

Multiagente de Inteligência Artificial: perfil, comportamento e tendência no âmbito internacional sob a perspectiva da análise de redes sociais

Multi-agent Artificial Intelligence: profile, behavior and trends at an international level from the perspective of social network analysis

Inteligencia Artificial Multiagente: perfil, comportamiento y tendencias en el contexto internacional desde la perspectiva del análisis de redes sociales.

Como citar:

Ribeiro, Henrique C. M. (2025). Multiagente de inteligência artificial: perfil, comportamento e tendência no âmbito internacional sob a perspectiva da análise de redes sociais. Revista Gestão & Tecnologia, vol. 25, nº 5, p: 77-107

Henrique César Melo Ribeiro, Pós-Doutor em Administração (IPLEIRIA). Doutor em Administração (UNINOVE). Prof. DE da UFDPAr.

hcmribeiro@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0704-1812>

“O autor declara não haver qualquer conflito de interesse de natureza pessoal ou corporativa, em relação ao tema, processo e resultado da pesquisa”.

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 23/04/2025
Aprovado em 05/12/2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

Resumo

Objetivo: Investigar o perfil, o comportamento e a tendência da pesquisa científica internacional do tema multiagente de inteligência artificial sob a perspectiva da análise de redes sociais.

Metodologia: Utilizou-se de 45 pesquisas na sociometria, na base de dados EBSCO. Utilizou-se dos indicadores originários da sociometria, que trabalham com as particularidades estruturais e das formações das redes de cooperação dos atores sociais implicados na criação e na composição do conhecimento científico.

Originalidade/Relevância: O tema da Inteligência Artificial vem sendo estudado intensamente nas literaturas acadêmica e executiva. Este estudo apresenta sua originalidade e relevância, principalmente pela metodologia utilizada.

Principais resultados: Os principais achados versam: 2022, 2024, 2007, 2021 e 2018 foram os períodos mais centrais; *AI Communications*, *Journal of Network and Computer Applications*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *International Journal of Parallel Programming* e *Computers in Industry* foram os periódicos mais centrais; Stefano V. Albrecht, Haihua Zhu, Dunbing Tang, Tong Zhou, Samir Aknine e Suzanne Pinson foram os autores mais centrais; Paris Dauphine University, University of Oxford e Pennsylvania State University foram as instituições mais centrais; Reino Unido, China, EUA, Canadá, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos e Austrália foram os países mais centrais; *reinforcement learning*, *artificial intelligence*, *multi-agent system*, *distributed artificial intelligence*, *intelligent agents*, *multi-agent systems*, *proximal policy optimization*, *multiagent systems*, *swarm intelligence* e *smart manufacturing* foram as palavras-chave mais centrais. Em relação as redes dos autores, instituições e países, todas tiveram aferição de baixa densidade, impactando no fluxo e na troca de informação e conhecimento acerca do tema objeto de investigação na literatura científica internacional.

Contribuições teóricas e metodológicas: Este estudo contribui ao colocar em realce a contemporaneidade do tema multiagente de inteligência artificial, sob a perspectiva da sociometria e à luz da base de dados EBSCO, contribuindo para o surgimento de futuras pesquisas, e, por conseguinte, no crescimento, desenvolvimento e maturação da referida temática no âmbito acadêmico.

Contribuições sociais e executivas: Embora este estudo tenha uma orientação essencialmente acadêmica, os conteúdos gerados podem contribuir para organizações e sociedades que tenham por propósito realizar investigações semelhantes.

Palavras-chaves: Multiagente; Inteligência artificial; Âmbito internacional; EBSCO; ARS.

Abstract

Objective: To investigate the profile, behavior, and trends of international scientific research on the multi-agent theme of artificial intelligence from the perspective of social network analysis.

Methodology: 45 sociometric studies were used, based on the EBSCO database. Indicators originating from sociometry were used, which work with the structural particularities and

formations of the cooperation networks of the social actors involved in the creation and composition of scientific knowledge.

Originality/Relevance: The topic of Artificial Intelligence has been intensively studied in academic and executive literature. This study presents its originality and relevance, mainly due to the methodology used.

Main results: The main findings are: 2022, 2024, 2007, 2021, and 2018 were the most central periods; AI Communications, Journal of Network and Computer Applications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, International Journal of Parallel Programming, and Computers in Industry were the most central journals; Stefano V. Albrecht, Haihua Zhu, Dunbing Tang, Tong Zhou, Samir Aknine, and Suzanne Pinson were the most central authors; Paris Dauphine University, the University of Oxford, and Pennsylvania State University were the most central institutions; the United Kingdom, China, the USA, Canada, Saudi Arabia, the United Arab Emirates, and Australia were the most central countries; reinforcement learning, artificial intelligence, multi-agent system, distributed artificial intelligence, intelligent agents, multi-agent systems, proximal policy optimization, multi-agent systems, swarm intelligence, and smart manufacturing were the most central keywords. Regarding the networks of authors, institutions, and countries, all had low density measurements, impacting the flow and exchange of information and knowledge about the subject matter of the investigation in the international scientific literature.

Theoretical and methodological contributions: This study contributes by highlighting the contemporary relevance of the multi-agent artificial intelligence theme, from a sociometric perspective and in light of the EBSCO database, contributing to the emergence of future research and, consequently, to the growth, development, and maturation of this theme within the academic field.

Social and executive contributions: Although this study has an essentially academic orientation, the generated content can contribute to organizations and societies that aim to conduct similar investigations.

Keywords: Multiagent; Artificial intelligence; International scope; EBSCO; SNA.

Resumen

Objetivo: Investigar el perfil, el comportamiento y las tendencias de la investigación científica internacional sobre el tema multiagente de la inteligencia artificial desde la perspectiva del análisis de redes sociales.

Metodología: Se utilizaron 45 estudios sociométricos basados en la base de datos EBSCO. Se emplearon indicadores sociométricos que analizan las particularidades estructurales y la formación de las redes de cooperación de los actores sociales involucrados en la creación y composición del conocimiento científico.

Originalidad/Relevancia: El tema de la Inteligencia Artificial ha sido ampliamente estudiado en la literatura académica y ejecutiva. Este estudio presenta su originalidad y relevancia, principalmente debido a la metodología utilizada.

Resultados principales: Los principales hallazgos son: 2022, 2024, 2007, 2021 y 2018 fueron los períodos más importantes; AI Communications, Journal of Network and Computer

Applications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, International Journal of Parallel Programming y Computers in Industry fueron las revistas más importantes. Stefano V. Albrecht, Haihua Zhu, Dunbing Tang, Tong Zhou, Samir Aknine y Suzanne Pinson fueron los autores más importantes; la Universidad Paris Dauphine, la Universidad de Oxford y la Universidad Estatal de Pensilvania fueron las instituciones más importantes; el Reino Unido, China, los EE. UU., Canadá, Arabia Saudita, los Emiratos Árabes Unidos y Australia fueron los países más importantes; el aprendizaje por refuerzo, la inteligencia artificial, el sistema multiagente, la inteligencia artificial distribuida, los agentes inteligentes, los sistemas multiagente, la optimización proximal de políticas, los sistemas multiagente, la inteligencia de enjambre y la fabricación inteligente fueron las palabras clave más importantes. En cuanto a las redes de autores, instituciones y países, todas presentaron mediciones de baja densidad, lo que afectó el flujo e intercambio de información y conocimiento sobre el tema de la investigación en la literatura científica internacional.

Contribuciones teóricas y metodológicas: Este estudio destaca la relevancia actual del tema de la inteligencia artificial multiagente, desde una perspectiva sociométrica y a la luz de la base de datos EBSCO, contribuyendo así al surgimiento de futuras investigaciones y, en consecuencia, al crecimiento, desarrollo y consolidación de este tema en el ámbito académico.

Contribuciones sociales y ejecutivas: Si bien este estudio tiene una orientación esencialmente académica, el contenido generado puede ser útil para organizaciones y sociedades que buscan realizar investigaciones similares.

Palabras clave: Multiagente; Inteligencia artificial; Ámbito internacional; EBSCO; ARS.

1 Introdução

A Inteligência Artificial (IA) emergiu como uma área do conhecimento que está substituindo e rompendo as tecnologias, levando a mudanças na vida humana. Os Sistemas Multiagentes (SMAs) surgiram como uma área de pesquisa científica a partir dos esforços de estudos anteriores com enfoque na IA, iniciados na década de 1980. Deste modo, o referido sistema tem sido amplamente aplicado em sistemas inteligentes distribuídos para aprimorar a inteligência do sistema. Como também, para promover a responsabilização e interações confiáveis, pesquisas recentes defendem o uso da tecnologia *blockchain* para SMAs. Posto isto, versa-se que a simulação baseada em agentes, é uma ferramenta útil para explorar sistemas inteligentes complexos, e geralmente são aplicados para descrever a operação de entidades reais, representando comportamentos de interação de SMAs (Li, Shao, Ye, Xu & Huang, 2020; Li, Pu, Rong, Xiao & Zhao, 2022; Hernández, Urdaneta & Carayannis, 2023).

Assim sendo, os SMAs é uma área central da IA, ou seja, um ramo da IA que vem ganhando popularidade devido à sua capacidade de abordar problemas complexos do mundo

real. Em vista disso, salienta-se que um Sistema Multiagente de IA (SMAIA) é composto por múltiplos agentes inteligentes que se conectam entre si e com seu ambiente. Em outras palavras, um sistema multiagente é um sistema composto por diversos agentes autônomos que podem perceber seu ambiente, tomar decisões e interagir com outros agentes para atingir seus objetivos individuais e coletivos (Kampouridis, Kanellopoulosm, Kyropoulou, Melissourgos & Voudouris, 2022; Zekhnini, Benabdellah & Cherrafi, 2024).

Logo, coloca-se em realce a importância da comunicação, da cooperação e da autonomia dos agentes em Sistema Multiagente (SMA). Dito isto, versa-se que o desenvolvimento de agentes autônomos que podem interagir com outros agentes para realizar uma determinada tarefa é uma área central de pesquisa em IA (Ahmed *et al.*, 2022; Zekhnini, Benabdellah & Cherrafi, 2024). Assim, tem-se uma confiabilidade do uso de IA, pois soluções baseadas em agentes demonstram um alto nível de confiança ciberfísica devido à sua autonomia. Diante do exposto, evidencia-se que Multiagente de IA (MAIA) cria sociedades artificiais povoadas por agentes psicologicamente realistas, complexos e emocionalmente motivados (O'Lone, Gantley, Lane & Shults, 2024).

