

ISSN 1992-1896
e-ISSN 2221-724X



Contabilidad y Negocios

**Revista del
Departamento Académico
de Ciencias Contables**

Edición especial: “Uso estratégico
e impactos de tecnologías emergentes
en el contexto de la contabilidad,
gestión y auditoría”



**FONDO
EDITORIAL
PUCP**



Contabilidad y Negocios

e-ISSN 2221-724X

**Revista del Departamento Académico
de Ciencias Contables**

**volumen 20, número especial
2025**



**FONDO
EDITORIAL
PUCP**

Contabilidad y Negocios

Volumen 20, número especial, noviembre 2025

Edición especial: "Uso estratégico e impactos de tecnologías emergentes en el contexto de la contabilidad, gestión y auditoría"

Revista del Departamento Académico de Ciencias Contables
Pontificia Universidad Católica del Perú

EQUIPO EDITORIAL INVITADO

Editor Líder del Número Especial (Guest Editor-In-Chief)

Dr. Miklos Vasarhelyi <miklosv@andromeda.rutgers.edu>
Rutgers Business School, Estados Unidos

Editores Invitados Asociados (Guest Associate Editors)

Dr. Kevin Moffitt <kevin.moffitt@business.rutgers.edu>
Rutgers Business School, Estados Unidos

Dr. Maurício Codesso <m.codesso@northeastern.edu>
Northeastern University, Estados Unidos

Dr. Marcelo Machado de Freitas <marcelo.freitas@ufsc.br>
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Dr. Maurício Vasconcellos Leão Lyrio <mauricio.lyrio@sea.sc.gov.br>
Gobierno del Estado de Santa Catarina y Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Dr. Rogério João Lunkes <rogerio.lunkes@ufsc.br>
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

DIRECTOR

Dr. Emerson Toledo Concha <toledo.ej@pucp.edu.pe>
Departamento Académico de Ciencias Contables, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

COORDINACIÓN EDITORIAL

Editora Adjunta

Gloria María Zambrano Aranda <gzambrano@pucp.edu.pe>
Departamento Académico de Ciencias Contables, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Editora Asociada Permanente

Fabricia Silva da Rosa <fabriciasrosa@hotmail.com>
Departamento de Ciencias Contables, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Editor Asociado Adjunto

Rodolfo Rocha dos Santos <rodolforsantos@ufrj.br>
Departamento de Ciencias Contables y Finanzas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Asistente Editorial

Cynthia Bedon Cabanillas <cynthia.bedon@pucp.pe>

Departamento Académico de Ciencias Contables, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Correctoras de Estilo

Jessica Fiorella Romero Núñez <jessica.romero@pucp.pe>

Departamento Académico de Artes Escénicas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Traductoras

Fiorella Terry Torres <fterry@pucp.edu.pe>

Rocío Escalante Delmar <rescalante@pucp.edu.pe>

COMITÉ CIENTÍFICO EDITORIAL

Dr. Alan Sangster, Historia de la Contabilidad, University of Aberdeen, Reino Unido

Dra. Beatrice Avolio Alecchi, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Dr. Bernardino Benito López, Contabilidad y Finanzas, Universidad de Murcia, España

Dra. Emma Castelló Taliani, Universidad de Alcalá, España

Dra. Enriqueta Mancilla Rendón, Facultad de Negocios, Universidad La Salle, México

Dra. Isabel Lourenço, Contabilidad, Investigación en negocios, Iscte-Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), Portugal

Dr. Jorge Tua Pereda, Departamento de Contabilidad y Organización de Empresas, Universidad Autónoma de Madrid, España

Dr. Josir Simeone Gomes, Programa de Maestría en Administración, Universidade do Grande Rio, Brasil

Dr. Kurt Burneo Farfán, Departamento Académico de Economía, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Dr. Luis Gómez García, Departamento Académico de Ciencias Contables, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Dra. Marisleidy Alba Cabañas, Escuela de Negocios de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Colombia

Dr. Oriol Amat, Contabilidad, Universitat Pompeu Fabra, España

Dr. Ramón Valle Cabrera, Investigación en negocios, Universidad Pablo de Olavide, España

Dr. Reinaldo Guerreiro, Contabilidad, Universidade de São Paulo, Brasil

Dr. Rogério João Lunkes, Departamento de Ciencias Contables, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Dra. Sônia Maria da Silva Gomes, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Dr. Vicente Ripoll Feliu, Departamento de Contabilidad, Universitat de València, España

DIRECTOR EMÉRITO

Oscar Díaz Becerra, Departamento Académico de Ciencias Contables, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Contabilidad y Negocios es una revista científica comprometida con el desarrollo y difusión de conocimientos científicos que busca consolidarse como un referente global en las áreas relacionadas a las líneas de investigación promovidas por el Departamento de Ciencias Contables de la Pontificia Universidad Católica del Perú: Administración, Actualidad Contable, Contabilidad de Gestión, Auditoría, Banca y Finanzas y Ética en los negocios.

Contabilidad y Negocios asume el compromiso autoimpuesto de promover la paridad de género entre los miembros del Comité Científico Internacional, así como en los autores que publican en nuestra revista. Compromiso que se verá cumplido a partir del primer número del 2025.

Contabilidad y Negocios se encuentra indizada en Web of Science (WoS) - Emerging Sources Citation Index (ESCI) Q4, Dialnet, BASE, CLASE, DOAJ, EBSCO Host, Journal TOCs, Latindex, ProQuest, Redalyc, Primo Central, QUALIS (Clasificación A4) y MIAR (ICDS 9.7).

© Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2025
Av. Universitaria 1801, Lima 32 - Perú
Teléfono: (51 1) 626-2650 Fax: (51 1) 626-2913
feditor@pucp.edu.pe
www.fondoeditorial.pucp.edu.pe

Diseño de cubierta e interiores: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú

ISSN 1992-1896 / e-ISSN 2221-724X

Hecho el depósito legal 2006-5493 en la Biblioteca Nacional del Perú

CONTENIDO



Editorial	7
Managing medical records with blockchain	10
Reginalda Santos Silva, Paulo Caetano da Silva, Daniel José Díaz	
Aplicação de algoritmo de aprendizado de máquina (AM) para previsão do comportamento das ações negociadas no mercado brasileiro	48
Gabriel Donadio Costa, Rogério João Lunkes	
O uso da inteligência artificial em planejamento tributário: a nova fronteira da contabilidade como estratégia competitiva nas organizações	71
Valmor Reckziegel, Edgard Bruno Cornacchione Junior, Débora Gomes de Gomes, Jorge de Souza Pinto	
Management control meets AI: From data-driven literature review to research gap	89
Omar Feria Alonso, Elena Shakina, Maria Beatriz Gonzalez-Sanchez, Jose Berbel-Vera	
Evolução da IA em resolver problemas contábeis: uma comparação entre o GPT4 e GPT4o na resolução do Exame de Suficiência	109
Marcelo Machado de Freitas, Jonatas Dutra Sallaberry, Thiago Bruno de Jesus Silva, Fabricia Silva da Rosa	
Nuestros colaboradores	127

EDITORIAL

La revista *Contabilidad y Negocios*, editada por el Departamento Académico de Ciencias Contables de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se complace en presentar su edición especial “Uso estratégico e impactos de tecnologías emergentes en el contexto de la contabilidad, gestión y auditoría”, en el marco de su vigésimo aniversario.

En el contexto actual, las tecnologías emergentes están redefiniendo la práctica contable, los sistemas de control y los procesos de auditoría, generando nuevas oportunidades y desafíos para la profesión. La adopción de herramientas como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la blockchain y los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) está transformando la manera en que las organizaciones registran, procesan y analizan la información financiera, así como los roles y competencias de los profesionales del área.

