
UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE A PESQUISA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL

A bibliometric study on artificial intelligence research in Brazil

**Luciana Castro Groenner (1), Leandro Innocentini Lopes de Faria (2),
Rodrigo César Perissini (3), Luciana de Souza Gracioso (4)**

(1) Universidade Federal de São Carlos, Brasil, luciana.castro@gmail.com.

(2) leandro@ufscar.br (3) rodrigo.perissini@ufscar.br (4) luciana@ufscar.br



Resumo

A produção de fontes de dados tem aumentado nos últimos anos e operacionalizar o seu tratamento, recuperação e uso torna-se um desafio e um diferencial estratégico para os países que detém este domínio. O conhecimento sobre a Inteligência Artificial tem sido crucial para o processamento e uso dos dados, sendo considerado decisivo para o desenvolvimento econômico e social. Este trabalho teve como objetivo fazer um levantamento sobre a pesquisa em Inteligência Artificial no Brasil. Foi elaborada uma expressão de busca abrangente e foram obtidos artigos relacionados no período 2011-2020 na base *Web of Science*. A partir de métodos bibliométricos, os registros encontrados foram analisados nos softwares *VantagePoint*, *VOSViewer* e *Excel*. Foi realizada uma análise a respeito da participação da pesquisa brasileira em relação ao mundo, das principais instituições de pesquisa em Inteligência Artificial no país, dos principais temas de pesquisa e dos autores mais atuantes. Foram construídas redes de coocorrência de palavras-chave, de colaboração entre instituições e entre autores. Constatou-se que o Brasil possui uma participação periférica em relação a publicações, mas em crescimento e que as instituições públicas possuem um papel fundamental apesar de discrepâncias regionais, o que poderia auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas de inclusão tecnológica.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Aprendizado de Máquinas; Bibliometria; Indicadores de Tecnologia

Abstract

The production of data sources has increased in recent years and making their treatment, retrieval and use operational becomes a challenge and a strategic differential for the nations that have this domain. Knowledge about Artificial Intelligence has been crucial for data processing and use, being considered decisive for economic and social development. This work aimed to survey research on Artificial

Intelligence in Brazil. A comprehensive search expression was created, and related articles were obtained for the period 2011-2020 in the Web of Science database. Using bibliometric methods, the obtained records were analyzed using the software VantagePoint, VOSViewer, and Excel. An analysis was carried out regarding the participation of Brazilian research in relation to the world, the main Artificial Intelligence research institutions in the country, the main research topics, and the most active authors. Keyword co-occurrence networks, the collaboration between institutions and between authors were built. It was found that Brazil has a peripheral but increasing participation in relation to publications and that public institutions have a fundamental role in this production despite regional discrepancies, which could help in the development of public policies for technological inclusion.

Keywords: Artificial Intelligence; Machine Learning; Bibliometrics; Technology Indicators

1 Introdução

Com o crescimento das diversas fontes de dados, como as redes sociais, fotos e vídeos de *smartphones*, dentre outras, o desenvolvimento de novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) é necessário de forma a selecionar dados que possam gerar informações relevantes e trazer soluções para todos os tipos de negócios (Chen e Zhang 2014). Observa-se um ambiente propício para a melhoria de processos e produtos, constituindo assim a chamada 4ª Revolução Industrial (ou Indústria 4.0), centrada principalmente nos dados, automação e computação. Os dados passam a ser considerados os novos fatores de produção, assim como, os bens materiais e o capital humano (Chen e Zhang 2014).

Dentre as tecnologias digitais que compõem a Indústria 4.0, a Inteligência Artificial (IA) é bastante investigada e, possivelmente, de relevante impacto econômico e social. O debate sobre a semântica do termo Inteligência Artificial é grande, no entanto, de acordo com Russel e Norvig (2004), a IA pode ser definida como um conjunto de ferramentas computacionais e estatísticas com o intuito de fazer com que os computadores executem tarefas que requerem inteligência humana. O aumento significativo do poder computacional, a disponibilidade de dados com a chegada da era *big data* provindos das mais diversas fontes e o ótimo desempenho em uma série de problemas desafiadores da literatura corroboraram o aumento do interesse pela Inteligência Artificial nos últimos anos (Zhou 2018). O interesse por IA tem crescido em diversas áreas como educação, diagnóstico médico, cuidado à saúde, mineração de dados, previsão de séries temporais, dentre tantas outras (Ekbia 2010).

Considerando os avanços recentes na IA e seu impacto nas oportunidades de trabalho, é necessário que cada país prepare seu plano de ações para se beneficiar das tecnologias e lidar com os desafios (Srivastava 2018; Goralski e Tan 2020) e, por isso, tem sido recomendado aos governos que incentivem ações ligadas à educação para o desenvolvimento de habilidades relevantes para uma economia baseada em IA (Trajtenberg 2018)

Nesse contexto, as universidades brasileiras possuem um papel cada vez mais importante na formação de pessoas. As atividades de pesquisa científica, bem como o papel de desenvolver inovações tecnológicas, estão na maioria das vezes a cargo das instituições de ensino e pesquisa, que abrigam os principais centros de formação de pessoas do país. As universidades brasileiras ocupam uma posição estratégica no desenvolvimento científico e tecnológico. Além disso, há uma crescente demanda para que elas disponibilizem seus conhecimentos para a sociedade (Massucci and Docampo 2019).

Considerando o impacto da área da IA para o desenvolvimento econômico e social de um país e a importância de avaliar a atividade científica, dado o caráter público dos investimentos, este projeto desenvolveu um estudo sobre o desenvolvimento de pesquisa em IA no Brasil. Desta forma, o objetivo foi elaborar um conjunto de indicadores bibliométricos da produção científica de artigos produzidos no Brasil, e, por conseguinte, avaliar o cenário atual de desenvolvimento dessa área no Brasil e sua participação no mundo. A avaliação científica é importante e necessária, como colocado por Davyt e Velho (2000 p. 2), “a avaliação é mais que uma ação cotidiana na ciência; ela é parte integrante do processo de construção do conhecimento científico”. Esses autores complementam que “é através da avaliação (...) que se definem os rumos, tanto do próprio conteúdo da ciência quanto das instituições a ela vinculadas”. Ademais, além da importância em se fazer estudos métricos é preciso também verificar como está a pesquisa nacional em relação às internacionais, uma vez que a excelência de uma pesquisa está relacionada ao aceite e ao interesse da ciência internacional pela mesma (Davyt and Velho 2000).

Isso posto, a partir da implementação de uma expressão de busca abrangente que contempla várias áreas de atuação da IA, as contribuições deste trabalho foram: elencar as principais instituições e autores nacionais nesta temática, analisando suas interações por meio de redes de colaboração; mapear as áreas de estudo de IA prevaletente e suas interações por meio de redes de

coocorrência de palavras-chave mais utilizadas; e verificar a distribuição geográfica das principais instituições e pesquisadores.

2 Desenvolvimento

John McCarthy propôs o termo Inteligência Artificial para caracterizar alguns tópicos de uma Conferência realizada em 1956 em Dartmouth, organizada por ele, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon. Não há um consenso sobre a definição e abrangência do termo, mas sabe-se que a IA normalmente é realizada em conjunto com o Aprendizado de Máquinas (do inglês *Machine Learning*), sendo o Aprendizado de Máquinas muitas vezes definido como um campo de estudo da IA (Bezdek 2016; Gracioso et al. 2018). O nome *Machine Learning* foi apresentado em (Samuel 1959), sendo definido como (Mitchel 1997 p. 2): "um programa de computador é dito aprender de uma experiência E com respeito a uma classe de tarefas T e medida de desempenho D , se seu desempenho nas tarefas em T , medido por D , melhora com a experiência E ". Uma das ferramentas de Aprendizado de Máquinas mais conhecidas são as Redes Neurais Artificiais (RNAs) inspiradas no funcionamento do córtex cerebral humano (Braga et al. 2000). O termo Neurônio Artificial surgiu em 1943, quando Warren S. McCulloch, neurocientista, e Walter Pitts, matemático, publicaram o artigo "*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*", em um periódico de Matemática e Biofísica (McCulloch e Pitts 1943). Neste trabalho, McCulloch e Pitts tentam explicar como o cérebro humano produz padrões complexos por meio de células básicas interligadas (neurônios), modelando as mesmas como conectores eletrônicos lógicos, sendo chamado de neurônio MCP. Uma forma de aprendizagem para o neurônio MCP foi apresentada por (Hebb 1949), com ajuste de alguns parâmetros do mesmo, chamados de pesos de entrada, sendo ainda utilizada atualmente no treinamento de RNAs (Haykin 2008).

Um novo modelo de neurônio artificial foi proposto por Rosenblatt em 1958, denominado *Perceptron* (Rosenblatt 1958). O mesmo foi arranjado em forma de rede em um tipo de RNA bastante utilizado atualmente, o *Perceptron* Multi Camadas (Haykin 2008). Apesar do avanço na área de IA observado até o início da década de 60, o modelo conexionista *Perceptron* foi alvo de fortes críticas apresentadas no livro de Minsky e Papert em 1969 (Minsky e Papert 1969). A partir

desta publicação houve uma estagnação com relação aos estudos na área, retomados apenas após o início da década de 80, tal período é conhecido como o Inverno da IA (do inglês *AI Winter*).

No entanto, a partir de trabalhos como o desenvolvimento de memórias associativas de (Hopfield 1982), o desenvolvimento do algoritmo de retropropagação do erro (do inglês *error backpropagation*) por (Rumelhart et al. 1986) e dos trabalhos sobre a aproximação universal das RNAs em (Cybenko 1989; Hornik et al. 1989), a pesquisa em IA é retomada novamente.

