	17
2.2 Aspectos teóricos das ondas longas de desenvolvimento.....	18
2.3 Aspectos teóricos das ondas longas de desenvolvimento da abordagem neo-schumpeteriana.....	19
2.4 Sexta onda longa.....	22
3 As diversas Nuances do Sistema Tecnológico Digital do Século XXI.....	26
3.1 Definições e classificações da Inteligência Artificial (IA).....	26
3.1.1 Período que antecedeu a IA (1943-1955).....	27
3.1.2 Período conhecido como a criação do termo da IA (1952-1969).....	30
3.1.3 Período conhecido como “inverno da IA” (1966-1979).....	31
3.1.4 A IA torna-se um fenômeno (de 1980 à atualidade).....	31
3.2 Computação em nuvem.....	32
3.3 <i>Big Data</i>	33
4. Os esforços de produção científica em IA.....	36
4.1.1 Políticas de fomento à IA nos países.....	38
4.1.2 As políticas e os dados de publicações de China e EUA.....	40
4.1.3 As políticas de IA na China.....	42
4.1.3 As políticas de IA nos EUA.....	44
4.3 Análise descritiva das publicações de IA do Brasil.....	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A.....	70
APÊNDICE B.....	71

APÊNDICE C.....	72
APÊNDICE D.....	73
APÊNDICE E.....	74
APÊNDICE F.....	75
APÊNDICE G.....	76
APÊNDICE H.....	77
APÊNDICE I.....	78
APÊNDICE J.....	79
APÊNDICE K.....	80
APÊNDICE L.....	81
APÊNDICE M.....	82
APÊNDICE N.....	83
APÊNDICE O.....	84
APÊNDICE P.....	85
APÊNDICE Q.....	86
APÊNDICE R.....	87

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 250 anos, o desenvolvimento tecnológico passou por um vigoroso processo de transição com o surgimento de novas invenções desde a primeira Revolução Industrial Britânica de 1771. Desde então, sucessivos períodos foram marcados por uma série de inovações ditas radicais, como a Era do Vapor e das Ferrovias (1829); a do Aço, da Eletricidade e da Engenharia pesada (1875); Petróleo, automóveis e produção em massa (1908). Atualmente, pode-se dizer que vivemos a era da tecnologia da informação e comunicação (TICs). Essa combinação de fenômenos associados à mudança tecnológica ajuda a criar uma série de mudanças que afetam todo o sistema capitalista moderno (PÉREZ, 2010).

Segundo Schumpeter (1961), a inovação está no cerne da dinâmica do sistema capitalista e, se bem-sucedida, traz lucro. É também uma inovação que antecipa algumas mudanças e atividades no sistema capitalista moderno e, quando concretizadas, afetam quase todos os setores industriais e econômicos. Daí a expressão utilizada pelo autor de que o capitalismo é um processo de “destruição criadora”, ou seja, novas tecnologias são criadas o tempo todo e, ao criar novas tecnologias, setores, indústrias e ocupações são destruídos.

O sistema capitalista não é linear, é um processo onde novas tecnologias e inovações são criadas o tempo todo. Kondratiev, economista russo do século XX, propôs a ideia de ondas longas para explicar o processo de desenvolvimento do sistema capitalista. Mais tarde, Schumpeter e outros autores se inspiraram no autor e incluíram o papel da inovação em suas análises dos ciclos econômicos.

Segundo os autores, as revoluções tecnológicas têm o potencial de mudar todo o sistema econômico e criar setores, indústrias, produtos e serviços, além de fortalecer e rejuvenescer o que já é produzido. Assim, influenciam os hábitos de consumo, aumentam a competitividade, criam postos de trabalho, universidades e institutos de pesquisa, áreas do conhecimento, laboratórios de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e também estratégias de um conjunto de políticas tanto de inovação quanto industrial e tecnológica para toda a sociedade (FREEMAN e PEREZ, 1988; PEREZ, 2010).

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho é avaliar as características do conhecimento científico sobre tecnologia de IA na China, nos Estados Unidos e no Brasil. Nesse contexto, uma forma de avaliar as várias questões (distintas) de um determinado país ou tema é por meio do método da bibliometria, que mede estatisticamente, por exemplo, a “produção”

de pesquisas científicas em um determinado país. Primeiramente, procuramos mostrar a evolução do número total de publicações do tema escolhido entre o período de 2010 a 2021; depois, encontramos os países que mais publicam sobre IA; definindo esses países, fizemos uma análise mais específica entre os dois principais países, China e Estados Unidos, junto com a do Brasil. Descobriu-se, com isso, quais são as áreas que mais publicam sobre o tema escolhido, quais as fontes de financiamento e quais setores recebem mais pesquisas sobre esse tema nos países selecionados. Por fim, as características da produção científica no Brasil, como as principais universidades e institutos de pesquisas, e o que eles estão pesquisando sobre a IA entre 2010 a 2021, foram investigadas. Este período foi escolhido por ser o período de maior investimento e inovações em serviços digitais da tecnologia selecionada. Com base nessa análise, o estudo se propõe a analisar as características dos países selecionados e algumas possíveis implicações dos resultados.

A problemática que este estudo sugeriu para ser discutido é: quais são as características do conhecimento científico relacionada à IA na China, nos EUA e no Brasil? A hipótese adotada é que a IA e suas áreas ainda estão em fase de desenvolvimento, e o número de publicações sobre essa nova tecnologia deve aumentar ao longo dos anos.

Embora a IA exista em muitos campos e serviços como robótica, aprendizado de máquina, *big data*, computação em nuvem, etc., ainda é uma tecnologia emergente com impactos reais e potenciais, por isso é recomendado obter novos trabalhos sobre o assunto. Compreender o que foi produzido e o que não foi produzido ajuda a entender, por exemplo, como os países que estão na fronteira tecnológica como China e os Estados Unidos, são mais bem-sucedidos no seu conjunto de políticas de inovação, enquanto o Brasil ainda busca novos caminhos e oportunidades para um processo de sucesso que dependeria de um conjunto de políticas industrial e tecnológica para serem fortalecidos.

Com base nessa análise, é possível ver como está progredindo a produção de IA no mundo; qual país mais produz sobre o tema; bem como as principais fontes de financiamento sobre o tema e o desenvolvimento da produção científica nacional brasileira sobre o tema, quais universidades brasileiras mais publicam sobre IA e o que publicam. Também permite traçar novas pesquisas sobre o tema, possíveis discussões sobre os efeitos dessa nova tecnologia na economia e o questionamento: qual país será o líder na produção científica de IA no futuro?

A base de dados Scopus foi escolhida para trabalhar com os dados, o que se justifica pelo fato de ser uma base de dados multidisciplinar que permite pesquisar um tema específico em diferentes áreas acadêmicas. É também uma base internacional com ampla cobertura na língua inglesa.

Esta dissertação está dividida em cinco partes. O primeiro capítulo diz respeito à introdução, que sintetiza brevemente os desafios e objetivos desta dissertação. O segundo capítulo corresponde ao estado da arte, onde a contextualização é feita com base na literatura sobre o tema: i) à teoria da inovação segundo o referencial neoschumpeteriano e ii) as características das revoluções tecnológicas no sistema capitalista. No terceiro capítulo são apresentadas brevemente as definições e características das três principais tecnologias digitais: IA, computação em nuvem e *big data* do século XXI. No quarto capítulo é feita uma análise dos resultados, onde são apresentados e discutidos os resultados obtidos para a análise descritiva geral do conhecimento científico sobre IA. No quinto capítulo apresenta as considerações finais (que tratam dos problemas analisados nesta pesquisa).

2 INOVAÇÕES E MUDANÇAS ESTRUTURAIS

2.1 Aspecto Teórico da Escola Evolucionária

North (1990) argumenta que as mudanças institucionais afetam o desenvolvimento econômico de um sistema capitalista. Na opinião do autor, as instituições nacionais estão intimamente ligadas ao passado por meio de sua cultura e política atual; popularizando assim o conceito de dependência da trajetória institucional ou *path dependency*. Assim, as decisões, os lucros e todo o processo de coleta de dados das organizações são controlados por meio do ambiente institucional, o que torna o ambiente mais propício ao crescimento.

Segundo Chandler (1997), o ambiente institucional de qualquer país inclui diversos atores internos e externos, como empresas, universidades, sistema financeiro e também organizações internacionais como a Organização Mundial do Comércio (OMC) e o Fundo Monetário Internacional (FMI).

Por exemplo, Rosemberg e Birdzill (1986) argumentam que o Ocidente se tornou economicamente rico apenas depois de se libertar de velhas instituições. Segundo os autores, as revoluções burguesas influenciaram positivamente o crescimento dessas nações. Além disso, a criação de um novo marco legal e regulatório para cada país levou ao aumento da acumulação de capital e da competição no período. Assim, à medida que esse processo se desenvolveu, permitiu que o Ocidente ultrapassasse o Oriente economicamente no século XVII.

As abordagens mais recentes da visão institucionalista, por sua vez, vem sendo advogada – em linha com o conceito de Sistema Nacional de Inovações, proposto pela primeira vez por Freeman (1987) e seguido por Nelson (1987) e Lundvall (1988), sendo fortalecida por novos autores evolucionários. O principal argumento desses autores é que as interações econômicas giram em torno de fatores políticos e sociais, que fortalecem o processo de difusão da inovação em um país. Também, na abordagem evolucionária, do lado da empresa, o processo de aprendizagem segue o desenvolvimento passado, ou seja, o crescimento de uma empresa decorre das competências acumuladas e da origem de seus ativos específicos. Como resultado, suas habilidades mudam devido a diferentes tipos de técnicas. Os ambientes de escolha são, portanto, um meio de lidar com diferentes trajetórias e diferentes estruturas de mercado. Por fim, o conhecimento da empresa é tácito, social e distribuído e depende dos diversos agentes envolvidos no processo econômico (TIGRE, 2014).

2.2 Aspectos teóricos das ondas longas de desenvolvimento

Nos últimos anos, a teoria das ondas longas do desenvolvimento econômico capitalista se concentrou nas fases de crescimento e de declínio da atividade produtiva. A teoria das ondas longas, foi sistematizada entre 1790 e 1920 pelo economista russo Kondratieff (1979). O autor afirma que o sistema capitalista tem fases cíclicas e cada fase dura em média 50 anos. As fases têm períodos de expansão, pico, recessão e crise. Na fase de crise, o sistema se recupera, e é iniciada uma nova fase. O autor analisou cada fase, baseado em preços de *commodities*, primeiro na economia da França e Grã-Bretanha e, depois, para a economia mundial.

Inspirado pela teoria das ondas longas de Kondratieff, Schumpeter incorpora a inovação para explicar o desenvolvimento do sistema capitalista. O autor associa as fases de *boom* econômico à rápida disseminação de importantes inovações durante cada revolução industrial, por exemplo, como foi o ciclo da máquina a vapor e o ciclo da eletricidade.

Segundo Schumpeter (1934), um empreendedor inovador desencadeia uma onda de otimismo diante das expectativas de alto desempenho ao introduzir novos produtos e processos. Quando inovações bem-sucedidas são introduzidas, os empreendedores imitam o investimento e criam novos empregos, o que promove o crescimento econômico. Uma recessão começa quando as oportunidades para adotar novas tecnologias se esgotam. À medida que a inovação e o consumo se espalharam, as margens de lucro caíram e a capacidade ociosa aumentou. Isso faz com que as empresas reduzam a produção, o investimento, os custos e demitam trabalhadores, causando uma recessão.

Assim, como demonstrou Schumpeter (1934), as mudanças que ocorrem na economia entre *boom* e recessão dependem de dois fatores: i) surgimento de inovações; ii) das condições institucionais apropriadas para sua difusão. Como resultado, houve uma grande mudança da estrutura antiga para a nova estrutura conhecida como "destruição criadora". Além disso, o autor considera os *clusters* de inovação como outro elemento determinante para o desenvolvimento. Deve-se destacar também que o período de *boom* terminou quando os lucros monopolistas das empresas foram rompidos e a concorrência se voltou para preços variáveis. Assim, a reversão do ciclo de depressão ocorre após o fim do processo de destruição causado por grandes inovações.

Até 1970, os trabalhos tratavam de ciclos econômicos com análises de curto e médio prazo. Mas tudo mudou quando a economia mundial passou pela Grande Depressão na década de 1930, os trabalhos incluíram a teoria de longo prazo. A teoria das ondas longas de

desenvolvimento econômico foi aperfeiçoada por Freeman (1997). O autor introduziu o terceiro ciclo como fordismo e o quarto ciclo à difusão da microeletrônica.

Algumas ressalvas sobre a teorias das ondas longas de desenvolvimento econômico devem ser levadas em consideração. Primeiro, a periodicidade de cada onda é muito discutida, mas esse não é o foco deste capítulo¹. O capítulo apresenta as abordagens de Kondratiev (1998) e Schumpeter (1939) dos ciclos econômicos, envolvendo fatores históricos e estatísticos de cada país que desencadearam novas teorias propostas por Freeman (1997), Louçã (2007) e Perez (2010).

A escolha do país é a variável mais interessante no segundo e terceiro ciclos de mudança de Kondratiev. Enquanto Marx analisava a Grã-Bretanha, Schumpeter também analisava a Alemanha e os Estados Unidos. Por fim, cada onda promoveu o desenvolvimento da ciência, da tecnologia, do ferro e do aço, da eletricidade e também da manufatura, à medida que a indústria química e a automobilística começaram a crescer. Na década de 70, desenvolveu os primeiros laboratórios de P&D.

2.3 Aspectos teóricos das ondas longas de desenvolvimento da abordagem neoschumpeteriana

Nas décadas de 1970 e 1980, a teoria das ondas longas inspirada em Kondratyev foi desenvolvida, depois aprofundada e confirmada pelos evolucionistas.

Nesse período, destaca-se o trabalho de Freeman e Perez (1988), que visa explicar como a inovação tecnológica leva a mudanças de longo prazo, de modo que possa influenciar o progresso tecnológico contínuo. Os autores aceitam a teoria do paradigma tecnológico (DOSI, 1983) e a difusão das inovações incrementais (ROSENBERG, 1976; PATEL; PAVITT, 1994b).

Além disso, o livro descreve os desafios da história econômica e as quatro revoluções tecnológicas. Para caracterizar todas elas, os autores identificaram sete componentes estruturais: (i) tecnologias emergentes; (ii) os principais *players* e estrutura de mercado; (iii) a composição financeira e as inovações desses *players*, (iv) países; (v) características do sistema

¹ Marx (1867) oferece uma análise da "máquina e grande indústria" relacionada à indústria têxtil e à mecanização da máquina a vapor. Kondratiev (1998) e Schumpeter (1989) conectam cada fase da revolução industrial à era do vapor e do aço. Perez (2010) estende a periodicidade de Schumpeter ao vincular uma nova era de vapor e ferrovias, seguida por uma era de aço, eletricidade e maquinário pesado.

de inovação de cada país; (vi) fatores políticos e institucionais e (vii) geopolíticos dominantes (FREEMAN e PEREZ 1988, pp. 50-56).

Por fim, Freeman e Louçã (2001) descreve as cinco inovações que perturbam o sistema caracterizando como revoluções tecnológicas: (i) mecanização da indústria têxtil; (ii) máquina a vapor; (iii) eletricidade e química; (iv) motor a combustão e eletrônica e (v) tecnologias de informação e comunicação.

O Quadro 1 abaixo apresenta um esquema elaborado por Carlota Pérez (2010). A autora associa o impacto das tecnologias, ou seja, se existe uma tecnologia que tem um efeito maior que outra. Dessa forma, ela consegue identificar o que seria daquela inovação radical, que, segundo a autora, usa o termo *big bang* para se referir à série de mudanças que se iniciam a cada revolução tecnológica. A primeira delas é a criação da fábrica de algodão de Arkwright em Cromford em 1771. Foi uma inovação que introduziu a primeira revolução tecnológica, a primeira Revolução Industrial. A segunda é a locomotiva a vapor inventada em 1829, que abre a segunda fase da economia, que é por meio de motores a vapor e ferrovias. O terceiro é o forno Bessemer em uma fábrica de aço em 1875. O quarto é a invenção do Ford-T em 1908 e o quinto e último é a invenção do microprocessador Inter em 1971. Neste sentido, todo *big bang* detona esse conjunto de transformações e uma série de revoluções tecnológicas acontecem.

Quadro 1 - As cinco ondas longas de revoluções tecnológicas

Revolução Tecnológica	Nome popular para o período	País origem	Inovações iniciais (Big-bang)	Infraestruturas novas ou redefinidas
Primeira (1771)	Revolução Industrial	Grã-Bretanha	Inauguração da fábrica Moinho de Arkwright em Cromford	Canais e vias fluviais; energia hidráulica
Segunda (1829)	Era do vapor e das Ferrovias	Grã-Bretanha (Europa e EUA)	Teste do <i>Rocket</i> , locomotiva a vapor na ferrovia Liverpool, Manchester	Ferrovias; telégrafo; grandes portos, grandes depósitos e grandes barcos de navegação mundial; gás urbano
Terceira (1875)	Era do Aço, da Eletricidade e da Engenharia Pesada	EUA e Alemanha, superando Grã-Bretanha	Inauguração da fábrica de aço Carnegie Bessemer, na Pensilvânia	Navegação mundial em velozes barcos de aço (uso do Canal de Suez); redes transnacionais de ferrovias (uso do aço barato); grandes pontes e túneis; telefone; redes elétricas (para iluminação e uso industrial)
Quarta (1908)	Era do Petróleo, do Automóvel e da Produção em Massa	EUA e Alemanha (Europa)	Primeiro modelo-T da planta de Ford em Detroit, Michigan	Autopistas, portos e aeroportos; redes de oleodutos; eletricidade de plena cobertura (inclusive doméstica); telecomunicação analógica mundial
Quinta (1971)	Era da Informação e das Telecomunicações	EUA (Europa e Ásia)	Microprocessador da Intel é anunciado em Santa Clara, Califórnia	Comunicação digital mundial (cabos de fibra ótica, rádio e satélite); Internet e outros serviços eletrônicos; redes elétricas de fontes múltiplas e uso flexível; transporte físico de alta velocidade.

Fonte: Elaboração própria, com base em Perez (2010, p. 190).

2.4 Sexta onda longa

O estudo das ondas longas de desenvolvimento capitalista tem provocado debates até hoje. Nesse contexto, Albuquerque (2021) entende que a invenção da *World Wide Web* (www) em 1991 pode ser considerada como o ponto de partida para uma nova inovação radical, em um novo *big bang*, iniciando assim uma possível sexta revolução tecnológica baseada na indústria de computadores e inspiradas nas cinco revoluções anteriores de Freeman e Louçã (2001) e Perez (2010).