Esta edición especial, liderada por un equipo editorial invitado de reconocidos académicos internacionales, tiene como propósito ofrecer una mirada integral y contemporánea sobre las intersecciones entre tecnología, gestión y contabilidad. A través de un enfoque multidisciplinario, los artículos seleccionados exploran cómo la innovación tecnológica puede contribuir al fortalecimiento de la transparencia, la eficiencia y la sostenibilidad en las organizaciones, tanto en el ámbito público como privado.

Esta edición incorpora cinco artículos procedentes de Argentina, Brasil y España. Tres artículos tienen como idioma de origen el portugués y dos, el inglés. Todos los manuscritos han sido sometidos a una estricta revisión por pares y han cumplido con el proceso regido en nuestras normas de evaluación desde el primer filtro.



En el primer manuscrito, en inglés, los autores Reginalda Santos Silva (Universidade Salvador - UNIFACS), Paulo Caetano da Silva (Universidade Salvador - UNIFACS) y Daniel José Díaz (Universidad Nacional de Rosario - UNR), presentan un estudio cuyo objetivo es evaluar el uso de *blockchain* para garantizar la privacidad y seguridad de los datos en los sistemas de e-Health, mediante una revisión sistemática de la literatura. Los resultados ofrecen una visión actualizada del estado del arte sobre la aplicación del *blockchain* en el ámbito de la salud digital, indicando que su uso aún se encuentra en una etapa inicial y con limitada adopción en el intercambio de datos médicos. En ese sentido, se espera que los hallazgos obtenidos puedan ser beneficiosos para el ámbito de la atención médica para planificar y desarrollar un entorno seguro de gestión de datos de atención médica.

En el artículo número dos, en portugués, Gabriel Donadio Costa (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC) y Rogério João Lunkes (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC) realizan un estudio que analiza la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático (AA) en la selección de carteras en el mercado brasileño. A través del entrenamiento de distintos modelos basados en variables técnicas y fundamentales, los autores demuestran que los modelos híbridos, que integran ambos tipos de variables, alcanzan una mayor precisión y menor volatilidad, superando tanto a los métodos tradicionales como a los resultados de investigaciones previas, incluso en entornos de alta incertidumbre, como la pandemia de COVID-19.

En el tercer artículo, en portugués, los autores Valmor Reckziegel (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS), Edgard Bruno Cornacchione Junior (Universidade de São Paulo - USP), Débora Gomes de Gomes (Universidade Federal do Rio Grande - FURG) y Jorge de Souza Pinto (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS), desarrollan un estudio que analiza el papel de la inteligencia artificial (IA) como herramienta estratégica en la gestión empresarial, con especial atención a su aplicación en la planificación tributaria. Los resultados de la investigación revelan una notable brecha en la incorporación de la IA en este campo, lo que resalta la importancia de profundizar en investigaciones que integren su uso para fortalecer la eficiencia de la gestión fiscal y potenciar el desempeño organizacional en entornos complejos y altamente regulados.

En el manuscrito número cuatro, en inglés, Omar Feria Alonso (Universidade de Vigo - UVIGO), Elena Shakina (Universidade de Vigo - UVIGO), Maria Beatriz Gonzalez-Sanchez (Universidade de Vigo - UVIGO) y Jose Berbel-Vera (Universitat de València - UV) presentan una investigación que analiza la intersección entre los sistemas de control de gestión (SCG) y la inteligencia artificial (IA) mediante una revisión bibliométrica y

sistemática de la literatura publicada entre 2010 y 2025. Este estudio identifica cinco clústeres temáticos, de los cuales solo dos abordan la inteligencia artificial explicable (XAI), evidenciando una brecha en la literatura relacionada con la transparencia en los SCG. Asimismo, los autores proponen una agenda de investigación orientada a fomentar un enfoque más integrado y transparente, destacando la importancia del juicio humano en la aplicación de la IA a los procesos de gestión y toma de decisiones.

En el último artículo, en portugués, los autores Marcelo Machado de Freitas (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), Jonatas Dutra Sallaberry (Universidade do Contestado - UNC), Thiago Bruno de Jesus Silva (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB) y Fabricia Silva da Rosa (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), desarrollan un estudio que evalúa el rendimiento del modelo GPT-4o en comparación con el modelo GPT-4 en la resolución de preguntas del Examen de Competencia Contable. Los hallazgos obtenidos contribuyen a la literatura sobre el uso de la inteligencia artificial en contabilidad, especialmente en la aplicación de modelos de procesamiento del lenguaje natural (PLN) y modelos de lenguaje de gran escala (LLMs).

En conjunto, los artículos presentados en este número especial reflejan la diversidad de enfoques, metodologías y contextos desde los cuales las tecnologías emergentes están transformando la profesión contable. Desde la automatización inteligente hasta la ética y la transparencia algorítmica, las investigaciones aquí reunidas subrayan el papel fundamental de la academia en anticipar, analizar y guiar la transformación tecnológica que atraviesa el campo contable y financiero.

Agradecemos profundamente el liderazgo y compromiso del doctor Miklos Vasarhelyi, quien se desempeñó como Editor Líder del Equipo Editorial Invitado, junto con los doctores Kevin Moffitt, Maurício Codesso, Marcelo Machado de Freitas, Maurício Vasconcellos Leão Lyrio y Rogério João Lunkes, cuya colaboración y rigurosidad académica hicieron posible la publicación de esta edición con los más altos estándares de calidad científica.

Finalmente, reafirmamos el compromiso de la revista *Contabilidad y Negocios* con la difusión de investigaciones relevantes, éticas y socialmente responsables, que contribuyan al desarrollo de la profesión contable y a la construcción de una sociedad más informada y sostenible.

Emerson Toledo Concha
Director

Managing medical records with blockchain

Reginalda Santos Silva

Universidade Salvador - UNIFACS, Brasil

Paulo Caetano da Silva

Universidade Salvador - UNIFACS, Brasil

Daniel José Diaz

Universidad Nacional de Rosario - UNR, Argentina

Gestión de registros médicos con *blockchain*

Las aplicaciones de Internet y el uso de otras tecnologías de la información en el sector salud se denominan e-Health, cuyo objetivo es mejorar el flujo de información a través de medios electrónicos para facilitar la prestación de servicios y la gestión de los sistemas de salud. Los desafíos relacionados con el intercambio de datos médicos entre organizaciones giran en torno a la protección, confidencialidad y privacidad de los datos personales y sensibles de los pacientes (Lavina, 2018; Shi et al., 2020). Una tecnología que puede mitigar estos riesgos por sus características de transparencia, descentralización e inmutabilidad es *blockchain* (Kim et al., 2022). Por tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar, a través de una revisión sistemática de la literatura, el uso de *blockchain* para garantizar la privacidad y seguridad de los datos en los sistemas de e-Health. La metodología adoptada se basa en las recomendaciones de (Kitchenham & Charters, 2007) y los criterios de calidad de artículos propuestos por (Dybå & Dingsøyr, 2008). Se realizaron búsquedas en 5 repositorios de trabajos científicos, que identificaron 3.214 artículos relacionados con el objetivo. Luego de realizar el proceso metodológico, resultaron 19 artículos para ser analizados. Los resultados alcanzados con este trabajo brindan una visión del estado del arte sobre el uso de *blockchain* en e-Health, indicando que el uso de esta tecnología es aún incipiente y poco aplicada en el entorno de intercambio de datos de salud. Se espera que los hallazgos logrados



<https://doi.org/10.18800/contabilidad.2025ESP.001>

Contabilidad y Negocios 20 (esp.) 2025, pp. 10-47 / e-ISSN 2221-724X

puedan ser beneficiosos para el ámbito de la atención médica para planificar y desarrollar un entorno seguro de gestión de datos de atención médica.