Estes agentes nem sempre agem com interesse próprio racional, pois, eles são programados com algoritmos projetados para imitar a cognição humana evoluída, como a tendência a detectar forças intencionais e a proteger coalizões rituais diante de ameaças percebidas. Então, o realismo psicológico dos modelos de MAIA é extraordinariamente promissor para a formulação de políticas e pode fornecer aos tomadores de decisão o poder explicativo e os *insights* preditivos necessários para lidar com alguns dos problemas mais urgentes da nossa era, como ameaças ambientais ao comportamento social humano e a resolução de conflitos intergrupais (O'Lone, Gantley, Lane & Shults, 2024).

Em decorrência disso, o MAIA vem ganhando significativa atenção nas empresas e na academia, pois abre novas oportunidades para diversas áreas (He, Cui, Dai & Jiang, 2022). No que compete as empresas, a tecnologia multiagente é usada para asseverar a integração dos processos empresariais em distintos graus de gestão, harmonizando a integração horizontal e vertical. Então, a utilização da tecnologia multiagente aperfeiçoa a adaptabilidade,

confiabilidade e escalabilidade da organização, garantindo uma comunicação fluente entre os sistemas digitais e físicos da empresa (Telnov, Kazakov, Danilov & Fiodorov, 2024).

Portanto, o MAIA permite a reestruturação rápida dos processos produtivos, melhorando a eficiência e a adaptabilidade das organizações em ambientes de mercado competitivos. Isto posto, coloca-se em distinção a IA, pois a autonomia da IA, que pressupõe a disponibilização de adaptabilidade, reconfiguração, monitorização e conclusões do SMA, permitindo assim responder rapidamente a mudanças imprevistas de mercado, influenciando nas tomadas de decisões nas empresas (Telnov *et al.*, 2024). Diante do exposto, manifesta-se que o tema SMA vem ganhando destaque nos últimos anos na academia em pesquisas com foco na IA, sobretudo, enfocando a modelagem baseada em agentes, que é um cenário em evolução na IA, no âmbito global (Gao & Ding, 2022; Ionescu, Delcea & Chirită & Nica, 2024).

Perante o exposto, vislumbra-se a pesquisa bibliométrica de Liang, Luo, Hu e Li (2022) que exploraram as fronteiras do conhecimento e a evolução na pesquisa sobre tomada de decisão com base no SMAIA. Os mencionados autores constataram que as palavras-chave e tópicos de pesquisa se desenvolvem rapidamente; pesquisas recentes têm dado mais atenção às palavras-chave "modelo", "sistema" e "simulação" e aos tópicos "aprendizagem", "contratos", "protocolos" e "autoaprendizagem". Os três principais grupos de pesquisa foram: agentes inteligentes, validação de modelos e tomada de decisão colaborativa. Por fim, as pesquisas mais recentes neste campo são investigadas e quatro direções futuras de pesquisa são propostas: inteligência avançada de agentes, abordagem da realidade, tomada de decisão em grupo, metodologias de modelagem inovadoras e aplicações diversificadas (Liang *et al.*, 2022).

Isto posto, ressalta-se que a análise bibliométrica é uma ferramenta quantitativa que avalia a produção científica de pesquisas acadêmicas, como também, seus impactos e inter-relações dentro de uma determinada área do conhecimento (Ribeiro, 2024b; Savadatti, Srinivasan & Hu, 2025). Contudo, quando existe a associação dos métodos de bibliometria com a Análise de Redes Sociais (ARS), contribui para o surgimento de resultados com melhor interpretação, particularmente mediante a inspeção visual que a ARS proporciona (Sampaio, Sacerdote, Fonseca & Fernandes, 2015). Assim sendo, a ARS ou sociometria, tem o propósito de investigar o perfil, o comportamento e as tendências, como também de compreender a

estrutura e a formação da pesquisa científica, ou seja, as relações de produção científica intelectual dos atores envolvidos no processo de construção do conhecimento científico de distintos temas acadêmicos (Dias, Silva, França, Souza & Silva, 2018; Urbizagástegui-Alvarado, 2022; Ribeiro, 2023; Cui & Dong, 2025), como no caso da MAIA.

Posto isto, realça-se e reforça-se que a IA emergiu como um campo do conhecimento que varreu ou deslocou constelações de tecnologias, e sua disrupção está gerando turbulência em termos de mudanças radicais em todos os níveis da vida humana. Portanto, a evolução deste ramo do conhecimento está se expandindo rapidamente para outros campos onde agentes autônomos atuam, por exemplo, em Sistemas Multiagentes. Desta maneira, afirma-se que conhecer o crescimento sustentado de uma área do conhecimento como a IA a partir de estudos métricos pode ajudar a entender e, por consequência, compreender como as relações e ramificações que a IA está gerando mediante outras áreas, especialmente no tocante aos SMA (Hernández, Urdaneta & Carayannis, 2023; Hernández, Urdaneta & Schiappa-Pietra, 2023).

Diante disso, este artigo científico faz emergir a questão de pesquisa que fundamentou e norteou este estudo, que foi: Qual o perfil, o comportamento e a tendência da pesquisa científica internacional do tema multiagente de inteligência artificial sob a perspectiva da análise de redes sociais? Logo, o objetivo deste estudo foi: Investigar o perfil, o comportamento e a tendência da pesquisa científica internacional do tema multiagente de inteligência artificial sob a perspectiva da análise de redes sociais.

Reitera-se realizar esta pesquisa enfocando o tema multiagente de inteligência artificial em razão dos SMAIA ganharem relevância no campo da IA e, logo, por oferecer ferramentas para modelar ambientes complexos onde agentes autônomos interagem para atingir objetivos comuns ou individuais, promovendo a cooperação, coordenação e a resolução de conflitos (Cordova, Taverner, Del Val & Argente, 2024). Também, reforça-se o uso predominante da ARS neste artigo científico em razão desta ser um método de pesquisa que fornece uma visão única sobre a análise científica sobre redes, em decorrência de que a ARS pode analisar as relações dinâmicas entre os atores, o desenvolvimento evolutivo dos estudos acadêmicos e a complexidade dos grupos de pesquisa (Chen, Zhang, Lau, Wang, Wang & Zhang, 2023; Xiao, Si & Guo, 2024).

Para se conseguir encontrar a produção científica internacional do tema MAIA, optou-se por utilizar a base de dados EBSCO em virtude de esta ser conhecida por incluir artigos científicos de uma gama mais ampla de campos do conhecimento em comparação com outros bancos de dados, como por exemplo o *Web of Science*. Salienta-se também que, a EBSCO é uma base de dados que tem uma interface *online* por meio da qual se pode ter acesso a outros dados públicos, bancos de dados e faculdades, universidades, bibliotecas, escolas, agências e corporações privadas. Complementa-se ao afirmar que a EBSCO tem uma abrangência na academia desde 1933, possuindo indexado cerca de 2.200 periódicos. Logo, a EBSCO é considerada um banco de dados legitimado e relevante para a literatura acadêmica global (Reis, Mattedi & Barrios, 2017; Eichler & Schwarz, 2019; McLellan & Steele, 2022; Ribeiro & Corrêa, 2023; Reis & Barrios, 2024).

Ressalta-se que já existe na literatura científica mundial uma pesquisa publicada (Liang *et al.*, 2022) que é análoga a este atual trabalho científico, entretanto, não similar a questão e ao objetivo que este presente artigo científico se contempla a realizar, logo, pela primeira vez e até nos dias de hoje, este corrente estudo, traz em seu bojo o tema MAIA, investigado em uma pesquisa com foco na produção científica de pesquisas acadêmicas internacionais divulgadas em revistas acadêmicas sob a perspectiva da base de dados EBSCO e à luz preponderante da ARS. Portanto, manifesta-se aqui a relevância deste estudo acadêmico que se fundamenta e se norteia em seu ineditismo, e, por conseguinte, traz dados, informações e conhecimentos em contemporâneos para a academia. Consequentemente, este artigo científico contribuirá para que mais pesquisas sobre a produção acadêmica do tema MAIA possam ser geradas e, sincronicamente, publicadas na academia, contribuindo, de forma simultânea, para seu melhor entendimento e, posterior maior compreensão, influenciando, concomitantemente, para seu crescimento, desenvolvimento e amadurecimento na literatura científica global.

2 Multiagente e inteligência artificial

Com o rápido desenvolvimento da *big data*, da ciência da computação, da computação em nuvem, da *internet* das coisas e de outras tecnologias, o termo IA tem aparecido cada vez e com mais frequência, se integrando gradualmente a todos os aspectos da vida. Carros com piloto

automático, passagens compradas por reconhecimento facial, alto falantes com IA e robôs autônomos que escrevem poesia podem ser vistos em todos os lugares do nosso cotidiano. Pesquisas sobre colaboração na área de IA podem revelar a natureza temática da IA. Estes estudos podem ajudar a entender, e, por conta disso, compreender, as tendências de desenvolvimento na área e a explorar os principais países, instituições e autores participantes em relação à pesquisa de ponta na área de IA, ao mesmo tempo em que identificam os principais grupos de colaboração e os principais padrões de colaboração (Hu, Wang & Deng, 2020).

Diante disso, ressalta-se que o SMA tem sua origem na IA, e, logo é considerado um tópico central de pesquisa em IA, pois são capazes de resolver problemas complexos por meio de aprendizagem distribuída permitindo interações entre agentes, incluindo cooperação, coordenação e negociação. Portanto, a SMA pode modelar e simular com eficácia problemas complexos da vida real em diversas áreas de aplicação, bem como na implementação de aplicações industriais. Assim, um SMA é um conjunto de agentes que interagem para atingir um objetivo global do sistema que está além das capacidades individuais do agente, onde cada agente é um componente de *software* autônomo com seu conhecimento local do ambiente e capacidades de aprendizagem. Isto dito, salienta-se que estes agentes exibem comportamento deliberativo e cognitivo semelhante ao humano, caracterizado por raciocínio proativo (Drakaki, Karnavas, Karlis, Chasiotis & Tzionas, 2019).