A invenção da www deveu-se ao estado de construção do sistema de inovação que ocorreu nas principais economias desenvolvidas e também ao meio do emergente sistema de inovação internacional, com a Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN) em experimentos laboratoriais (GILLIES; CAILLIAU, 2000, p. 48-51). Como enfatizamos ao longo do capítulo, existem três hipóteses principais para a invenção da www: i) várias universidades em vários departamentos, principalmente no departamento de informática; ii) Laboratórios de P&D capazes de atender à crescente necessidade de *networking* e conectividade; iii) a presença de milhares de profissionais que podem dar conta do funcionamento das redes que estão sendo construídas e fortalecer o gigantesco processo descrito por Greenstein (2015, p. 23; 405), por meio de diversas inovações coletivas.

Neste contexto, destaca-se a indústria de informática (MALERBA; ORSENIGO, 1996). Na década de 40, o pós-guerra e a situação provocada pelo desenvolvimento da indústria criaram condições para a invenção de novas invenções. A força motriz por trás da inovação é principalmente política e militar, mas tem uma forte influência no mundo industrial.

Segundo Malerba e Orsenigo (1996), a invenção da www na indústria de computadores e, portanto, seu ciclo de vida (KLEPPER, 1997), especialmente a partir de 1946, são reforçados pelos seguintes fatores: primeiro, dependia de uma ampla série de invenções anteriores, começando com o primeiro computador eletrônico, ENIAC. Outro fator é o crescimento comercial de computadores à medida que novas empresas como *Remington Rand* e IBM entram no mercado. Além disso, mudanças na prestação de serviços no setor de semicondutores podem dificultar o crescimento do setor, pois os altos custos dos insumos limitam o crescimento do setor.

Da mesma forma, Chandler (1997) identifica quatro etapas importantes no desenvolvimento da indústria de computadores: i) a transição do uso puramente militar para o

comercial; (ii) a invenção do processador 360 pela IBM; (iii) a invenção da rede de computadores; e mais recentemente (iv) criou a internet.

Na trajetória das redes de computadores surge um problema: como conectar diferentes computadores e seus usuários e como resolvê-los? Greenstein (2015) responder a essa pergunta.

Para tanto, tudo começou com o projeto ARPANET em 1969. Este projeto foi desenvolvido entre a Universidade da Califórnia e a Universidade de Utah. A primeira rede de computadores nasceu lá. Diferentemente de hoje, a primeira rede de computadores utilizava uma rede conectada a aparelhos telefônicos (GREENSTEIN, 2015).

Entre 1973 e 1978, os pesquisadores da DARPA desenvolveram outro protocolo de rede para conectar computadores. Um protocolo chamado *Transmission Control Protocol* e *Internet Protocol* (TCP/IP) substituiu completamente o NCP em 1983. Além disso, a DARPA expandiu suas pesquisas com a criação da rede *Ethernet*. Essa rede possibilita a conexão de navios em unidades móveis em terra e no mar (GREENSTEIN, 2015).

Em 1975, a rede ARPANET estava funcionando em 57 computadores. No mesmo ano, a Agência de Defesa Nacional Americana (NSF) assumiu o projeto. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos construiu sua própria rede de computadores denominada CSNET - *Computer Network* - com o objetivo de conectar todas as salas de máquinas do país (GREENSTEIN, 2015).

Entre 1975 e 1985, várias redes de telecomunicações foram criadas com diferentes fontes de financiamento, como a BITNET, que foi criada para receber e enviar mensagens eletrônicas e transferir arquivos para mais de 2.500 universidades em todo o mundo. Ao mesmo tempo, a ARPANET foi transformada em duas novas redes: MILNET para uso militar e ARPANET para uso exclusivo de universidades americanas e portuguesas (GREENSTEIN, 2015).

Depois de 1985, a internet surgiu entre cientistas e programadores. No entanto, seu nome não foi usado até o final da década. A palavra conhecida hoje é de origem inglesa “*internetting*”. É com esta palavra que agora chamamos de internet. Até agora, o uso da rede era reservado apenas para militares e cientistas. Depois disso, sairá dos polos acadêmicos e passará a utilizar o mundo dos negócios e, eventualmente, os consumidores. A ARPANET e a NSFNET também foram substituídas por prestadores de serviços privados (GREENSTEIN, 2015). E aqui surge outro problema, como criar uma rede de acesso comum para todos os usuários?

Entre 1991 e 1995, o cientista do CERN, Tim Berners-Lee, inventou um *software* que suporta páginas http e www. E é essa tecnologia que possibilita um uso mais intensivo e

extensivo da internet, pré-requisito para o crescimento comercial da rede (GREENSTEIN, 2015).

Em seguida, analisamos as principais características da invenção *www*. Com base na teoria evolucionária, é possível derivar a maioria delas das inovações radicais da nova onda longa ou da nova revolução tecnológica. O crescimento da indústria de computadores permitiu o desenvolvimento de novas empresas e novos produtos como servidores e roteadores. Assim, à medida que a tecnologia se desenvolveu, ela criou novos problemas e novas invenções surgiram para resolvê-los, como o primeiro navegador Mosaic em 1992 e a rede de negócios Netscape durante o IPO da empresa em 1995. Ao mesmo tempo, as empresas IBM e Microsoft buscavam novas estratégias para seus modelos de negócios. Essa invenção também ajudou a criar o Google em 1998, uma das maiores empresas de busca na internet (GREENSTEIN, 2015).

Durante esse processo, surgiram as invenções de computadores, como computadores de mesa, *notebooks*, *laptops*, *netbooks*, *tablets*, *iPads* e outros. Isso também levou ao crescimento da indústria de *smartphones* entre as invenções da *www*. Nesse contexto, investir em inovação foi essencial para promover outros setores. Os avanços na ciência, os laboratórios de pesquisa militar dos EUA, as universidades e a criação do departamento de P&D privado com uma força de trabalho altamente treinada tiveram um papel importante na promoção do desenvolvimento da ciência e tecnologia (GREENSTEIN, 2015).

Nessa nova realidade, a internet é cada vez mais suficiente para implementar processos de negócios e cadeias de valor em outros setores. Hoje, o surgimento desta invenção uniu milhares de pessoas e empresas em todo o mundo. Também possibilitou uma nova fase no desenvolvimento de uma nova estrutura da economia mundial e também novas tecnologias, invenções e novas áreas de ensino (KAHLE; STULTZ, 2017).

Segundo pesquisa de Lewis-Kraus (2016), as mudanças podem ser divididas em ferramentas utilizadas para produção de informação como *big data* e internet das coisas (IoT) e também ferramentas utilizadas para lidar com a explosão de dados, IA, por exemplo algoritmos de aprendizado de máquina e robótica.

Um exemplo dessa visão é o desenvolvimento de algoritmos de tradução de texto na competição entre os maiores *players* da internet, como Google e Baidu (LEWIS-KRAUS, 2016). Dois exemplos do crescimento da robótica, a compra da Kiva Systems pela Amazon em 2012 (AUTHOR, 2015), bem como o interesse da Google em carros autônomos.

O novo padrão imposto às novas tecnologias após a invenção da *www* estimulou uma nova onda de debate sobre o comportamento mais agressivo dos produtos e serviços digitais

desde o século XXI. Além disso, a expansão de novas tecnologias é acompanhada de fatores importantes para o desenvolvimento do sistema capitalista de produção.

De acordo com essa interpretação, a OCDE (2016) lista 40 potenciais tecnologias que podem ser consolidadas nos próximos anos. O cenário atual pode causar a quebra dos modelos atuais, criando um elo entre a disseminação da *www* e as novas tecnologias emergentes.

Para tanto, a OCDE (2016) divide metodologicamente 40 tecnologias possíveis em quatro subgrupos: tecnologia digital, biotecnologia, energia e meio ambiente. No subgrupo das tecnologias digitais classificam as tecnologias emergentes como: IA, IoT, *big data*, computação quântica, robótica, *grid computing*, computação em nuvem e *blockchain*.

Neste sentido, seguindo os autores Kondratiev (1998); Schumpeter (1989); Freeman e Louçã (2001) e Perez (2010) que descreveram as revoluções tecnológicas e que há uma nova possibilidade como Albuquerque (2021) propõe um novo *big bang* que aconteceu com a invenção da *www* em 1991 e por sua vez criou uma nova fase da economia capitalista global que dá lugar a novas tecnologias emergentes, novas tecnologias digitais – uma delas é, segundo a OCDE, é a IA (OCDE, 2016, página .79).

Assim, a seção seguinte busca descrever o que é a tecnologia de IA e seu potencial em outras tecnologias que estão emergindo neste momento no sistema capitalista global.

3 As diversas Nuances do Sistema Tecnológico Digital do Século XXI

O surgimento da *www* desencadeou uma série de outras inovações. Uma delas é a grande explosão de dados ou *big data* que acometeu o mundo moderno. Segundo o relatório da UNCTAD (2019, p. 10), apenas 100GB/s foram produzidos em 2002. Este número subiu para 46.600GB/s em 2017 e, em 2022, o mundo produzirá 150.000 GB/s.

Esse tema tem sido discutido na conhecida economia de dados (Mayer-Schools; Ramge, 2018; Veldkamp; General, 2019). Ainda segundo os autores, novos sistemas tecnológicos surgem a partir de determinadas tecnologias. O Quadro 2 resume as principais entidades internacionais e suas classificações sobre tecnologias digitais. Segundo Sturgeon (2019, p. 3), as tecnologias podem ser agrupadas em três categorias principais: (i) IA; (ii) computação em nuvem e (iii) *big data*, que juntos formam a base de um sistema de tecnologia digital onde um desenvolve o outro.

Quadro 2 - Tecnologias digitais segundo entidades internacionais

Entidades	Tecnologias
Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD, 2019)	<i>Blockchain</i> , impressão 3D, internet das coisas, 5G, computação em nuvem, automação e robótica e inteligência artificial/ <i>analytics</i>
Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL,2018)	Internet das coisas, <i>blockchain</i> , plataformas digitais, internet das coisas industrial, manufatura avançada, inteligência artificial
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE,2016)	Inteligência Artificial, computação em nuvem, internet das coisas, <i>big data</i> , <i>blockchain</i> , <i>grid computing</i> , robótica, computação quântica
União Europeia (UE, 2016)	Internet das coisas, <i>big data</i> , computação em nuvem, robótica, inteligência artificial, impressão 3D, plataformas

Fonte: Elaboração própria (adaptado de NETO; BONACELLI; PACHECO, 2020).

3.1 Definições e classificações da Inteligência Artificial (IA)

A tecnologia de IA refere-se a um conjunto de algoritmos definidos por humanos como "uma máquina que pode, para um determinado objetivo fazer previsões, recomendações ou tomar decisões que influenciam ambientes reais ou virtuais" (OCDE, 2019, p. 15) e é suscetível

a mudanças repentinas nos métodos de produção e nas interações interpessoais na comunicação. Os algoritmos de IA são projetados para funcionar em diversos setores, desde manufatura, finanças e transporte até saúde e segurança (OCDE, 2022).

Na literatura podemos encontrar duas abordagens para a tecnologia, a “IA fraca” e “IA forte”. Então:

- i) A “IA fraca”: descreve se uma máquina que pode realmente pensar, agir ou mostrar inteligência, mas não entende realmente o ambiente (NEAPOLITAN, JIANG, 2018; FRANKISH, RAMSEY, 2014);
- ii) A “IA forte”: por um lado, é um computador que na verdade é um cérebro, capaz de entender o ambiente externo e ter um estado cognitivo que é a inteligência no nível humano (NEAPOLITAN, JIANG, 2018; FRANKISH, RAMSEY, 2014).

A construção da IA nasceu durante a Segunda Guerra Mundial (1939-45). Segundo Gomes (2010), podemos identificar quatro marcos para o nascimento dessa tecnologia que está revolucionando a ciência e a produção industrial na atualidade. Eles serão descritos a seguir.

3.1.1 Período que antecedeu a IA (1943-1955)

A primeira pesquisa sobre a ideia de “inteligência artificial” está em *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity* (traduzido para: um cálculo lógico das ideias imanentes na atividade nervosa), de Warren Sturgis McCulloch e Walter Pitts (1943). Neste artigo, os autores mencionam pela primeira vez que uma rede neural é uma estrutura construída a partir de algoritmos artificiais que imitam o sistema nervoso humano (RUSSELL e NORVIG, 2004). Esta pesquisa está relacionada à ideia de IA forte mencionada anteriormente.

Outro trabalho relevante na época foi a pesquisa do matemático americano Claude Shannon, na década de 1950, sobre como "ensinar" um computador a jogar xadrez por meio de cálculos matemáticos mais simples e eficientes. Em 1950, segundo Gomes (2010), Turing fez

a primeira pergunta: “As máquinas podem pensar?”². Para responder à pergunta, Turing cria o Jogo da Imitação, que seria:

Um homem (A), uma mulher (B) e um interrogador ou interrogadora (C) participam do jogo da imitação. O interrogador está separado dos outros dois jogadores. Cada pessoa tem um objetivo diferente no jogo: C faz perguntas aos outros dois participantes e seu objetivo é identificar corretamente qual o homem e qual a mulher; o objetivo de A, por sua vez, é induzir C ao erro; por fim, a meta de B é dar respostas que auxiliem C na correta identificação. Portanto, A poderia fornecer respostas³ típicas femininas, como dizer, por exemplo, que tem cabelo comprido e usa vestido. Por sua vez, B poderia dizer para não acreditar em A, e que ela era a verdadeira mulher. Caso tenha sucesso, C acabará o jogo com o seguinte veredicto: A é homem e B é mulher, situação esta em que B também atinge seu objetivo. Por outro lado, A sairá vitorioso perante seus companheiros de jogo se C disser que A é mulher e B é homem. (TURING, 1996, p. 21).

Turing perguntou mais tarde "o que acontece quando uma máquina substitui A neste jogo?", ou seja, o que acontece quando um computador tenta imitar um humano (TURING, 1996, p. 22). Responder a esta pergunta é, para um cientista, como dizer se uma máquina pode realmente pensar TURING (1950 apud Teixeira 1996, p.25-26), "isso significa que o programa de computador é inteligente se as respostas do questionador não puderem ser estatisticamente significativamente diferentes das de um jogador humano⁴".

Esse problema é conhecido como teste de Turing e, até hoje, os inventores de novos *softwares* são recompensados⁵. Portanto, ao desenvolver o teste, o autor procurou se manter dentro dos limites da abordagem das bases neurobiológicas da consciência. Nas palavras de Turing (1996, p. 41):

Não quero dar a impressão de que penso não existir nenhum mistério no que diz respeito à consciência. Existe, por exemplo, algo assim como um paradoxo vinculado às tentativas de localizá-la. Mas não acredito que tais mistérios tenham de ser necessariamente resolvidos antes de podermos responder à pergunta que nos preocupa neste artigo.

² O artigo publicado originalmente de *Computing Machinery and Intelligence*, em 1950, no periódico britânico *Mind*. Este artigo foi traduzido para o português por Fábio de Carvalho Hansen com o título de *Computação e Inteligência*, In: J. F. Teixeira, *Cérebros, máquinas e consciência: uma introdução à filosofia da mente*. (São Carlos: Editora da UFSCar, 1996), p. 19-60.

³ As respostas proporcionadas a C devem ser digitalizadas (ou datilografadas, como à invenção da época, a máquina de escrever).

⁴ Nota-se que Turing não afirmava que todos os computadores digitais teriam potencial de passar no teste. Também, o cientista não afirma que os computadores, na segunda metade do século XX, teriam bom desempenho no teste, mas, sim, que seríamos capazes de inventar computadores com essa funcionalidade (TURING, 1996, p. 25-26).

⁵ Nomeado de prêmio Loebner por Hugh Loebner, o qual ofereceu um prêmio de 100 mil dólares para o primeiro programa de computador que passe na sua versão do teste de Turing. Embora nenhum programa tenha ganhado o Grande Prêmio, há um prêmio menor de 2 mil dólares para o programa de computador mais humano da competição, e isso atrai boas tentativas.” (WHITBY, 2004, p. 32).

Em 1951, nasceu a primeira invenção de um simulador de cadeia neural artificial, a Calculadora Neural-Análoga Estocástica de Reforço (SNARC). O autor foi Marvin Minsky, aluno de Warren Sturgis McCulloch e Walter Pitts, os pesquisadores do primeiro artigo discutido acima (GONÇALVES,2022).

Um ano depois, em 1952, dois pesquisadores, Artur Samuel da IBM e Christopher Strachey da Universidade de Oxford, simularam versões separadas do jogo de damas desenvolvido para computadores (NILSSON, 2010):

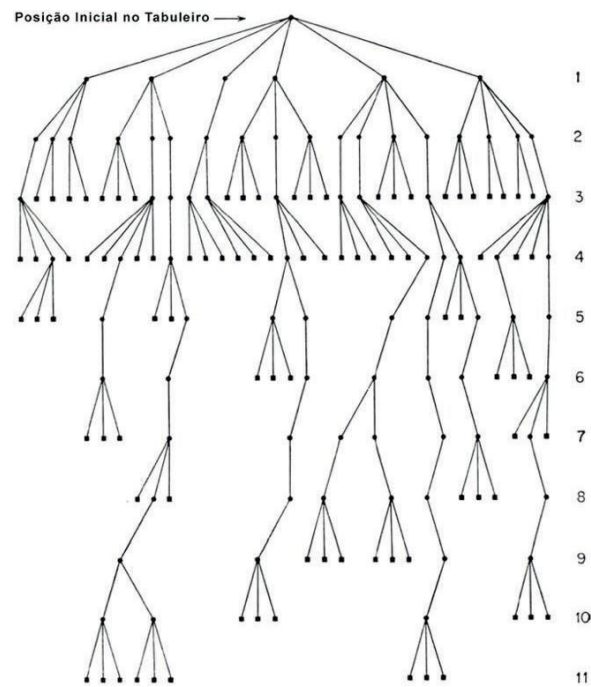
As implementações de Samuel e Strachey são significativas porque demonstram as primeiras instâncias em que um computador foi usado para desempenhar uma atividade patentemente humana, e já começou fazendo isso — mesmo com as severas limitações dos computadores do início da década de 1950 — de maneira rápida e eficiente. Samuel iria ainda mais longe, e em 1955 melhoraria seu jogo, inserindo elementos que permitiam ao computador utilizar informações de jogos anteriores, e assim melhorar seu desempenho. Esta é a primeira instância de aprendizado de máquina que temos registrada na história dos computadores digitais (NILSSON, 2010 apud OLIVEIRA, 2018, p.17).