Palabras clave: *blockchain*, e-Health, EHR, registros médicos electrónicos, seguridad y privacidad

Managing medical records with blockchain

Internet applications and the use of other information technologies in the health sector are called e-Health, which aims to improve the flow of medical information through electronic means, optimizing the provision of services and the management of health systems. The challenges related to exchanging medical data between organizations revolve around the protection, confidentiality and privacy of patients' sensitive and personal data (Lavina, 2018; Shi et al., 2020). Blockchain is an appropriate technology to mitigate these risks due to its characteristics of transparency, decentralization and immutability (Kim et al., 2022). Therefore, the goal of this work is to evaluate, through a systematic literature review (SLR), the use of blockchain to guarantee data privacy and security in e-Health systems. The methodology adopted is based on the recommendations of (Kitchenham & Charters, 2007) and the article quality criteria proposed by (Dybå & Dingsøyr, 2008). Searches were carried out in 5 scientific work repositories, which identified 3,214 articles related to the objective. After carrying out the methodological process, 19 articles resulted to be analyzed. The results achieved provide a state-of-the-art view of the use of blockchain in e-Health, indicating that the use of this technology is still incipient and little applied in the health data exchange environment. It is expected that the findings achieved can be beneficial for the healthcare domain to plan and develop a secure healthcare data management environment.

Keywords: blockchain, e-Health, EHR, electronic health records, security and privacy

Gestão de registros médicos com *blockchain*

A saúde digital ou e-saúde, refere-se a aplicações web e ao uso de outras tecnologias da informação no setor da saúde e visa aprimorar o fluxo da informação médica a través de meios eletrônicos e otimizar a prestação de serviços e a gestão de sistemas de saúde. Há desafios em manter a proteção, a confidencialidade e a privacidade das informações pessoais sensíveis dos pacientes na troca de informações médicas entre organizações (Shi et al., 2020) (Lavina, 2018). Blockchain é a tecnologia adequada para mitigar esses riscos pela sua transparência, descentralização e imutabilidade (Kim et al., 2022). Portanto, o objetivo deste artigo é avaliar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o uso de Blockchain para garantir a segurança e a privacidade de dados nos sistemas de saúde digital ou e-saúde. A metodologia utilizada baseia-se nas recomendações de (Kitchenham, B. e Charters, 2007) e nos critérios de qualidade para artigos de pesquisa propostos por (Dybå & Dingsøyr, 2008). Foram realizadas buscas em cinco repositórios de pesquisas científicas, e foram identificados 3.214 artigos relacionados ao objetivo. Após a

conclusão do processo metodológico, foram analisados 19 artigos. Os resultados revelam os avanços mais recentes no uso de Blockchain em saúde digital ou e-saúde, o que indica que o uso dessa tecnologia ainda é incipiente e que sua aplicação é limitada na troca de informações clínicas. Espera-se que os resultados contribuam a que haja planejamento e desenvolvimento de um ambiente seguro de gerenciamento de dados clínicos na área da saúde.

Palavras-chave: *blockchain, saúde digital ou e-saúde, prontuário eletrônico do paciente (PEP), segurança e privacidade*

1. INTRODUCTION

The use of electronic resources, technologies, and informatics can create an automated environment for the healthcare sector in which medical organizations can connect and communicate with each other. This is supported by healthcare market trends, such as the sharing of personal health records (PHR), which can help improve the accuracy of medical diagnosis and promote medical research progress. However, health data sharing is highly sensitive and must be confidential and highly secure to ensure the protection of patient medical and personal data.

E-Health systems, like Electronic Health Record (EHR), Electronic Medical Record (EMR) and PHR (e.g., public health management, patient online access, and sharing of patient medical data) have been prominent in the medical, technological, and scientific scenario. An example of this related to EHRs is the 2009 American law referring to Health Information Technology for Economic and Clinical Health (HITECH) Act (Stark, 2010). This law was enacted to encourage greater adoption of EHRs, the use of which is aimed at improving health and healthcare and other types of health information technology. An example of EHR usage is highlighted by the current scenario of the coronavirus pandemic (also known as 2019-nCoV and covid-19), where remote patient monitoring and other healthcare services have been adopted to control the situation. Many of the existing e-Health systems utilize a centralized server model, and therefore, their implementations have security and privacy limitations (Shi et al., 2020).

The healthcare infrastructure comprises several distinct segments such as hospitals, clinics, health centers, and laboratories, each generating patient medical history data that need to be stored and shared in a protected and reliable environment (Lavina, 2018). Patient data, usually stored in a centralized manner, can be susceptible to risks of loss and manipulation, which can compromise data privacy and security. Blockchain technology, on the other hand, can mitigate these risks due to its characteristics of

transparency, decentralization, and immutability (Kim et al., 2022). The use of blockchain technology can aid interoperability between systems and different healthcare organizations since data privacy and security would not be compromised, potentially creating an accessible and secure database (Lavina, 2018). Interoperability between systems facilitates transactions between different blockchain networks, allowing data sharing and transactions involving more than one blockchain network (Z. Liu et al., 2019).

Currently, there is an exponential growth in the implementation of blockchain across a wide domain of applications, including healthcare, e.g., public health management, prevention of counterfeit drugs, and clinical trials (Lavina, 2018). Considering that personal health data is so important and susceptible to privacy and security issues, blockchain fits into this context, and in various applications, such as: decentralization of patient clinical information and caregiver records, secure EHRs; health monitoring devices; medication prescription management; sharing and storage of EMRs (Huang, 2019). Blockchain can help healthcare managers and professionals with regard to data access and organization, transparency, auditability, security, privacy, service provision and interoperability of sensitive data (Elangovan et al., 2022).

The term “blockchain” emerged in 2008 with Bitcoin, described as “a system for electronic transactions without relying on third-party trust” (Nakamoto, 2008, p. 8). Blockchain can be considered as a distributed database in a decentralized peer-to-peer (P2P) network that contains a chain of chronologically ordered blocks, which can record transactions among various peers and maintain them permanently in an unchangeable and transparent manner. Additionally, information is stored using cryptographic code (Lavina, 2018; Zheng et al., 2019). Transactions are linked to cryptographic keys, where each client utilizes two keys, one private for signing the transaction (i.e., validating) and one public, allowing the system to verify the authorship (Da Silva Rodrigues & Rocha, 2021). Blockchain platforms are emerging and enable the development of applications based on their technology. Access to platforms and applications can be permissioned or permissionless. Platforms are a decentralized solution that allows tracking and documenting transactions, forming globally distributed transactional records to deter counterfeiting and fraud (Mohurle & Patil, 2017).

The problem of lack of interoperability among medical systems is described in (Gomes et al., 2022), specifically for the Unified Health System (SUS) which often processes a large amount of data (Da Silva et al., 2025). The SUS was implemented in Brazil in 1988 (Brasil, 1988), with the *Constitution of the Federative Republic of Brazil*. The analysis of medical data becomes complex due to the lack of interoperability

among current systems, whether they are from the Ministry of Health or from third parties (Brasil, 1988). In this context, some existing problems have been identified, such as: patients and other healthcare professionals not having access to care information; limitations of medical reports; regulatory issues¹; the need for daily printing of medical reports; systems not being integrated; limitations related to the security and privacy of centralized servers; risks of improper manipulation and data loss due to centralization.

Records stored in centralized databases is a vulnerability of health data in today's healthcare systems. According to Mohurle and Patil (2017), various studies have indicated that centralization intensifies security risks and places trust in only one authority, as it can expose data to Ransomware² attacks that transform into cyber threats. An example of such an attack was the one that occurred at the Superior Court of Justice (Superior Tribunal de Justiça [STJ]), (2020) in Brazil in November 2020. Another example of an attack was the data breach at Equifax in the US (Berghel, 2017), highlighting the vulnerability of EHR systems regarding data privacy and security (Reuters, 2019).

Furthermore, interoperability is a fundamental issue to be addressed in healthcare systems. Gomes et al. (2022) describe the problem of lack of interoperability among medical systems, specifically for the Brazilian SUS, which often processes a large amount of data. Health data in the systems are segmented, and it is not easy to share with healthcare professionals or stakeholders due to their diverse formats and standards. This situation makes it difficult to integrate and analyze patient data, hindering the applicability of data sharing in e-Health systems in emergency situations.