Melhor dizendo, um SMA é uma coleção de agentes que trabalham juntos para atingir um objetivo compartilhado pela comunidade. Assim, o SMA é projetado para lidar com um problema complexo envolvendo controle de dados distribuídos, conhecido por um determinado mecanismo de interação. Assim, a metodologia de modelagem baseada em agentes baseia-se em uma população de entidades autônomas, denominadas agentes, que se comportam de acordo com regras e interagem com outros agentes. Os agentes e suas propriedades possuem um mapeamento conveniente a partir das empresas nos sistemas do mundo real. Assim, modelos baseados em agentes podem ser desenvolvidos não apenas para simular tarefas ambientais, ações individuais e configurações organizacionais, mas também para fornecer um meio natural para descrever sistemas complexos (Li, Pu, Rong, Xiao & Zhao, 2022).

À face do exposto, realça-se e reforça-se que um SMA consiste em múltiplos agentes de tomada de decisão que podem ser sistemas de IA baseados em *software*, robôs fisicamente incorporados ou humanos que devem interagir em um ambiente compartilhado em busca de seus objetivos. A pesquisa em SMA abrange uma gama de problemas técnicos, como: projetar algoritmos de planejamento e aprendizagem que permitam aos agentes atingir seus objetivos; projetar SMA para incentivar certos comportamentos em agentes; a informação é comunicada e propagada entre agentes; e normas, convenções e papéis podem surgir em SMA. Uma vasta gama de aplicações tem sido abordada usando metodologias multiagentes, incluindo direção autônoma, fábricas multi-robôs, negociação automatizada, jogos comerciais, tutoria automatizada e equipes de resgate robótico (Albrecht & Wooldridge, 2022).

Em relação a comunicação no SMA, ressalta-se que trocas de mensagens entre agentes existem em todos os SMAs, sendo que esta de comunicação é necessária para efetuar a interação, coordenação, cooperação e negociação entre os agentes. De acordo com o *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA), cada mensagem enviada ou recebida por um agente é vista como um ato comunicativo, e existe uma extensa biblioteca de tais atos. Quando ocorre o envio de dois ou mais atos comunicativos entre dois ou mais agentes, se diz que há uma conversa. Conversas entre agentes geralmente apresentam padrões típicos que diferem entre si. Esses padrões são determinados pelas sequências que se espera que os atos de comunicação sigam. O FIPA define esses padrões de troca como protocolos de interação específicos. Cada protocolo de interação possui um conjunto de atributos, a saber: papéis dos agentes, propósito da conversa e uma determinada sequência de atos de fala (Terán, Aguilar & Cerrada, 2017).

Com base nesses atributos, existem quatro tipos de interação em um SMA, que enquadram a maior parte das interações relatadas pelo FIPA, o que, por sua vez, permite a generalização das conversas que podem ocorrer em qualquer SMA, essas interações são: consultar - um agente procura qualquer informação que possa ser armazenada em um banco de dados, repositórios, *warehouse* e internet; atribuir - por meio dessa interação, um agente ordena a execução de tarefas a outros agentes; informar - um agente pode informar outros agentes sobre a ocorrência de um determinado evento ou apenas informações processadas; e solicitar - um

agente demanda um serviço. Exemplificando, na primeira interação, o agente 1 solicita ao agente 2 a avaliação de desempenho de uma certa atividade. Posteriormente, o agente 2 solicita ao agente 3 a localização dos dados necessários para a execução da tarefa. Na interação seguinte, o agente 2 atribui uma tarefa ao agente 4 e, por fim, o agente 1 relata os resultados. Então, uma comunicação em qualquer SMA pode ser caracterizada por esses quatro tipos de interações, independentemente das tarefas e objetivos a serem alcançados (Terán, Aguilar & Cerrada, 2017).

Ressalta-se que a aprendizagem por reforço multiagente que é um ramo novo e promissor da teoria de aprendizado de máquina. Ela treina vários agentes em um ambiente compartilhado para concluir uma tarefa. O referido treinamento é centralizado com uma execução descentralizada, permitindo que os agentes aprendam e desenvolvam funções de valor de ação individuais, de forma que a otimização no nível individual leve à otimização das funções de valor de ação conjunta (Kong, Zhou, Du, Zhou & Zhao, 2022; Schockaert & Peñaloza, 2022). Logo, a aprendizagem por reforço multiagente é estudada para modelar a tomada de decisão em SMA e pode ser realizada em um ambiente cooperativo, competitivo ou misto (Ghaemi, Jamshidi, Mashreghi, Ahmadabadi & Kebriaei, 2024). Em outros termos, no ambiente cooperativo, todos os agentes colaboram para maximizar um retorno comum a longo prazo. Em cenários competitivos, o retorno de todos os agentes soma zero. No contexto misto, se combinam as características mencionadas, apresentando uma recompensa de soma geral. Por fim, pode-se compreender que a aprendizagem por reforço multiagente pode ser a resposta para a concretização de SMA inteligentes capazes de aprender a cooperar para maximizar sua eficiência (Canese, Cardarilli, Nunzio, Fazzolari, Giardino, Re & Spanò, 2021).

3 Procedimentos metodológicos

O objetivo deste estudo foi investigar o perfil, o comportamento e a tendência da pesquisa científica internacional do tema multiagente de inteligência artificial sob a perspectiva da análise de redes sociais. Para tanto, enfatiza-se que, a primeira etapa da pesquisa foi utilizar a investigação bibliométrica do universo pesquisado para se conseguir definir as redes dos atores (períodos, periódicos, autores, instituições, países e palavras-chave) que é método de

pesquisa predominante nesta pesquisa, que é a ARS, ou seja, a sociometria (Sampaio *et al.*, 2015; Ribeiro, 2024b).

Ressalta-se que a sociometria foi desenvolvida por Jacob Levy Moreno, em 1934 e também é conhecida como ARS, pois busca descobrir de quem os atores se relacionam. Logo, a sociometria estuda a evolução e organização dos grupos sociais e a posição de cada ator no grupo, enfocando as interações sociais entre os atores. Assim sendo, a sociometria ou ARS permite identificar o grau em que os atores são aceitos, como por exemplo, em um grupo de pesquisa, e, logo, se investigar a estrutura e a formação destes grupos de estudo e, por conseguinte, as conexões existentes entre os atores, como os autores (Ferreira & Silva, 2019; Ribeiro, 2020).

Salienta-se também que a ARS pode ser formada pelas redes *one-mode* (um modo) e pelas redes *two-mode* (dois modos). Melhor dizendo, as redes sociais de dois modos compreendem as interações entre dois conjuntos disjuntos de atores, pois, o termo “modo” se relaciona com as categorias particulares dos atores. Deste jeito, as redes sociais de um modo se caracterizam quando atores de uma rede social têm vínculos com outros atores da mesma categoria, como por exemplo, as redes de coautoria. E a rede social de dois modos se distingue quando seus atores possuem conexões com atores de outras categorias, assim dizendo, de categorias diferentes. Desta maneira, a rede social de dois modos é entendida pela relação entre atores disjuntos em uma única rede social, isto é, como um único sistema social, como, por exemplo, as relações existentes entre autores e periódicos (dois conjuntos de atores dissemelhantes) em uma mesma rede social (Tomaél & Marteleto, 2013; Ribeiro, 2022).

Para permitir a ARS dos artigos científicos desta pesquisa, utilizou-se dos indicadores de ARS, que são originários da sociometria que trabalha com as particularidades estruturais e das formações das redes de cooperação dos atores sociais implicados na criação e na composição do conhecimento científico (Pessoa Araújo, Mendes, Gomes, Coelho, Vinícius & Brito, 2017; Ribeiro, 2024b). Logo, estes indicadores sociométricos, isto é, de ARS, permitem a investigação das configurações estruturais e de formação das redes sociais dos autores, das Instituições de Ensino Superior (IES), dos países, das palavras-chave, dentre outros (Ribeiro, 2024c).

Sendo que estas estruturas de rede e suas formações são analisadas por meio de componentes que constituem as redes sociais, que são: nós (atores), laços (relações entre os atores), díade (conexões compostas entre dois atores), tríade (conexões formadas por um conjunto de três atores), componentes gigantes (maior grupo da rede social), *small-world* ou mundos pequenos (grupos de atores com laços fortes), buracos estruturais ou lacunas estruturais (falhas na estrutura e na formação da rede social), densidade (número de relações existentes entre os atores) e a centralidade (atores com maior número de relações, parcerias) (Walter & Bach, 2013; Sampaio *et al.*, 2015; Köhler & Digiampietri, 2021; Ribeiro; Corrêa, 2023; Melo, Jesus & Musial, 2024).

Perante o exposto, salienta-se que a densidade é uma medida que enfoca a intensidade de coesão interna da rede social. Desta forma, quando existe uma interação direta entre todos os atores da rede social, esta rede social é denominada como uma rede social completa. Considerando isso, define-se a densidade de uma rede social pelo quociente entre o total de conexões existentes na rede social e o número máximo possível de vínculos para a rede social (o que é equivalente a manifestar que é uma rede social completa). Vislumbra-se que, a densidade de uma rede social varia de 0 (zero), significando que todos os atores da rede social estão desconectados, e a 1 (um), correspondendo a dizer que é uma rede social com todos os seus atores conectados. Acrescenta-se a afirmar que, a densidade mostra que quanto mais densa é a rede social mais próxima de 1 será sua mensuração, então, mais harmonizados serão os atores, e, uma rede social com baixa densidade é aferida com um valor inferior a 0,2, assinalando que é uma rede social dispersa e com baixa coesão interna (Williams dos Santos & Farias Filho, 2016; Grácio, 2018).

Agora, no tocante as medidas de centralidades, colocam-se em realce a centralidade de grau que também é denominada de *degree* e a centralidade de intermediação que também é conhecida como *betweenness*. Estas medidas estão entre as mais frequentemente utilizadas por pesquisadores em pesquisas com enfoque na ARS. A centralidade de grau manifesta o número de relações (parcerias) que um ator possui com os demais atores da rede social, propiciando assim especificar a posição estrutural do ator em relação aos outros atores da rede social, portanto, quanto maior for a medição da centralidade de grau, maior será a centralidade do ator.