O jogo (programa) constrói uma "árvore" de imagens cujas probabilidades se movem por meio de métodos que dependem da recompensa de cada jogador⁶. Depois de construir a árvore, o programa tenta prever as possibilidades e obter o caminho mais valioso.

A Figura 1 ilustra um algoritmo gerado artificialmente cujo objetivo principal é comunicar inferências humanas por meio da execução da máquina. Entre os muitos problemas práticos que podem ser aplicados por meio da programação lógica, destacam-se os videogames. Nesse exemplo, é possível observar o desenvolvimento tecnológico da IA, que ocorre em cada etapa do desenvolvimento da inteligência humana, que controla o movimento dos computadores e os ensina a repetir seus movimentos.

⁶ Os programas de Samuel e Strachey são desenvolvidos pela aplicação de métodos heurísticos na solução de respostas em relação ao problema na criação de um algoritmo.

Figura 1 - Exemplo de árvore de busca de um algoritmo de um jogo de damas



Fonte: adaptada de Nilsson (2010).

Embora existam pesquisas nessa área, o termo “inteligência artificial” ainda não existe. A IA nasce assim de um vasto campo da ciência, que inclui não só as ciências exatas, mas também as ciências sociais e biológicas do século XX. Nesse sentido, um de seus inventores é John McCarthy, e isso será discutido na próxima seção.

3.1.2 Período conhecido como a criação do termo da IA (1952-1969)

O termo “inteligência artificial” tornou-se amplamente conhecido em 1956 em uma conferência nos Estados Unidos ("Inteligência Artificial" no Dartmouth College), que reuniu cerca de 20 cientistas e pesquisadores de diversas áreas (FRANKISH, RAMSEY, 2014). A partir de então, instituições governamentais e privadas⁷ passaram a investir nessa área e adotaram o conceito como disciplina (OLIVEIRA,2018).

⁷ Incluído a Agência para Projetos de Pesquisa Avançada (ARPA, atual DARPA) dos Estados Unidos, mesmo lugar onde nasceu a internet.

Esse período foi caracterizado por intensa euforia, mas sem avanços científicos na área. Segundo Gomes (2010), os destaques da conferência do Dartmouth College foram Newell e Simon inventando o programa de computador Logic Theorist (LT).

3.1.3 Período conhecido como “inverno da IA” (1966-1979)

O conhecimento teórico sobre IA se desenvolveu desde a década de 1970, mas o desenvolvimento tecnológico dos computadores não acompanhou o ritmo necessário para o progresso dos pesquisadores da área. Esse período foi chamado de "inverno da IA" e é caracterizado por baixas expectativas, redução de investimentos e falta de progresso no campo em todo o mundo. Nesse caso, é possível compreender apenas o campo teórico da IA, mas sua aplicação ainda não foi possível devido às limitações do desenvolvimento tecnológico da microeletrônica, principalmente no campo da informática e da robótica.

Muita coisa ficou adormecida na década de 1970. Foi na década de 1980 que começamos a reviver o campo da IA e, muito temporariamente, a promover outros campos de pesquisa chamados "sistemas especialistas", introduzidos por Edward Feigenbaum. Nucci Netto (2020) explicou que estes sistemas:

[...] são softwares que realizam atividades complexas e específicas de um campo, fazendo o papel de seres humanos, porém com um raciocínio mais veloz e também uma base de conhecimento muito vasta, esses sistemas aproximam a inteligência artificial do mercado corporativo e vários setores começam a notar a utilidade dos programas computacionais inteligentes e focados, por exemplo, as aplicações financeiras. O sistema especialista ajuda na análise de risco de crédito bancário e utiliza algoritmos para melhorar o seu desempenho na negociação de ações e gestão de ativos no mercado financeiro. (NUCCI NETTO, 2020, p. 14).

Olhando para esse período, fica claro que algumas aplicações da tecnologia de IA já estavam em desenvolvimento, mas ainda não estavam maduras o suficiente para resolver problemas práticos importantes.

3.1.4 A IA torna-se um fenômeno (de 1980 à atualidade)

Foi somente no final da década de 1980 que grandes investimentos e avanços em IA aconteceram, principalmente com o avanço da Terceira Revolução Industrial baseada em

processos, eletrônica e automação (COUTINHO, 1992) e, mais recentemente, por conta da chamada “IV Revolução Industrial”, baseada em digitalização e informação (OCDE, 2017).

Um exemplo importante do desenvolvimento da tecnologia de IA é o sistema R1, segundo Gomes (2010). Este foi o primeiro sistema comercial de sucesso produzido pela Digital Equipment Joint Stock Company (DEC). O sistema foi projetado para executar novas tarefas de programação; em 1986, o programa rendeu à empresa cerca de 40 milhões de dólares por ano. Logo depois, outras empresas como a Du Pont a compraram, economizando cerca de 10 milhões de dólares por ano.

Outro avanço tecnológico que marcou aquela época foi a Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC), considerada um dos maiores grupos de investimento de P&D na indústria americana de computadores. Nesse período, grandes empresas da América do Norte começaram a investir em sistemas inteligentes de IA (GOMES, 2010).

Do ponto de vista da análise histórica, a difusão criada pela nova tecnologia de IA traz consigo importantes mudanças na estrutura social e produtiva do sistema capitalista. Ainda, como descreve Perez e Freeman (1988), o desenvolvimento econômico é associado pelo processo de evolução e mudanças no sistema capitalista, uma vez que essa transformação só é possível devido ao surgimento de novas tecnologias, instituições e indústrias. Nesse sentido, os países que não conseguem se adaptar às mudanças institucionais decorrentes de processos históricos em novos paradigmas ficam para trás no processo de desenvolvimento. Os países que realmente podem adotar e desenvolver essas novas tecnologias serão capazes de subir na escada tecnológica, acompanhando cada longa onda de inovação.

3.2 Computação em nuvem

O professor Ramnath Chellappa introduziu pela primeira vez a "computação em nuvem" moderna na academia em 1997 (MOHAMED, 2009). Desde então, tem havido um interesse em encontrar uma definição abrangente desta tecnologia. Além disso, o NIST (National Institute of Standards and Technology) define "computação em nuvem" como a capacidade de fornecer recursos de computação por meio da *internet*, incluindo vários serviços, servidores, armazenamento e aplicativos (ARMBRUST et al., 2010).

A agência também define a tecnologia de computação em nuvem como composta por cinco características principais: (i) autoatendimento sob demanda: acesso em qualquer lugar e sem intervenção humana; (ii) ampla conectividade de rede: disponível em diversos dispositivos eletrônicos como *laptops*, *netbooks*, *smartphones* e *ipad*; (iii) grupo de recursos: inclui diversos serviços como armazenamento e processamento de dados; (iv) flexibilidade rápida, como sendo a capacidade de receber o serviço rapidamente, permitindo que os usuários alterem várias preferências sem entrar em contato com o provedor de serviços; (v) serviços de medição: gerenciamento e monitoramento de diferentes tipos de serviços prestados pelo provedor de serviços em nuvem.

Para cumprir os cinco papéis descritos, as soluções também devem ser integradas como um serviço (modelo de serviço). Assim, podemos dividir o serviço em nuvem em três camadas: (i) *Software* a Serviço (SaaS); (ii) Plataforma como Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS). O armazenamento de dados geralmente é feito por meio de serviços disponíveis que permitem que vários arquivos sejam compartilhados entre um grande número de usuários. Por fim, o NIST identifica quatro modelos de implantação de nuvem, que podem ser divididos em privados, públicos, comunitários e híbridos.

3.3 Big Data

O campo de *Big Data* não é novo, existe há mais de 30 anos. Voltando no tempo, o termo *Big Data* foi oficialmente criado em 2005 por Roger MagoulasDe (GOSWAMI; CHANDRA, 2015), diretor de Pesquisa de Mercado da O'Reilly Mediapor. *Big data* é definido como dados que excedem o poder de processamento dos sistemas de banco de dados convencionais porque são muito grandes, produzidos muito rapidamente ou não atendem aos requisitos de arquitetura tradicionais " (Pierson, p. 17, 2015).

Inicialmente, ao caracterizar a tecnologia *Big Data*, segundo Laney (2001), foram estudadas as três principais características da informação, que juntas formam os 3Vs: volume, velocidade e variedade. O volume pode ser expresso como uma grande quantidade de dados produzidos por meios de TI, que corresponde ao tamanho dos dados a serem produzidos e armazenados (RIAHI, RIAHI, 2018). Velocidade refere-se ao tempo que leva para produzir informações, pois os aparelhos eletrônicos e os computadores também possuem tecnologia de amostragem.

É assim que os dados são armazenados e deletados em tempo real⁸(RAUTENBERG, CARMO, 2019; RIAHI, RIAHI, 2018). Por fim, a variedade, que confirma a natureza do conhecimento como heterogeneidade, é representada por diferentes formas, estruturas e semânticas e também vem de diferentes fontes (LANEY, 2001; RAUTENBERG, CARMO, 2019). No entanto, à medida que a pesquisa sobre esse tópico cresceu, surgiram mais três Vs: velocidade, variabilidade e valor. A definição de *big data*, portanto, possui seis características: quantidade, velocidade, variabilidade, autenticidade, mutabilidade e valor (AKHTAR, 2018).

Em geral, o novo "V" refere-se à singularidade e autenticidade dos dados. Se os dados coletados forem de baixa qualidade, os resultados do processamento de dados também serão ruins (CELESTINO, 2014; RAUTENBERG, CARMO, 2019). Por outro lado, a variabilidade refere-se à consistência desses dados. A diferença entre autenticidade e transformação é que nesta última os dados podem ter a mesma semântica, mas um significado completamente diferente. Além disso, para Rautenberg e Carmo (2019, p. 57), há o "foco em entender e lidar com fenômenos microscópicos e transitórios conhecidos". Em última análise, valor significa fazer perguntas durante a coleta, armazenamento e processamento de dados durante a análise, porque fazer as perguntas certas durante o processo é essencial para obter bons dados (AKHTAR, 2018).

Portanto, a tecnologia *big data* busca e extrai grandes quantidades de dados para obter informações usando ferramentas para trabalhar com esses dados, o que causa dificuldades na decodificação devido à sua natureza heterogênea e relacionamento complexo (RIAHI, RIAHI, 2018; ZWITTER, 2015).

Nesse sentido, a tecnologia de *Big Data* pode ser usada em quase todos os lugares do mundo atual; de artigos a revistas científicas, redes sociais como o YouTube e discussões no *Twitter*. Eles também trabalham como serviços em vários setores, como finanças, bancos e compras on-line, onde grandes quantidades de dados são monitoradas, coletadas e armazenadas a cada segundo para ajudar a gerenciar o comportamento do cliente e do *marketing*.

Por fim, as tecnologias digitais, como big data e computação em nuvem, foram identificadas como uma forma de criar dados para um sistema de IA. Além disso, essas tecnologias vêm sendo desenvolvidas há décadas, mas somente na última década foram criadas

⁸ Nesse contexto, é importante enfatizar outro conceito de velocidade: os dados envelhecem e perdem valor com o tempo. Diante disso, vale também analisar seu significado, mesmo que permaneçam relevantes (AKHTAR, 2018).

as condições necessárias para que deslanchem e alcancem grandes resultados na sociedade e na economia.

4. Os esforços de produção científica em IA

4.1 A evolução do número total de publicações de IA entre os países

Os resultados são apresentados em três subseções. Primeiramente, aqui nesta subseção, procuramos mostrar a evolução do número total de publicações do tema escolhido entre o período de 2010 a 2021; depois, faremos uma análise específica entre os dois principais países, China e Estados Unidos, fazendo uma comparação com o Brasil e; por fim, será feita uma análise descritiva dos dados do Brasil. Descobriu-se quais são as áreas que mais publicam sobre o tema escolhido e, em seguida, quais são as fontes de financiamento nesses países e quais setores recebem mais pesquisas sobre esse tema nos países selecionados.

As buscas foram realizadas de fevereiro a maio de 2022 na base de dados *Scopus*. O termo buscado foi “artificial intelligence”. Este termo foi pesquisado nos campos dos títulos (*article titles*), resumos (*abstracts*) e nas palavras-chave (*keywords*) de todas as publicações disponíveis na plataforma. Ressalte-se que o número total de publicações do tema escolhido pode abranger mais de uma área de estudo e mais de um país, o que faz com que, por vezes, os percentuais, quando somados, alcancem mais de cem por cento. O ano da publicação foi limitado entre dois períodos: 2010-2015 e 2016-2021. A pesquisa teve um retorno de 278.263 registros.

Com base nos resultados, verificou-se uma expressiva evolução da produção mundial de IA. Entre 2010 e 2021, a quantidade de publicações mais que dobrou (Quadro 3). A análise desses dois períodos mostra o desenvolvimento global do interesse por essa área de pesquisa, considerando que a produção passou de 13.856 publicações em 2010 para 41.294 em 2021. As frequências mostram, respectivamente, o quanto as publicações de cada ano representava em relação ao total de publicações do final do período, frequência relativa, e o acúmulo de publicações relativo em cada ano, frequência acumulada relativa. Por exemplo, é possível observar que em 2017, já havia um estoque de publicações de 71%. Ao passo que, comparado com os anos seguintes, a participação da quantidade de publicações por ano ainda está abaixo de 10%. Isso indica um avanço recente no total de publicações em Inteligência Artificial.

Quadro 3 – Evolução anual das Publicações de IA

Ano	Publicações	Frequência Relativa	Frequência acumulada	Frequência Acumulada Relativa
Total	278.263	100%	278.263	100%
2021	41.294	15%	264.407	95%
2020	35.901	13%	248.528	89%
2019	28.935	10%	231.552	83%
2018	27.337	10%	215.286	77%
2017	22.906	8%	198.091	71%
2016	22.382	8%	178.755	64%
2015	19.336	7%	156.373	56%
2014	17.195	6%	133.467	48%
2013	16.266	6%	106.130	38%
2012	16.976	6%	77.195	28%
2011	15.879	6%	41.294	15%
2010	13.856	5%		

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

A análise também destacou os países mais importantes. O quadro 4 mostra as contribuições dos treze primeiros países em termos absolutos e relativos. A China tem o maior número, respondendo por 57.883 da produção mundial, 20,8 % do total, seguida pelos Estados Unidos com 50.836, 18,3 % do total. Em seguida, está a Índia também com 22.642 (8,1%). O Brasil é o 13º país com mais publicações, 5.283 (1,9%).

Quadro 4 – Os 13 (treze) países com maior número de publicações de IA (2010-2021)

Ordem	País	278.263	%
1º	China	57.883	20,8
2º	Estados Unidos	50.836	18,3
3º	Índia	22.642	8,1
4º	Reino Unido	18.049	6,5
5º	Alemanha	14.800	5,3
6º	Itália	11.103	4,0
7º	França	10.888	3,9
8º	Espanha	10.686	3,8
9º	Japão	9.882	3,6
10º	Canadá	9.609	3,5
11º	Austrália	8.200	2,9
12º	Coreia do Sul	6.534	2,3
13º	Brasil	5.283	1,9

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

Além de mensurar o conhecimento científico sobre IA no mundo, é importante apontar como esse conhecimento se desdobra juntamente com outros fatores, como os esforços tecnológicos de cada país, por exemplo, como um conjunto de políticas de inovação, industriais e política tecnológica conseguem aumentar a competitividade de cada país. Dentre essas atividades, os itens mais importantes são destacados a seguir em cada país.

4.1.1 Políticas de fomento à IA nos países

China. A China está caminhando para subir a escada tecnológica a partir da construção de sistemas inovadores e mais avançados com tecnologias consideradas chave para o futuro da IA a partir de três planos (HIRATUKA; DIEGUES, 2021, p.7-10): (i) "Made in China 2025", lançado em 2015; (ii) "Internet Plus", lançado em 2015 e (iii) Plano Nacional de Inteligência Artificial de Próxima Geração (PNIA), lançado em 2017.

EUA. O investimento do governo em IA americana começou durante o segundo governo de Barack Obama (2013-2017) sob o Departamento de Defesa dos EUA, do National Science and Technology Council (NSTC). E teve continuidade na administração de Donald Trump (2017-2020), que estabeleceu o subcomitê *Networking and Information Technology Research and Development Subcommittee* (NITRD). Ambos os governos visavam fortalecer novas estratégias tecnológicas para o país, buscando parcerias entre governo, universidades e organismos internacionais (CÓBE et al., 2020). Atualmente, o presidente Joe Biden anunciou o "Made in America" a fim de fortalecer os setores intensivos em capital e intensivos em P&D.

Índia. Os esforços em torno dos pacotes mais importantes do governo indiano foram denominados em relatório do *National Institute for the Transformation of India* (NITI) e combinam três principais estratégias nacionais: (i) a criação de laboratórios nacionais (com foco em pesquisa básica), capacitando o treinamento de cidadãos indianos para habilidades e trabalho qualificado; (ii) investimentos em P&D em cinco setores estratégicos de IA (saúde, agricultura, educação, cidades inteligentes e mobilidade) para melhorar indicadores econômicos e sociais; e (iii) exportação de tecnologia para outros países (DUTTON, 2018).

Reino Unido. O Reino Unido lançou uma estratégia nacional de IA em 2018, denominada *Artificial Intelligence Sector Deal*, com três objetivos: (i) monopolizar o controle

de dados de players de tecnologia; (ii) incentivos de controle de dados e (iii) incentivos fiscais para pequenas e médias empresas (PMEs) (HOUSE OF LORDS, 2019). Como observa Dutton (2018), a estratégia do Reino Unido visa desenvolver um conjunto de regulamentos e princípios éticos para cobrir as várias aplicações da IA e o exercício dos direitos fundamentais. Além disso, a estratégia nacional buscou expandir o Instituto Alan Turing por meio da criação de programas de bolsas para especialistas em IA, *Turing Fellowships*, além de uma agência nacional de Ética e Inovação de Dados. Finalmente, o governo ofereceu pacotes e incentivos fiscais para empresas nacionais e estrangeiras de tecnologia.

Alemanha. A Alemanha é uma das principais economias do mundo e um dos mais importantes centros de inovação. Desde 2018, o governo federal lançou uma série de estratégias nacionais para fortalecer e expandir a pesquisa em IA no país (BMW, 2018). Desde o anúncio da Indústria 4.0, o governo federal lançou um pacote abrangente de políticas que inclui novos centros de pesquisa, cooperação franco-alemã em P&D, financiamento regional de grupos e apoio a PMEs e *Startups*, além de atrair talentos internacionais. Exemplos incluem o centro de pesquisa *Alexander von Humboldt Foundation* e *Plattform Lernende Systeme* (IEDI, 2017b).