This work goal is to conduct an applications analysis in the healthcare sector through a systematic literature review (SLR), to infer on the challenges and benefits of security and privacy proposals related to e-Health applications using blockchain technology. The use of blockchain, with its privacy and security features, can offer several benefits to e-Health systems, such as data security, centralization of clinical information, accreditation of doctors on a single platform, easier sharing of research data, privacy, and data interoperability. It is expected that this work, based on the analysis of identified methodologies and techniques, can assist in understanding the

¹ The regulation of the SUS is the patient's access to the services of the SUS. According to the patient's care needs, they are referred to the most suitable unit for their care. The information generated by the system directs strategic actions to solve bottlenecks and reduce queues.

² It is an extortion software that can block a device or encrypt its contents to extort money from its owner.

implementation of blockchain for e-Health systems. Furthermore, it aims to identify an understanding of the development and implementation of e-Health systems, related to the need for detecting security features and analyzing integration with blockchain technology.

In this work, section 2 describes the theoretical framework, presenting the concepts of the technologies used such as cloud computing - InterPlanetary File System (IPFS), fundamental characteristics of blockchain, presenting consensus protocols, and describing smart contracts. It also discusses e-Health and EHR, EMR, and PHR systems. Section 3 presents related works. Section 4 describes the methodology used to conduct the SLR on existing proposals to address the EHR problems mentioned in this section. Section 5 presents the results of the review on solutions to address some EHR problems. Finally, section 6 concludes this paper and discusses its future direction.

2. THEORETICAL FOUNDATIONS

Health records hosted on cloud servers can be subject to intrinsic attacks, e.g., people with authorized credentials, such as database administrators or key managers, improperly accessing data, these people could be the attackers, which makes prevention substantially more difficult than external attacks. In this context, connectivity in medical equipment machines used to treat patients and store data can be attacked by cybercrimes, because of which patients can lose direct control over their PHRs and cloud services providers can have falsified or disclosed PHRs. Therefore, it is essential to have a system that is accessible only to authorized stakeholders.

The objectives of system interoperability in the health area are the standardization of e-Health systems, access to patient-controlled data, and constant transfers of health registers between different health service providers. In recent years, there has been a marked development of e-Health systems (X. Liu et al., 2019). The use of blockchain helps e-Health systems standardize, expand interoperability and preserve patient privacy; this can be monitored through smart contracts (Han et al., 2022). Therefore, alternative technologies like blockchain need to be analyzed. In addition, generally, in current systems, patients do not have authorization to access their health records, as they are managed by service providers.

In this section, the fundamental concepts of the technologies involved in the development of medical record integration are explained, they are blockchain, e-Health, and cloud computing - IPFS.

2.1. Blockchain fundamentals

Blockchain is a chain of chronologically ordered, shared and immutable blocks used to record transactions, increasing trust on a distributed basis among the nodes that are part of the consensus group³. These consensus groups are resources where validators (known as mining nodes) within a blockchain network agree with the current state of the network, are linked through a secure hash algorithm (hash) (Khan et al., 2021). The chain of blocks formed is chained to the preceding block by a reference called hash. The Genesis block initiates the chain of blocks that generate subsequent blocks, these store data from the current transaction and a copy of the previous key code (hash)⁴ (Berghel, 2017). The blocks are chained by cryptography, if the information contained is changed, both it and the entire sequence of blocks will be modified, a cascade effect (Gomes et al., 2022; Khan et al., 2021; Shahnaz et al., 2019). Transactions are linked to encrypted keys, each client uses two keys, a private one that allows signing the transaction, and a public one, which allows the system to prove authorship (i.e., validate) (Da Silva Rodrigues & Rocha, 2021). Based on a network of acceptability verification, a unique encrypted key is generated for each transaction carried out, making transactions secure and immutable (Moura et al., 2020). The users themselves submit these transactions to a network of processors connected by a P2P network, they operate in the collection of transactions building and validating blocks and connecting them to a linked list (J. Zhang et al., 2020). In this way, the alteration of any data in the information chain invalidates all subsequent blocks. The mechanism creates a protected system for continuous data registration. The destruction of a node in the blockchain does not affect its integrity. As for its security and credibility, the data once verified are permanently saved in the blockchain database, making it impossible to change them (Li et al., 2021). The various essential features of blockchain technology, some of its main characteristics, and the definition of each of them are shown below (Alahmadi et al., 2021):

- I. Block time or (timelock): it is the fraction of time for conception of a new block on a blockchain platform, that is, it is the time used for miners to reach consensus to admit a new block to the network, detailed in section 2.2. (Gomes et al., 2022).

³ Consensus protocols perform the validation of transactions and the state of the system, synchronization of the Ledger, and protocol rules within the network.

⁴ SHA-256 is the secure 256-bit Hash algorithm used for cryptographic protection. It is a mathematical algorithm whose main objective is to encode data to form a unique character string.

- II. Blocks: they consist of header structures and a list of transactions. The transaction list points to the transactions executed and included in the block. The header has the hash code of the previous block and some information about the transactions carried out, it is the identifier field based on a unique value. It also adds other data, such as timestamp (records the date and time of the transaction) and nonce (a cryptographic token, created arbitrarily, used to contain replay attacks) (Agyekum et al., 2022).
- III. Trust and security: blockchain is decentralized and does not depend on intermediaries and focuses on providing anonymity, security, privacy, and transparency. Trust is produced with the use of consensus protocols in which all nodes of the network validate the transaction (Erdem et al., 2019).
- IV. Decentralized: blockchain facilitates record a transaction securely, traceably, and validly, decentralizing procedures, in which all transactions are cryptographically cataloged in a P2P distributed network.
- V. Smart contracts: they are self-executing programs on the blockchain. They are used to establish an agreement between participants without the involvement of an intermediary, that is, the network has to have a consensus for the execution of the contract (Shah et al., 2021). Smart contracts are enabled to provide a high degree of reliability, are stored in a distributed database, and cannot be changed (Mohanta et al., 2018).

The application of blockchain technology is described as an electronic transaction system independent of third-party trust. It started with Bitcoin (Nakamoto, 2008), which recorded transactions as a distributed accounting ledger. With the evolution of blockchain, applications for other domains emerged and four types of blockchain structures were developed:

- I. Public blockchain: the network operates in a transparent and open manner, with no entry restrictions, decentralized and with democratic participation. Anyone can investigate and audit the transactions carried out on the network simultaneously. However, none of the personal data or names of those involved is mentioned on the network, since the authors of these transactions are not pointed out. Examples of public blockchain are Bitcoin, Ethereum Litecoin, Monero and Zcash (Tsai et al., 2021).
- II. Private or permissioned blockchain: these are blockchains where permissions are kept centralized for an organization or entity. It is geared towards the development of the business environment, banks and institutions that need to carry out a sequence of standardization and need control of data and user identity. Access is managed with private rules and with restricted access, in general the

release is executed by some password or authorization mechanism. The transactions carried out on a private blockchain are executed between its members (P2P). They hold the membership of name and identity of those involved, which makes it possible to know who carried out and what was carried out (Mughal et al., 2022; Nunes et al., 2021). Private blockchains have the advantage of tolerating many transactions. However, due to centralization, security breaches and attacks may occur (Rocha, 2021). Examples are Hyperledger (IBM), TradeLens, Corda (R3 consortium).

- III. Hybrid blockchain: It is an association of both blockchains, public and private. They mix fragmented privacy models and can even use their own tokens which is the digital reproduction of a real financial asset on the network, similar to cryptocurrencies, examples of this blockchain are XRP Ledger (Ripple) and XinFin (Lamounier, 2019).
- IV. Consortium or federated blockchain: this type of blockchain preserves some power of control, in addition to the characteristics of the public blockchain, such as transparency and decentralization. The consensus protocol feature is conducted by a pre-selected conglomerate of nodes, that is, entities. Organizations can define whether visibility and data sending will be restricted to network members or whether they will be made publicly available, thus controlling access and privacy of transactions. Examples of this type of blockchain are Hyperledger Fabric, Quorum and Corda (Mughal et al., 2022; Nunes et al., 2021).