Além disso, novas técnicas foram desenvolvidas como as Árvores de Regressão e Classificação (CART) propostas por Breiman et al. (1984), as Máquinas de Vetores Suporte (SVM) apresentadas por Boser et al. (1992), utilizando uma formulação matemática bastante atraente com o uso de hiperplanos para separação das classes, os *Ensembles*, onde vários estimadores ou classificadores são empregados em conjunto para formar um modelo melhor, como as Florestas Aleatórias (do inglês *Random Forests - RF*) (Breiman 1996; Ho 1998; Perrone e Cooper 1993; Wolpert 1992), as Redes Neurais Convolucionais, apresentadas por Fukushima (1988) e LeCun et al. (1989), que são um tipo de RNAs muito empregadas no reconhecimento de imagens por suas estruturas hierárquicas de camadas, dentre outros.

A pesquisa sobre RNAs não finda, mas a dificuldade de treinar redes com várias camadas, a necessidade de um esforço computacional grande e o surgimento de técnicas estatisticamente mais atrativas fizeram com que o entusiasmo pelas redes diminuísse. Neste sentido, o desenvolvimento de algoritmos eficientes, como os apresentados por Bengio et al. (2007) e Hinton et al. (2006), fez com que o Aprendizado Profundo (do inglês *Deep Learning*), uma nova subárea do Aprendizado de Máquinas, surgisse (LeCun et al. 2015). Alguns resultados relevantes do Aprendizado Profundo podem ser elencados como no reconhecimento de imagens (He et al. 2016), diagnóstico médico (Moeskops et al. 2016; Tan et al. 2017), processamento de linguagem natural (Young et al. 2018), análise bibliométrica (Aristodemou e Tietze 2018; Lee et al. 2018).

Isso posto, e com os avanços tecnológicos, econômicos e da sociedade, organizações públicas e privadas são forçadas a pensar em como se beneficiar dessas novas tecnologias digitais. De fato, não há espaço para trabalho em papéis, tempo para manipulações de documentos ou dados de forma manual, tampouco recursos para serem gastos com longas rotinas convencionais para análise e processamento de toda a informação disponível. Para fazer parte de uma economia

globalizada e moderna, um país deve estar preparado para essas mudanças, como destacado no *Roadmap* sobre IA nos Estados Unidos, para os próximos vinte anos, apresentado pela *Computing Community Consortium (CCC)* e *Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI)* (Gil e Selman 2019), onde ficou claro que o desenvolvimento econômico será alcançado com formação adequada e de qualidade neste tema.

Apesar de todos os benefícios econômicos advindos das novas tecnologias não se pode negligenciar seus impactos. Isso porque há uma transformação vigente na composição do mercado de trabalho mundial imposta pela Inteligência Artificial, possivelmente uma boa parte das atuais ocupações poderão desaparecer em um futuro próximo (Trajtenberg 2018). De acordo com o mesmo autor, a IA tem o potencial de se tornar uma Tecnologia de Propósito Geral, assim como fora a eletricidade, trazendo uma onda de inovação em diversos setores da sociedade, em um processo de destruição criativa e uma perturbação econômica com ganhadores e perdedores. A probabilidade de substituição de trabalhos repetitivos e pouco cognitivos por máquinas é grande, isso torna a situação do Brasil preocupante. Conforme apresentado por Albuquerque et al. (2019), estes tipos de trabalho correspondem a aproximadamente 55% das ocupações atuais no país sendo, portanto, parte propícia à substituição por novas tecnologias como a IA.

Com os avanços da IA e de seus impactos, analisar o estado de desenvolvimento recente da pesquisa nessa área no Brasil, objeto de estudo deste trabalho, é bastante relevante, uma vez que poderá contribuir para a promoção de políticas públicas e científicas de forma a mitigar os impactos negativos dessa área, além de contribuir para o almejado desenvolvimento econômico que também poderá ser beneficiado com o avanço dessa área.

3 Metodologia

A pesquisa foi orientada pelos métodos e técnicas da bibliometria e da cientometria que têm por objetivo avaliar a produção científica e tecnológica publicada em artigos, patentes, teses, dissertações, livros, capítulos de livros, dentre outros, e produzida pela comunidade científica (Hayashi 2013). A bibliometria, como método de cunho quantitativo, pode ser definida como a aplicação de métodos estatísticos para a análise de obras encontradas na literatura. A partir da

análise bibliométrica, a produção de artigos em uma determinada área de estudo é examinada, mapeando unidades acadêmicas e redes de pesquisadores. Dessa forma, é possível gerar indicadores de produção para a mensurar a evolução de um tema científico (Faria et al. 2010).

As atividades de pesquisa científica, bem como o papel de desenvolver e produzir inovações tecnológicas estão na maioria das vezes a cargo das instituições públicas de ensino e pesquisa, principalmente as universidades, que abrigam os principais centros de formação de recursos humanos (ensino), pesquisa e extensão do país. Nesse contexto, a competência das universidades públicas brasileiras em fazer ciência tem aumentado, aprofundando a interação com setores sociais e econômicos e sofrendo uma série de exigências no que se refere à redefinição de suas funções e propósitos, ocupando uma posição estratégica no processo de desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Para desenvolvimento deste trabalho, foi escolhida a *Web of Science (WoS)* por ser uma base de referência mundial que reúne informação científica publicada e de citação de um vasto conjunto de periódicos de alta relevância, além de ser amplamente utilizada para estudos bibliométricos (Pranckutė 2021; Zhu and Liu 2020). Ademais, a coleção principal da *WoS* foi empregada como base de dados do estudo por sua multidisciplinaridade e por ser a base de cálculo do *JCR Impact Factor*, que garante a representatividade da amostra (Chanchetti et al. 2020).

Após a escolha da base de dados, a coleta de dados foi estruturada na *WoS* e realizada em 29 de março de 2021 mediante os seguintes procedimentos:

- 1) Definição da expressão de busca: nesse contexto, é importante destacar que existem várias linhas de pesquisa dentro da IA e usar apenas o termo de busca *Artificial Intelligence*, por exemplo, pode não refletir toda a pesquisa realizada na área, pois este termo nem sempre é empregado pelos autores. Assim, uma lista de palavras-chave relacionadas com o tema foi definida tendo como base a metodologia apresentada por Abadi et al. (2020), a qual teve por base os trabalhos da *World Intellectual Property Organization* (2019) e *United Kingdom Intellectual Property Office* (2019). A expressão de busca foi dividida em três partes. A primeira é composta por termos específicos relacionados com ferramentas de IA, disponíveis em *World Intellectual Property Organization* (2019). A segunda parte possui termos mais gerais,

relacionados com algumas aplicações e ferramentas estatísticas e, portanto, de acordo com a metodologia apresentada em *World Intellectual Property Organization* (2019), ela é utilizada de forma restrita às áreas temáticas Ciência da Computação (*Computer Science*), Engenharia (*Engineering*) e Matemática (*Mathematics*). Por fim, a terceira parte é composta por termos também específicos da IA, disponíveis em *United Kingdom Intellectual Property Office* (2019). A lista completa com todos os termos de busca empregados neste trabalho é apresentada no Apêndice. Esta expressão de busca aplicada no campo “Tópico” (título, resumo e palavras-chave) resultou em 1.783.876 registros no mundo, para todos os anos até 2020 disponíveis na *WoS* e para todos os tipos de documentos disponíveis.

- 2) Os critérios de inclusão dos artigos da base *WoS* foram: a) tipologia documental: *artigos*; b) artigos indexados na Coleção Principal da *WoS*; c) artigos publicados entre os anos de 2011 e 2020, inclusive. Após esses refinamentos, foram recuperados 1.173.447 artigos. A seleção desse recorte temporal se deve ao fato da pesquisa em IA estar evoluindo de maneira rápida nos últimos anos, sendo, portanto, o objetivo deste trabalho analisar essa última década de pesquisa em IA no Brasil.
- 3) Em seguida, foram selecionados os artigos que possuíam pelo menos um autor vinculado a uma instituição brasileira, resultando em um total de 25.789 registros. É importante ressaltar novamente a necessidade de se utilizar uma expressão de busca abrangente a respeito de IA. Considerando o termo busca somente “*Artificial Intelligence*”, como realizado nos trabalhos (Sun e Dong 2018; Niu et al. 2016), um total de 60.325 registros foram encontrados, desses apenas 1.454 registros estão relacionados com o Brasil. Esse número é consideravelmente inferior ao encontrado com a expressão de busca abrangente empregada neste trabalho.
- 4) Após as buscas, os dados bibliográficos dos artigos coletados foram armazenados em um computador local para tratamento e elaboração de indicadores. Esses registros foram importados para análise bibliométrica no *software VantagePoint* onde foram tratados e analisados. Posteriormente, os gráficos foram construídos no *software MS*

Excel e o software *VOSviewer* foi usado para a elaboração das redes de colaboração e de coocorrência de palavras, com seus respectivos agrupamentos.