Itália. O governo italiano tem direcionado suas estratégias de política pública para a IA. Lançado em 2018, o programa "Inteligência Artificial: Ao Serviço dos Cidadãos" foi desenvolvido por um grupo de pessoas da Agência Digital Italiana. O plano inclui referências a serviços governamentais, incluindo preocupações com dados (segurança cibernética), trabalhadores qualificados e questões regulatórias de tecnologia de IA (AGID, 2018). Além disso, em 2018, foi criado o laboratório nacional de IA "CINI-AIIS Lab (Laboratório de Inteligência Artificial e Sistemas Inteligentes)". O foco é ampliar a pesquisa básica e fortalecer as áreas de ciências exatas no país e transferir esse conhecimento para o setor privado e também para a administração pública (DUTTON, 2018).

França. A estratégia nacional de IA da França está contida no relatório *AI for Humanity*, publicado em 2018. As direções de ação mais importantes são: (i) desenvolvimento de políticas destinadas a melhorar o acesso à informação dos dados; (ii) direcionar quatro setores estratégicos - saúde, meio ambiente, transporte e defesa; (iii) aumentar o potencial da pesquisa francesa e investir em talentos; (iv) trabalho; (v) tornar a IA mais ecológica (OCDE, 2021).

Espanha. A Espanha desenvolveu uma forte estratégia nacional de IA intitulada *Spanish RDI Strategy in Artificial Intelligence*, lançado em 2019 (CÓBE et al., 2020). A proposta de IA concentra-se em seis objetivos: (i) estimular a pesquisa, o desenvolvimento técnico e a inovação tecnológica; (ii) promover o desenvolvimento de competências digitais, incentivando o talento nacional e atraindo o talento global; ; (iii) desenvolvimento de

plataformas de informação e infraestrutura tecnológica de suporte à IA; (iv) integração da IA nas cadeias globais de valor (CGVs);(v) incentivo ao uso na administração pública e em missões estratégicas nacionais e (vi) criar e desenvolver um marco ético e normativo.

Japão. O Japão começou a desenvolver uma estratégia nacional de tecnologia de IA com o *Artificial Intelligence Techonology Strategy*, lançado em 2017 (CÓBE et al., 2020). Com foco em três eixos: (i) uso e aplicação de IA para uso público de dados; (ii) criação de ecossistemas através de conexão de redes e (iii) políticas que incluem novos investimentos em P&D, novos talentos internacionais, transparência da informação de dados públicos e a regulação de *Startups*.

Canadá. O Canadá desenvolveu uma estratégia nacional de tecnologia de IA com o *Pan-Canadian AI Strategy*, lançado em 2017 (CHIARINI e SILVEIRA, 2022, p.6). O foco é fortalecer a pesquisa e atrair pesquisadores. Para tanto, criou centros de pesquisa acadêmica de excelência em Edmonton, Montreal, Toronto e Waterloo. Os pacotes e planos do governo do Canadá podem ser encontrados no *Canadian Institute for Advanced Research* (CIFAR), por meio do programa *AI and Society*.

Austrália. Desde 2018, o governo australiano desenvolveu sua estratégia nacional de IA com o programa *Prosperity Through Innovation*, para financiar projetos de pesquisa e inovação (CÓBE et al., 2020).

Coréia do Sul. Na Coreia do Sul, a proposta de IA do governo foi apresentada na *National Strategy for Artificial Intelligence*, em 2019. A política tem três eixos principais: (i) criar uma infraestrutura de classe mundial para TI inteligente; (ii) promover a implementação de TI inteligente em todos os setores e (iii) medidas proativas para renovar e fortalecer o sistema de apoio social. Outras estratégias do governo sul-coreano incluem o projeto *ExoBrian*, lançado em 2014. O foco do pacote é um ramo da IA chamado de Processamento de Linguagem Natural (PLN). Os setores chaves incluem saúde, jurídico e financeiro. Lançado em 2015, o projeto *DeepView* é voltado para aplicações de dados visuais.

4.1.2 As políticas e os dados de publicações de China e EUA

O quadro 5 mostra que, enquanto no primeiro período os Estados Unidos lideraram a criação de conhecimento científico sobre inteligência artificial, isso não ocorreu no segundo período. A produção de inteligência artificial na China, que atingiu o número de 17.786 no

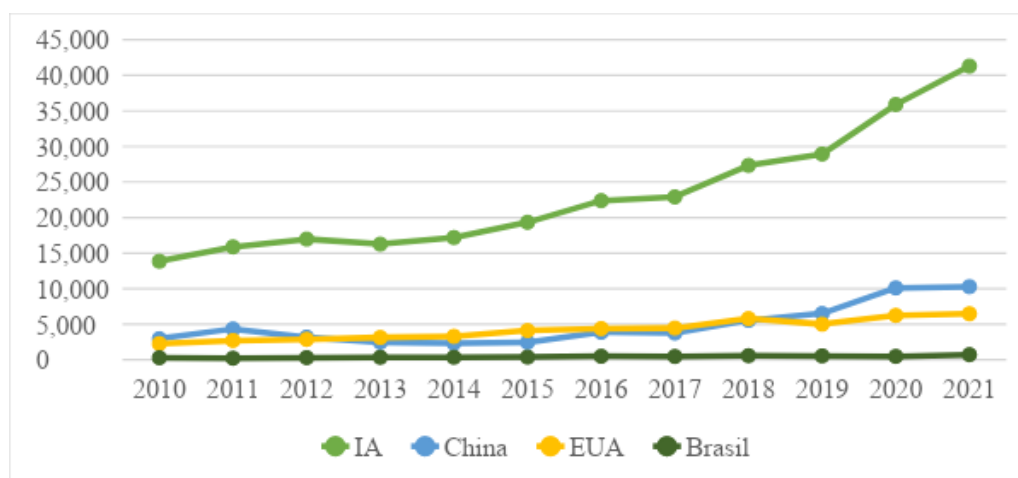
primeiro período 2010-2015, chegou a 40.097 no segundo período, 2016-2021, superando os Estados Unidos. A produção de pesquisa em IA no Brasil, entre o período de 2010 e 2015, atingiu 1.947 registros, enquanto que no período 2016 e 2021 este número foi de 3.336, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Publicações de IA nos periódicos classificados entre os dois principais líderes globais (China, EUA) e Brasil

País	China		País	Estados Unidos		País	Brasil	
Ano	57.883	%	Ano	50.836	%	Ano	5.283	%
2021	10.289	17,8	2021	6.483	12,8	2021	730	13,8
2020	10.113	17,5	2020	6.251	12,3	2020	492	9,3
2019	6.514	11,3	2019	5.009	9,9	2019	554	10,5
2018	5.548	9,6	2018	5.798	11,4	2018	582	11,0
2017	3.764	6,5	2017	4.465	8,8	2017	476	9,0
2016	3.869	6,7	2016	4.397	8,6	2016	502	9,5
2015	2.472	4,3	2015	4.111	8,1	2015	384	7,3
2014	2.335	4,0	2014	3.301	6,5	2014	363	6,9
2013	2.472	4,3	2013	3.142	6,2	2013	353	6,7
2012	3.195	5,5	2012	2.877	5,7	2012	312	5,9
2011	4.346	7,5	2011	2.719	5,3	2011	233	4,4
2010	2.966	5,1	2010	2.283	4,5	2010	302	5,7

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

A posição do Brasil na produção mundial mudou significativamente nos dois quinquênios (2010-2015 e 2016-2021). O Brasil subiu duas posições, de 15^a para a 13^a. Na mesma análise, os Estados Unidos perderam uma posição do 1^o para o 2^o lugar, enquanto a China subiu uma posição do 2^o para o 1^o lugar. O gráfico abaixo mostra a alternância de posições ao longo do período analisado entre China e EUA.

Gráfico 1 – Comparação de publicações em IA por países selecionados entre 2010 e 2021

Fonte: Scopus. Elaboração própria

4.1.3 As políticas de IA na China

A China aumentou suas publicações de IA desde 2015, quando duas grandes estratégias nacionais foram anunciadas. O primeiro é o plano “Made in China 2025”, que tem como foco a Indústria 4.0. O segundo plano é o “Internet Plus”, que enfatiza a integração da economia digital com foco em serviços e funções digitais (HIRATUKA; DIEGUES, 2021). No entanto, o Plano Nacional para a Nova Geração de Inteligência Artificial (PNIA) foi publicado apenas em 2017 com o objetivo claro de integrar política industrial (PI) e ciência, tecnologia e inovação (CT&I) para atrair não apenas setores *high - tech*, mas também outros segmentos estratégicos considerados pelo país como segurança e proteção ambiental. Este objetivo é composto por duas metas. A primeira é a criação de cidades “inteligentes”, a partir de aplicações de serviços de IA. Em segundo lugar, há uma forte presença do Estado com pacotes e incentivos fiscais vinculados à disseminação do conhecimento científico entre atores públicos e privados para promover o desenvolvimento mútuo (Robertson et al. 2021).

No plano, são adotadas estratégias de longo prazo organizadas em duas metas. A primeira meta é torna a China um país inovativo, ou seja, criar um ambiente favorável para as atividades inovativas, reformar o sistema de incentivos, criar um conjunto de políticas de apoio

e políticas regulatórias até 2025. Em 2030, espera-se, com o plano, que a China se junte aos países líderes em inovação. O plano coloca a IA no centro de uma visão de futuro onde essa sociedade mais inovadora é persistente, não apenas do ponto de vista de estímulos a pesquisa básica, mas também com a difusão da tecnologia como fundamental para alterar uma série de fatores associados à governança pública, bem-estar social (por exemplo, na área da saúde, TI, educação, na área da proteção ambiental e na área de defesa e segurança nacional).

Para fortalecer o campo da IA, segundo Webster et al., (2017), o governo está focando nos campos das novas tecnologias, como *big data*, computação quântica, inteligência de mídia cruzada e híbrida homem-máquina, inteligência de enxame (*Swarm Intelligence*) e aprendizado de máquina (*Machine Learning*).

Em termos de sistemas técnicos, os aplicativos de IA precisam ser fortalecidos e desenvolvidos. Para isso, algoritmos de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) e aprendizado profundo (*Deep Learning*) são desenvolvidos em conjunto com máquinas altamente avançadas, como *softwares* e *hardwares* que estão surgindo em outro setor, como o de semicondutores. Além disso, uma força de trabalho experiente de engenheiros, matemáticos e cientistas de dados fortalecerá o relacionamento entre homem e máquina. Diante disso, desenvolveu-se todo um cenário que dá aos sistemas inteligentes oportunidades de aprimorar as aplicações da IA não apenas em setores econômicos, mas também em setores estratégicos como a segurança nacional e ambiental, proporcionando ao país grandes saltos no progresso tecnológico.

Finalmente, o plano enfatiza a importância da integração civil-militar. A cooperação de todos os campos científicos da sociedade é para a promoção comum do desenvolvimento científico do país. Segundo Kania (2020), a estratégia do governo chinês é se tornar uma referência global em tecnologia de IA. Para tanto, os pacotes de incentivos fiscais visam desenvolver diversas áreas da IA, como robótica, processamento de linguagem natural (PLN), aprendizado de máquina e algoritmos de aprendizado profundo e visão computacional, que são aplicados a sistemas inteligentes capazes de desenvolver armas, veículos, e mísseis e assim por diante.

Além disso, também é importante destacar que o projeto nacional chinês PNIA destaca o *gap* da China em relação a países que já ascenderam à vanguarda da tecnologia em áreas consideradas estratégicas para pesquisa básica como os semicondutores, *software* e mão de obra especializada. Esses elementos têm um efeito positivo no fortalecimento de todo o sistema de inovação do país (DING, 2018).

4.1.3 As políticas de IA nos EUA

O Plano Estratégico Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Inteligência Artificial dos EUA foi lançado em 2016, durante o segundo mandato do presidente Barack Obama. O objetivo do projeto é identificar estratégias futuras para construir novos caminhos para o desenvolvimento de inteligência artificial e outras tecnologias emergentes (NSTC, 2016).

Os cinco objetivos foram divididos em: (i) pacotes fiscais para o setor privado, bem como institutos acadêmicos; ii) segurança nacional; iii) atrair especialistas na área; (iv) desenvolver indicadores para medir IA e (v) treinar e testar dados do governo (NSTC, 2016, p. 35). Mesmo durante o governo Trump, o país continua a política de desenvolver IA não apenas em setores econômicos, mas também nas áreas de proteção ambiental e segurança nacional. O foco principal é fortalecer a governança entre empresas privadas, institutos de pesquisa e instituições militares para acelerar o desenvolvimento mútuo (THE WHITE HOUSE, 2018, s.p.).

Nesse sentido, a Comissão de Segurança Nacional sobre Inteligência Artificial (NSCAI) apresentou considerações para a integração da IA em setores-chave de exportação, como semicondutores e equipamentos de fabricação. Segundo os autores do documento, o país deve usar meios para controlar a exportação de semicondutores, por exemplo, com o objetivo de estar na vanguarda da tecnologia e também dos interesses militares. A indústria de semicondutores seria, portanto, a base industrial para a indústria de digitalização, ajudando a automatizar sistemas que se expandem à medida que os dados se expandem. Portanto, o setor de semicondutores seria o primeiro pilar da construção da tecnologia digital e possui dois subsetores. A primeira são os *chips*, que são circuitos integrados utilizados em *chips* de memória, processamento de radiofrequência para comunicação com infraestrutura de comunicação. A segunda são os sensores que reproduzem as aplicações da IA em sinais sonoros, fala, temperatura em sinais digitais, responsáveis pela digitalização do mundo físico (NSCAI, 2021, p. 230.)

Ao contrário da China e dos Estados Unidos, o Brasil não tinha uma estratégia específica de IA até 2018. O tema foi abordado pela primeira vez no mesmo ano em um plano de governo focado no futuro das estratégias econômicas digitais na Estratégia de Transformação Digital do Brasil (E-Digital). No entanto, o tema será fortalecido pela Estratégia Brasileira de Inteligência

Artificial (EBIA), lançada em 2021, que visa promover a maior capacidade de inovação tecnológica do setor no país.

4.2 As áreas e as fontes de financiamento

O Quadro 6 analisa os dados das publicações por áreas em três países, China, EUA e Brasil. Embora o tema da Inteligência Artificial abarque um conjunto de áreas e temas, conforme visto nas políticas dos países citadas anteriormente, é possível observar que, em média, quase 70% das publicações dos três países estão concentradas na área “ciência da computação”, no período de 2010 a 2021.

Quadro 6 – Números de publicações por áreas de destaques

China				Estados Unidos				Brasil			
Ordem	Área	57.883	(%)	Ordem	Área	50.836	(%)	Ordem	Área	5.283	(%)
1°	Ciência da Computação	41.144	71,1	1°	Ciência da Computação	33.409	66,0	1°	Ciência da Computação	3.871	73,0
2°	Engenharias	16.076	27,8	2°	Engenharias	11.569	23,0	2°	Matemática	1.503	28,0
3°	Matemática	14.110	24,4	3°	Matemática	10.965	22,0	3°	Engenharias	1.228	23,0
4°	Física e Astronomia	6.407	11,1	4°	Medicina	7.412	15,0	4°	Medicina	414	8,0
5°	Ciências da decisão	4.270	7,4	5°	Ciências Sociais	2.932	6,0	5°	Ciências Sociais	315	6,0

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

Em segundo lugar, na China e EUA, estão as “engenharias”. No Brasil, este lugar é ocupado pela “matemática”. Como a tecnologia de IA se concentra na criação e programação de algoritmos, é necessário estudar a lógica numérica, como cálculo, probabilidade e estatística. Este fato justifica o *status* das três principais áreas. Outras áreas de estudo são: "medicina", um campo que estuda as funções, mudanças e desenvolvimento de todo o corpo humano. Os avanços nessas áreas dependem de ferramentas (*software*) que possam ser utilizadas para desenvolver sistemas inteligentes. A "física e astronomia", campos dedicados a experimentos e simulações virtuais e, finalmente "ciências da decisão", um campo que utiliza a criação de sistemas de aprendizagem como aprendizado de máquina (*machine learning*) e (*deep learning*)

que são subáreas da IA e "ciências sociais", um campo dedicado a três campos de estudo diferentes: antropologia, sociologia e ciência política.

Outro indicador importante é a fonte de financiamento, observado no quadro 7. Observou-se, em um primeiro momento, que mais da metade das fontes de financiamento estão "indefinidos" na base Scopus, o que ocorre quando não há nenhuma instituição ou empresa associada ao estudo. Por isso, este estudo excluiu as categorias "indefinidas". Os Quadros 7 e 8 apresentam os percentuais relativos ao total de publicações financiadas pelo setor público e privado, em valores absolutos e relativos para o período de 2010 e 2021.

As cinco principais fontes de financiamento para pesquisas relacionadas a publicações de IA nos três países são órgãos governamentais, segundo o quadro 7. A organização chinesa Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NFSC) foi a que mais apareceu, seguida pela Fundação Nacional de Ciências (NSF) e em terceiro lugar ficou o Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Tecnologia Nacional Brasileira (CNPq), respectivamente.

Quadro 7 - Números de publicações por fontes de financiamento público às pesquisas na China, nos EUA e no Brasil

China				Estados Unidos				Brasil			
Ordem	Governo	57.833	(%)	Ordem	Governo	50.836	(%)	Ordem	Governo	5.283	(%)
1°	Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NFSC)	15.630	27%	1°	Fundação Nacional de Ciências (NSF)	6.234	12%	1°	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)	1.075	20%
2°	Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da China	2.406	4%	2°	Instituto Nacional de Saúde	2.536	5%	2°	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	856	16%
3°	Fundos de Pesquisa para as Universidades Centrais	2.200	4%	3°	Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NFSC)	1.711	3%	3°	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	453	9%
4°	Ministério da Educação da China	1.787	3%	4°	Departamento de Defesa dos EUA (SecDef)	1.395	3%	4°	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)	393	7%
5°	Ministério da Ciência e Tecnologia da China	1.685	3%	5°	Escritório de Pesquisa Naval da Marinha dos EUA	958	2%	5°	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)	157	3%

Fonte: Scopus. Elaboração própria

Hoje, muitas empresas utilizam sistemas de IA para criar novos produtos e/ou serviços inovadores para aumentar a produtividade, além de reduzir custos e tempo. O Quadro 8 mostra os quatro principais setores e empresas que aparecem no financiamento das pesquisas associadas às publicações: tecnologia da informação (TI) em 57,6%, seguida de farmacêuticos e serviços hospitalares com cerca de 40%, agricultura com cerca de 1% e petróleo com 1%.