Já a *betweenness* contempla o número de caminhos mais curtos entre quaisquer outros dois atores, por exemplo “ator a” e “ator b”, que passam pelo “ator c”. Deste modo, a centralidade de intermediação externaliza o cálculo da capacidade do ator de intermediar o fluxo e a troca de informação, comunicação e conhecimento entre os atores da rede social. Acresce-se ao informar que, tanto o *degree*, quanto o *betweenness* são representados em percentual nas redes sociais dos atores (Grácio, 2018; Favaretto & Francisco, 2017; Facin, Barbosa, Matsumoto, Cruz & Salerno, 2022; Ribeiro, 2024b).

3.1 Procedimentos de coleta e análise dos dados

O universo deste estudo colocou em destaque os artigos científicos publicados nos periódicos indexados na base de dados EBSCO. Reforça-se a escolha da EBSCO como banco de dados único desta pesquisa em razão de ser uma plataforma de dados que permite aos usuários pesquisar material científico importante ao seu tópico acessando diversas fontes, utilizando opções de pesquisa avançada e empregando operadores *booleanos* para resultados mais precisos em diversas áreas do conhecimento, como no caso do campo do saber da Computação (Ebsco Database, 2025).

O processo de seleção da amostra dos artigos científicos ocorreu da seguinte maneira: a) escolha das palavras-chave aplicadas no filtro de busca da base de dados EBSCO; b) coleta dos dados na plataforma de dados EBSCO; c) procura pelas palavras-chave nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos científicos; d) definição da amostra, mediante a leitura dos títulos e/ou resumos de cada artigo científico. No sistema de dados EBSCO, por meio do operador booleano “AND” (Rungo, Madio & Grácio, 2023), colocou-se um filtro com as palavras-chave “*Multi-agent*” AND “*Artificial intelligence*”.

Essas palavras-chave foram procuradas no título, resumo e palavras-chave de cada artigo científico, de maneira simultânea, permitindo, assim, que todos os artigos científicos sobre o tema objeto de investigação desta pesquisa fossem identificados e relacionados. Se faz um acréscimo ao dizer que, a escolha dos artigos científicos sobre o tema objeto de estudo, também foram condicionados pelo critério de que os mencionados estudos deveriam estar disponíveis de maneira integral, melhor dizendo, em sua integralidade, propiciando e

viabilizando assim o *download* das pesquisas completas sobre o assunto MAIA no sistema de dados EBSCO. Tal ação ajudou na identificação dos 45 artigos científicos sobre a temática MAIA no âmbito científico internacional sob a perspectiva dos periódicos indexados na base de dados EBSCO.

Vislumbra-se que, o período de início e término da procura e posterior tabulação dos dados dos artigos científicos ocorreu entre as datas de 06/04/2025 e 09/04/2025. Como dito antes, e, por conseguinte, a amostra reportou 45 artigos científicos, em um recorte temporal entre os anos de 1993 a 2025, totalizando 33 anos. Salienta-se que, a referida temporalidade foi condicionada aos trabalhos acadêmicos que foram sendo encontrados no sistema de dados EBSCO, ou seja, o primeiro artigo científico sobre o tema MAIA somente foi encontrado no ano de 1993 e sua última publicação ocorreu no ano de 2025, mais particularmente em 09/04/2025. Contempla-se ademais que, a aferição dos indicadores de ARS, isto é, sociométricos, como também a criação das matrizes simétricas (redes *one-mode*) e a criação das matrizes assimétricas (redes *two-mode*) das redes sociais dos atores, e, suas respectivas visualizações gráficas se deram nas datas de início 10/04/2025 e término 15/04/2025.

Por fim, os dados e as informações dos indicadores de ARS foram mensurado mediante o *software UCINET* e a visualização gráfica das redes sociais foi realizada por meio do *software NetDraw*. Evidencia-se também que as análises dos 45 artigos científicos foram efetuadas atendendo aos indicadores de ARS (sociométricos), que foram: (i) rede de dois modos dos períodos e dos autores; (ii) rede de dois modos dos periódicos e dos autores; (iii) redes de coautoria; (iv) redes das IES; (v) redes dos países; e (vi) redes das palavras-chave. Ainda se ressalta que foi criada a Figura 1, que mostra o passo a passo do percurso metodológico deste artigo científico.

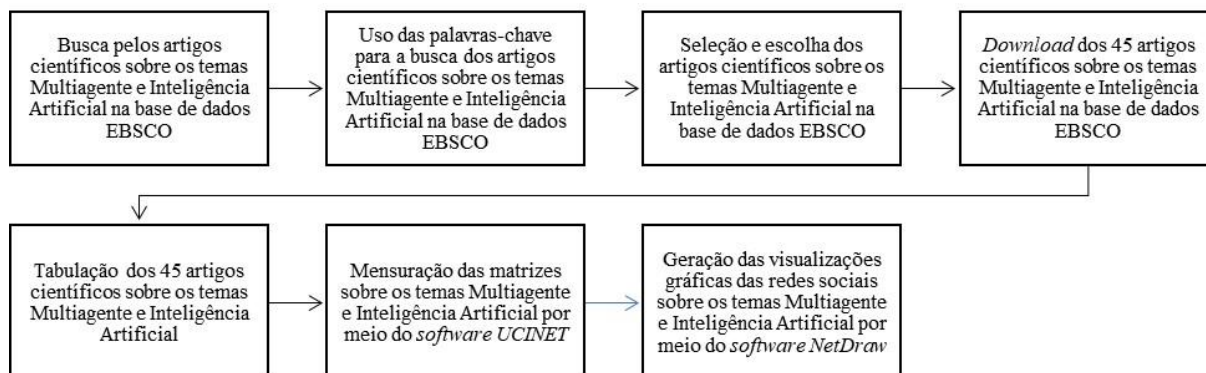


Figura 1: Percurso metodológico

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4 Análise e discussão dos resultados

Esta seção vislumbra a análise e a discussão dos resultados dos 45 artigos científicos sobre o tema multiagente de inteligência artificial à luz da base de dados EBSCO e sob a perspectiva da análise de redes sociais.

4.1 Rede de dois modos dos períodos e dos autores

A Figura 2 coloca em distinção a rede de dois modos dos 23 períodos e dos 165 autores em conjunto. Salienta-se que, a centralidade de grau foi a medida usada para colocar em realce os períodos mais centrais, sob a óptica dos autores.

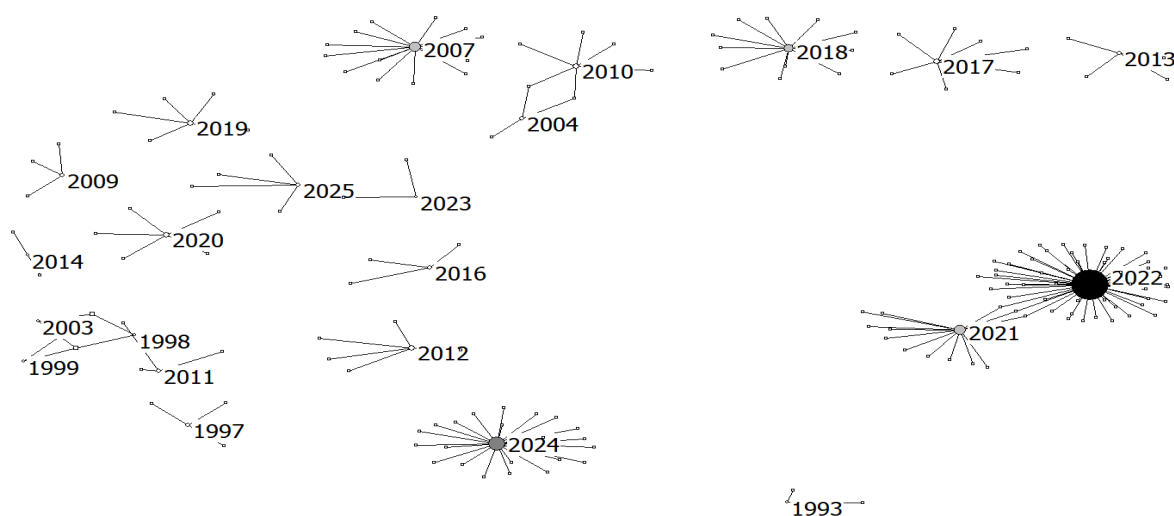


Figura 2: Rede de dois modos dos períodos e dos autores

Deste jeito, os períodos que ficaram em evidência à luz dos pesquisadores foram: 2022, 2024, 2007, 2021 e 2018. De maneira geral, é observado que o tema MAIA influenciou um número maior de estudiosos publicando-o de maneira mais intensa nos últimos cinco anos, equivalendo ao estado da arte da pesquisa sobre o assunto MAIA na literatura científica global. Tal fato pode revelar uma tendência de crescimento, desenvolvimento e, posterior maturação da temática MAIA no contexto internacional sob a óptica dos periódicos indexados na base de dados EBSCO.

Essa aptidão de evolução, aperfeiçoamento e amadurecimento a posteriori do tema MAIA no âmbito científico global pode ser em decorrência de que o tema MAIA vem ganhando expressiva atenção nas organizações, e, por conta disso e de maneira síncrona, vem alcançando destaque no âmbito acadêmico em diversas áreas do saber. Então, pode-se entender e, simultaneamente compreender que, a temática MAIA vem ganhando e transpondo fronteiras da ciência e sua evolução na pesquisa científica pode impactar, concomitantemente, em seu desenvolvimento e maturação nas organizações como uma ferramenta tecnológica útil para tomada de decisões (Albrecht & Wooldridge, 2022; He *et al.*, 2022; Liang *et al.*, 2022; Telnov *et al.*, 2024).

4.2 Rede de dois modos dos periódicos e dos autores

A Figura 3 detecta a rede de dois modos dos 33 periódicos e dos 165 autores em conjunto. Ressalta-se que a medida de centralidade de grau foi utilizada para colocar em destaque os periódicos mais centrais, à luz dos autores.