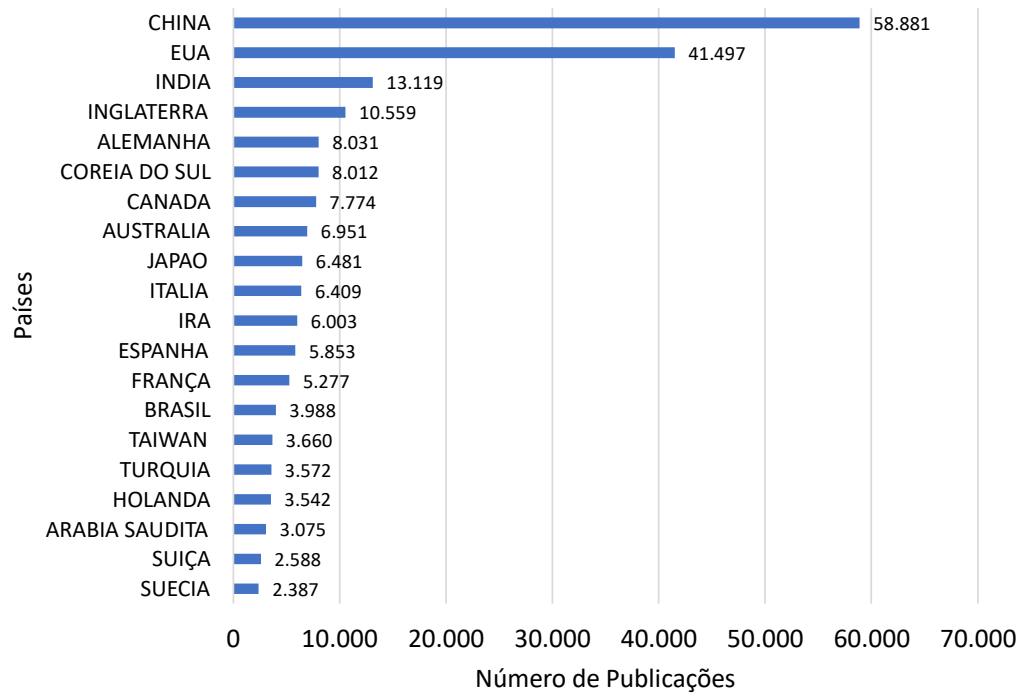
Os seguintes indicadores foram elaborados considerando o período de 2011 a 2020: 1) número de publicações científicas do Brasil e do mundo (Figura 1); 2) evolução da posição dos países que mais publicaram sobre IA (Figura 2); 3) crescimento médio da publicação em IA (Figura 3); 4) palavras-chave de maior incidência (Tabela 1); 5) rede de coocorrência de palavras-chave (Figura 4); 6) áreas de pesquisa predominantes (Figura 5); 7) relação de instituições brasileiras com publicação em IA (Figura 6); 8) rede de colaboração entre instituições (Figura 7); 9) relação de autores que mais publicam em IA (Figura 8).

4 Resultados e Discussões

Como primeiro resultado, é importante discutir a contribuição brasileira em relação à produção científica mundial na temática IA, a partir da análise junto à base *WoS*. Nos últimos dez anos, a produção mundial observada na busca foi de 1.173.447 registros, sendo que a contribuição brasileira ocorreu em 25.789, ou seja, em aproximadamente 2% das publicações.

Considerando apenas o ano de 2020, foram encontradas 186.415 publicações sendo 3.988 com contribuição brasileira. Isso proveu ao Brasil a colocação de 14º, uma posição periférica, ficando atrás de países como China (1º), Índia (3º), Coreia do Sul (6º) e Irã (11º). Os dois primeiros colocados foram China e Estados Unidos respectivamente, cujo número de publicações corresponde a aproximadamente 53% dos registros, ou seja, mais da metade da produção mundial no tema, mostrando que esses países são realmente as potências em tecnologia atualmente. A Figura 1 apresenta a contribuição dos primeiros 20 países nos registros em 2020.

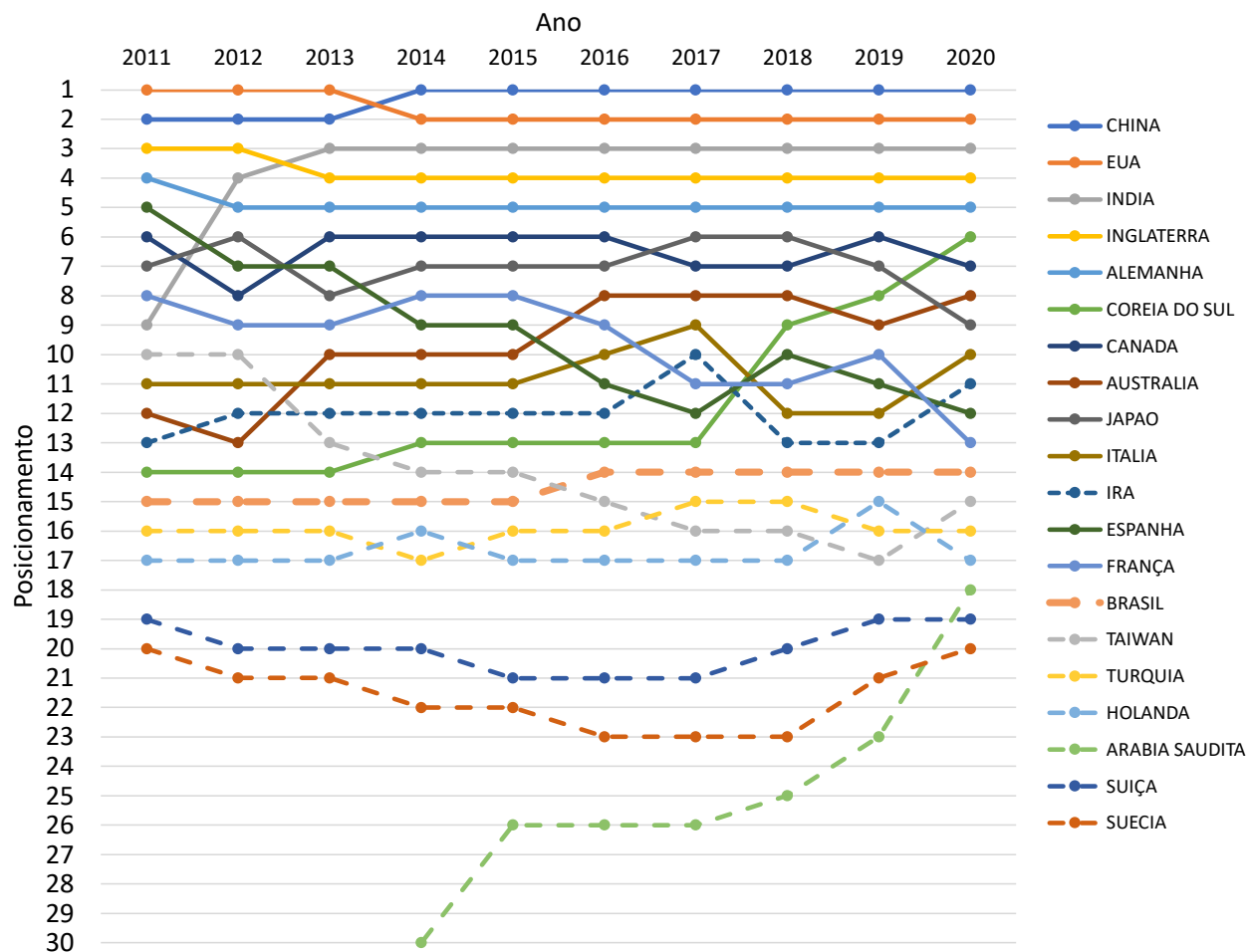
Figura 1 – Número de publicações sobre IA indexadas na WoS em 2020, por país



Fonte: Elaborada pelos autores.

A colocação brasileira na produção mundial não modificou de forma significativa no período 2011 - 2020, o Brasil avançou uma posição, de 14º para 15º, conforme apresentado na Figura 2. Nessa mesma figura, é possível observar que alguns países ganharam destaque no período, como a Índia, a Coreia do Sul, a Austrália e, principalmente, a Arábia Saudita, que estava na posição 41º em 2011 e passou para a 18º posição em 2020. A produção brasileira aumentou consideravelmente nos últimos anos. Por exemplo, em 2011, foram encontrados 1.348 registros, enquanto em 2020 esse número chegou a 3.988. Isso mostra o aumento da importância desse tema no Brasil, acompanhando o interesse mundial nesta área, cujo aumento da produção passou de 60.221 publicações em 2011 para 186.415 em 2020.

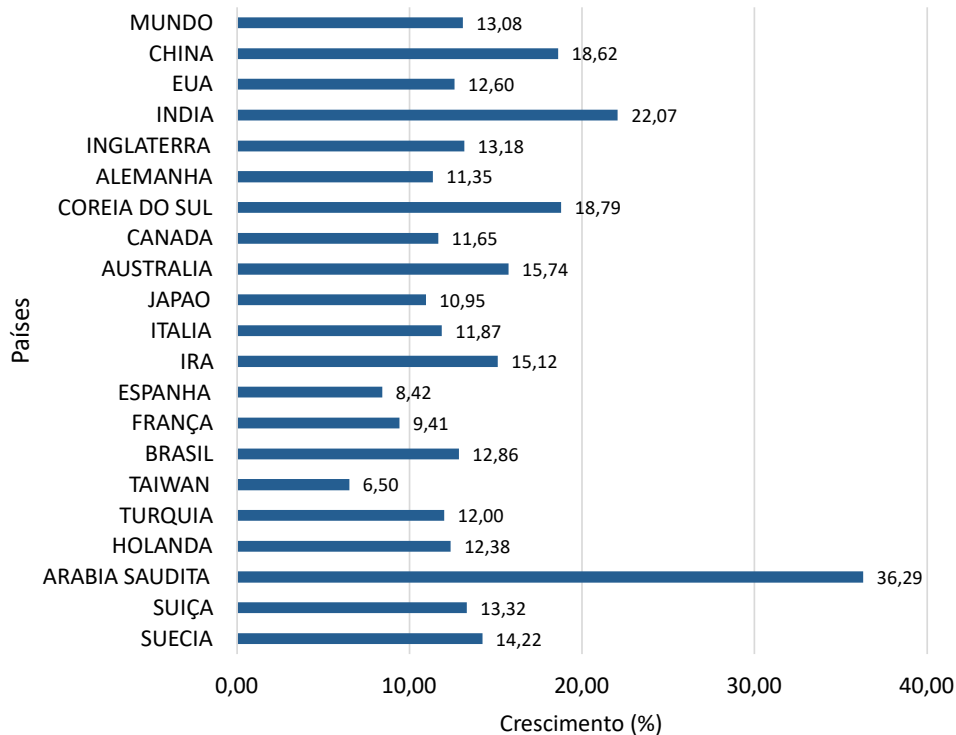
Figura 2 – Evolução da posição dos países de acordo com o número de publicações sobre IA indexadas na WoS, 2011 – 2020



A Figura 3 apresenta o crescimento anual médio do número de contribuições dos 20 primeiros países entre 2011 e 2020, sendo que o aumento médio da contribuição brasileira foi de 12,9%, próxima à média anual mundial que foi de 13,1%. Nesta mesma figura, observa-se que o crescimento médio brasileiro é superior a países como a França e a Espanha, que estão em posições logo à sua frente, ou seja, há uma possibilidade do Brasil ultrapassar tais países nos próximos anos. Por outro lado, a taxa de crescimento brasileira é inferior à de outros países, como a China, a Índia, a Coreia do Sul, o Irã e a Arábia Saudita, sendo esta última em destaque pelo grande crescimento. Esse resultado é corroborado pelo trabalho de Ahmad et al. (2021), que observaram esse grande crescimento científico recente da Arábia Saudita em diversas áreas de pesquisa e atribuíram esse

crescimento à investimentos e reformas educacionais para reduzir a dependência do país na indústria de petróleo e reduzir as taxas de desemprego.