Given the context presented, blockchain technology can solve problems such as interoperability of EHR systems, security, transparency, data sharing, increasing trust between healthcare providers, auditability, privacy and control of access to patient data. However, it is important to consider some challenges:

One challenge pointed out by Pimenta and Silva (2021) for applications that use blockchain is the speed of transaction execution (latency). Latency refers to the time between sending and receiving a signal. In the case of blockchain, latency is the transmission time of a transaction between the sender and the receiver. This situation particularly affects public networks such as Bitcoin and the Ethereum platform. In the healthcare field, it can affect the integrated assistance feature when including different healthcare service providers, since networks with more participants need more time to execute transactions.

Another challenge, discussed by Conceição et al. (2019), is scalability in the blockchain scenario for healthcare. Scalability refers to both the number of transactions

that the system operates and the searches that it can respond to within a given time interval. In systems that integrate different participants, such as healthcare systems (e.g. doctors, patients, hospitals, clinics, medical service providers, etc.), scalability is important for the proper functioning of the system. This is an issue that deserves attention and investigation in the implementation of EHR systems (Conceição et al., 2019).

In this scenario, there are several problems related to interoperability due to the number of outdated health information systems. However, it is necessary to overcome the challenges mentioned above, as well as the need for investments in infrastructure and the creation of models for data sharing. In addition, it is necessary to take into account the complexity of health systems and the demand for technology integration with current systems. The use of blockchain in the health field needs to evolve in infrastructure and interconnection. The integration of blockchain with health systems is critical, as many of the current systems use obsolete technologies that are incompatible with blockchain technology. This makes integration costly and complex, requiring significant investments in infrastructure (Alves et al., 2022).

2.2. Consensus protocol

Consensus protocols are secure and fault-tolerant mechanisms present in blockchains and are used to determine how the nodes of the network come to an agreement regarding a certain decision, that is, to ensure that the chain data that is stored in the blockchain become legitimate and are not altered. The consensus protocols agree with the verifiable state of each node of the blockchain (Berghel, 2017; Khan et al., 2021; Li et al., 2021; Mohurle & Patil, 2017). Consensus allows users or machines to organize themselves in a distributed structure to achieve data security by ensuring that members of a system can agree on a single source of truth (Erdem et al., 2019). In this way, the alteration of any data in the information chain invalidates all subsequent blocks. The mechanism creates a system for continuous invulnerable data registration. As for its security and credibility, the data once verified are permanently saved in the blockchain, making it impossible to change them. This means that a transaction cannot be modified or tampered with once it is recorded on the blockchain. That is, errors are repaired in future transactions and the past transaction (with the error) is recorded and visible to everyone who has access to the network (J. Zhang et al., 2020). Some of the consensus protocols used in the blockchain are:

- I. Proof of work (PoW): a consensus mechanism that requires considerable computational effort. PoW is a fundamental part of adding new blocks to the

blockchain. Miners (name of system participants) mutually compete to add the block to the system. This “competition” occurs through the resolution of complex mathematical calculations. A new block is accepted by the network each time a miner presents a new victorious PoW (resolution), which occurs around approximately 10 minutes. As a reward, miners receive cryptocurrencies (F. Yang et al., 2019).

- II. Proof of stake (PoS): the validation of a new block is defined by the amount of coins that a user or miner has on the network, that is, cryptocurrency owners validate block transactions, based on the amount of coins staked (Asif et al., 2020).
- III. Proof-of-authority (PoA): it is a consensus algorithm mainly used in blockchain consortium, to directly process open transactions and verify user identity, that is, to certify that a validator is who they claim to be (Wang et al., 2022). In PoA, the rights to create blocks are given to nodes that have proven their authority to exercise it (Apla Revision, 2018). To possess this authority and the right to create blocks, this node needs to go through authentication first.
- IV. Zero knowledge proof (ZKPs): it is a mechanism by which one party (the prover) can prove to another party (the verifier) that information is authentic, in opposition, the prover makes it difficult to disseminate any additional information. The protocol uses four distinct functions: “a key generator function, an input program function, a prover function and a verifier function” (Pop et al., 2020, p. 6).
- V. Byzantine Fault Tolerance (BFT): it is a technique of decentralized and non-permissioned systems that are capable of successfully detecting and refusing reprehensible or defective information. The purpose of a BFT mechanism is to protect against system failures. Fault tolerance is the way for a distributed network to achieve consensus (decision about the same value) even if certain nodes in the network fail to respond or respond with false information (J. Yang et al., 2022).
- VI. Zero trust architecture (ZTA): ZTA is a security approach whose principle is to never trust whoever is accessing the network before carrying out a security assessment. In this approach, no user, device or server is trusted until authentication confirms their identity. User identity and privileges are defined by access control. Access control verifies the conduct of different operations including protected resources (Syed et al., 2022). Basically, the purpose of zero trust is to allow users on an untrusted network to access trusted information through authentication and control policies. (He et al., 2022).

2.3. Smart contracts

Smart contracts are contracts entered into in a digital coding model provided with self-enforceability. (Kemmo et al., 2020) considers the following objectives of a smart contract: observability (monitoring the contract performance), verifiability (execution of the document must be proven), privacy (only those responsible can have access to the execution of the processes) and applicability. A smart contract is a code that can specify norms and rules. In them, the duties, rights, and due punishments of any of the parties involved are determined, allowing reliability in the relations between the network (Muneeb et al., 2022). Smart contracts were initially created with the purpose of executing financial transactions. The following are the characteristics to create and carry out a smart contract in this context, however, these characteristics and rules are extended to other contexts:

- I. The object of the contract: the terms of the contract are associated with the object. Because it implements the governance rules for some kind of business object so that they are automatically applied when the smart contract is executed.
- II. Digital signatures: an agreement is signed by the contract participants using their private keys⁵.
- III. Contract terms: the terms of the smart contract are a chain of operations that must be signed by the participants.
- IV. Decentralized platform: the smart contract is implemented and distributed among the blockchain nodes.

A smart contract is executed on the blockchain, which implies that the terms are stored in a distributed database and cannot be modified (Kemmo et al., 2020). The contracts contain all the information about the terms of the contract between parties. The contracts are modified in the programming code. This provides the exchange of information that automatically triggers the actions provided for in the contract (Pinna et al., 2019). Transactions are also processed by the blockchain, which automates payments and counterparts (Kemmo et al., 2020). The next step after generating the contract is to release the contract. These signed contracts are shared with the nodes on the P2P network. The node temporarily stores the hosted contract in memory waiting for a consensus to be reached (Atici, 2022).

⁵ It is a secret key created during the process of asymmetric encryption. It serves to decrypt the received messages and transform them into readable information.

2.4. E-health and EHR, EMR and PHR systems

According to the Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS, 2025), e-Health are internet applications associated with other information technologies, with the purpose of improving the conditions of clinical processes, in the treatment of patients, and offering better conditions to the health system. E-Health or “digital health” aims to improve the requirements of clinical processes, surveillance, investigation and knowledge of patient treatment. Furthermore, electronic health systems improve service delivery and coordination by refining the flow of information through electronic means.

The applications used in e-Health are EMR, EHR and PHR. The doctor can consult all the patient’s information and history in their medical records, enabling them to make an accurate diagnosis based on each patient’s pathologies. However, these sensitive medical records can be altered or incomplete, which can stimulate users (such as doctors, research institutes and other patients) to create a wrong diagnosis, which can lead to a threat to a human being’s life (Sun, Ren, et al., 2020). Thus, the concern with the privacy and confidentiality of this amount of medical data manipulated by patients and others permissioned stakeholders to use this data is manifested (Rifi et al., 2017).