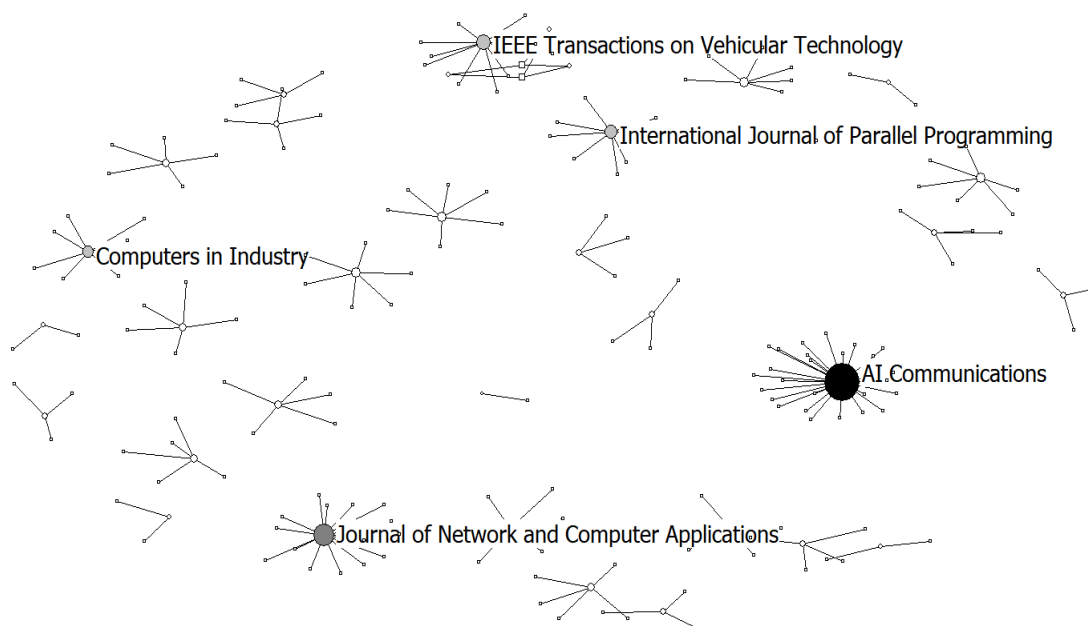


Figura 3: Rede de dois modos dos periódicos e dos autores

Sendo assim, os periódicos que ficaram em realce em razão de suas respectivas centralidades, foram: *AI Communications*, *Journal of Network and Computer Applications*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *International Journal of Parallel Programming* e *Computers in Industry*. De maneira macro, os autores que pesquisam e divulgam estudos com foco no tema MAIA, para este artigo científico, desejam publicar seus respectivos achados e contribuições em periódicos relacionados ao campo do conhecimento da Computação (Liang *et al.*, 2022).

Destes periódicos coloca-se em maior eminência *AI Communications* que é uma revista científica parceira oficial da *European Association for Artificial Intelligence* (EurAI), ou seja, da Associação Europeia para a Inteligência Artificial. *AI Communications* deixa evidente pelos seus estudos publicados, não só a excelência da investigação em IA na Europa, mas também a sua abrangência, incorporando tópicos como: aprendizagem de máquina, processamento de linguagem natural, visão computacional e representação e raciocínio do conhecimento. Aqui se faz um adendo ao evidenciar que aprendizagem por reforço multiagente é um novo ramo do tema aprendizagem de máquina. Então, um dos objetivos da *AI Communications* é apresentar

o melhor da investigação relacionada com IA na Europa e no mundo (Kong *et al.*, 2022; Schockaert & Peñaloza, 2022).

4.3 Redes de coautoria

A Figura 4 visualiza as redes de coautoria que foram formadas por 165 nós e por 770 laços. Enfatiza-se que, a centralidade de intermediação foi a medida usada para colocar em distinção os pesquisadores mais centrais.

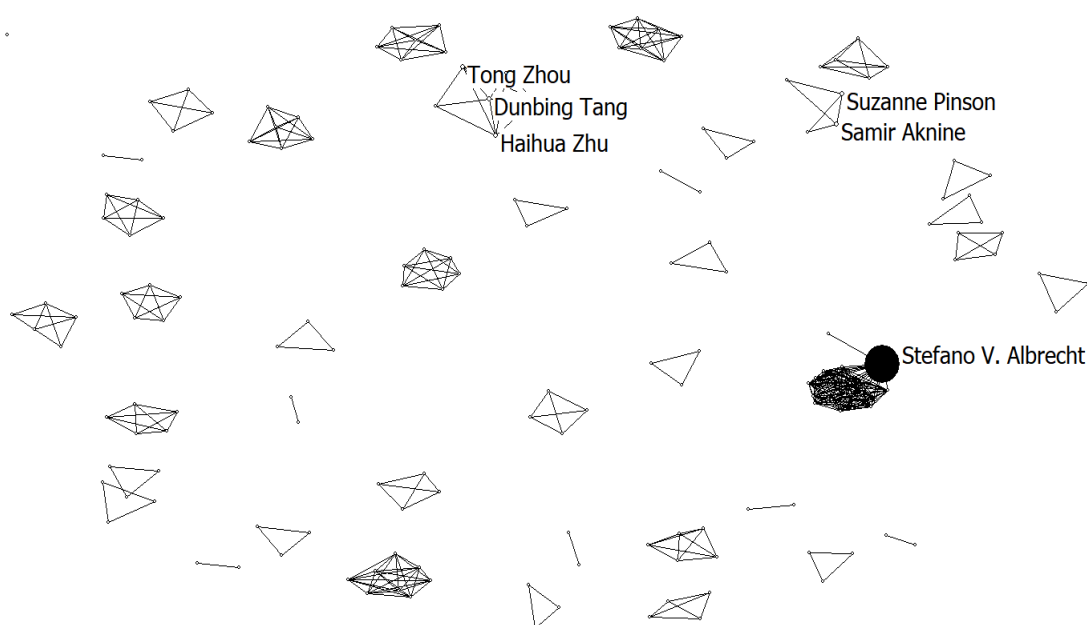


Figura 4: Redes de coautoria

Portanto, os autores mais centrais, por ordem decrescente de influência, foram: Stefano V. Albrecht, Haihua Zhu, Dunbing Tang, Tong Zhou, Samir Aknine e Suzanne Pinson. Logo, estes seis pesquisadores são os mais relevantes e estratégicos, pois servem de “ponte” e “caminho” (Favaretto & Francisco, 2017; Ribeiro, 2024b), para intermediar o fluxo informacional e a troca de conhecimentos (Dias *et al.*, 2018; Ribeiro, 2023), sobre o tema MAIA no contexto científico internacional, sob a óptica das revistas científicas indexadas no sistema de dados EBSCO.

Ainda observando a Figura 4, contempla-se que os relacionamentos mais dominantes entre os autores foram realizados por meio das díades e das tríades, além de ser constatado também que existiram grupos de estudo maiores, que foram compostos por quatro ou mais pesquisadores cada, influenciando diretamente na centralidade dos autores em ênfase nesta pesquisa, e que existiu apenas um estudioso que publicou acerca do tema eixo desta pesquisa sozinho, logo, as redes de coautoria deste estudo podem ser consideradas rede sociais multirelacionais, pois existem mais de um tipo de laço, em outros termos, mais de uma forma de interação entre os autores (Melo, Jesus & Musial, 2024). No tocante a relação entre os autores, a parceria que mais existiu ocorreu entre os pesquisadores: Rahul Bhaskar e Parag C. Pendharkar, que publicaram três pesquisas sobre o tema MAIA.

Ainda analisando as redes de coautoria da Figura 4, evidencia-se que sua densidade foi calculada em 0.0289, significando que apenas 2,89% dos 165 autores interagiram efetivamente entre si. Portanto, pode-se considerar que a referida rede social dos autores deste artigo científico tem baixa densidade, intervindo diretamente no surgimento de uma rede de colaboração dispersa, impactando com isso no aparecimento dos buracos estruturais, condicionando no surgimento dos chamados mundos pequenos, e, conseqüentemente, em laços fracos entre os autores, incorrendo assim em uma baixa coesão interna, influenciando sincronicamente na fluidez e na harmonização do fluxo e na troca de comunicação, conhecimento e informação do tema objeto de análise desta investigação (Williams dos Santos & Farias Filho, 2016; Favaretto & Francisco, 2017; Ribeiro, 2024a).

4.4 Redes das IES

A Figura 5 faz emergir as redes das IES que foram compostas por 78 nós e por 124 laços. Evidencia-se que, a medida de centralidade de intermediação foi utilizada para colocar em relevo as IES mais centrais.

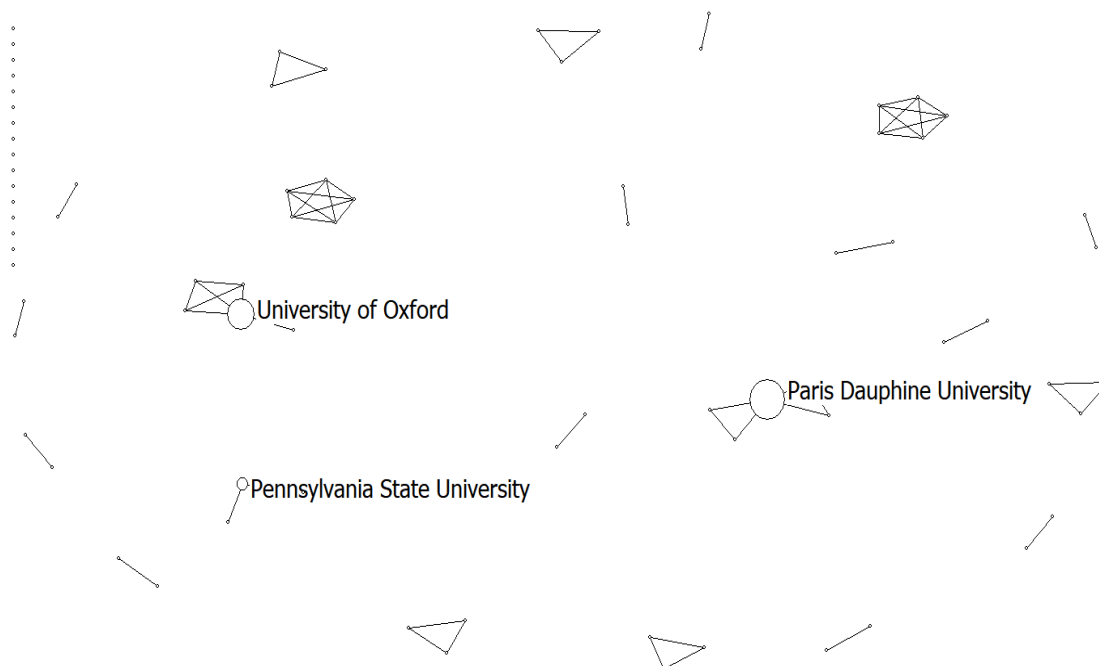


Figura 5: Redes das IES

Perante o dito, as IES mais centrais, por ordem decrescente de importância, foram: Paris Dauphine University, University of Oxford e Pennsylvania State University, originárias da França, Reino Unido, mas especificamente da Inglaterra e Estados Unidos da América (EUA) respectivamente. Então, pode-se afirmar, para este estudo, que estas IES são as mais influentes e proeminentes no que compete a intermediar o fluxo informacional e a troca de conhecimentos e de saberes (Favaretto & Francisco, 2017; Grácio, 2018; Ribeiro, 2023) acerca do tema MAIA na literatura acadêmica internacional, sob a óptica das revistas científicas relacionadas no banco de dados EBSCO.