Quadro 8 – Financiamento privado às pesquisas na China, nos EUA e no Brasil

Ordem	País	Setor	Empresas	1.239	%
1°	EUA	TI	Google	238	19,2
2°	EUA	TI	Nvidia	176	14,2
3°	EUA	TI	Microsoft	164	13,2
4°	EUA	TI	Intel	134	10,8
5°	Suíça	Farmacêutico	Novartis	65	5,2
6°	Suíça	Farmacêutico	Roche	59	4,8
7°	EUA	Farmacêutico	Pfizer	56	4,5
8°	EUA	Farmacêutico	GE Healthcare	54	4,4
9°	Alemanha	Farmacêutico	Merck	51	4,1
10°	Inglaterra	Farmacêutico	AstraZeneca	50	4,1
11°	EUA	Farmacêutico	Genentech	50	4,1
13°	Inglaterra	Farmacêutico	GlaxoSmithKline(GSK)	39	3,1
14°	EUA	Farmacêutico	Medtronic	35	2,8
15°	EUA	Farmacêutico	Bristol Myers Squibb (BMS)	33	2,7
16°	Brasil	Petróleo	Petrobras	12	1,0
17°	Brasil	Agrícola	Embrapa	9	0,7
18°	Alemanha	Farmacêutico, Agrícola e saúde	Bayer	8	0,7
19°	EUA	TI	Dell	3	0,2
20°	Itália	Farmacêutico	Chiesi	3	0,2

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

Segundo Gupta (2018), os serviços de TI e nuvem são o futuro dos subcampos de IA. Isso explica o aparecimento de líderes em tecnologias como Google, Nvidia, Microsoft e Intel. Em relação aos produtos farmacêuticos, merecem destaque as empresas Novartis e Roche na Suíça, onde a indústria farmacêutica é destaque; seguida pela Alemanha (Merck e Bayer), país onde a Indústria 4.0 teve início em 2011; seguido pela Inglaterra (AstraZeneca e GlaxoSmithKline (GSK) e Itália (Chiesi).

A IA também é aplicada na área de equipamentos e serviços hospitalares e, novamente, os Estados Unidos (GE Healthcare; Genentech e Medtronic) lideram a participação desses setores, conforme o quadro 8. Segundo Albuquerque e Cassiolato (2002), o desenvolvimento

de tecnologias médicas é altamente dependente de P&D, pois necessitam altos investimentos e conhecimento especializado, além da cooperação entre as universidades, empresas, institutos de pesquisas e agências governamentais.

Observa-se que nenhuma empresa de tecnologia chinesa é mostrada e apenas duas empresas brasileiras (Petrobras e Embrapa). As empresas norte-americanas de TI (Google/Alphabet, Nvidia, Microsoft, Intel e Dell) são as maiores consumidoras mundiais de semicondutores e são também as maiores empresas de internet. Além disso, a IA é uma tecnologia de uso civil e militar, e os Estados Unidos têm como parceiros militares a OTAN (Itália e Reino Unido) o que permite o desenvolvimento e a transferência de tecnologias entre os países.

4.3 Análise descritiva das publicações de IA do Brasil

O Quadro 9 apresenta as principais instituições de ensino superior que foram identificadas nas publicações científicas. Das 18 instituições encontradas durante a análise, verificou-se que a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) foi a instituição de ensino que publicou o maior número de publicações sobre esta temática, sendo 19 no total. A segunda instituição com mais publicações é a Universidade de São Paulo (USP), com um total de 16 publicações. A Universidade Federal Fluminense (UFF) é a terceira entre as universidades brasileiras, com um total de 13. A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) são a quarta, com um total de 9. A Universidade do Pará (UFPA) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em quinto, num total de 8. A Universidade de Pernambuco (UPE) está em sexto lugar, com um total de 6. As demais instituições identificaram apenas cinco, quatro ou três cada. Além disso, foi encontrada apenas uma universidade privada de ensino superior, a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

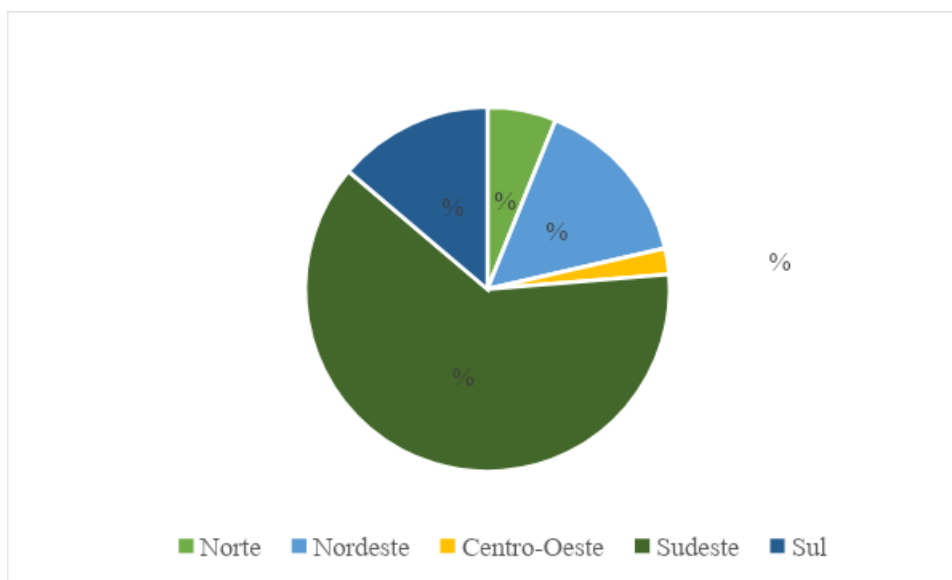
Além disso, o Quadro 9 também mostra as parcerias entre empresas brasileiras e universidades. A Embrapa (1) estudo com a UFJF; Petrobras (1), Algar Telecom (1) e Kyros Tecnologia (1) publicaram estudo com a USP; a Toyota Brasil (1) com a UFF; Kyros Tecnologia (4) estudos com a UFU, assim como Algar Telecom (2) e Bayer (2) com a UFU cada, Google (1) estudo com a UFRN, Petrobrás (1) com a UFRJ; Google (2) com a UFPE e também Samsung Eletrônica da Amazônia (1) estudo com a UFPE e Petrobrás (1) com a UFSC.

Quadro 9 - Principais instituições de ensino superior brasileiras e parcerias com empresas

Empresas	Instituições Brasileiras	131	%
Embrapa (1)	Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)	19	14,5
Petrobrás (1) Algar Telecom (1) Kyros Tecnologia (1)	Universidade de São Paulo (USP)	16	12,2
Toyota Brasil (1)	Universidade Federal Fluminense (UFF)	13	9,9
Kyros Tecnologia (4) Algar Telecom (2) Bayer (2)	Universidade Federal de Uberlândia (UFU)	9	6,9
Google (1)	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	9	6,9
	Universidade Federal do Pará (UFPA)	8	6,1
Petrobrás (1)	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	8	6,1
	Universidade de Pernambuco (UPE)	6	4,6
	Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)	5	3,8
Google (2) Samsung Eletrônica da Amazônia (1)	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	5	3,8
	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	5	3,8
	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	5	3,8
	Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)	4	3,1
	Universidade Estadual Paulista (UNESP)	4	3,1
	Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	4	3,1
Petrobrás (1)	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	4	3,1
	Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)	4	3,1
	Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)	3	2,3

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

A maioria dos estudos foi realizada na região Sudeste, com destaque para os estados de Minas Gerais (28,3%) e Rio de Janeiro (19,1%). Consta-se que esta área reúne o maior número de programas de pós-graduação e pesquisadores de nosso país, o que justifica o aumento da produção. No entanto, destaca-se um número significativo de produções da região Nordeste (15,3%), o que mostra o avanço dessa região nas pesquisas, enquanto na região Sul é de 13,8%. Chama atenção também a baixa prevalência do assunto nas regiões norte (6,1%) e centro-oeste (2,3%) do país (ver Figura 2).

Gráfico 2 – Universidades brasileiras por região

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

O Quadro 10 permite visualizar o total de artigos científicos sobre inteligência artificial no Brasil, com base nos anos de publicação. O número é crescente ao longo dos anos, juntamente em decorrência do crescimento da produção científica mundial sobre o assunto. Percebe-se que, desde 2014, o número de publicações no país aumentou significativamente, o que confirma o crescente interesse pelo tema a contar desses anos.

Quadro 10 - Números de publicações por Universidades Brasileiras

(continua)

Instituições Brasileiras	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)					2	1		4	3	5		4
Universidade de São Paulo (USP)						2	2		2	5	2	3
Universidade Federal Fluminense (UFF)												13
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)								1	2	4		2
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)		1						1	4	2		1
Universidade Federal do Pará (UFPA)	1							1	1	1	1	3
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)							1		1	2	1	3
Universidade de Pernambuco (UPE)									4	2		
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)									2	1	2	
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)									1	2		2
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)									1	2	2	
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)						1	1		2	1		
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)									2		1	1

Quadro 10 - Números de publicações por Universidades Brasileiras

(conclusão)

Instituições Brasileiras	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Universidade Estadual Paulista (UNESP)							1		1		1	1
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)							1		1	2		
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)										1	2	1
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)							1		1	2		
Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)										1	1	1

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

A seguir, serão listadas as publicações de cada instituição. A Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) reúne 19 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Entre os tópicos abordados na pesquisa, encontramos: (1) criação de um novo sistema fuzzy; (2) preocupações com questões ambientais, que incluem a minimização de custos de veículos elétricos; (3) monitoramento de pacientes para tratamento de feridas pós-operatórias; (4) revisão sistemática da literatura e mapeamento; (5) o módulo de Young é a propriedade mais importante usada no projeto de estruturas de concreto, que são responsáveis

pelo custo, segurança e dimensões da estrutura; (6) um algoritmo baseado no processamento de alimentos para formigas; (7) a estrutura GVGAI é usada aqui. Em jogos em que o controlador pode executar simulações para desenvolver seu plano de jogo, identificar o potencial de vitória/perda de possíveis estados de resultado é um meio importante de tomada de decisão; (8) jogos em geral. Este artigo propõe uma abordagem futura de uma etapa e uma política para evitar ações desnecessárias ao criar novas entidades. Os resultados mostram que o uso do 1-Step-Look Ahead e a política de evitar operações redundantes melhoram a qualidade das soluções encontradas em relação ao algoritmo original; (9) explorar indicadores estatísticos pouco pesquisados em métodos de detecção de danos para caracterizar medidas de aceleração em tempo real; (10) monitorar plataformas de petróleo; (11) aplicativo furtivo (móvel destinado para o monitoramento de crimes); (12) os classificadores de aprendizado de máquina são investigados para fornecer um modelo preditivo para esse problema de classe desbalanceada, onde a frequência relativa de objetos defasados é rara em comparação com objetos não defasados; (13) biblioteca OpenMP com computação paralela, que permite buscas paralelas em diferentes tipos de dispositivos como CPUs, GPUs e APUs; (14) algoritmo de máquina de vetores de suporte (SVM); (15) aplicar economicamente o problema de transmissão com múltiplos efeitos de ponto de válvula e combustível (16) para problemas de motor; (17) métodos de aprendizagem guiados aplicados a dados de vibração; (18) algoritmos genéticos GWAS e (19) NeuroSNP: uma ferramenta para filtrar SNPs em todo o DNA genômico. Ambos são destinados para geração de grandes volumes de dados biológicos, por exemplo, análise de imagens, formulários eletrônicos e exames médicos (ver Apêndice A).

A Universidade de São Paulo (USP) reúne 16 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de inteligência artificial. Os tópicos abordados no estudo incluem: (1) diagnóstico por imagem no autismo; (2) o número estimado de mortes de Covid-19 no Brasil; (3) para uso em poços geoquímicos sintéticos (4) revisão sistemática da literatura baseada na descrição de insetos; (5) análise de feixe de íons (6) para projeto e pesquisa de medicamentos; (7) serviço de *call center*; (8) prever a abertura de solicitações de serviços no setor de telecomunicações brasileiro; (9) configurado para autenticação entre domínios; (10) para-raios; (11) casas inteligentes; (12) doenças de Hanseníase; (13) sistemas sociotécnicos (STS); (14) sistemas híbridos; (15) sistemas híbridos e (16) classificar e selecionar subespécies de abelhas (ver Apêndice B).

A Universidade Federal Fluminense (UFF) reúne 13 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) Avaliação de empresas start-up; (2) Toyota Kata; (3) revisão sistemática para melhorar o Lean Healthcare;

(4) melhorar o ambiente hospitalar (limpeza e desinfecção); (5) Revisão da literatura Lean Healthcare Management; (6) atendimento ao paciente; (7) medir a eficiência e qualidade dos serviços prestados aos usuários; (8) revisão da literatura sobre redução de IRAS; (9) Tecnologia Karakuri (automação de baixo custo) em unidades de saúde; (10) gestão na saúde; (11) diagnósticos para empresa de saúde; (12) análise bibliométrica do Kaizen aplicado à saúde e (13) revisão da literatura sobre estratégias *fast-track* (ver Apêndice C).

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) reúne 9 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) algoritmos de otimização (CNNs) e (GAs); (2) em doenças pulmonares; (3) modelagem automática de uma central de atendimento telefônico; (4) a indústria de telecomunicações; (5) jogos RTS; (6) algoritmo de chave aleatória com tendência inteligente (BRKGA); (7) implementado em jogos (POMDP); (8) feromônios de formigas e (9) sistema de adaptação para área educacional (ver Apêndice D).

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) reúne 9 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) revisão sistemática da literatura sobre esclerose lateral amiotrófica; (2) Sistema fuzzy; (3) prevenir falhas de sistemas eletromecânicos; (4) *small cells*, que são serviços de voz; (5) para bandas de radiofrequência ISM. Os artigos (6), (7) e (8) são escritos pelos mesmos autores e apresentam diferentes previsões para sistemas capazes de prever a velocidade do vento com base nos modelos ARIMAX e ANN nas regiões do nordeste e (9) ferramentas e técnicas de impressão digital TCP/IP ativas para identificar sistemas operacionais (ver Apêndice E).

A Universidade Federal do Pará (UFPA) reúne 8 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) redução de ruído de imagem e novas funções de entrada são propostas. O algoritmo é aplicado a esquemas de descarga parcial resolvida em fase (PRPD) com uma única fonte dominante de descarga parcial (DP); (2) desenvolvimento de novos compostos bioativos para aplicações industriais; (3) energia eólica na região Nordeste; (4) Desigualdades integrais do tipo Wirtinger geral das métricas de Hukuhara e Pompeiu-Hausdorff; (5) Desigualdades do tipo oval para funções intervalares diferenciáveis generalizadas de Hukuhara; (6) doenças como a lepra; (7) desigualdades integrais de funções fuzzy com valor de intervalo e (8) o modelo neurogenético que buscam resolver problemas de equação algébrica de *Riccati* (ver Apêndice F).

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) reúne 8 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) para a determinação de poluentes derivados do petróleo transportados em dutos; (2) prever o

resultado do processo de tomada de decisão de um indivíduo; (3) técnicas de perfuração de petróleo na Bacia de Santos; (4) para o isolamento de oleorresinas de pinheiro preto e branco para as famílias de plantas Burseraceae; (5) tratamento da tuberculose; (6) encorajar o desenvolvimento de ferramentas computacionais capazes de acelerar o processo, (7) a produção de biossurfactantes, e (8) o uso de sensores sem fio e redes de vigilância (WSAN) (ver Apêndice G).

A Universidade de Pernambuco (UPE) reúne 6 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) *Cat Swarm Optimization* (CSO) programa que tem seu funcionamento baseado na computação natural; (2) para previsão de séries temporais; (3) uma estrutura NFR para melhorar o processo de avaliação NFR usando técnicas de aprendizado de máquina; (4) mapas auto-organizados (SOM) são usados para reduzir a complexidade das características cinemáticas capturadas pelos sensores IMU; (5) agrupamento PSOC, *cluster* PSOC híbrido K-means e agrupamento por enxame de partículas. O estudo de caso aborda o importante problema de agrupar alunos a partir de um banco de dados educacional online. O objetivo é aumentar seu processo de aprendizagem, recomendando aulas de gramática específicas e (6) busca binária de cardumes de peixes (MOBFSS) (ver Apêndice H).

A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) reúne 5 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) uma revisão sistemática da literatura sobre redes de comunicação veicular; (2) monitoramento de baixo custo de linhas de energia em um drone; (3) diagnóstico digital de curto-circuito (SC); (4) diagnóstico de imagem para monitoramento em nuvem disponível em serviços de *data center* e (5) simulação de voo de helicóptero (ver Apêndice I).

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) reúne 5 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) uso de um *Chatbot* para auxiliar no tratamento de feridas e orientar sobre métodos de curativos recomendados para cada tipo de ferida; (2) otimizar o diagnóstico de Covid-19; (3) recomendação de uso de eletrodomésticos na *internet*; (4) usar vigilância para segurança pública na Polícia Militar do Recife (5) melhorar o desempenho da central multimídia para celulares Samsung (ver Apêndice J).

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) reúne 5 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) avaliação da produtividade da soja; (2) sistemas domésticos inteligentes; (3) sistema de rede

elétrica inteligente chamados de *Smart Grids*; (4) monitoramento de carga e (5) um modelo de gestão técnica e econômica de energia para residências (ver Apêndice K).

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) reúne 5 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) eles criaram um sistema online multilíngue baseado no *framework Django* chamado MeSHx-Notes. Está disponível em 15 idiomas e substitui um dicionário de sinônimos; (2) algoritmos genéticos para simulação de grãos de aveia no sul do Brasil, (3) algoritmos de estratégia de cultivo; (4) classificação dos movimentos dos membros superiores e (5) transição de sistemas imunológicos artificiais para sistemas de cuidados inteligentes (ver Apêndice L).

A Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) reúne 4 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) uma abordagem baseada em estratégias pedagógicas de aprendizagem ativa e programas de empreendedorismo para ensinar empreendedorismo a estudantes de ciência da computação e engenharias; (2) sistema de predição de falhas por aprendizado de máquina inteligente (aprendizado de máquinas) para desenvolver uma plataforma de tomada de decisão aplicada à linha de produção com redução de desperdícios; (3) Bpmn é adequado para projetos P&D para automatizar o processo integrado de desenvolvimento de produtos do setor elétrico brasileiro e (4) diagnósticos de genoma por imagem (ver Apêndice M).

A Universidade Estadual Paulista (UNESP) reúne 4 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) diagnóstico por imagem de câncer; (2) otimizar as estratégias de fertilização *in vitro*/injeção intracitoplasmática de espermatozoides, priorizando a transferência de um único embrião; (3) diagnóstico por imagem para problemas de classificação de blastocisto bovino e (4) computação gráfica para algoritmos de processamento gráfico (ver Apêndice N).