Figura 3 – Crescimento médio anual do número de publicações sobre IA indexadas na WoS, 2011 - 2020, por país e mundo



Fonte: Elaborada pelos autores.

As vinte palavras-chave de maior incidência nos trabalhos brasileiros são apresentadas no Tabela 1, sendo as Redes Neurais Artificiais a mais utilizada. Isso era esperado pois, trata-se de uma das técnicas mais relevantes nesse tema. O termo Inteligência Artificial é apenas o 10º em palavras-chave do autor (453 incidências), sendo utilizado em apenas 883 registros considerando menção em tópico (título, resumo e palavras-chave), ante o total de 25.789 encontrados na busca. Isso corrobora a necessidade de elaboração de uma expressão de busca mais abrangente, como a utilizada neste trabalho, pois muitas vezes este termo não é empregado pelos pesquisadores.

Tabela 1 – As 20 palavras-chave dos autores de maior incidência em publicações sobre IA indexadas na WoS, com contribuição brasileira, 2011 – 2020

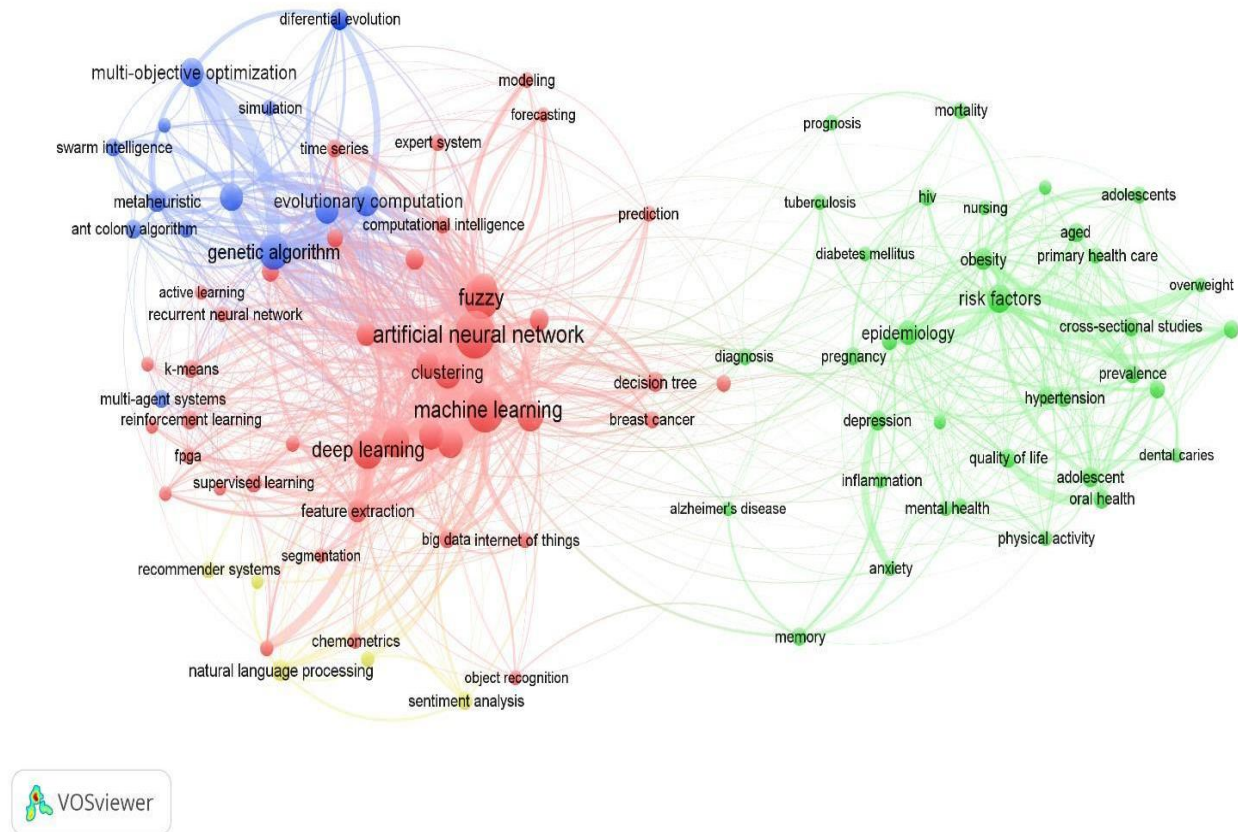
Palavra-chave	Incidência	Palavra-chave	Incidência
<i>artificial neural networks</i>	1793	<i>risk factors</i>	417
<i>machine learning</i>	1405	<i>multi-objective optimization</i>	412
<i>fuzzy</i>	1214	<i>support vector machine</i>	400
<i>deep learning</i>	844	<i>optimization</i>	366
<i>genetic algorithm</i>	739	<i>particle swarm optimization</i>	357
<i>computer vision</i>	541	<i>classification</i>	340
<i>clustering</i>	532	<i>evolutionary computation</i>	334
<i>pattern recognition</i>	468	<i>epidemiology</i>	264
<i>data mining</i>	454	<i>feature selection</i>	204
<i>artificial intelligence</i>	453	<i>metaheuristic</i>	198

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ainda com relação às palavras-chave, foi realizado um estudo de coocorrência das cem palavras com maior incidência por meio da construção da rede apresentada na Figura 4. Pode-se inferir que se trata de um tema abrangente com várias técnicas disponíveis, o que mostra uma boa diversidade nas ferramentas empregadas por autores brasileiros. Para essa análise, não apenas as palavras-chaves relacionadas com técnicas de IA foram selecionadas, mas sim todas as palavras-chave encontradas nos registros, o que inclui palavras relacionadas com aplicações, como *Epidemiology* e *Obesity*. Observa-se pela rede que quatro grandes grupos são bem definidos, quais sejam: (i) grupo relacionado com Aprendizado de Máquinas, representado em vermelho; (ii) grupo relacionado com Metaheurísticas e Otimização, em azul; (iii) grupo relacionado com Processamento de Linguagem Natural, em amarelo; e (iv) grupo relacionado com aplicações na área de saúde, em verde na rede. A área de medicina é uma das áreas de grande impacto esperado pela IA e a rede de coocorrência de palavras-chave demonstra este impacto. É possível observar uma variedade de problemas da área de saúde relacionados com IA, por exemplo, AIDS, Alzheimer e Câncer de Mama. Destaca-se que a interação na rede entre esses problemas de saúde (nós em verde) e ferramentas de IA (nós em vermelho, principalmente) ocorre sobretudo com

palavras relacionadas com diagnóstico e prognóstico (*diagnosis e prediction*, respectivamente) e com as ferramentas *Decision Trees e Logistic Regression*, como pode ser observado pela análise da fronteira entre esses dois grandes agrupamentos da rede apresentada.

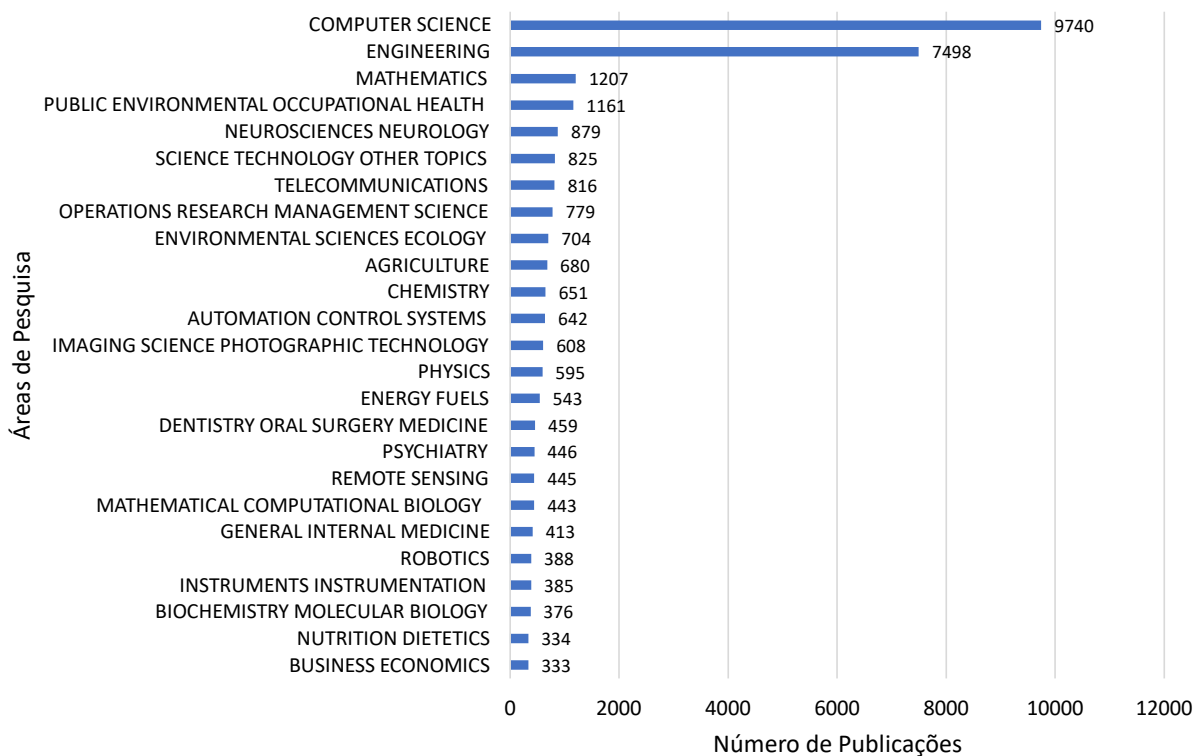
Figura 4 – Rede de coocorrência das 100 palavras-chave de maior ocorrência nas publicações brasileiras sobre IA indexadas na WoS, 2011-2020



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos registros recuperados, foi realizado na *Web of Science* um levantamento das áreas de pesquisa que mais empregam técnicas de IA no Brasil. A Figura 5 apresenta essas áreas, onde fica claro que Ciência da Computação e Engenharia são as que se destacam, como esperado pois, são as áreas onde ferramentas de IA são desenvolvidas e mais empregadas. A área de saúde também obteve destaque, possuindo seis áreas dentre as vinte e cinco elencadas.