The EHR is defined in “ISO/TR 20514: 2005 Health Informatics” as a standard for recording patient data electronically and in real time (International Organization for Standardization [ISO], 2005). Through EHR systems, information is provided immediately and securely, granting access to authorized users, with the aim of observing the continuity of care efficiently and benefiting integrated care. EHR data can be structured and unstructured. Unstructured EHR data (i.e., written or dictated clinical notes) is the clinical documentation that represents the patient’s state. And structured EHR data can be divided into two classes. Administrative data are those that remain unchanged during the course of a clinical commitment (i.e., demographic and personal identification data) and those that change all the time (i.e., diagnoses and procedures) (Wu et al., 2017). Additionally, EHRs store a patient’s complete health history, e.g., diagnoses, medications, treatments, immunization information, allergies, radiological images, and laboratory tests; it allows access to data for a certain decision making related to patient care; it automates processes and thus optimizes the workflow of professionals (Picot et al., 2020).

The EHR offers various operational benefits to organizations, as well as those related to the quality and safety of patient care and increased privacy due to the use of blockchain technology. Whereas the EMR system stores specific care data from a

particular institution, producing a limited clinical history. The PHR contains health data and information related to patient health care (Picot et al., 2020).

2.5. Cloud computing - IPFS

Cloud computing technology refers to the on-demand provision of IT resources via the Internet. Instead of using software or hardware services that are stored locally, technology hosted in a remote database is used. Some basic characteristics of cloud computing are rapid elasticity, multitenancy, On-demand service and pay-per-use model (Ismail et al., 2021). The physical layer consists of hardware resources, e.g. servers, storage, network, installation resources for cooling, ventilation, power, supply and basic interfaces, to support offered cloud services. The software installed in the physical layer are the components of the abstraction layer, through a software abstraction they allow access to physical resources. They are responsible for allocating and monitoring the use of physical resources (Berghel, 2017).

The IPFS is a decentralized storage protocol designed to store and share various types of files and create a hash value for each file based on its content. This way, files can be accessed based on their hash. IPFS has a mechanism that saves storage space by preventing data from being stored repeatedly (Sun, Yao, et al., 2020). Furthermore, the same distributed file system connects all computing devices. Through this protocol, files are identified by their cryptographic hash, with this, the content becomes original. This cryptographic identifier protects the data from modification, as any action to modify the data stored in IPFS can only be executed by modifying the identifier (Shahnaz et al., 2019). The data sent is authenticated, so it is classified as a self-certified system. One of the main advantages of IPFS is its network, which is composed of several connection points, that is, it is decentralized and does not depend on a single node, which makes the network much more efficient (Nunes et al., 2021). It operates using a P2P network, which includes a data structure called IPFS object, including data and links. The data is binary and unstructured, and the link consists of a matrix (Shahnaz et al., 2019).

Ortega and Monserrat (2020) report that to share the IPFS file, which contains a large volume of data, it fragments it into several interconnected blocks. These blocks are stored using a Merkle tree, which is a multi-layered data structure that links each node to a single root. Each set of data is encrypted into a hash, which results in a unique and secure content identifier (CID).

3. RELATED WORKS

Senbekov et al. (2020) present a literature review aiming to discuss and analyze applications of artificial intelligence, big data, telemedicine, blockchain platforms and smart devices in the field of digital health. The evolution of 3D printing is discussed, as well as its application for the manufacture of organ models and implants. There is also a discussion about the difficulties of health and medical education in relation to tools and services that can integrate and restructure existing traditional systems, and they also address the issue of security and privacy in medical systems.

A literature review that researched the current scenario, design choices, limitations, and impending trends of blockchain technology-based PHRs was presented by Fang et al., (2021). The authors reveal that despite the evolution with research on PHRs and blockchain, this technology is largely in the phase of conceptual studies for application in e-Health. They point out problems with PHRs in blockchain that need to be solved such as scalability, privacy, and usability limitations.

The work of Ng et al. (2021) is a SLR with the purpose of analyzing blockchain applications in the health area, relevant and not relevant to covid-19. EMRs management, internet of things (i.e., remote monitoring or mobile health), and supply chain monitoring were three applications described for covid-19.

Mayer et al. (2020) conducted a literature review regarding the identification of problems, challenges, and advantages of blockchain applied to access management in EHR. In the review, the authors identified several limitations, such as technological limitations, adoption of suppliers, and infrastructure costs. They conclude that blockchain technology can solve problems such as EHR interoperability, trust sharing among health providers, auditability, privacy, and access control to data by patients.

The difference between this RSL and related works is the analysis of solutions based on blockchain technology to preserve privacy and security in the exchange of patients' medical data in EHRs. This RSL aimed to analyze solutions that meet security and privacy demands, showing the benefits and negative aspects of the solutions found; other works did not specifically focus on these issues.

A relevant fact about this literature review is that few works related to this topic were found, in addition to few literature reviews carried out to verify the state of the art. This was proven by the verification that most of the research carried out is guided in the integration, integrity, and access control of health records and data related to the patient. Therefore, the importance of carrying out the literature reviews presented

in this section is highlighted in order to analyze the studies found on the structures, architecture, or models using blockchain technology in the health area.

4. METHODOLOGY

The objective of this paper is to present a literature review on security and privacy issues for e-Health applications from the use of blockchain technology in the health domain. To identify blockchain-based solutions aimed at solving existing privacy and data security challenges in these systems, this SLR was conducted. For the development of this work, the research methodology was used according to the recommendations of (Kitchenham & Charters, 2007).

The SLR was carried out to identify works that address the use of blockchain for e-Health related to an analysis of applications in the health sector that provide a security and privacy solution regarding the applications of the integration of health records, whose goals were to provide elements for the exhibition of research data, discover the most suitable system for data collection and analysis, know the available studies related to the main theme of this work. In addition, to collect fundamental information for the elaboration of the possibilities of research questions. The search strategy included electronic databases and manual searches in conference proceedings. The search strings for the research question were structured as follows:

- Identify keywords.
- The execution of the research was carried out from the search of the terms inserted in the search strings.
- Perform empirical research with the candidate search strings, using the repositories: IEEE Xplore (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2025), ACM Digital Library (Association for Computing Machinery [ACM], 2025), ScienceDirect (Elsevier, 2025), Capes Periodicals (Capes, 2024) and the National Library of Medicine (n. d.).

As a result of using the methodology, the search string presented in table 1 was established.

Table 1. Search string

Search strings	
CP1	(“Blockchain”) AND (“Security and Privacy” OR “Security” OR “Privacy”) AND (“e-Health”).
CP2	(“Blockchain”) AND (“Architecture” OR “Software Architecture”) AND (“e-Health”).

4.1. Inclusion and exclusion criteria

To obtain accurate research results, inclusion criteria (IC) and exclusion criteria (EC) were defined, which can be seen in Table 2. All studies that were delimited in the EC were classified as ineligible immediately. The adopted criteria were:

Table 2. Inclusion and exclusion

IC	
IC1	Works published in the period (2016-2023)
IC2	The title must contain at least one of the keywords of the work
IC3	Articles published in a conference or scientific journal
IC4	Title, abstract and full text must be correlated with the theme of this work
EC	
EC1	Duplicate work
EC2	The proposed solution was not outlined for e-Health, EHR, EMR and PHR.
EC3	Full text cannot be accessed in repositories

4.2. Selection of articles

In addition to the preliminary selection criteria, it is essential to perform a quality assessment on the identified works. However, there is no defined quality standard for the selection of related works. Therefore, the concordance guidelines (Kitchenham & Charters, 2007) were used, which propose that a research quality is one that generates reliable results and produces results to avoid systematic errors. After defining the quality of the studies, the criteria proposed by (Dybå & Dingsøy, 2008) were used. For this, it was applied through the definition of quality assessment questions, then criteria were determined to investigate the quality pointed out in the articles and that met at least 70% of the following questions. These criteria are presented in table 3.