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) reúne 4 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) dados de patentes (redes SOM, K-Means e Multi-SOM); (2) para o uso estatísticos de benchmark da bolsa de valor brasileira financeiros; (3) problema de planejamento florestal e (4) mídias sociais (ver Apêndice O).

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) reúne 4 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) robôs móveis usando modelos de ilhas; (2) ferramentas para desenvolvimento de agentes inteligentes em jogos de computador, jogos online Behavior Trees (BTs); (3) GoOrg, *software*

capaz de automatizar processos manuais e demorados, e (4) análise de *cluster* para mídias sociais (ver Apêndice P).

A Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) reúne 4 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) usar inteligência computacional para encontrar falhas em sistemas mecânicos; (2) prever e monitorar doenças como tuberculose; (3) várias UCI aprendizado de máquina Árvores de padrão difuso, NSGA II, Florestas aleatórias, Máquinas de vetores de suporte e K vizinhos mais próximos em bancos de dados de bibliotecas e (4) Sistemas robóticos (ver Apêndice Q).

Por fim, o Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) reúne 3 projetos de pesquisa envolvendo experimentos e criação de algoritmos de IA. Os tópicos de pesquisa incluem: (1) valores humanos na imortalidade digital; (2) prever nutrientes de folhas de laranja valência e (3) aplicação de reconhecimento automático de voz (ver Apêndice R).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A IA é uma área da tecnologia que busca desenvolver sistemas e máquinas que possam realizar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como o aprendizado, raciocínio e compreensão. A IA está sendo aplicada em uma variedade de campos, como automação, robótica, medicina, finanças e jogos, e está contribuindo para a revolução tecnológica atual, ajudando a melhorar a eficiência, a precisão e a velocidade das tarefas realizadas por máquinas.

Nesta perspectiva, os economistas neoschumpeterianos argumentam que a IA é uma das principais forças motrizes da inovação atual e que tem o potencial de transformar a economia global de uma forma semelhante à invenção da máquina a vapor do século XIX. Eles acreditam que a IA pode aumentar a eficiência, reduzir os custos, melhorar a qualidade de criar novos mercados e indústrias, impulsionando o crescimento econômico.

Além disso, os economistas neoschumpeterianos argumentam que a IA também pode ter impactos negativos, como o desemprego e a desigualdade, se não for gerida corretamente. Portanto, é importante que os governos e as empresas trabalhem juntos para garantir que os benefícios da IA sejam distribuídas medidas para minimizar os efeitos negativos.

Nessa perspectiva, o objetivo geral é avaliar as características do conhecimento científico da tecnologia de Inteligência Artificial (IA) na China, nos Estados Unidos e no Brasil. Descobriu-se, com isso, quais são as áreas que mais publicam sobre o tema escolhido, quais as fontes de financiamento e quais setores recebem mais pesquisas sobre esse tema nos países selecionados. Por fim, as características da produção científica no Brasil, como as principais universidades e institutos de pesquisas, e o que eles estão pesquisando sobre a IA entre 2010 a 2021, foram investigadas.

Para obter os resultados desta pesquisa, buscaram-se as informações do termo escolhido de IA nos campos dos títulos (*article titles*), resumos (*abstracts*) e nas palavras-chave (*keywords*). de publicações científicas vinculadas à base de dados Scopus. Após obter os resultados, considera-se respondida a questão de pesquisa proposta, ‘quais são as características do conhecimento científico relacionada à IA na China, nos EUA e no Brasil?’, uma vez que permitiram comparar a produção científica brasileira comparando-a com a China e os EUA.

Com base nos resultados, verificou-se uma expressiva evolução da produção mundial de IA de 2010 até 2021. Entre o período de 2016 e 2021 as publicações totais foram de 64%, enquanto entre 2010 e 2015 eram apenas 36% do total.

Em seguida, em ordem crescente, os 13 (treze) países com mais publicações de IA: China, EUA, Índia, Reino Unido, Alemanha, Itália, França, Espanha, Japão, Canadá, Austrália, Coreia do Sul e Brasil. Cabe destacar que as principais estratégias nacionais de desenvolvimento de IA dos países descobertos possuem pontos comuns: (i) grandes investimentos em P&D; ii) criação de centros acadêmicos de IA; iii) atrair capital humano; (iv) discute questões étnicas e regulação; (v) investimentos em segurança pública, cibernética e nacional e (v) setores estratégicos como saúde, agricultura e meio ambiente.

A China é o país que está liderando desde 2019 a produção científica de IA, quando duas grandes estratégias nacionais foram anunciadas. O primeiro é o plano “Made in China 2025”, que tem como foco a Indústria 4.0. O segundo plano é o “Internet Plus”, que enfatiza a integração da economia digital com foco em serviços e funções digitais.

A China lidera a produção científica de IA desde 2019, quando foram anunciadas duas grandes estratégias nacionais. O primeiro é o plano “Made in China 2025”, que tem como foco a Indústria 4.0. Outro plano é o "Internet Plus", que enfatiza a integração da economia digital com foco em serviços e funções digitais. Os principais campos de pesquisa de IA na China são ciência da computação, seguida por engenharia e matemática. Seu principal financiador público é a Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NFSC). No final, nenhuma empresa chinesa foi encontrada. Assim, a forte base tecnológica construída pela China, especialmente no período pós-crise financeira e aliada aos pacotes e incentivos governamentais de pesquisa, tecnologia e inovação, levou o país à liderança mundial na produção científica de IA.

Os Estados Unidos perderam sua posição de liderança na produção de IA científica desde 2015 para a China. A Estratégia Nacional de IA do país teve início durante o segundo mandato do presidente Barack Obama (2013-2017) sob o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC) do Departamento de Defesa dos EUA. Em seguida, continuou sob a administração de Donald Trump (2017-2020) com o estabelecimento do Comitê de Redes e Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia da Informação (NITRD).

Os documentos destacam a importância do setor de semicondutores, pois seria o primeiro pilar na construção da tecnologia digital e possui dois subsetores. A primeira são os *chips*, que são circuitos integrados utilizados em *chips* de memória, processamento de radiofrequência com infraestrutura de comunicação. A segunda são os sensores que reproduzem as aplicações da IA em sinais de som, fala, temperatura em sinais digitais e são responsáveis pela digitalização do mundo físico (NSCAI, 2021, p. 230).

Os principais campos de pesquisa em IA nos Estados Unidos também são a ciência da computação, seguida pela engenharia e matemática. Seu principal órgão governamental é a é a

Fundação Nacional da Ciência (NSF). As empresas de tecnologia e consumidores de semicondutores mais importantes do mundo são empresas americanas como Nivida, Google, Microsoft, Intel e Dell.

Ao contrário da China e dos Estados Unidos, que disputam a liderança na produção científica de IA, o Brasil ocupa a 13ª posição, embora sua produção tenha aumentado na última década. Também diferente dos dois países, o Brasil não tinha uma estratégia específica de IA até 2018. No mesmo ano, o governo brasileiro começou a desenvolver uma estratégia nacional de IA com a Transformação Digital do Brasil (E-Digital) e a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA), publicada em 2021.

As principais áreas de pesquisa em IA no Brasil também se concentram em ciência da computação, seguida de matemática e engenharia. Assim como na China e nos Estados Unidos, o principal financiador da pesquisa no Brasil é o governo com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A Petrobras e a Embrapa também apareceram na análise, a primeira segue no ramo de Petróleo e a segunda no Agrícola.

A indústria farmacêutica também tem se destacado na produção científica de IA com os players alemães Merck e Bayer, as britânicas AstraZeneca e GlaxoSmithKline (GSK) e a italiana Chiesi. A IA também está sendo aplicada a equipamentos e serviços hospitalares, novamente com os EUA (GE Healthcare; Genentech e Medtronic) liderando o caminho.

A universidade que mais pesquisa IA no Brasil é a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), localizada na região sudeste do país. A região também abriga o maior número de cientistas e bolsas de pesquisa do país, o que garante o aumento da produção.

Dentre os temas abordados nos estudos brasileiros, podemos destacar as pesquisas sobre IA na medicina, que normalmente é utilizada para auxiliar no diagnóstico por imagem e também para melhorar o tratamento e a prevenção de doenças como: autismo, covid-19, hanseníase, câncer de pulmão, câncer, fertilização in vitro e tratamento de feridas pós-operatórias.

Por outro lado, quando a IA é usada nas engenharias e também na ciência da computação, eles tendem a estudar dados, observá-los muito mais rapidamente e tendem a errar menos que os humanos. Entre outras coisas, as pesquisas abordam: a criação de sistemas fuzzy, simuladores de jogos, processadores de CPU, GPUs e APUs, bem como a criação de vários algoritmos nas subáreas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo.

A IA também pode ser utilizada em outras áreas para otimizar produtos e processos e reduzir custos, como por exemplo: plataformas de petróleo, programas *Chatbot* que substituem o trabalho humano por sistema de IA no telemarketing e no setor financeiro, uso em plantações

agrícolas e para redução de impactos negativos ao meio ambiente e no uso da segurança pública e privada.

Embora apresente limitações, a análise bibliométrica foi escolhida para este estudo, é um método adequado porque a tecnologia de IA ainda está em fase de desenvolvimento devido a várias inovações ditas radicais e, portanto, à produção científica. As principais limitações: (i) área da tecnologia de IA é grande, e depende de outras subáreas, como "aprendizado de máquina" e "aprendizagem profunda". Ambas são parte integrantes de sistemas de IA, que são algoritmos que tentam simular, analisar e aprender ações humanas explorando as camadas mais profundas da inteligência artificial, que são as redes neurais, e outras como robótica, processamento de linguagem natural e visão computacional; (ii) nem toda pesquisa leva à inovação, mas tem um impacto positivo na sociedade no futuro; (iii) muitas empresas realizam diversas investigações internas e não as divulgam por envolverem segredos comerciais e industriais.

As tecnologias digitais também permitem que as empresas e os governos colem e armazenem grandes quantidades de dados, o que é essencial para o treinamento e o desenvolvimento de sistemas de IA. Além disso, as tecnologias digitais permitem que os sistemas de IA sejam acessados de forma remota, o que permite que eles sejam usados em vários setores e em várias partes do mundo.

A combinação de IA e tecnologias digitais também permite a criação de novos produtos e serviços, como assistentes virtuais, carros autônomos e sistemas de diagnósticos médico baseado em IA.

Por fim, a IA e as tecnologias digitais estão trabalhando juntas para tornar possível novas formas de automação e melhoria de processos, além de possibilitar novos avanços e descobertas em vários setores, melhorando a eficiência, precisão e velocidade das tarefas.

REFERÊNCIAS

AGID. **Agencia para Itália digital**. Disponível em: <https://libro-bianco-ia.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso 27 ago. 2022.

AKHTAR, Syed Muhammad Fahad. **Big Data Architect's Handbook**. [S. l.]: Packt Publishing Ltd., 2018. ISBN 978-1-78883-582-4. Disponível em: <https://book.lat/book/5662669/10fa0b>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ALBUQUERQUE, E.M. Revoluções tecnológicas e general purpose technologies: mudança técnica, dinâmica e transformações do capitalismo. *In*: RAPINI, M.S; SILVA, J.R.L.A; ALBUQUERQUE, E.M. **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global**. Belo Horizonte: Cedeplar, 2021.

Albuquerque EM, Cassiolato JE. **As especificidades do sistema de inovação do setor saúde: uma resenhada literatura como introdução a uma discussão sobre o caso brasileiro**. Belo Horizonte: Fesbe; 2000.

Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, & Zaharia, M. (2010). **A view of cloud computing**. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.

AUTOR, D. H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3-30, 2015.

BALAZKA, Dominik; RODIGHIERO, Dario. Big Data and the Little Big Bang: An Epistemological (R)evolution. **Frontiers in Big Data**, [s. l.], v. 3, p. 1-13, 18 set. 2020. DOI 10.3389/fdata.2020.00031. Disponível em: <https://www.readcube.com/articles/10.3389/fdata.2020.00031>. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Estratégia brasileira de inteligência artificial**: Ebia. Brasília: MCTI, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivos/inteligenciaartificial/ebia-documento_referencia_4-979_2021.pdf. Acesso em: 26 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Estratégia Brasileira de Transformação Digital: E-digital**. 2018a. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/estrategiadigital.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

CEPAL. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. **Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital**. Santiago, Chile: United Nations, 2018.

CÓBE, Raphael M. O. et al. Rumo a uma política de Estado para inteligência artificial. **Revista USP**. São Paulo. N.124.p.37-48. Janeiro/fevereiro/março 2020.

COREIA DO SUL. **National strategy for artificial intelligence: toward AI world leader beyond IT**. Sejong: MSIP, 2019.

Coriat B, Weinstein O. **Les nouvelles theories de l'entreprise**. Les Livres de Poche, Librairie Générale Française 1995.

COUTINHO, Luciano. **A terceira revolução industrial e tecnológica: as grandes tendências de mudança**. Economia e Sociedade. Campinas, v.1., n.1, p. 69-87, 1992.

CHANDLER JR., A. D.; AMATORI, F.; HIKINO, T. (eds.). **Big business and the wealth of nations**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1997.

CHIARINI, T.; SILVEIRA, S. **A Exame Comparativo das Estratégias Nacionais de Inteligência Artificial de Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e Coreia do Sul: Consistência do Diagnóstico dos Problemas Chave Identificado**. In. TULLIO CHIARINI, SÉRGIO AMADEU DA SILVEIRA. Editora IPEIA, 2805 Rio de Janeiro, outubro de 2022.

DING, J. (2018). **Deciphering China's AI dream**. Future of Humanity Institute, University of Oxford, Oxford. Available at: [https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/Deciphering_Chinas_AI - Dream.pdf](https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/Deciphering_Chinas_AI_-_Dream.pdf). Acesso em: 26 ago. 2022.

DOSI, G. **Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change**. Research Policy, v. 11, p. 147-162, 1982.

DOSI, Giovanni (1983): **Technological Paradigms and Technological Trajectories**, in FREEMAN, Christopher (dir.), Long Waves in the World Economy, London, Pinter Publishers, 1983, (reimpressão de 1984), pp. 78-101.

DUTTON, T. **An Overview of National AI Strategies**. Medium. Jun 28, 2018. Disponível em: < <https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd> > . Acesso em: 26 ago. 2022.

EUA. NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (NSTC). COMMITTEE ON TECHNOLOGY. **Preparing for the Future of Artificial Intelligence**. Washington D.C.: outubro, 2016. Disponível em: <[https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NS TC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NS%20TC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf)>. Acesso em: 26 ago.2022.

FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY - BMWI. **Autonomics for Industry 4.0**. Berlin: BMWI, 2018a. Disponível em: https://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/EN/Foerderprogramm/Autonomik_fuer_Industrie/Programm/programm.html . Acesso em: 26 ago. 2022.

FRANKISH, Keith; RAMSEY, William M. **The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2014. ISBN 978-0-521-87142-6. Disponível em: <https://b-ok.lat/book/3413453/ff1188>. Acesso em: 18 ago. 2022.

FREEMAN, C.1974. **The Economics of Industrial Innovation**, 1st edn, Harmondsworth, Penguin; 2nd edn 1982 London, Frances Pinter.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London : Pinter, 1987.

Freeman, C.J. (1997), **The political economy of the long wave**, in Andrew Tylecote and Jan van der Straaten (eds), *Environment, Technology and Economic Growth*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar, pp. 159–83.

FREEMAN, C; LOUÇÃ, F. **As time goes by: from the Industrial Revolution to the Information Revolution**. New York: Oxford University Press, 2001.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crises of adjustment business cycles and investment behavior**. In: DOSI, G. et al. (Eds.). *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter Publishers, p. 38-66, 1988.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **A Economia da Inovação Industrial**. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

Gaydos, R. (2018). **Trump tweets explosive White House tell-all ‘full of lies’**. Fox News. Archived from the original on January 5, 2018. Retrieved October 1, 2018.

GILLIES, J.; CAILLIAU, R. **How the web was born: the story of the World Wide Web**. Oxford/New York: Oxford University Press, 2000.

GONÇALVES, Matheus Paula. **A LEI, O DIREITO E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**. Toledo Prudente Centro Universitário, ETIC, 2022.

GOMES, Dennis dos Santos. **Inteligência Artificial: conceitos e aplicações**. *Revista Olhar Científico*, Ariquemes, RO, v. 1, n. 2, p. 234-246, ago./dez. 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/140946280/Inteligencia-Artificial>. Acesso em: 18 ago. 2019.

GOSWAMI, Birendra; CHANDRA, Pradip Kumar. **A evolução do big data como pesquisa e desenvolvimento**. *Revista Internacional de Pesquisa Científica e Estudos de Engenharia (IJSRES)*, Volume 2 Edição 3, março de 2015.

Gupta, A. (2018). **Introduction to deep learning: Part 1**. In *Chemical Engineering Progress* (Vol. 114, Issue 6, pp. 22–29).

GREENSTEIN, S. 2015. **How the internet became commercial: Innovation, privatization, and the birth of a new network**. Princeton U. Press.

HIRATUKA, Celio; DIEGUES, Antonio Carlos. (2021). **Inteligência artificial na estratégia de desenvolvimento da China contemporânea**. Campinas: Unicamp. IE. (Texto para Discussão, n. 422).

HOUSE OF LORDS, **AI in the UK: ready, willing and able? Select Committee on Artificial Intelligence**. Report of Session 2017–19 HL Paper 100, p.1-183. (“Relatório do Parlamento”). Disponível em: <https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/ldai/100/100.pdf#page=93>. Acesso em: 26 ago. 2022.

IEDI. Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial. **Indústria 4.0: o futuro da indústria**. Carta IEDI, São Paulo, n. 803, 1 set. 2017b.

IEDI. Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial. **O papel da Política Industrial na Coreia do Sul. 2018.** Disponível em: https://www.iedi.org.br/artigos/top/analise/analise_iedi_20180216_industria.html. Acesso em: 26 ago.2022.

KANIA, E (2020). **AI Weapons in China's Military Innovation.** Available at: <https://www.brookings.edu/research/ai-weapons-in-chinas-military-innovation/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

KAHLE, K.; STULTZ, R. Is the public corporation in trouble? **Journal of Economic Perspectives**, v. 31, n. 3, p. 67-88, 2017.

KONDRATIEFF, Nikolai D. The long waves in economic life. **Review (Fernand Braudel Center)**, v. 2, n. 4, 1979.

KUHN, T. **The structure of scientific revolutions.** 2. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1970.