Figura 5 – Áreas de pesquisa com maior número de publicações sobre IA indexadas na WoS, 2011-2020, no Brasil

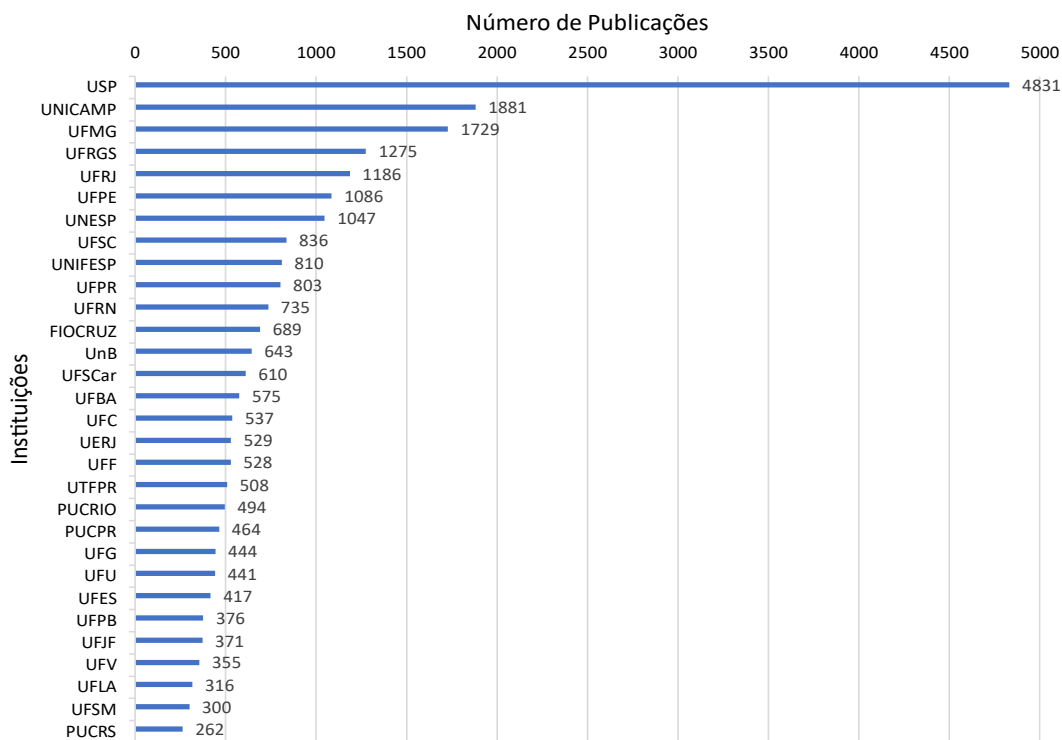


Fonte: Elaborada pelos autores.

A participação das universidades e centros de pesquisa nacionais é fundamental para o desenvolvimento tecnológico e social do país. Assim, a partir da busca realizada, elencou-se as 30 instituições de ensino e pesquisa brasileiras com maior participação na publicação de trabalhos em IA, conforme apresentado na Figura 6. Essas 30 instituições participaram de 18.280 publicações, o que corresponde à 73% do total nacional. A partir desse resultado, é importante destacar a relevância da Universidade de São Paulo neste tema uma vez que sua participação é encontrada em 19% das publicações analisadas, um total de 4.831 registros, possuindo mais do que o dobro de publicação da segunda colocada, a Universidade Estadual de Campinas. Ademais, faz-se mister observar que a participação das universidades públicas no tema de pesquisa é proeminente, das 30 instituições elencadas apenas 3 não são universidades públicas, as Pontifícias Universidades Católicas do Rio de Janeiro (PUCRIO), do Paraná (PUCPR) e do Rio Grande do Sul (PUCRS), e apenas uma não é uma universidade, a Fundação Oswaldo Cruz, renomada instituição pública de

pesquisa e ensino na área de saúde. A participação das instituições do Estado de São Paulo também é destaque, sendo que quatro instituições desse estado estão nas dez primeiras colocações.

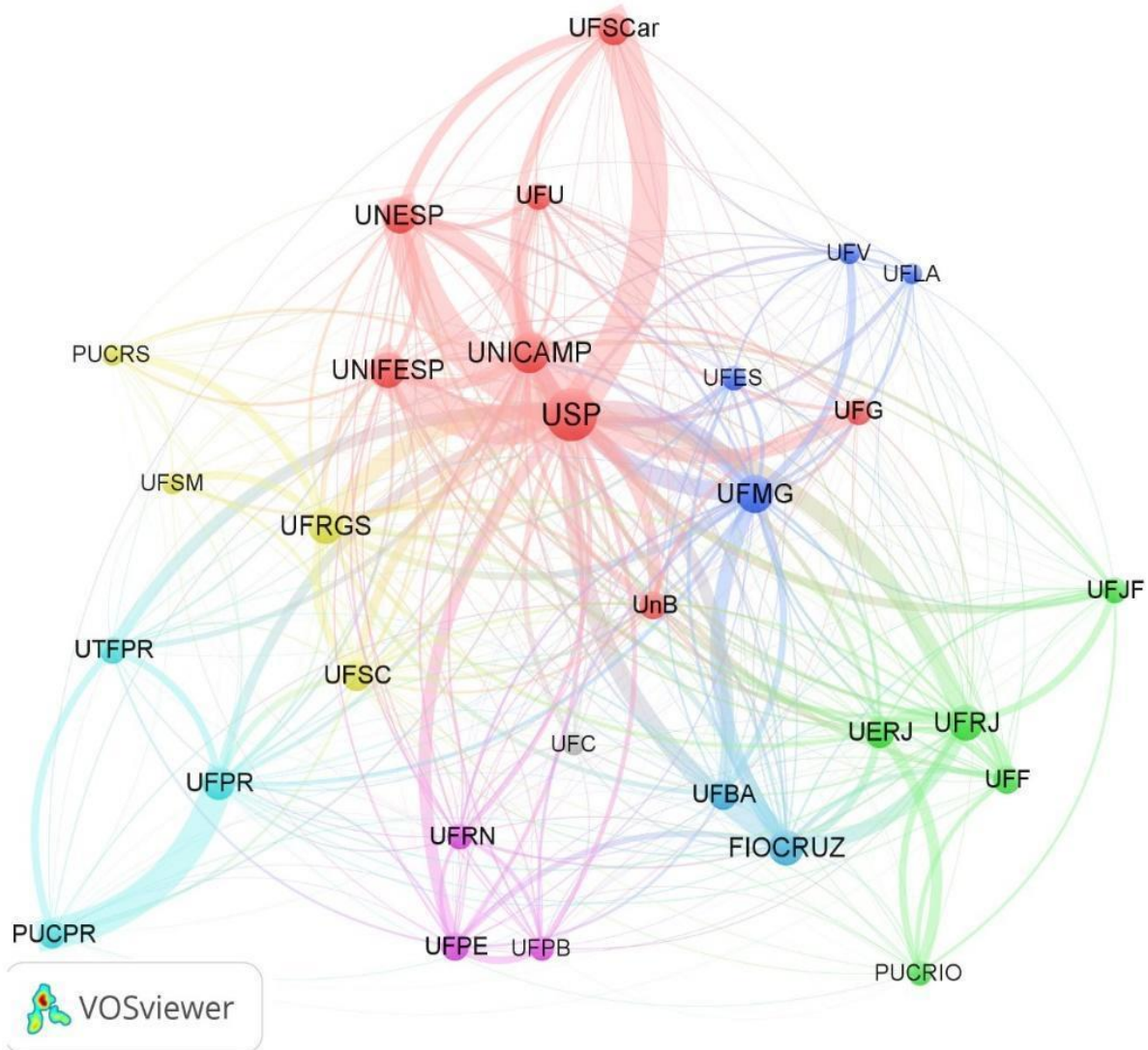
Figura 6 – Número de publicações sobre IA indexadas na WoS, 2011 – 2020, por instituição brasileira.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir desses indicadores sobre as principais instituições de pesquisa que se destacam na produção científica na área de IA no Brasil, foi elaborada uma rede de colaboração entre essas instituições com o intuito de verificar como está a relação entre elas, se há uma colaboração densa, se existe alguma com papel de destaque, por exemplo. A Figura 7 apresenta essa rede. Esta rede apresenta as interações entre aquelas 30 instituições mostradas na Figura 6, cada nó é uma instituição e as arestas representam suas interações por meio de autorias de artigos.