Table 3. *Quality criterion used in RSL*

ID	Quiz	Aspects
CQ1	Is the solution clearly detailed?	Rigidity
CQ2	Is there a clear description of the scope of the proposed solution?	Rigidity
CQ3	Are the research objectives and motivation clearly defined?	Rigidity
CQ4	Did the authors present a real case?	Relevance
CQ5	Is there an evaluation and validation process, as well as a statement of the results achieved?	Relevance
CQ6	Did the study identify a scenario to evaluate the application?	Relevance
CQ7	Do the authors describe the main problems that can be solved with blockchain?	Relevance
CQ8	Does the study have value for research or practice?	Credibility
CQ9	The authors cite what benefits were achieved with the application of blockchain in e-Health systems.	Credibility
CQ10	Does the study describe what types of blockchain technologies were used?	Credibility

The works were analyzed according to the specifications of (Dybå & Dingsøyr 2008) and each article was assigned a grade to pass the quality assessment. For each question in the questionnaire, table 7, score 1 was given, totaling 10 points. Although most of the articles did not fully satisfy all 10 questions of the evaluation, it was established as a cut-off grade article with a minimum grade 7, considered to be fully evaluated. Some articles obtained a grade below 7 points, which indicates that some of the criteria were not met, among them the most common were the absence of real applications of blockchain technology, clear identification of the problems to be solved with the technology and the adequate description of the results achieved with the application of this technology, resulting in a limitation of the study. In addition to the articles with a grade lower than the cut-off grade, some studies that achieved a grade above 7 showed some contradictions in their evaluation, (i.e., the way the results were described). In addition, a small number of studies showed limitations of the proposed projects, in which a project solution was modeled, but there was no execution of it.

The analysis of the quality criteria of the works was carried out in accordance with table 4. To apply the grade, the quality issues were classified based on the scoring matrix illustrated in table 4.

Table 4. Scoring matrix

Criteria	Article evaluation	note
Excellent	Relevant, coherent conclusion.	10
Good	Relevant.	Between 8 and 9
Average	Simple but coherent discussion	7
Poor	Weak discussion and disconnected conclusions	Below 7

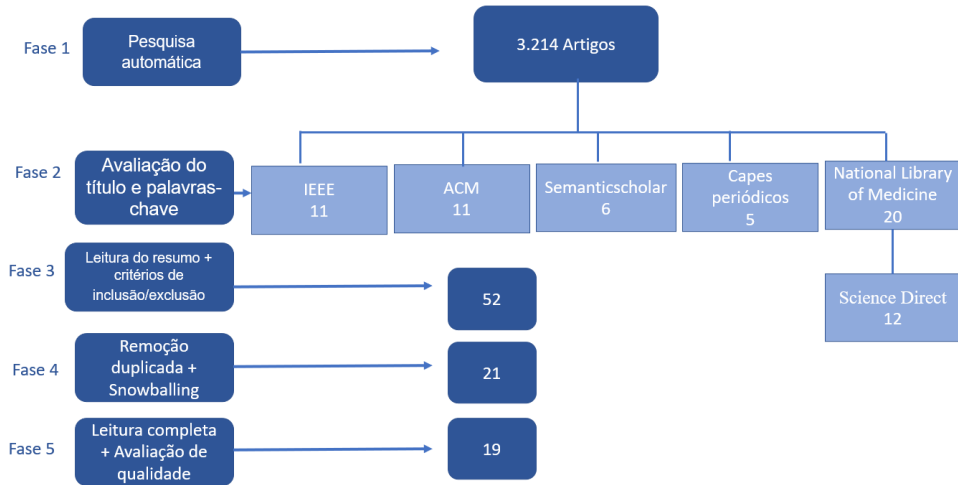
During the selection process, the articles that were selected for quality analysis were read by all authors and the evaluation was carried out through discussions until a consensus was reached. The base collection of studies was achieved based on the application of search string. Automatic search results returned 3.214 works distributed in the search repositories: 232 in Semantic Scholar, 1.059 in Science Direct, 71 in IEEE Xplore, 1.164 in the National Library of Medicine, 451 in Capes Periodicals and 237 in the ACM. However, not all papers were completely related to the research topic, as they went through an elimination procedure, in which each analysis and decision-making delimits the group of original articles.

In the first screening stage, the articles were analyzed based only on the title and keywords, using the IC and EC. 52 articles were pre-selected in this stage were cataloged, on the Parsifal (2021) platform, recording the following information: abstract, authors, title, repository, year.

The IC and EC criteria were then applied again by reading the abstracts. In some cases, it was difficult to identify whether the article was aligned with the objective of this systematic review. In this scenario, the articles were kept for a new evaluation in the next stages. For better refinement, the EC were also used at this stage, since their use in the previous stage was applied only to the title and keywords. After this phase, the 52 articles selected in the previous stage were kept and included in the Mendeley® reference management tool.

The subsequent step excluded 27 duplicate papers. In addition, the snowball technique was used to manually include other papers. This technique allows selecting articles from reference lists or citations of other papers (Wohlin, 2014). At the end of this step, 21 papers remained.

Finally, the papers were read in full, with the inclusion and EC being applied again, in an even broader manner. A more detailed investigation was carried out with an assessment of the quality of the papers, resulting in the selection of 19 papers. Figure 1 illustrates this entire process of searching and selecting papers.

Figure 1. Search strategy and results

5. ANALYSIS OF THE PROPOSED SOLUTIONS FOR EHR SYSTEMS

Kim et al. (2022) proposed a PHR application based on blockchain technology and user experience with the aim of preventing personal data from being tampered with. Through the application, patients can manage their own data and connect at anytime and anywhere to check their medical record data that are gathered through different channels. In addition, they can count on the following benefits: restrict the duality of diagnoses and medical prescriptions, life quality refinement through “health management services and the exchange of medical information between hospitals” (Kim et al., 2022, p. 1).

Cernian et al. 2020 presents an approach based on blockchain technology called PatientDataChain, aiming at the interoperability of the intrinsic sensors of various wearable devices, enabling the collection of unique data from patients’ medical records in the PHR system. Connecting different healthcare providers, where the collected data are attached to a single system of confidential health records PHR. The approach has advantages of data confidentiality and privacy and simultaneously in offering secure access to patients’ medical records (Cernian et al., 2020).

Xiao et al. (2021) HealthChain proposal sought to address security and privacy issues in EHRs and the lack of system integration. The project differs from other blockchain for EHR because the HealthChain is a consortium blockchain that is the combination

between hospitals, insurers and government agencies thus forming the consortium. HealthChain is based on a governance standard, therefore, the interaction of users with the blockchain can be determined according to the principles of access control, i.e., access is restricted to authorized people. In addition, HealthChain has characteristics of blockchain technology, e.g. immutability and transparency, this means that when EHR data are inserted in the list chained by hash⁶ there is no possibility of being altered. HealthChain employs the Transport Layer Security (TLS) protocol that allows both parties to detect, authenticate and converse respectively with data confidentiality and integrity.

Nunes et al. (2021) describes the analysis of the SUS⁷ regarding medical data, sensitive patient data, reports, diagnoses and medical prescriptions that are stored in an electronic environment. The current system model is centralized, which they consider inappropriate for storing this critical data. So, in this scenario, the authors propose a different system from the current one, the proposal of a decentralized medical data system adaptable to the General Data Protection Law (LGPD) (Brazil, 2018), using the IPFS, blockchain and Pretty Good Privacy (OpenPGP) cryptography that works through asymmetric keys. The proposal of the decentralized system to preserve privacy and assist in the access of medical data by permitted institutions, health professionals to health server bodies, would provide transparency, integrity, integration and security in the system currently used by the SUS.