Ainda investigando a Figura 5, ressalta-se que sua densidade foi mensurada com um valor de 0.0206, correspondendo a 2,06% das relações efetivamente realizadas entre as 78 IES identificadas nesta pesquisa. Este resultado vai ao encontro do que foi constatado nas redes de coautoria deste estudo, e, que, portanto, a conclusão também é análoga, uma vez que, a rede social das IES tem baixa densidade, e isso impacta diretamente em sua harmonia interna, e, de maneira síncrona, faz influenciar na fluidez do fluxo de informações e na troca de

conhecimentos, entre as IES deste estudo, acerca do tema eixo deste artigo científico (Williams dos Santos & Farias Filho, 2016; Favaretto & Francisco, 2017; Grácio, 2018; Ribeiro, 2024a), intervindo com isso em seu crescimento, desempenho e amadurecimento no âmbito científico internacional, sob a perspectiva das revistas acadêmicas organizadas no sistema de dados EBSCO.

4.5 Redes dos países

A Figura 6 evidencia as redes dos países que foram constituídas por 23 nós e por 44 laços. A centralidade de intermediação foi usada para colocar em foco os países mais centrais.

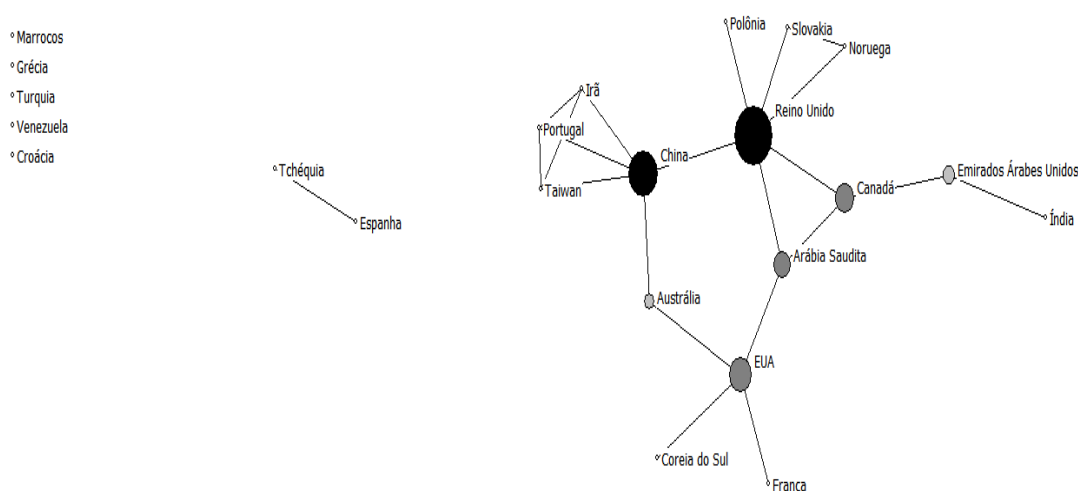


Figura 6: Redes dos países

À face do exposto, os países mais centrais, por ordem decrescente de relevância, foram: Reino Unido, China, EUA, Canadá, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos e Austrália. Este achado é corroborado de maneira similar no estudo de Hu, Wang e Deng (2020) que exploraram a tendência e o *status* da colaboração internacional no campo da pesquisa científica global sobre IA. Reitera-se em dizer que a IA é um campo do conhecimento que fundamenta e norteia os SMAs (Kampouridis *et al.*, 2022; Zekhnini, Benabdellah & Cherrafi, 2024), fazendo surgir a MAIA (O'Lone *et al.*, 2024; Telnov *et al.*, 2024).

Ainda no tocante a Figura 6, ressalta-se que sua densidade foi mensurada em 0.0870, sendo correspondente a 8,70% das interações totais entre os 23 países deste estudo. Tal resultado é semelhante ao observado nas redes de coautoria e nas redes das IES desta pesquisa, contudo, com um valor de densidade um pouco maior, podendo significar uma maior aproximação entre os países, por meio de suas respectivas IES e autores vinculados a elas, impactando, sincronicamente, na fluidez da troca de informação e de conhecimento acerca do tema objeto de investigação, porém, o valor da densidade da rede dos países ainda é aquém do esperado em uma rede social com alta densidade, logo, a rede social das nações desta pesquisa ainda é considerada baixa, intervindo assim na coesão e na dispersão da mencionada rede de cooperação dos países (Williams dos Santos & Farias Filho, 2016; Favaretto & Francisco, 2017; Grácio, 2018; Ribeiro, 2024c), influenciando na evolução, desenvolvimento e maturidade do tema principal deste estudo, no âmbito científico internacional, sob a óptica dos periódicos indexados na plataforma de dados EBSCO.

4.6 Redes das palavras-chave

A Figura 7 faz enxergar as redes das palavras-chave que foi estruturada por 200 e por 1.236 laços. Diante do exposto, versa-se que, os 45 artigos científicos identificados sobre o tema MAIA continham um total de 200 ocorrências de palavras-chave. Porém, para se chegar a esse número de 200 palavras-chave, foram seguidos os seguintes critérios: (i) não distinguir as letras maiúsculas e as letras minúsculas; e (ii) as palavras-chave no singular e as palavras-chave no plural foram mantidas diferentes (Favaretto & Francisco, 2017).

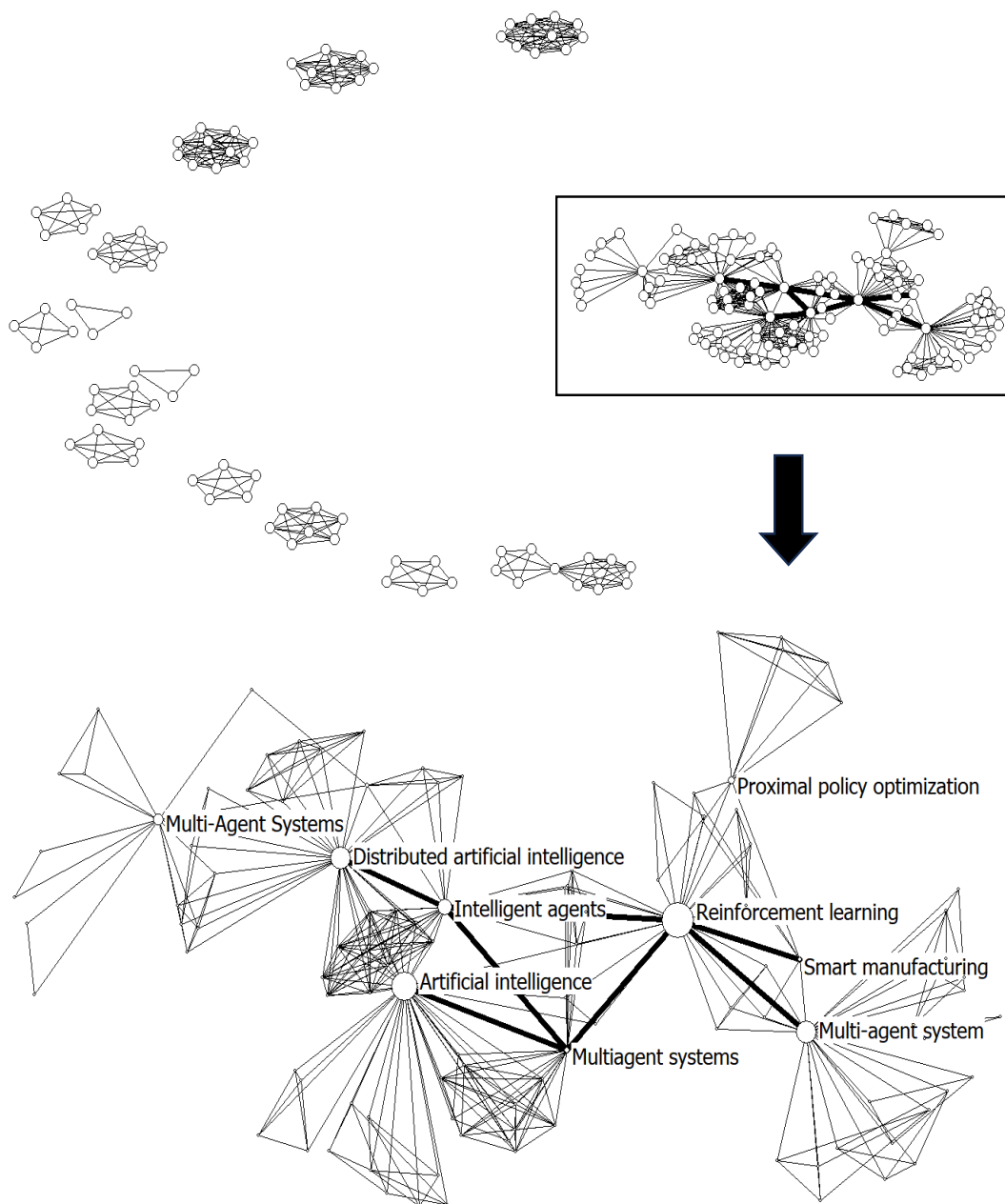


Figura 7: Redes das palavras-chave

É importante enfatizar que, o tamanho da palavra-chave correspondeu à frequência de ocorrência da palavra-chave nos artigos científicos identificados e, conseqüentemente, investigados, portanto, quanto mais vezes a palavra-chave apareceu nos 45 estudos, maior foi o seu tamanho visualizado no componente gigante da Figura 7. Acrescenta-se que as linhas que

conectaram as palavras-chave representaram seus respectivos relacionamentos. Assim sendo, evidencia-se e reitera-se ao afirmar que o componente gigante da Figura 7 destaca e indica a presença de um fluxo, e, sincronicamente, de uma troca de informações e de conhecimentos maior entre um número grande de atores da rede (Sampaio *et al.*, 2015; Köhler & Digiampietri, 2021; Ribeiro, 2024a), no caso, as palavras-chave. Desta forma, o componente gigante formado e revelado por meio da Figura 7 foi composto por 112 nós e por 726 laços.