Figura 7 – Rede de colaboração entre Instituições brasileiras com maior número de publicações em IA indexadas na WoS, 2011 – 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores.

É possível verificar que há uma boa interação entre as universidades, e percebe-se que as universidades paulistas (USP, UNICAMP, UNESP, UNIFESP, UFSCar) possuem forte interação de pesquisa entre elas, principalmente com a USP, uma vez que as arestas que as ligam são mais espessas. O mesmo também ocorre, por exemplo, entre as universidades do Paraná, UFPR e PUCPR. A USP possui grande interação em todo país, ela está conectada a todos os nós da rede. Além da interação entre as universidades paulistas, é possível observar algumas relações importantes entre instituições, possivelmente por pertencerem ao mesmo Estado (compartilhando

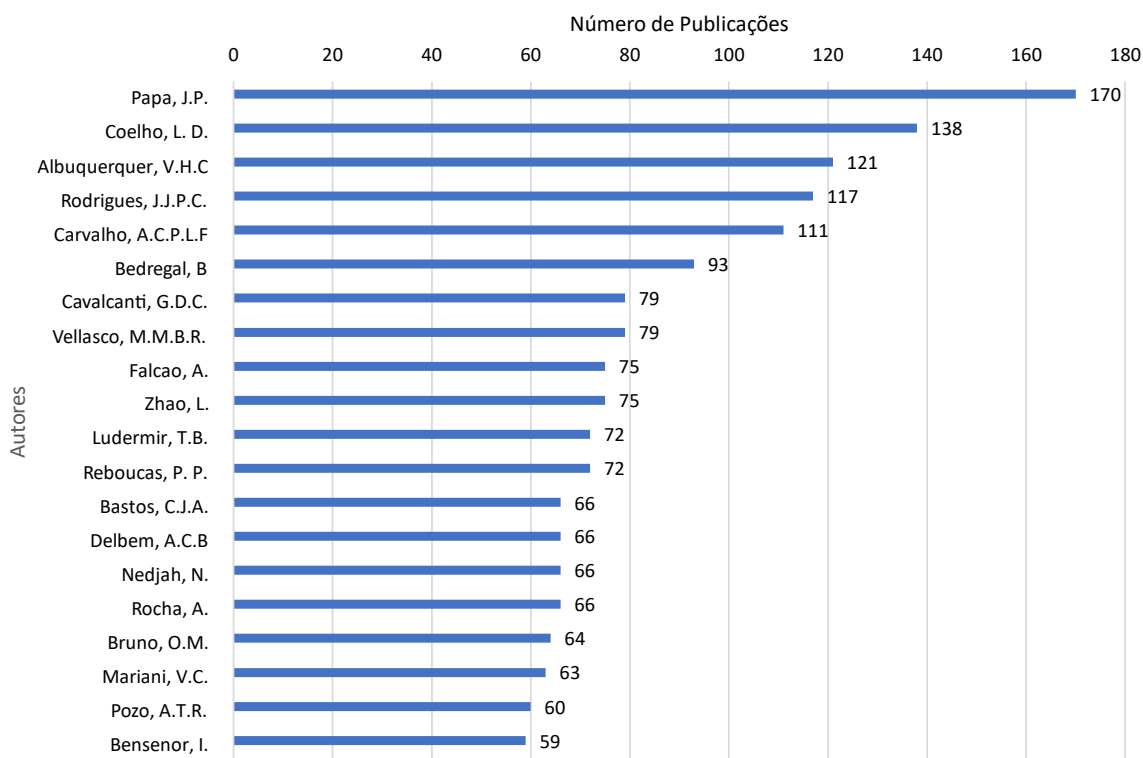
mesmas agências de fomento, por exemplo) ou por questão de proximidade geográfica, como: UFRJ, UERJ, UFF, UFJF, PUCRIO (destacadas em verde); UFPR, UTFPR e PUCPR (agrupadas em azul claro); UFRGS, UFSC, UFSM e PUCRS (destacadas em amarelo); UFMG, UFLA, UFV e UFES (agrupadas em azul); e UFPE, UFRN e UFPB (apresentadas em lilás). A UFBA e FIOCRUZ constituíram um agrupamento, possivelmente por suas interações conjuntas (há uma unidade da FIOCRUZ em Salvador/BA) e, também, por possuírem como principais parceiros a USP e a UFMG. As universidades UnB, UFU e UFG foram agrupadas junto com as universidades paulistas, tendo em vista as interações entre elas serem mais relevantes do que com as demais do país. Não houve agrupamento da UFC, a sua principal interação é com a USP sendo as outras interações pequenas e igualmente distribuídas com as outras instituições da rede. Percebe-se também a ausência de instituições do Norte do país entre as selecionadas. Nesse contexto, com relação à distribuição geográfica desses principais atores de pesquisa em IA no país, observa-se que o Sudeste detém o maior número de publicações, cerca de 68% do total. Fica evidente a discrepância regional em pesquisa sobre IA no Brasil.

A partir da análise da rede de colaboração entre instituições (Figura 7), é importante destacar que há uma boa interação entre esses atores da pesquisa em IA no Brasil. Considerando a complexidade desse tema e sua interdisciplinaridade (a Figura 4 destaca a abrangência desse tema), essa interação, diversificada tanto pela sua natureza quanto pela sua localização geográfica, é um fator decisivo para que este tema avance cientificamente no país, contemplando problematizações de diferentes ordens, que poderão representar demandas concretas para este avanço.

Após a análise de indicadores institucionais, este trabalho avaliou os autores brasileiros que trabalham com IA. Nesse sentido, foi realizada uma análise dos autores com maior número de registros na busca realizada, sendo que a Figura 8 apresenta os 20 primeiros autores. Neste quesito, merecem destaque os autores Papa, JP da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e Coelho, LD da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Enquanto Papa, JP atua primordialmente na área de Reconhecimento de Padrões, Visão de Máquinas e Otimização, Coelho, LD trabalha na linha de Aprendizado Profundo e Meta-Heurísticas. Constatou-se também que os demais autores estão difundidos em boa parte Brasil, mostrando uma certa diversidade geográfica em relação a origem

dos principais pesquisadores neste tema de pesquisa no país: de Albuquerque, VHC (UNIFOR); Rodrigues, JJPC (UFPI); Carvalho, ACPLF (USP); Bedregal, BRC (UFRN); Cavalcanti, GDC (UFPE); Vellasco, MMBR (PUCRIO); Falcão, AX (UNICAMP); Zhao, L. (USP).

Figura 8 – Número de publicações sobre IA indexadas na WoS, 2011 – 2020, por autor brasileiro.



Fonte: Elaborada pelos autores.

5 Conclusão

Neste trabalho, foi apresentada uma análise bibliométrica sobre a produção brasileira no tema Inteligência Artificial, para o período de 2011 a 2020. A partir da elaboração de uma expressão de busca abrangente, foi possível obter um número expressivo de publicações brasileiras na base *Web of Science*. A partir desta busca, constatou-se que o Brasil ainda possui uma participação periférica neste tema, apesar de ter aumentado de forma constante seu número de publicações nos últimos anos. Como esperado, as áreas de Engenharia e Ciência da Computação

se destacaram quantitativamente na produção de pesquisas sobre o assunto, seguidas pela área de Medicina.

Observou-se que as instituições públicas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de IA sendo que das 30 instituições elencadas com maior número de publicações, apenas duas são particulares. Constatou-se que há representatividade de centros de pesquisa e pesquisadores em boa parte do território nacional, mas com forte predominância da região Sudeste. Neste sentido, este trabalho destaca o importante papel das universidades públicas na pesquisa brasileira, aponta a necessidade de fortalecimento das colaborações para além das instituições mais próximas geograficamente e ressalta a interação relevante entre a IA e a área de saúde nas pesquisas nacionais.

Os resultados deste trabalho podem contribuir para elaboração de políticas públicas e científicas que visem o aumento da participação brasileira neste tema, para que o país possa se beneficiar dessas novas tecnologias e lidar com seus impactos futuros esperados. Nesse sentido, será importante promover ações ligadas à educação que minimizem discrepâncias geográficas e que incentivem discussões a respeito do tema IA para que novas reflexões sejam elaboradas, contribuindo para que a sociedade possa enfrentar as velhas e novas desigualdades surgidas com o advento dessa nova revolução industrial promovida pela Inteligência Artificial.

6 Referências

- Abadi, Hamidreza Habibollahi Najaf, et al. “Artificial intelligence-related research funding by the U.S. national science foundation and the national natural science foundation of China”. *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 183448–183459, doi:10.1109/ACCESS.2020.3029231. Acessado 14 jun. 2021.
- Ahmad, Shakil, et al. “A Bibliometric review of Arab world research from 1980-2020”. *Science and Technology Libraries*, vol. 40, no. 2, Routledge, 2021, pp. 133–53, doi:10.1080/0194262X.2020.1855615. Acessado 17 dez. 2021.
- Albuquerque, Pedro Henrique, et al. *Na era das máquinas, o emprego é de quem? Estimação da probabilidade de automação de ocupações no Brasil*. 2019, <https://www.econstor.eu/handle/10419/211408>. Acessado 25 maio 2021.