LANEY, Douglas. 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety. **META Group**, [s. l.], 2001. Disponível em: <https://www.bibsonomy.org/bibtex/742811cb00b303261f79a98e9b80bf49>. Acesso em: 6 abr. 2021.

LEWIS-KRAUS, G. The great A. I. awakening. **The New York Times**, 18 dec. 2016, Sunday Magazine, p. MM40. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2016/12/14/magazine/the-great-ai-awakening.html>

LIMA, Faíque Ribeiro. **Tecnologias emergentes na indústria 4.0: Uma análise bibliométrica.** Orientador: Rogério Gomes. 2020. Dissertação (Mestrado)- Curso de Economia, a Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, São Paulo, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192204/lima_fr_me_arafcl.pdf?sequence=3&isAllowed=y.pdf. Acesso em: 10 junho.2021.

LOUÇÃ, F. **Long waves, the pulsation of modern capitalism.** In: HANUSCH, H.; PYKA, A. (Editors). Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2007.

LUNDEVALL, B. A. **"Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national systems of innovation"**. In: DOSI, G. et al (Eds.). Technical change and economic theory. London/New York: Pinter Publishers , 1988.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. The dynamics and evolution of industries. **Industrial and Corporate Change**, v. 5, n. 1, p. 51-87, 1996.

MAYER-SCHÖNBERGER, V.; RAMGE, T. **Reinventing capitalism in the age of Big Data.** New York: Basic Books, 2018.

MOHAMED, A. (2009). **A History of Cloud Computing**. ComputerWeekly.com. Disponível em: <https://www.computerweekly.com/feature/A-history-of-cloud-computing>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

NEAPOLITAN, Richard E.; JIANG, Xia. **Artificial Intelligence: With an Introduction to Machine Learning**. [S. l.]: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-138-50238-3. Disponível em: <https://b-ok.lat/book/3511957/9f1dc3>. Acesso em: 18 ago. 2022.

N.J. Nilsson, *The Quest for Artificial Intelligence. A History of Ideas and Achievements*, Cambridge UK, Cambridge University Press, 2010.

NELSON, R.; WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge. Harvard University, 1982.

NETO, Victo José da Silva; BONACELLI, Maria Beatriz Machado; PACHECO, Carlos Américo. O Sistema Tecnológico Digital: inteligência artificial, computação em nuvem e Big Data. **Revista Brasileira de Inovação.**, Campinas (SP), 19, e0200024, p. 1-31, 2020.

NETTO, José Nucci. **Estudo exploratório em plataformas para Inteligência Artificial**. Orientador: Guilherme de Clevea Farto. 2020. Projeto de pesquisa – Curso Ciência da Computação, do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1611420146.pdf>. Acesso em: 02 junho 2022.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **The NIST Cloud Federation Reference Architecture**. Fev., 2020. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.500-332.pdf>. Acesso em: 16 de agosto de 2022.

North D. **Institutions, Institutional Change and Economic Performance**. Cambridge University Press 1990.

NORVIG, Peter; RUSSELL, Stuart. *Inteligência Artificial*. 3. ed. Rio de Janeiro: **Editora Elsevier**: 2013. E-book. Acesso restrito via Minha Biblioteca.
NSCAI. **Comissão Nacional de Segurança em Inteligência Artificial**. Disponível em: <https://www.nscai.gov/wp-content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf> . Acesso em: 26 ago. 2022.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Science, technology and industry Outlook 2016**. Paris: OECD Publishing. 2016. doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-e

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Artificial Intelligence in Society**, (2019), p.15, https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/artificial-intelligence-insociety_eedfee77-en#page127.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Framework for the classification of IA systems**, 2022.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **The next production revolution: implications for governments and business.** Paris: OECD Publishing, 2017.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Recommendation of the Council on Artificial Intelligence.** Paris: OECD Publishing, 2019.

OLIVEIRA, Ruy Flávio de. **Inteligência Artificial. Editora e Distribuidora Educacional S.A.** Londrina. 2018.

PATEL, P., PAVITT, K. National innovation systems: why they are important, and how they might be measured and compared. **Economics of Innovation and New Technology**, v.3, n.1, p.77-95, 1994.

PEREZ, Carlota. **Revoluciones Tecnológicas y Capital Financiero: La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza.** México: Siglo XXI, 2004.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms, **Cambridge Journal of Economics**, v. 34, n. 1, pp. 185-202, 2010.

PEREZ, Carlota. **Technological revolutions and finance capital: the dynamics of bubbles and golden ages.** 1. ed. [S. l.: s. n.], 2002. ISBN 1 84064 922 4. Disponível em: <https://book.lat/book/5962848/8f5016>. Acesso em: 6 nov. 2021.

Schwab, K. (2019). **A quarta revolução industrial.** 1ª ed – São Paulo: Edipro, 2019.

SCHUMPETER, J. **The Theory of Economic Development.** Harvard University Press, Cambridge Massachusetts, 1934.

SCHUMPETER, Joseph. **Capitalismo, Socialismo, e Democracia.** Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

SCHUMPETER, Joseph. **A Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1939.

TIGRE,P.B. O pós-fordismo e as novas teorias da firma e da tecnologia. *In:* TIGRE,P.B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil.** Rio de Janeiro: Campus, 2014.

TURING, Alan. **Computação e inteligência.** Tradução de Fábio de Carvelho Hansen. *In:* TEIXEIRA, João de Fernandes (Org.). Cérebros, máquinas e consciência: uma introdução à Filosofia da Mente. São Carlos: Editora da UFSCar, 1996.

UNCTAD. Digital Economy Report 2019. **Value creation and capture: implications for developing countries.** Geneva: United Nations, 2019.

VELDKAMP, L.; CHUNG, C. **Data and the aggregate economy.** **Journal of Economic Literature**, 2019. (Working paper em preparação).

WEBSTER, G.; CREEMERS, R.; TRIOLO, P.; KANIA, E. (2017). **Full Translation: China's New Generation Artificial Intelligence Development Plan.** Available at:

<https://www.newamerica.org/cybersecurity-initiative/digichina/blog/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

ZWITTER, Andrej. Big Data and International Relations. **Ethics & International Affairs**, [s. l.], n. 4, p. 377–389, 2015. DOI 10.1017/S0892679415000362. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286904074_Big_Data_and_International_Relations. Acesso em: 18 nov. 2021.

APÊNDICE A – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

DOI/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.asoc.2021.107764	2021	Um novo sistema fuzzy evolutivo baseado em regras aplicado à modelagem térmica de transformadores de potência - Alves, KSTR, Pestana de Aguiar, E
10.1007/978-3-030-86230-5_17	2021	Resolvendo um problema de dois níveis com a localização da estação e o roteamento de veículos usando a descida variável da vizinhança e a otimização de colônias de formigas - Leite, MRCO, Bernardino, HS, Gonçalves, LB
10.1007/978-3-030-61105-7_12	2021	eWound-PRIOR: uma estrutura de conjunto para priorização de casos após cirurgias ortopédicas - Neves, F., Jennings, M., Capretz, M., (...), Campos, F., Ströele, V
10.1007/s10462-020-09864-z	2021	Abordagens de sequenciamento curricular adaptativo baseadas em metaheurísticas: uma revisão sistemática e mapeamento da literatura - Machado, MOC, Bravo, NFS, Martins, AF, (...), Barrere, E., Souza, JF
10.1590/1679-78255297	2019	Aplicação de máquina de vetor de suporte e método de elementos finitos para prever as propriedades mecânicas do concreto - Bonifácio, AL, Mendes, JC, Farage, MCR, (...), Barbosa, CB, Beaucour, A.-L
10.1109/CarpathianCC.2019.8765910	2019	Algoritmo de otimização de colônia de formigas e sistema imunológico artificial aplicado a uma rota de robô
10.1109/SBGAMES.2018.00026	2019	Ribeiro, JMS, Silva, MF, Santos, MF, (...), Mercorelli, P., Pancoti, AAN
10.1109/SBGAMES.2018.00013	2019	Heurística de avaliação do estado do jogo no jogo geral de videogame - Santos, BS, Bernardino, HS
10.1590/1679-78254942	2019	Um algoritmo aprimorado de evolução do horizonte de rolagem com buffer de deslocamento para jogos em geral - Santos, B., Bernardino, H., Hauck, E
10.1016/j.jappgeo.2018.06.012	2018	Uma abordagem SHM usando aprendizado de máquina e indicadores estatísticos extraídos de medições dinâmicas brutas - Finotti, RP, Cury, AA, Barbosa, FS
10.1016/j.entcom.2017.12.003	2018	Abordagens de aprendizado de máquina para classificação petrográfica de rochas carbonáticas-siliclásticas usando perfis de poços e informações texturais - Saporetti, CM, da Fonseca, LG, Pereira, E., de Oliveira, LC
10.1109/LA-CCI.2017.8285684	2018	Aprendizado por reforço com função de recompensa otimizada para aplicativos furtivos - Mendonça, MRF, Bernardino, HS, Neto, RF
10.1109/LA-CCI.2016.7885727	2017	Previsão de pedidos pendentes de materiais no gerenciamento de estoque usando aprendizado de máquina - De Santis, RB, De Aguiar, EP, Goliatt, L
10.1016/j.proeng.2017.09.438	2017	Um algoritmo paralelo de seleção clonal multi-GPU para otimização usando OpenCL e OpenMP - Russo, ILS, Bernardino, HS, Barbosa, HJC
10.1007/978-3-319-65340-2_22	2017	Uma nova técnica baseada em frequência natural para detectar mudanças estruturais usando inteligência computacional - Finotti, RP, Souza Barbosa, FD, Cury, AA, Gentile, C
10.1007/978-3-319-54157-0_33	2017	Algoritmo de polinização de flores aplicado ao problema de despacho econômico com múltiplos combustíveis e efeito de ponto de válvula - Souza, ROG, Oliveira, ES, Silva Junior, IC, Marcato, ALM, de Oliveira, MTB
10.1016/j.engstruct.2015.05.003	2015	Técnicas predador-presa para resolver problemas de escalonamento multiobjetivo para máquinas paralelas não relacionadas -Pereira, AAS, Barbosa, HJC, Bernardino, HS
10.1186/1471-2164-15-S7-S4	2014	Avaliação de modificação estrutural usando métodos de aprendizado supervisionado aplicados a dados de vibração
1601322763, 978-160132276-0	2014	Alves, V., Cury, A., Roitman, N., Magluta, C., Cremona, C
		Seleção de SNPs usando regressão vetorial de suporte e algoritmos genéticos em GWAS - de Oliveira, FC, Borges, CCH, Almeida, FN, (...), da Silva, MVGB, Arbex, W
		NeuroSNP: ferramenta para filtrar SNPs em todo o DNA genômico - Zonovelli, B., Borges, CCH, Arbex, WA

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE B – Universidade de São Paulo (USP)

DOI/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1038/s41598-021-89023-8	2021	Diagnóstico de autismo assistido por computador baseado em modelos de atenção visual usando rastreamento ocular - Oliveira, JS, Franco, FO, Revers, MC, (...), Machado-Lima, A., Nunes, FLS
10.1590/1414-431x202010766	2021	Tendências de óbitos com base em dados de autópsia em relação ao início da pandemia de coronavírus no Brasil - Junior, GAAG, Zilli, PK, Silva, LFF, (...), Campo, AB, Suemoto, CK
10.1016/j.petrol.2020.108080	2021	Geração de perfis de poços geoquímicos sintéticos usando técnicas de aprendizado de máquina ensemble para os reservatórios do pré-sal brasileiro - Blanes de Oliveira, LA, de Carvalho Carneiro, C
10.1145/3411564.3411641	2020	Métodos para classificação automática baseada em imagem de insetos alados usando técnicas computacionais: uma revisão sistemática da literatura - Rebelo, AR, Fagundes, JMG, Digiampietri, LA, Bíscaro, HH
10.1016/j.nimb.2020.05.027	2020	Análise de feixe de íons e big data: como a ciência de dados pode dar suporte à instrumentação de próxima geração - Silva, TF, Rodrigues, CL, Tabacniks, MH, (...), Saramela, TB, Guimarães, RO
10.3389/frobt.2019.00108	2019	Avanços e Perspectivas na Aplicação do Deep Learning para Design e Descoberta de Medicamentos - Lipinski, CF, Maltarollo, VG, Oliveira, PR, da Silva, ABF, Honório, KM
10.1007/978-3-030-30244-3_9	2019	Aperfeiçoamento do AHT em Empresas de Telecomunicações por Modelagem Automática de Atendimento de Call Center - de Castro Neto, H., Julia, RMS, Paiva, ERF, (...), Barcelos, UM, de Assis, JE
10.1007/978-3-030-30244-3_11	2019	Classificação de série temporal baseada em recursos para previsão de abertura de solicitação de serviço no setor de telecomunicações - Pereira, FSF, Carvalho, ACPLF, Assis, R., (...), Barcelos, U., Melo, J
10.1007/978-3-030-28577-7_17	2019	Uma abordagem de conjunto para atribuição de autoria entre domínios - Custódio, JE, Paraboni, I
1601324073, 978-160132407-8	2019	Análise da alocação de pára-raios em linhas de distribuição contra tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas - Araújo, MA, Flauzino, RA, Batista, OE, Moraes, LA
10.1016/j.measurement.2017.10.010	2018	Gerenciamento ativo do lado da demanda para residências em redes inteligentes usando otimização e inteligência artificial - Di Santo, KG, Di Santo, SG, Monaro, RM, Saidel, MA
10.1007/978-3-030-01057-7_24	2018	Aplicação da técnica de agrupamento com mapas auto-organizados de Kohonen para a análise epidemiológica da hanseníase - da Silva, YED, Salgado, CG, Conde, VMG, Barros Conde, GA
10.1017/S0269888916000023	2016	Classificando sanções e desenhando um modelo conceitual de processo sancionatório para sistemas sociotécnicos - Nardin, LG, Balke-Visser, T., Ajmeri, N., (...), Sichman, JS, Singh, MP
10.1016/j.neucom.2015.04.088	2016	Avanços recentes em sistemas híbridos de inteligência artificial e sua aplicação a problemas do mundo real - Corchado, E., Abraham, A., de Carvalho, A., (...), Cho, S.-B., Quintián, H
10.1016/j.neucom.2015.02.077	2015	Edição especial HAIS 2012: Avanços recentes em sistemas híbridos de inteligência artificial e sua aplicação a problemas do mundo real - Quintián, H., Corchado, E., Abraham, A., (...), Snasel, V., Cho, S.-B
10.1016/j.compag.2015.03.012	2015	Avaliando técnicas de classificação e seleção de características para identificação de subespécies de abelhas usando imagens de asas - Silva, FLD, Grassi Sella, ML, Franco, TM, Costa, AHR

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE C – Universidade Federal Fluminense (UFF)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.52202/060557-0087	2021	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE STARTUPS UTILIZANDO SCALING PSICOMÉTRICO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL de Oliveira, RGN, Oliveira, SEM
10.1007/978-3-030-85902-2_35	2021	Os benefícios de implantar o Toyota Kata Borges, GV, Santos, AB, Torres, LF, (...), Santos, GN, Calado, RD
10.1007/978-3-030-85902-2_32	2021	Gerenciamento de Capacidade como Ferramenta para Melhorar a Infraestrutura no Lean Healthcare: Uma Revisão Sistemática Lima, A., Barbosa, C., Sobrinho, A., Calado, R., Sobral, AP
10.1007/978-3-030-85902-2_45	2021	DMAIC: Uma Proposta de Método para Melhorar o Processo de Limpeza e Desinfecção em Hospitais de Oliveira Pantoja Freire, J., Calado, RD, Paes, GO
10.1007/978-3-030-85902-2_27	2021	Diretrizes de Informação, Comunicação e Conhecimento para Lean Healthcare Management, uma Revisão da Literatura Barbosa, C., Lima, A., Sobrinho, A., Calado, R., Lordelo, S
10.1007/978-3-030-85902-2_29	2021	Motivadores para Aplicação do DMAIC nos Processos de Atendimento ao Paciente Reis, M., Viera, L., Amaral, L., (...), Teixeira, A., Calado, R
10.1007/978-3-030-85902-2_37	2021	Método proposto para identificar perfis de unidade de emergência a partir do número de serviço mensal Sobral, APB, de Oliveira, AR, da Rocha, HS, Cosenza, HJSR, Calado, RD
10.1007/978-3-030-85902-2_38	2021	Lean Healthcare na Redução de IRAS uma Revisão Integrativa da Literatura de Amaral, LC, Calado, RD, Vieira, LWH, Chaves, SMA
10.1007/978-3-030-85902-2_39	2021	Karakuri: Uma Proposta de Redução de Resíduos no Serviço de Saúde Nascimento, SD'A., da Silva, MHT, Pinto, SC, Calado, RD, Alves, RR
10.1007/978-3-030-85902-2_28	2021	Modelo HFMEA-Fuzzy para Avaliação de Resíduos Enxutos em Unidades de Saúde: Proposta e Casos de Utilização Cosenza, H., Silva, N., Neto, O., Torres, L., Calado, R
10.1007/978-3-030-85902-2_33	2021	MDE-S: Estudo de Caso do Método Diagnóstico de Empresa de Saúde Aplicado em Três Unidades de Saúde Santos, AB, Calado, RD, Chaves, SMA, (...), Silva, MB, Bourguignon, SC

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE D – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

DOI/ISSN/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1109/CEC45853.2021.9504850	2021	gaCNN: Compondo CNNs e GAs para construir uma arquitetura de classificação híbrida otimizada - de Lima Mendes, R., da Silva Alves, AH, de Souza Gomes, M., Bertarini, PLL, do Amaral, LR
10.1109/CEC45853.2021.9504912	2021	Algoritmo Genético de Aprendizagem por Transferência de Muitas Camadas (MLTLGA): Uma Nova Abordagem Evolutiva de Aprendizagem por Transferência Aplicada à Classificação de Pneumonia - de Lima Mendes, R., da Silva Alves, AH, de Souza Gomes, M., Bertarini, PLL, do Amaral, LR
10.1007/978-3-030-30244-3_9	2019	Aperfeiçoamento do AHT em Empresas de Telecomunicações por Modelagem Automática de Atendimento de Call Center- de Castro Neto, H., Julia, RMS, Paiva, ERF, (...), Barcelos, UM, de Assis, JE
10.1007/978-3-030-30244-3_11	2019	Classificação de série temporal baseada em recursos para previsão de abertura de solicitação de serviço no setor de telecomunicações - Pereira, FSF, Carvalho, ACPLF, Assis, R., (...), Barcelos, U., Melo, J
1601324073, 978-160132407-8	2019	Maximização da produção de recursos em jogos RTS usando planejamento e agendamento - Naves, TF, Lopes, CR 2019
1601324073, 978-160132407-8	2019	Suavização vinculada com um algoritmo genético de chave aleatória tendenciosa - De Queiroz, TA, Da Silva Sendin, I., Batista, MA
10.1109/ICTAI.2017.00116	2018	Pomdp online com busca e amostragem heurística aplicada a jogos de estratégia em tempo real - Naves, TF, Lopes, CR
16130073	2018	O feromônio de formiga emulado por rede de petri inserido inversamente em banco de dados RFID para robôs de enxame - Muniz Ferreira, MV, De Souza Tavares, JJ-PZ, Reinaldo Silva, J
10.1109/ICALT.2017.86	2017	Um Módulo de Avaliação de Conhecimento Automático e Dinâmico para Sistemas Educacionais Adaptativos - Ferreira, HNM, Brant-Ribeiro, T., Araújo, RD, Dorca, FA, Cattelan, RG