Como resultado, o componente gigante fez visualizar as palavras-chave mais centrais desta pesquisa, que foram, por ordem decrescente de relevância: *reinforcement learning*, *artificial intelligence*, *multi-agent system*, *distributed artificial intelligence*, *intelligent agents*, *multi-agent systems*, *proximal policy optimization*, *multiagent systems*, *swarm intelligence* e *smart manufacturing*. É interessante notar que estas palavras-chave mais centrais também são observadas de maneira análoga no estudo de Liang, Luo, Hu e Li (2022). Aqui se faz um adendo ao ressaltar que, a palavra-chave *artificial intelligence* ficou entre as mais centrais deste estudo em virtude de esta ser uma das palavras-chave usada para a busca dos artigos científicos sobre o tema MAIA no banco de dados EBSCO.

À face do exposto, salienta-se que estas palavras-chave mais centrais, visualizadas por meio da Figura 7, são de grande significância e utilidade para melhor entendimento e compreensão sobre o tema MAIA no contexto científico internacional, especialmente para pesquisadores que estejam iniciando os estudos nesta área de pesquisa, como também, o conhecimento destas palavras-chave mais centrais, faz permitir a identificação dos principais termos encontrados nos trabalhos acadêmicos que integraram a amostra, fazendo assim conhecer a área do saber que é significativa em torno da linha de pesquisa sobre o tema MAIA (Liang, Luo, Hu & Li, 2022)) no âmbito científico internacional, à luz dos periódicos indexados no sistema de dados EBSCO.

5. Conclusão

O objetivo desta pesquisa foi investigar o perfil, o comportamento e a tendência da pesquisa científica internacional do tema multiagente de inteligência artificial sob a perspectiva

da análise de redes sociais. Então, metodologicamente, utilizou-se das técnicas da ARS em 45 artigos científicos identificados sobre o tema objeto de estudo.

Sendo assim, os resultados desta pesquisa revelam que os anos de 2022, 2024, 2007, 2021 e 2018 foram os mais centrais sob a óptica dos autores, logo, entende-se que o tema MAIA se encontra em crescimento, pois, os períodos que ficaram em realce expressam a contemporaneidade do referido assunto na literatura científica internacional, e, que, portanto, há uma propensão de que esta temática se desenvolva, alcançando assim um grau de maturidade no âmbito científico global, à luz dos periódicos indexados na base de dados EBSCO. No tocante aos periódicos, os mais influentes, na visão dos autores, foram: *AI Communications*, *Journal of Network and Computer Applications*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *International Journal of Parallel Programming* e *Computers in Industry*. Assim, pode-se perceber que as revistas científicas com escopo e foco na área da Tecnologia são as mais procuradas pelos estudiosos, para que estes consigam divulgar seus respectivos achados e contribuições acerca do tema MAIA na academia.

No que concerne aos autores, os mais centrais foram: Stefano V. Albrecht, Haihua Zhu, Dunbing Tang, Tong Zhou, Samir Aknine e Suzanne Pinson. Destes, coloca-se em maior relevo o docente Stefano V. Albrecht, pois este se destacou de maneira mais proeminente na medida da centralidade de intermediação, sendo, assim considerado para este estudo, o mais central no que concebe a intermediar o fluxo e a troca de informação e de saberes sobre o tema MAIA no painel científico internacional. O referenciado pesquisador atualmente é vinculado a *School of Informatics* da University of Edinburgh. Em se tratando das IES, as mais relevantes, foram: Paris Dauphine University, University of Oxford e Pennsylvania State University, nativas dos respectivos países: França, Reino Unido e EUA. No que confere as nações, as mais importantes, foram: Reino Unido, China, EUA, Canadá, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos e Austrália. Aqui se verifica que o tema MAIA, sob a perspectiva dos países (vide Figura 6), encontra-se globalizado, pois o referido assunto manifesta-se, para esta pesquisa, em todas regiões do mundo, em outros termos, na Europa, na Ásia, na América, na África e na Oceania.

Em se tratando das palavras-chave, as mais centrais foram: *reinforcement learning*, *artificial intelligence*, *multi-agent system*, *distributed artificial intelligence*, *intelligent agents*,

multi-agent systems, proximal policy optimization, multiagent systems, swarm intelligence e smart manufacturing. Pode-se dizer, para esta investigação, que estas palavras-chave são as mais relevantes e influentes no que confere a publicação de artigos científicos sobre o tema MAIA na literatura científica internacional, e, também, estas palavras-chave mais importantes, vislumbram os assuntos de maior atuação no panorama do tema objeto de investigação no contexto literário global, em outros termos, essas palavras-chave mais centrais são as proeminentes, pois elas têm o “poder” de fundamentar, nortear e interpor o fluxo de comunicação, conhecimento, informação e de saberes (Favaretto & Francisco, 2017; Facin *et al.*, 2022; Urbizagástegui-Alvarado, 2022; Ribeiro, 2023), a respeito do tema MAIA no painel acadêmico mundial, sob a perspectiva das revistas científicas organizadas na base de dados EBSCO.

Quanto as implicações teóricas, esta pesquisa ofereceu uma contribuição para o campo do saber da Administração, mas, sobretudo para a área da Tecnologia, ao enfatizar um entendimento e, a posteriori, uma compreensão do tema MAIA sob a óptica das ARS. O estudo também contribuiu ao investigar a tendência, o perfil e o comportamento dos atores na estrutura e na formação das redes sociais acerca do tema MAIA, oportunizando assim criar valor científico e, viabilizar seu maior entendimento e compreendimento, propiciando, de forma síncrona, em sua evolução e maturação da produção científica das pesquisas acerca do MAIA na literatura acadêmica global. Em relação as consequências práticas, este artigo científico ofereceu uma possível diretriz para empresas, por meio das temáticas que alicerçam e norteiam o tema MAIA (palavras-chave mais centrais desta pesquisa), na formulação e execução de prováveis estratégias em favor do desenvolvimento e amadurecimento do assunto MAIA no Brasil.

Como fator limitante, este artigo científico utilizou-se somente a base de dados EBSCO, logo, como recomendação para investigações futuras, sugere-se fomentar este artigo científico utilizando outras plataformas de dados, nacionais e internacionais, tais como: *Web of Science*, *Scopus*, *Scielo*, *SPELL*, *Proquest*, *Periódicos CAPES* dentre outros. Aconselha-se também fazer uma pesquisa bibliométrica sobre o tema estudado e realizar uma Revisão Sistemática da Literatura da amostra das 45 pesquisas deste artigo científico.

Referências

- Ahmed, I. H. *et al.* (2022). Deep reinforcement learning for multi-agent interaction. *AI Communications*, 35(4), 357-368. <https://doi.org/10.3233/AIC-220116>
- Albrecht, S. V., & Wooldridge, M. (2022). Multi-agent systems research in the United Kingdom. *AI Communications*, 35(4), 269-270. <https://doi.org/10.3233/AIC-229003>
- Canese, L., Cardarilli, G. C., Nunzio, L. D., Fazzolari, R., Giardino, D., Re, M., & Spanò, S. (2021). Multi-agent reinforcement learning: a review of challenges and applications. *Applied Sciences*, 11(4948), 1-25. <https://doi.org/10.3390/app11114948>
- Chen, Q., Zhang, H., Lau, Y-Y., Wang, T., Wang, W., & Zhang, G. (2023). Climate change, carbon peaks, and carbon neutralization: a bibliometric study from 2006 to 2023. *Sustainability*, 15(5723), 1-12. <https://doi.org/10.3390/su15075723>
- Cordova, C., Taverner, J., Del Val, E., & Argente, E. (2024). A systematic review of norm emergence in multi-agent systems. *arXiv:2412.10609v1 [cs.MA]*, 1-42.
- Cui, P., & Dong, Y. (2025). Mapping the intellectual structure of social network research: a comparative bibliometric analysis. *arXiv:2502.07412v1 [cs.SI]*, 1-27.
- Dias, G. A., Silva, A. K. A. da, França, A. L. D. de, Souza, L. B. R. H. de, & Silva, A. C. de B. M. (2018). Análise de redes sociais no processo de mediação em rede de coautoria: avaliação das dinâmicas de colaboração docente. *Informação & Informação*, 23(3), 417-437. <https://doi.org/10.5433/1981-8920.2018v23n3p417>
- Drakaki, M., Karnavas, Y. L., Karlis, A. D., Chasiotis, I. D., & Tzionas, P. (2019). Study on fault diagnosis of broken rotor bars in squirrel cage induction motors: a multiagent system approach using intelligent classifiers. *IET Electric Power Applications*, 14(2), 245-255. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2019.0619>
- Ebsco (2025). *Ebsco Database*. Recuperado em: <
<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/ebsco-database#:~:text=An%20Ebsco%20Database%20is%20a,the%20field%20of%20Computer%20Science.>>
- Eichler, G. M., & Schwarz, E. J. (2019). What sustainable development goals do social innovations address? a systematic review and content analysis of social innovation literature. *Sustainability*, 11(522), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su11020522>
- Facin, A. L. F., Barbosa, A. P. F. P. L., Matsumoto, C., Cruz, A. F. S. da G., & Salerno, M. S. (2022). Temas de destaque na pesquisa em transformação digital: evidências de estudo bibliométrico e análise de conteúdo. *Revista de Administração de Empresas*, 62(6), 1-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020220602>
- Favaretto, J. E. R., & Francisco, E. de R. (2017). Exploração do acervo da RAE-Revista de Administração de Empresas (de 1961 a 2016) à luz da bibliometria, text mining, rede social e geoanálise. *Revista de Administração de Empresas*, 57(4), 365-390. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020170407>
- Ferreira, J. B., & Silva, L. de A. M. (2019). O uso da bibliometria e sociometria como diferencial em pesquisas de revisão. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, 15(2), 448- 464.