- Aristodemou, Leonidas, e Tietze, Frank. “The state-of-the-art on Intellectual Property Analytics (IPA): A literature review on artificial intelligence, machine learning and deep learning methods for analysing intellectual property (IP) data”. *World Patent Information*, vol. 55, 2018, pp. 37–51, doi:10.1016/j.wpi.2018.07.002. Acessado 22 fev. 2021.
- Bengio, Yoshua, et al. “Greedy layer-wise training of deep networks”. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2007, pp. 153–60, doi:10.7551/mitpress/7503.003.0024. Acessado 16 mar. 2021.
- Bezdek, James C. “Computational intelligence: What’s in a name?”. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, vol. 2, no. 2, 2016, pp. 4–14, doi:10.1109/MSMC.2016.2558778. Acessado 21 mar. 2021.
- Boser, Bernhard E., et al. “A training algorithm for optimal margin classifiers”. *Proceedings of the 5^o annual workshop on Computational learning theory - COLT '92: Pittsburgh*, ACM Press, 1992, pp. 144–52, doi:10.1145/130385.130401. Acessado 28 jan. 2021.
- Braga, Antônio Pádua, et al. *Redes Neurais Artificiais - Teoria e Prática*. Editora LTC, 2000.
- Breiman, Leo, et al. *Classification on regression Trees*. Wadsworth International Group, 1984.
- Breiman, Leo. “Stacked regressions”. *Machine Learning*, vol. 24, no. 1, 1996, pp. 49–64.
- Chanchetti, Lucas Faccioni, et al. “A scientometric review of research in hydrogen storage materials”. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 8, 2020, pp. 5356–66, doi:10.1016/j.ijhydene.2019.06.093. Acessado 11 maio 2021.
- Chen, C. L. Philip, e Zhang, Chun Yang. “Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data”. *Information Sciences*, vol. 275, 2014, pp. 314–47, doi:10.1016/j.ins.2014.01.015. Acessado 18 jan. 2021.
- Cybenko, George. “Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function”. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, vol. 2, 1989, pp. 303–14, doi:10.1007/BF02551274. Acessado 22 jun. 2021.
- Davyt, Amílcar, e Velho, Léa. “A avaliação da ciência e a revisão por pares: passado e presente. Como será o futuro?” *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, vol. 7, no. 1, 2000, pp. 93–116, doi:10.1590/S0104-59702000000200005. Acessado 11 mar. 2021.
- Ekbja, Hamid R. “Fifty years of research in artificial intelligence”. *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 44, no. 1, 2010, pp. 201–42, doi:10.1002/aris.2010.1440440112. Acessado 29 jan. 2021.
- Faria, Leandro Innocentini Lopes, et al. “Análise da produção científica a partir de publicações em periódicos especializados”. *Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em São Paulo 2010*.
-
- Groenner, Luciana Castro, et al. Um Estudo Bibliométrico sobre a pesquisa em Inteligência Artificial no Brasil. *Brazilian Journal of Information Science: Research trends*, vol. 16, publicação continua, 2022, e02147. 10.36311/1981-1640.2022.v16.e02147

- Edited by Ricardo Renzo Brentani e Carlos Henrique de Brito Cruz. FAPESP, 2010, pp. 4.1-4.71, <https://fapesp.br/indicadores2010>. Acessado 16 jun. 2021.
- Fukushima, Kunihiko. “Neocognitron: A hierarchical neural network capable of visual pattern recognition”. *Neural Networks*, vol. 1, no. 2, 1988, pp. 119–30, doi:10.1016/0893-6080(88)90014-7. Acessado 12 abr. 2021.
- Gil, Yolanda, e Selman, Bart. *A 20-Year Community Roadmap for Artificial Intelligence Research In The Us*. 2019, <https://arxiv.org/abs/1908.02624>. Acessado 8 jul. 2021.
- Goralski, Margaret A., e Tan, Tay Keong. “Artificial intelligence and sustainable development”. *International Journal of Management Education*, vol. 18, no. 1, 2020, doi:10.1016/j.ijme.2019.100330. Acessado 26 fev. 2021.
- Gracioso, Luciana de Souza, et al. “Indexação automática de imagens na web: tendências e desafios no contexto Deep Learning”. *Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação*, vol. 11, no. 2, 2018, pp. 541–61, doi:10.26512/rici.v11.n2.2018.8342. Acessado 19 abr. 2021.
- Hayashi, Maria Cristina Piumbato Innocentini. “Afinidades eletivas entre a cientometria e os estudos sociais da ciência”. *Filosofia e Educação*, vol. 5, no. 2, 2013, pp. 57–88, doi:10.20396/rfe.v5i2.8635395. Acessado 30 mar. 2021.
- Haykin, Simon. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice-Hall, 2008.
- He, Kaiming, et al. “Deep residual learning for image recognition”. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 770–78, doi:10.1109/CVPR.2016.90. Acessado 25 maio 2021.
- Hebb, Donald O. *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Wiley, 1949.
- Hinton, Geoffrey E., et al. “A fast-learning algorithm for deep belief nets”. *Neural Computation*, vol. 18, no. 7, 2006, pp. 1527–54, doi:10.1162/neco.2006.18.7.1527. Acessado 12 jul. 2021.
- Ho, Tin Kam. “The random subspace method for constructing decision forests”. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, 1998, pp. 832–44, doi:10.1109/34.709601. Acessado 31 maio 2021.
- Hopfield, John J. “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 79, no. 8, 1982, pp. 2554–58, doi:10.1073/pnas.79.8.2554. Acessado 10 jun. 2021.
- Hornik, Kurt, et al. “Multilayer feedforward networks are universal approximators”. *Neural Networks*, vol. 2, no. 5, 1989, pp. 359–66, doi:10.1016/0893-6080(89)90020-8. Acessado 27 jan. 2021.

- LeCun, Yann, et al. “Backpropagation applied to handwritten zip code recognition”. *Neural Computation*, vol. 1, no. 4, 1989, pp. 541–51, doi:10.1162/neco.1989.1.4.541. Acessado 10 fev. 2021.
- LeCun, Yann, et al. “Deep learning”. *Nature*, vol. 521, no. 7553, 2015, pp. 436–44, doi:10.1038/nature14539. Acessado 19 abr. 2021.
- Lee, Changyong, et al. “Early identification of emerging technologies: A machine learning approach using multiple patent indicators”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 127, 2018, pp. 291–303, doi:10.1016/j.techfore.2017.10.002. Acessado 28 maio 2021.
- Massucci, Francesco Alessandro, e Docampo, Domingo. “Measuring the academic reputation through citation networks via PageRank”. *Journal of Informetrics*, vol. 13, no. 1, 2019, pp. 185–201, doi:10.1016/j.joi.2018.12.001. Acessado 31 mar. 2021.
- McCulloch, Warren S., e Pitts, Walter. “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, 1943, pp. 115–33, doi:10.1007/BF02478259. Acessado 13 jan 2021.
- Minsky, Marvin, e Papert, Seymour A. *Perceptron: an introduction to computational geometry*. MIT Press, 1969.
- Mitchell, Tom M. *Machine Learning*. McGraw-Hill, 1997.
- Moeskops, Pim, et al. “Automatic segmentation of MR brain images with a convolutional neural network”. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 35, no. 5, 2016, pp. 1252–61, doi:10.1109/TMI.2016.2548501. Acessado 10 ago. 2021.
- Niu, Jiqiang, et al. “Global research on artificial intelligence from 1990-2014: Spatially-explicit bibliometric analysis”. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 5, no. 5, 2016, pp. 1–19, doi:10.3390/ijgi5050066. Acessado 15 jul. 2021.
- Perrone, Michael P., e Cooper, Leon L. “When networks disagree: ensemble methods for hybrid neural network”. *Neural Networks for Speech and Image Processing*. Edited by R. J. Mammone. Chapman Hall, 1993, pp. 126–42.
- Pranckutė, Raminta. “Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today’s academic world”. *Publications*, vol. 9, no. 1, 2021, pp. 12, doi:10.3390/publications9010012. Acessado 13 set. 2021.
- Rosenblatt, Frank. “The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain”. *Psychological Review*, 1958, doi:10.1037/h0042519. Acessado 10 maio 2021.
- Rumelhart, David E., et al. “Learning representations by back-propagating errors”. *Nature*, vol. 323, no. 9, 1986, pp. 533–36, doi:10.1038/323533a0. Acessado 24 mar. 2021.

- Russell, Stuart J., e Norvig, Peter. *Inteligência artificial*. Elsevier, 2004.
- Samuel, Arthur L. “Some studies in machine learning using the game of checkers”. *IBM Journal of Research and Development*, 1959, doi: 10.1147/rd.33.0210. Acessado 26 jul. 2021.
- Srivastava, Sunil Kumar. “Artificial intelligence: way forward for India”. *Journal of Information Systems and Technology Management*, vol. 15, 2018, pp. 1–23, doi:10.4301/s1807-1775201815004. Acessado 12 abr. 2021.
- Sun, Bo, e Dong, Zhixue. “Comparative study on the academic field of artificial intelligence in China and other countries”. *Wireless Personal Communications*, vol. 102, no. 2, 2018, pp. 1879–90, doi:10.1007/s11277-018-5243-2. Acessado 20 jan. 2021.
- Tan, Jen Hong, et al. “Segmentation of optic disc, fovea and retinal vasculature using a single convolutional neural network”. *Journal of Computational Science*, vol. 20, 2017, pp. 70–79, doi:10.1016/j.jocs.2017.02.006. Acessado 23 mar. 2021.
- Trajtenberg, Manuel. "AI as the next GPT: A political-economy perspective". *National Bureau of Economic Research*, no. 24245, 2018, doi:10.3386/w24245. Acessado 22 abr. 2021.
- United Kingdom Intellectual Property Office. *Artificial Intelligence: A Worldwide Overview of AI Patents and Patenting by the UK AI Sector*. Intellectual Property Office, 2019, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/817610/Artificial_Intelligence_-_A_worldwide_overview_of_AI_patents.pdf. Acessado 31 mar. 2021.
- Wolpert, David H. “Stacked generalization”. *Neural Networks*, vol. 5, no. 2, 1992, pp. 241–59, doi:10.1016/S0893-6080(05)80023-1. Acessado 13 ago. 2021.
- World Intellectual Property Organization. *WIPO Technology Trends 2019 - Artificial Intelligence*. Intellectual Property Office, 2019, <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>. Acessado 25 maio 2021.
- Young, Tom, et al. “Recent trends in deep learning based natural language processing”. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 13, no. 3, 2018, pp. 55–75, doi:10.1109/MCI.2018.2840738. Acessado 13 abr. 2021.
- Zhou, Zhi Hua. “Machine learning: Recent progress in China and beyond”. *National Science Review*, vol. 5, no. 1, 2018, pp. 20, doi:10.1093/nsr/nwx132. Acessado 19 jul. 2021.
- Zhu, Junwen, e Liu, Weishu. “A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers”. *Scientometrics*, vol. 123, no. 1, 2020, pp. 321–35, doi:10.1007/s11192-020-03387-8. Acessado 30 ago. 2021.