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE E – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1186/s12938-021-00896-2	2021	Sinais biomédicos e aprendizado de máquina na esclerose lateral amiotrófica: uma revisão sistemática - Fernandes, F., Barbalho, I., Barros, D., (...), Gil, P., Dourado Júnior, M
10.1016/j.eswa.2019.01.043	2019	Sistema de controle fuzzy para irrigação de taxa variável usando sensoriamento remoto - Mendes, WR, Araújo, FMU, Dutta, R., Heeren, DM
10.1166/jctn.2019.8152	2019	Classificação automatizada de falhas tribológicas de sistemas alternativos com o uso de redes neurais artificiais não supervisionadas - Cabral, MAL, Matamoros, EP, Costa, JAF, (...), de Souza, RP, Seabra, EAR
10.1109/CSCI.2017.118	2018	Análise de Desempenho de Estratégias de Transferência no Cenário de Pequenas Células 3GPP - De Brito Guerra, TC, Dantas, YR, De Sousa, VA
10.1109/CSCI.2017.116	2018	Avaliação de soluções LTE não licenciadas usando ns-3 - De Santana, PM, De Castro Neto, JM, De Sousa, VA
10.1590/0102-7786331005	2018	Proposta de previsão da velocidade do vento através de modelagem híbrida elaborada a partir dos modelos ARIMAX e ANN - Camelo, HN, Lúcio, PS, Leal Junior, JBV, De Carvalho, PCM
10.3390/atmos9020077	2018	Modelagem híbrida inovadora de previsão de velocidade do vento envolvendo modelos de séries temporais e redes neurais artificiais - Camelo, HN, Lucio, PS, Junior, JBVL, dos Santos, DG, de Carvalho, PCM
10.1590/0102-7786324005	2017	Métodos de previsão de séries temporais e modelagem híbrida aplicados na velocidade média mensal do vento para regiões do Nordeste do Brasil I - Camelo, HN, Lúcio, PS, Leal Junior, JBV, De Carvalho, PCM
10.1007/978-3-642-21323-6_9	2011	Uma pesquisa qualitativa de ferramentas e técnicas de impressão digital TCP/IP ativas para identificação de sistemas operacionais - Medeiros, JPS, De Medeiros Brito Jr., A., Motta Pires, OS

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE F – Universidade Federal do Pará (UFPA)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.3390/en14113267	2021	Novos recursos e método de redução de ruído de imagem PRPD para classificação aprimorada de descargas parciais de fonte única em hidrogenadores on-line Araújo, RCF, De Oliveira, RMS, Brasil, FS, Barros, FJB
10.3389/fchem.2021.662688	2021	Aplicações da Triagem Virtual em Bioprospecção: Fatos, Mudanças e Perspectivas para Explorar a Diversidade Químico-estrutural de Produtos Naturais Santana, K., do Nascimento, LD, Lima e Lima, A., (...), Braga, RC, Lameira, J
10.1007/978-3-030-73050-5_63	2021	Previsões de energia eólica em várias etapas nas regiões do nordeste brasileiro usando redes neurais artificiais de Figueiredo, YFC, de Campos, LML
10.1016/j.fss.2019.08.003	2020	Desigualdades integrais do tipo Wirtinger para funções com valor de intervalo Costa, TM, Chalco-Cano, Y., Román-Flores, H
10.1016/j.fss.2018.04.012	2019	Desigualdades do tipo opial para funções com valor de intervalo Costa, TM, Román-Flores, H., Chalco-Cano, Y
10.1007/978-3-030-01057-7_24	2018	Aplicação da técnica de agrupamento com mapas auto-organizados de Kohonen para a análise epidemiológica da hanseníase da Silva, YED, Salgado, CG, Conde, VMG, Barros Conde, GA
10.1016/j.ins.2017.08.055	2017	Algumas desigualdades integrais para funções com valor de intervalo difuso Costa, TM, Román-Flores, H
10.1109/TSMCB.2009.2013722	2010	Síntese neurogenética para controladores de espaço de estados com base no projeto de regulador quadrático linear para atribuição de autoestrutura Da Fonseca Neto, JV, Abreu, IS, Da Silva, FN

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE G – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

DOI/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.measurement.2021.110093	2021	Sistema para detectar a região de interface e identificar produtos transportados por polidutos utilizando inteligência artificial e radiação gama através do código MCNP6 Salgado, WL, Barragem, RSF, Salgado, CM, Puertas, EJA, Silva, AX
10.3389/fpsyg.2021.667255	2021	Perfil do tomador de decisão usando seu padrão de comportamento mental Mello, FLD, Souza, SAD
978-171383912-5	2021	Tecnologias de Perfuração e Completação para Desenvolvidos do Pré-Sal Fernandes, FB, Stel, ASO, Amarin Martins, DE, (...), Rezende, FHG, Dos Santos, ER
10.1016/j.jep.2020.112968	2020	Diferenciação de oleorresinas de breu preto e branco (Burseraceae): Um estudo quimioetnotaxonômico baseado em espectrometria de massa Albino, RDC, Simas, RC, da Silva Martins, K., (...), Leitão, SG, Oliveira, DRD
10.1016/j.neucom.2018.11.074	2019	Uma abordagem de conjunto para apoiar o isolamento respiratório de pacientes internados com tuberculose presumida Alves, EDS, Souza Filho, JBO, Kritski, AL
10.1590/1679-78254942	2019	Uma abordagem SHM usando aprendizado de máquina e indicadores estatísticos extraídos de medições dinâmicas brutas Finotti, RP, Cury, AA, Barbosa, FS
10.3303/CET1865081	2018	Modelo neural para descrever a concentração microbiana no biorreator para produção de biossurfactante usando substrato de resíduo Grossi, CD, Fileti, AMF, Santos, BF
10.1109/TC.2015.2479608	2016	Um sistema de detecção de danos descentralizado para redes de sensores e atuadores sem fio Santos, IL, Pirmez, L., Carmo, LR, (...), Khan, SU, Zomaya, AY

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE H – Universidade de Pernambuco (UPE)

DOI/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1109/LA-CCI.2018.8625226	2019	Algoritmo Booleano de Otimização de Enxame de Gato Binário Siqueira, H., Figueiredo, E., Macedo, M., (...), Bastos-Filho, CJA, Gokhale, AA
10.1109/LA-CCI.2018.8625240	2019	Hiper-heurísticas usando programação genética para previsão de séries temporais Macedo, M., Dos Santos, CHM, Van Leijden, EML, (...), De Lima Neto, FB, Siqueira, H
10.1109/QUATIC.2018.00024	2018	Uma abordagem sistemática de definição de conjunto de dados para um aprendizado de máquina supervisionado usando a estrutura NFR Marinho, M., Arruda, D., Wanderley, F., Lins, A
10.1016/j.medengphy.2018.09.007	2018	Agrupamento de mapas auto-organizados como meio de apoio à análise cinemática da marcha e avaliação de simetria Caldas, R., Rátiva, D., Buarque de Lima Neto, F
10.1109/LA-CCI.2017.8285690	2018	Aplicação de algoritmos de agrupamento baseados em PSO em bancos de dados educacionais Santos, P., MacEdo, M., Figueiredo, E., (...), Gokhale, A., Bastos-Filho, CJA
978-157735796-4	2018	Escola de peixes binária multiobjetivo aprimorada para seleção de recursos Macedo, M., Bastos-Filho, C., Menezes, R

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE I – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1109/ACCESS.2020.3034588	2020	Técnicas de análise de dados em redes de comunicação veicular: mapeamento sistemático da literatura De Almeida, LG, De Souza, AD, Kuehne, BT, Gomes, OSM
10.1007/978-3-030-43020-7_69	2020	Uma solução geral de UAV de baixo custo para rastreamento de linhas de energia Dantas Filho, AJ, Ramos, ACB, de Jesus, LD, de Castro Filho, HF, Mora-Camino, F
10.1109/TPEL.2018.2861564	2019	Diagnóstico de falha de curto-circuito com base na teoria de conjuntos aproximados para um inversor monofásico De Mello Oliveira, AB, Moreno, RL, Ribeiro, ER
10.1109/HPCS.2018.00099	2018	Avaliação de desempenho heurística para balanceamento de carga na nuvem Batista, BG, Morais, NB, Kuehne, BT, (...), Filho, DML, Peixoto, MLM
10.1007/978-3-319-77028-4_86	2018	Topologia incremental gerada para ANN: um estudo de caso na simulação de voo de um helicóptero Fernandes, P., Ramos, ACB, Roque, DP, de Sousa, MS

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE J – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.ijmedinf.2021.104473	2021	Validação de conteúdo e usabilidade de um chatbot de diretrizes para curativos da Silva Lima Roque, G., Roque de Souza, R., Araújo do Nascimento, JW, (...), de Melo Queiroz, SR, Ramos Vieira Santos, IC
10.1080/07391102.2021.1966509	2021	Teste rápido Covid-19 combinando um sistema web baseado em Random Forest e exames de sangue Barbosa, VADF, Gomes, JC, de Santana, MA, (...), de Souza, RE, dos Santos, WP
10.1007/978-3-030-30241-2_40	2019	Recomendação de uso de eletrodomésticos inteligentes usando otimização multiobjetivo Feitosa, A., Lacerda, H., Silva-Filho, A
10.1007/978-3-030-18819-1_2	2019	O uso de um sistema de apoio à decisão para auxiliar um problema de localização em uma instalação de segurança pública Henriques de Gusmão, AP, Aragão Pereira, RM, Silva, MM, da Costa Borba, BF
10.1007/978-3-319-91803-7_25	2018	Gerando um álbum com a melhor mídia usando visão computacional Souza, T., Lima, JP, Teichrieb, V., (...), Santos, ALM, Pinho, H

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE k – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.rsase.2020.100397	2020	Estimativa do rendimento da soja a partir de técnicas de aprendizado de máquina e imagens multiespectrais de RPAS Eugenio, FC, Grohs, M., Venâncio, LP, (...), Badin, TL, Fernandes, P
10.1109/ISGT45199.2020.9087749	2020	Um sistema de casa inteligente usando inteligência artificial e integração com armazenamento de energia e microgeração Souza, AT, Canha, LN, Milbradt, RG, (...), Michels, C., Santana, TAS
10.1109/ISGT-LA.2019.8895479	2019	Sistema Inteligente de Resposta à Demanda integrado com Micro Geração e Armazenamento de Energia utilizando Conceitos de Aprendizado de Máquina e Internet das Coisas Souza, AT, Neves Canha, L., Milbradt, RG, (...), Michels, C., Santana, TA
10.1109/ISGT-LA.2019.8895291	2019	Classificação de eventos no monitoramento de carga não intrusiva usando rede neural convolucional Medeiros, AP, Canha, LN, Bertineti, DP, De Azevedo, RM
10.1109/EEM.2018.8469971	2018	Desenvolvimento de um sistema de resposta à demanda integrado à microgeração fotovoltaica e armazenamento de energia usando IoT e inteligência artificial Souza, AT, Milbradt, RG, Canha, LN, Silva Santana, TA

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE L – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1007/978-3-030-12738-1_1	2019	MeSHx-notes: Sistema Web para notas clínicas Nunes, RO, Soares, JE, dos Santos, HDP, Vieira, R
10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p183-188	2018	Inteligência artificial na otimização da densidade de semeadura e simulação de rendimento de aveia [Inteligência artificial na otimização da densidade de semeadura e simulação da produtividade da aveia] Dornelles, EF, Krausig, AR, da Silva, JAG, (...), Roos-Frantz, F., Carbonera, R
10.24963/ijcai.2018/655	2018	Analisando estratégias de desempate para o algoritmo a * Corrêa, AB, Pereira, AG, Ritt, M
10.1109/LA-CCI.2015.7435940	2016	Classificação do movimento do membro superior por meio do processamento de sinal sEMG de regressão logística Cene, VH, Balbinot, A
10.1016/j.ifacol.2015.06.291	2015	Projetando um sistema imunológico artificial para sistemas de manutenção inteligentes Zuccolotto, M., Pereira, CE, Fasanotti, L., Cavalieri, S., Lee, J

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE M – Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1109/FIE49875.2021.9637243	2021	Ensinando Empreendedorismo para Estudantes de Ciência da Computação e Engenharia Utilizando Estratégias Pedagógicas de Aprendizagem Ativa Sila, CN
10.1007/978-3-030-62807-9_3	2020	Em direção a um sistema de previsão de falhas de aprendizado de máquina aplicado a um processo de fabricação inteligente da Rocha, T., Canciglieri, AB, Szejka, AL, dos Santos Coelho, L., Canciglieri Junior, O
10.3233/978-1-61499-898-3-421	2018	Bpmn aplicado à automação de um processo integrado de desenvolvimento de produtos orientado aos projetos de P&D do setor elétrico brasileiro do Val da FONSECA, MC, Canciglieri Junior, O
10.1007/978-3-319-91262-2_22	2018	Compressão de genoma: uma abordagem baseada em imagem Kredens, KV, Martins, JV, Dordal, OB, (...), Herai, RH, Ávila, BC

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE N – Universidade Estadual Paulista (UNESP)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.procs.2021.08.179	2021	Aplicação da arquitetura usando IA no treinamento de um conjunto de pixels da imagem no auxílio à tomada de decisão no diagnóstico do câncer de Lima, LA, Abe, JM, Martinez, AAG, Sakamoto, LS, de Lima, LP
10.5935/1518-0557.20200014	2020	Mineração de variáveis da morfocinética embrionária, morfologia do blastocisto e parâmetros do paciente: uma abordagem para prever o nascimento vivo no serviço de reprodução assistida Chéles, DS, Dal Molin, EA, Rocha, JC, Nogueira, MFG
10.3390/s18124440	2018	Qualidade de classificação baseada em inteligência artificial de imagens digitais de blastocisto bovino: Captura direta com lentes justapostas de câmera de smartphone e lente ocular de estereomicroscópio Nogueira, MFG, Guilherme, VB, Pronúncia, M., (...), da Silva, DLB, Rocha, JC
10.1016/j.asoc.2015.12.032	2016	Combinando K-Means e K-Harmonic com o algoritmo Fish School Search para tarefa de agrupamento de dados em unidades de processamento gráfico Serapião, ABS, Corrêa, GS, Gonçalves, FB, Carvalho, VO

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE O – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.18293/SEKE2019-101	2019	Análise de desempenho de algoritmos de clustering aplicada a banco de dados de patentes Souza, CM, Meireles, MRG, Almeida, PEM
10.1016/j.eswa.2018.08.003	2019	Tomada de decisão para negociação financeira: uma abordagem de fusão de aprendizado de máquina e seleção de portfólio Paiva, FD, Cardoso, RTN, Hanaoka, GP, Duarte, WM
10.1590/01047760201824032538	2018	Afinação da variável metaheurística busca de vizinhança para um problema de planejamento florestal Araújo Júnior, CA, Mendes, JB, de Assis, AL, (...), da Silva, LF, Leite, HG
10.1007/s11042-015-3087-2	2016	Anotação de roupas por pontos e pares: combinando recursos das mídias sociais Nogueira, K., Veloso, AA, Dos Santos, JÁ

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE P – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1016/j.ifacol.2021.08.063	2021	Alocação de tarefas multi-robô usando algoritmo genético de modelo de ilha Cechinel, AK, de Pieri, ER, Perez, ALF, Della Méa Plentz, P
10.1109/IECON43393.2020.9254433	2020	Uma ferramenta de design de árvore de comportamento para avaliação on-line Barbosa, AS, Plentz, PDM, De Pieri, ER
10.1007/978-3-030-51417-4_2	2020	Dos objetivos às organizações: Gerador de organização automatizado para MAS Amaral, CJ, Hubner, JF
10.5220/0007358101030111	2019	Sobre o papel dos indivíduos centrais na propagação da influência De Santiago, R., Concatto, F., Lamb, LC

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE Q – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

DOI	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1007/s10845-017-1343-1	2019	Uma abordagem para diagnóstico robusto de falhas em sistemas mecânicos usando inteligência computacional Rodríguez Ramos, A., Bernal de Lázaro, JM, Prieto-Moreno, A., da Silva Neto, AJ, Llanes-Santiago, O
10.1016/j.neucom.2018.11.074	2019	Uma abordagem de conjunto para apoiar o isolamento respiratório de pacientes internados com tuberculose presumida Alves, EDS, Souza Filho, JBO, Kritski, AL
10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491689	2018	Árvores de padrões difusos multiobjetivos Dos Santos, AR, Do Amaral, JLM, Soares, CAR, De Barros, AV
10.1016/j.neucom.2015.03.099	2016	Localização eficiente distribuída em sistemas robóticos de enxame usando algoritmos de inteligência de enxame de Sá, AO, Nedjah, N., de Macedo Mourelle, L

Fonte: Scopus. Elaboração própria.

APÊNDICE R – Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)

DOI/ISBN	Ano da Publicação	Título do Trabalho e autor(es)
10.1186/s13173-021-00121-x	2021	<p>Discutindo os valores humanos na imortalidade digital: em direção a uma perspectiva orientada para o valor.</p> <p>Galvão, VF , Maciel, C. , Pereira, R. , (...), Viterbo, J. , Bicharra Garcia, AC</p>
10.3390/rs12060906	2020	<p>Uma estrutura de aprendizado de máquina para prever o conteúdo de nutrientes em medições hiperespectrais de folhas de valência-laranja.</p> <p>Oscó, LP , Ramos, APM , Pinheiro, MMF , (...), Marcato, J. , Creste, JE</p>
1601324073, 978-160132407-8	2019	<p>Máquinas vetoriais de suporte e coeficientes cepstral de frequência mel: um aplicativo para reconhecimento automático de voz.</p> <p>Barbosa, FG , Serra, WLS</p>

Fonte: Scopus. Elaboração própria.