- Gao, H., & Ding, X. (2022). The research landscape on the artificial intelligence: a bibliometric analysis of recent 20 years. *Multimedia Tools and Applications*, 81, 12973-13001. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12208-4>
- Ghaemi, H., Jamshidi, S., Mashreghi, M., Ahmadabadi, M. N., & Kebriaei, H. (2024). Risk sensitivity in Markov games and multi-agent reinforcement learning: a systematic review. *arXiv:2406.06041v1 [cs.GT]*, 1-14.
- Grácio, M. C. C. (2018). Colaboração científica: indicadores relacionais de coautoria. *Brazilian Journal of Information Studies: Research Trends*, 12(2), 24-32.
- He, G., Cui, S., Dai, Y., & Jiang, T. (2022). Learning task-oriented channel allocation for multi-agent communication. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(11), 12016-12029. <https://doi.org/10.1109/TVT.2022.3195202>
- Hernández, I. M. de la V., Urdaneta, A. S., & Carayannis, E. (2023). Global bibliometric mapping of the frontier of knowledge in the field of artificial intelligence for the period 1990–2019. *Artificial Intelligence Review*, 56, 1699-1729. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10206-4>
- Hernández, I. M. de la V., Urdaneta, A. S., & Schiappa-Pietra, O. (2023). Scientific mapping of artificial intelligence as an emerging field of knowledge. *Handbook of Research on Artificial Intelligence, Innovation and Entrepreneurship*, 8-28. Recuperado em: <<https://www.elgaronline.com/edcollchap/book/9781839106750/book-part-9781839106750-8.xml>>
- Hu, H., Wang, D., & Deng, S. (2020). Global collaboration in artificial intelligence: bibliometrics and network analysis from 1985 to 2019. *Journal of Data and Information Science*, 5(4), 86-115. <https://doi.org/10.2478/jdis-2020-0027>
- Ionescu, S., Delcea, C., & Chiriță, N., & Nica, I. (2024). Exploring the use of artificial intelligence in agent-based modeling applications: a bibliometric study. *Algorithms*, 17(21), 1-38. <https://doi.org/10.3390/a17010021>
- Kampouridis, M., Kanellopoulos, P., Kyropoulou, M., Melissourgos, T., & Voudouris, A. A. (2022). Multi-agent systems for computational economics and finance. *AI Communications*, 35(4), 369-380. <https://doi.org/10.3233/AIC-220117>
- Köhler, A. F., & Digiampietri, L. A. (2021). Pós-graduação em turismo no Brasil: uma análise bibliométrica e de redes sociais. *Rosa dos Ventos*, 13(4), 945-966. <https://doi.org/10.18226/21789061.v13i4p966>
- Kong, W-r., Zhou, D-y., Du, Y-j., Zhou, Y., & Zhao, Y-y. (2022). Hierarchical multi-agent reinforcement learning for multi-aircraft close-range air combat. *IET Control Theory & Applications*, 17(13), 1840-1862. <https://doi.org/10.1049/cth2.12413>
- Li, M., Shao, S., Ye, Q., Xu, G., & Huang, G. Q. (2020). Blockchain-enabled logistics finance execution platform for capital-constrained e-commerce retail. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 65, 101962. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101962>
- Li, X., Pu, W., Rong, J., Xiao, X., & Zhao, X. (2022). Terrain visualization information integration in agent-based military industrial logistics simulation. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100260. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100260>
- Liang, X., Luo, L., Hu, S., & Li, Y. (2022). Mapping the knowledge frontiers and evolution of decision making based on agent-based modeling. *Knowledge-Based Systems*, 250, 108982. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108982>

- McLellan, R. Z., & Steele, J. E. (2022). Working together: a bibliometric study of secondary school education, special collections, and archives. *Journal of Archival Organization*, 17(3-4), 234-252. <https://doi.org/10.1080/15332748.2021.1992206>
- Melo, F. J. de, Jesus, U. G. S. F. R. de, & Musial, N. T. K. (2024). Rede em rede eis a questão? *Pensar Contábil*, 26(90), 52-60.
- O'Lone, K., Gantley, M., Lane, J. E., & Shults, F. L. (2024). Employing multi-agent AI to model conflict and cooperation in Northern Ireland. *New England Journal of Public Policy*, 36(1), 1-16.
- Pessoa Araújo, U., Mendes, M. de L., Gomes, P. A., Coelho, S. de C. P., Vinícius, W., & Brito, M. J. de. (2017). Trajetória e estado corrente da sociometria brasileira. *Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 28(2), 97-128. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/redes.706>
- Reis, C., & Barrios, Y. M. R. (2024). Communication and tourism research in Brazil and the United States (2000–2019). *Creating Culture Through Media and Communication*, 24, 63-80. <https://doi.org/10.1108/S2050-206020240000024005>
- Reis, C., Mattedi, M., & Barrios, Y. R. (2017). Mídia e desastres: panorama da produção científica internacional de 1996 a 2016. *Revista Brasileira de Ciências da Comunicação*, 40(2), 77-92. <https://doi.org/10.1590/1809-5844201725>
- Ribeiro, H. C. M. (2023). A produção científica sobre fraude no Brasil: uma investigação sob a perspectiva da análise de redes sociais. *Revista Universo Contábil*, 19(e2023102), 1-30. <https://doi.org/10.4270/ruc.2023102>
- Ribeiro, H. C. M. (2020). Analisando a colaboração e produção científica da área ensino e pesquisa em Administração e Contabilidade. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 25(2), 194-222. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/3915>
- Ribeiro, H. C. M., & Corrêa, R. (2023). Analysis of the scientific production on the green hydrogen theme published in scientific journals indexed by EBSCO. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 17(1), 1-20. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-019>
- Ribeiro, H. C. M. (2024a). Balanced scorecard: 30 anos de sua produção científica à luz da análise de redes sociais. *Gestão & Regionalidade*, 40(e20248637), 1-23. <https://doi.org/10.13037/gr.vol40.e20248637>
- Ribeiro, H. C. M. (2024b). Bitcoin: comportamento, perfil e tendência da produção científica no Brasil. *International Journal of Innovation*, 12(2), 22-60. <https://doi.org/10.5585/2024.26211>
- Ribeiro, H. C. M. (2024c). Decentralized Autonomous Organization: análise de sua produção científica à luz da análise de redes sociais e da revisão sistemática da literatura. *Journal of Management & Technology*, 24(4), 187-215.
- Ribeiro, H. C. M. (2022). Economia circular: produção científica divulgada na base Scientific Periodicals Electronic Library (Spell) à luz da bibliometria e da rede social. *Desenvolvimento em Questão*, 20(58), 1-18. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.12972>
- Rungo, A. A., Madio, T. C. de C., & Grácio, J. C. A. (2023). Preservação digital da informação científica: estudo bibliométrico da produção científica internacional entre os anos 2012-2022 na aplicação Mendeley/Elsevier. *Revista Brasileira de Preservação Digital*, 4(e023005), 1-27. <http://dx.doi.org/10.20396/rebpred.v4i00.17935>

- Savadatti, S. G., Srinivasan, K., & Hu, Y. C. (2025). A bibliometric analysis of agent-based systems in cybersecurity and broader security domains: trends and insights. *IEEE Access*, 13, 90-119.
- Sampaio, R. B., Sacerdote, H. C. de S., Fonseca, B. de P. F., & Fernandes, J. H. C. (2015). A colaboração científica na pesquisa sobre coautoria: um método baseado na análise de redes. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 20(4), 79-92. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/2447>
- Schockaert, S., & Peñaloza, R. (2022). Highlights of AI research in Europe. *AI Communications*, 35(2), 45-45. <https://doi.org/10.3233/AIC-229002>
- Telnov, Y., Kazakov, V., Danilov, A., Fiodorov, I. (2024). Network enterprise architecture based on multiagent technology. *Journal of Management & Technology*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2024.v24.2719>
- Terán, J., Aguilar, J., & Cerrada, M. (2017). Integration in industrial automation based on multi agent systems using cultural algorithms for optimizing the coordination mechanisms. *Computers in Industry*, 91, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.05.002>
- Tomaél, M. I., & Marteleto, R. M. (2013). Redes sociais de dois modos: aspectos conceituais. *TransInformação*, 25(3), 245-253.
- Urbizagástegui-Alvarado, R. (2022). Bibliometria brasileira: análise de copalavras. *TransInformação*, 34(e220004), 1-20. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202234e220004>
- Walter, S. A., & Bach, T. M. (2013). Inserção de pesquisadores entrantes na área de estratégia: análise das relações de autoria e temas estudados no período de 1997-2010. *Revista Eletrônica de Administração*, 19, 165-191. <https://doi.org/10.1590/S1413-23112013000100007>
- Williams dos Santos, C., & Farias Filho, M. C. (2016). Agentes comunitários de saúde: uma perspectiva do capital social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 21(5), 1659-1667. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015215.23332015>
- Xiao, Y., Si, Y., & Guo, Y. (2024). The evolution of social network analysis in public administration. *Chinese Public Administration Review*, 15(4), 209-227. <https://doi.org/10.1177/15396754231221485>
- Zekhnini, K., Benabdellah, A. C., & Cherrafi, A. (2024). A multi-agent based big data analytics system for viable supplier selection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 3753-3773. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02253-7>