Apêndice

A expressão de busca utilizada neste trabalho foi formulada baseando-se no trabalho de Abadi et al. (2020), o qual usou como referências os trabalhos da *World Intellectual Property Organization* (2019) e *United Kingdom Intellectual Property Office* (2019). A expressão de busca é composta por palavras relacionadas com IA no idioma inglês, por operadores booleanos e por áreas temáticas, conforme pode ser observado no Quadro 1. Os registros da pesquisa são obtidos pela junção (combinação do tipo “OR”) dos resultados das três partes apresentadas no respectivo Quadro.

Quadro 1 – Expressões de busca implementada na WoS

TS = (“ARTIFICIAL INTELIGENCE” OR “COMPUTATIONAL INTELLIGENCE” OR “NEURAL NETWORK*” OR “NEURAL_NETWORK*” OR “BAYES* NETWORK*” OR “BAYESIAN-NETWORK*” OR “BAYESIAN_NETWORK*” OR (CHATBOT?) OR “DATA MINING*” OR “DECISION MODEL?” OR “DEEP LEARNING*” OR “DEEP-LEARNING*” OR “DEEP_LEARNING*” OR “GENETIC ALGORITHM?” OR “INDUCTIVE PROGRAMM*” OR “LOGIC PROGRAMM*” OR “MACHINE LEARNING*” OR “MACHINE_LEARNING*” OR “MACHINE-LEARNING*” OR “NATURAL LANGUAGE GENERATION” OR “NATURAL LANGUAGE PROCESSING” OR “REINFORCEMENT LEARNING” OR “SUPERVISED LEARNING*” OR “SUPERVISED TRAINING” OR “SUPERVISED-LEARNING*” OR “SUPERVISED_LEARNING*” OR “SWARM INTELLIGEN*” OR “SWARM-INTELLIGEN*” OR “SWARM_INTELLIGEN*” OR “UNSUPERVISED LEARNING*” OR “UNSUPERVISED TRAINING” OR “UNSUPERVISED-LEARNING*” OR “SEMI-SUPERVISED LEARNING*” OR “SEMI-SUPERVISED-LEARNING*” OR ”SEMI-SUPERVISED TRAINING” OR “SEMI-SUPERVISED-LEARNING*” OR “CONNECTIONIS*” OR “EXPERT SYSTEM*” OR “FUZZY LOGIC*” OR “TRANSFER-LEARNING” OR “TRANSFER_LEARNING” OR “TRANSFER LEARNING” OR “LEARNING ALGORITHM?” OR “LEARNING MODEL?” OR “SUPPORT VECTOR MACHINE?” OR “RANDOM FOREST?” OR “DECISION TREE?” OR “GRADIENT TREE BOOSTING” OR “XGBOOST” OR “ADABOOST” OR “RANKBOOST” OR “LOGISTIC REGRESSION” OR “STOCHASTIC GRADIENT DESCENT” OR “MULTILAYER PERCEPTRON?” OR “LATENT SEMANTIC ANALYSIS” OR “LATENT DIRICHLET ALLOCATION” OR “MULTI-AGENT SYSTEM?” OR “HIDDEN MARKOV MODEL?”)

(TS = (“CLUSTERING” OR “COMPUT* CREATIVITY” OR “DESCRIPTIVE MODEL*” OR “INDUCTIVE REASONING” OR OVERFITTING OR “PREDICTIVE ANALYTICS” OR “PREDICTIVE MODEL?” OR “TARGET FUNCTION?” OR “TEST DATA SET?” OR “TRAINING DATA SET?” OR “VALIDATION DATA SET?” OR BACKPROPAGATION? OR “SELF LEARNING” OR “SELF_LEARNING” OR “OBJECTIVE FUNCTION?” OR “FEATURE? SELECTION” OR “EMBEDDING?” OR “ACTIVE LEARNING” OR “REGRESSION MODEL?” OR “STOCHASTIC APPROACH*” OR “STOCHASTIC TECHNIQUE?” OR “STOCHASTIC METHOD?” OR “STOCHASTIC ALGORITHM?” OR “PROBABILIST* APPROACH*” OR “PROBABILIST* TECHNIQUE?” OR “PROBABILIST* METHOD?” OR “PROBABILIST* ”)

ALGORITHM?" OR "RECOMMEND* SYSTEM?" OR "TEXT ANALYSIS" OR "TEXT ANALYTIC?" OR "TEXT RECOGNITION" OR "SPEECH ANALYSIS" OR "SPEECH ANALYTIC?" OR "SPEECH RECOGNITION" OR "HAND WRITING ANALYSIS" OR "HAND WRITING ANALYTIC?" OR "HAND WRITING RECOGNITION" OR "FACIAL ANALYSIS" OR "FACIAL ANALYTIC?" OR "FACIAL RECOGNITION" OR "FACE? ANALYSIS" OR "FACE? ANALYTIC?" OR "FACE? RECOGNITION" OR "CHARACTER? ANALYSIS" OR "CHARACTER? ANALYTIC?" OR "CHARACTER? RECOGNITION")) AND ((SU = COMPUTER SCIENCE) OR (SU = ENGINEERING) OR ((SU = MATHEMATICS)))

TS = ("ANT COLONY" OR "ANT-COLONY" OR "FACTORIZATION MACHIN*" OR "FACTORISATION MACHIN*" OR "HIGH-DIMENSIONAL* FEATURE*" OR "PARTICLE SWARM*" OR "PARTICLE-SWARM" OR "BEE COLONY" OR "BEE-COLONY" OR "HIGH-DIMENSIONAL* INPUT*" OR "HIGH DIMENSIONAL* INPUT*" OR "PATTERN-RECOGNI*" OR "PATTERN RECOGNI*" OR "FIRE-FLY" OR "FEATURE ENGINEER*" OR "K-MEANS" OR "POLICY-GRADIENT METHOD" OR "ADVERSAR* NETWORK*" OR "FEATURE EXTRACT*" OR "KERNEL LEARN*" OR "Q-LEARN*" OR "ARTIFICIAL*-INTELLIGEN*" OR "ARTIFICIAL* INTELLIGEN*" OR "FEATURE SELECT*" OR "LATENT-VARIABLE*" OR "LATENT VARIABLE*" OR "RANDOM-FOREST*" OR "RANDOM FOREST*" OR "ASSOCIATION RULE" OR "FUZZY-C" OR "LINK* PREDICT*" OR "RECOMMENDER SYSTEM*" OR "AUTO-ENCOD*" OR "AUTOENCODER?" OR "FUZZY ENVIRONMENT*" OR "MACHINE INTELLIGEN*" OR "REINFORC* LEARN*" OR "AUTONOM* COMPUT*" OR "FUZZY LOGIC*" OR "MACHINE LEARN*" OR "SENTIMENT* ANALY*" OR "BACK-PROPAGAT*" OR "FUZZY NUMBER*" OR "MAP-REDUCE" OR "SPARSE REPRESENT*" OR "BACKPROPOGAT*" OR "FUZZY SET*" OR "MEMETIC ALGORITHM*" OR "SPARSE*-CODE*" OR "COGNITIV* COMPUT*" OR "FUZZY SYSTEM*" OR "MULTI* LABEL* CLASSIF*" OR "SPECTRAL CLUSTER*" OR "COLLABORAT* FILTER*" OR "GAUSSIAN MIXTURE MODEL?" OR "MULTI*-OBJECTIVE* ALGORITHM*" OR "STOCHASTIC*-GRADIENT*" OR "STOCHASTIC* GRADIENT*" OR "DEEP-BELIEF NETWORK*" OR "GAUSSIAN PROCESS*" OR "MULTI-OBJECTIVE* OPTIM*" OR "MULTIOBJECTIVE* OPTIM*" OR "*SUPERVIS* LEARN*" OR "DEEP-LEARN*" OR "GENETIC PROGRAM*" OR "NATURAL-GRADIENT" OR "SUPPORT-VECTOR MACHINE" OR "SUPPORT VECTOR MACHINE" OR "DIFFERENTIAL-EVOL* ALGORITHM*" OR "DIFFERENTIAL* EVOL* ALGORITHM*" OR "GENETIC* ALGORITHM?" OR "NEURAL-TURING" OR "SWARM BEHAV*" OR "DIMENSIONAL*-REDUC*" OR "DIMENSIONAL* REDUC*" OR "HIGH-DIMENSIONAL* DATA" OR "NEURAL-NETWORK*" OR "NEURAL NETWORK*" OR "SWARM INTELL*" OR "ENSEMBLE-LEARN*" OR "ENSEMBLE LEARN*" OR "HIGH-DIMENSIONAL* MODEL*" OR "NEURO-MORPH COMPUT*" OR "TRANSFER-LEARN*" OR "EVOLUTION* ALGORITHM*" OR "HIGH-DIMENSIONAL* SPACE*" OR "NON-NEGATIVE MATRI* FACTOR*" OR "VARIATION*-INFER*" OR "VARIATION* INFER*" OR "EVOLUTION* COMPUT*" OR "HIGH-DIMENSIONAL* SYSTEM*" OR "OBJECT-RECOGNI*" OR "VECTOR-MACHINE*")

Fonte: Elaborado pelos autores.

Copyright: © 2022 Groenner, Luciana Castro, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons CC Attribution-ShareAlike (CC BY-SA), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, under the identical terms, and provided the original author and source are credited.

Received: 05/12/2021

Accepted: 14/04/2022