Medicalchain is a company that works with healthcare providers to run blockchain-based medical records. To build the Medicalchain solution, they used two blockchain frameworks. The first framework uses Hyperledger Fabric to control access to health records. The second framework, used as the basis for all applications and services on the platform, is based on Ethereum's ERC20 token. Ethereum is an open-source decentralized platform that allows the sending of cryptocurrencies to some users at the cost of a small fee of the currency (Ether). The Medicalchain payment system works with the use of tokens called "MedTokens", issued by the platform to patients. Tokens allow patients to perform certain tasks, e.g. register their data on the blockchain, pay for services on the platform, use third-party applications (Capece & Lorenzi, 2020).

Stamatellis et al. (2020) propose the Privacy-Preserving Healthcare (PreHealth), an approach that has the capacity to use in the storage of EHRs, ensuring patient privacy using the structure of the permissioned blockchain technology of Hyperledger

⁶ SHA-256 Secure Hash Algorithm.

⁷ Check footnote 2.

Fabric, and an Identity Mixer (Idemix) which is a cryptography protocol based on proof of knowledge, the ZKP, which offers a privacy protection mechanism, such as anonymity and unlinking. PreHealth can be used by patients or other health agents. With the capacity to accommodate patient records efficiently, enabling anonymity and disassociation. In addition, it provides pillars for secure auditing, protection of the privacy of sensitive data collected. The advantage of PreHealth is the privacy protection features that are following General Data Protection Regulation (GDPR) (Intersoft Consulting, n. d.).

A smart contract-based architecture, called SmartMed Chain, has been developed for a Smart Healthcare (S-Healthcare) environment. The structure uses Hyperledger Fabric and data is stored on IPFS. The system is to protect the sharing of health data among different stakeholders. Patients can access the upload and reading of their EHRs, as well as s-healthcare providers can upload and read these generated EHRs. Furthermore, in relation to patient choices and in accordance with relevant privacy laws, S-Healthcare stakeholders may incorporate supervision of the service application with a privacy agreement management scheme (El Majdoubi et al., 2021).

Hussien et al. (2021) presents a study related to the failures of PHRs technology and blockchain technology applied to health, such as difficulties with privacy and the storage capacity of the blockchain. In addition, the data is exposed to everyone on the network due to its transparency and decentralization and for specific applications it becomes inadequate. So, to solve these limitations, the authors propose a user attribute-based access control (ABAC) scheme. The encryption is based on Ciphertext-Policy Attribute-Based Encryption (CP-ABE) text policy attribute and searchable symmetric encryption (SSE), and the use of smart contracts. The purpose of access control is to achieve an attribute of the CP-ABE access structure policy and ensure that medical data is only accessed through user attribute matching. The encryption used is based on text policy attributes and SSE, which associated with smart contract technology aims to achieve security in data access control and external encrypted data.

A remote patient monitoring system, called mHealth, was developed by Taralunga and Florea (2021) based on Ethereum to share and interpret medical data, where wearable sensors are devices that allow capturing a series of health information (e.g. behavior, vital signs, activity), in addition to facilitating communication with a smart device (i.e., smartphone or smart tablet) using a P2P hypermedia protocol, the IPFS, for the distributed storage of health-related data. Data research, access to patient data by health professionals, the recording of diagnoses, treatments and therapies and the issuance of warnings to patients and medical professionals are all created in

smart contracts. The approach has the advantage that only health professionals are represented in the blockchain network nodes and thus exchanging a centralized EHR database for a distributed database.

Dubovitskaya et al. (2017) state that many EHRs are regularly shared between healthcare professionals, pharmacies, and patients for clinical diagnosis and treatment. Therefore, they proposed scenarios of health data management applications based on blockchain technology in different health sectors (e.g. primary care, medical data research and connected health), especially for sharing EMR data among health providers and for research studies. In addition, the proposal of a structure to manage and share EMR data for patient care with cancer. For the implementation of the structure, they partnered with Stony Brook University Hospital, producing a prototype that ensures privacy, security, availability, and enhanced access control related to EMR data. Enabling a considerable reduction in response time for EMR sharing.

Sun, Yao, et al. (2020) presented a proposal for a searchable scheme of distributed EMRs based on blockchain technology. The integrity and authenticity of electronic medical data are presumed through a hash calculation that is stored in the blockchain, and then these data are encrypted and stored in the IPFS system. The association of IPFS and blockchain allows to process large volumes of data by doctors, suppressing the demand to store them in the blockchain, and thus saves network bandwidth in blockchain. These encrypted EMR data are housed in the Ethereum blockchain, implemented by a smart contract. To ensure that only the attributes that have access policy are able to decipher the encrypted electronic medical records.

Abunadi and R. L. Kumar (2021) propose an access control framework called BSF-EHR to maintain data consistency and protect patient privacy. The goal of this framework is to grant permission to authorized parties (e.g., physicians, insurance agents) to share healthcare data on the blockchain, preventing unauthorized access and external attacks. The BSF-EHR proposal is made up of five parts: “the patient, the doctor, the insurance agent, the EHR server, and the data verifier” (Abunadi & Kumar, 2021, p. 4). For access control, the authors applied smart contracts on the Ethereum platform. Each patient has access to their own EHR data. Similarly, the physician can only view the EMRs of patients who have received treatment and whose electronic records can only be accessed with authorization. Likewise, the insurance agent can only view the care of patients with authorization granted.

MedRec is a Ethereum platform that controls the “authentication, confidentiality, accountability, and data sharing” of EHRs, where patient data can be stored and obtained by different institutions, people, and health professionals (Azaria et al.,

2016, p. 26). Its modular design fits into the data storage of providers, contributing to interoperability making the system suitable and flexible. MedRec has a failover model (fault tolerance), with several entities that are part of the system to avoid a single point of failure. MedRec stores medical records locally in separate provider and patient databases, each node stores copies of the authorization data in the network. However, according to the authors, MedRec does not address the security of individual databases, since local security management must be ensured by the specific system administrator. In addition, it also does not solve the problem of digital rights management. The system is governed by external regulation, Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA)⁸ (Azaria et al., 2016).

Tuler De Oliveira et al. (2022) propose an ABAC system for sharing medical records among organizations, called SmartAccess. The work aims at the control of data access in organizations through the ABAC model. It uses smart contracts and private and permissioned blockchain. SmartAccess has as reference the architecture established by the XACML (XML Access Control Markup Language)⁹ standard and implements the ABAC components as smart contracts. Policies are managed and defined by the controllers in the blockchain network.

Zhang et al. (2018) presents the FHIRChain for data sharing based on the FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) standard, it is a standard for health information exchange. Five basic interoperability requirements are addressed by FHIRChain: secure data exchange, consistent data formats, user identification and authentication, authorized access to data, and system modularity. A smart contract that manages a token for controlling access to data. Access tokens use asymmetric cryptography that encrypts the addresses of data off-chain. The proposed framework uses users' digital health identities to encrypt the content, so that only users who have the private keys of the digital identity can decipher the content.

Dagher et al. (2018) presents the Ancile platform, an EMRs interoperability system using smart contracts based on the Ethereum blockchain, preserving the privacy of patient data. Blockchain adoption through smart contracts speeds up processes and reduces manual record-keeping costs. Smart contracts automatically execute specific actions when predefined conditions are met.

⁸ HIPAA is a set of standards that American health organizations must comply with to protect information.

⁹ XACML (Extensible Access Control Markup Language) is an XML-based language for access control policy, designed to present security policies and access requests to information.

The HealthyBlock architecture proposed by Gutiérrez et al. (2020) considers different clinical providers for unification of EMR systems; data recovery when there is a connectivity failure. HealthyBlock has usability, security and privacy features. A prototype of the HealthyBlock architecture was implemented for patient care in a hospital network. The results of the analysis revealed high efficacy in preserving the unified, updated, and secure EMRs of patients. The authors highlight that the need for storage can quickly grow, as it encompasses the records of all patients in the hospital network. According to the authors, the advantages of security and accessibility outweigh the cost of storage.

Haritha and Anitha (2023) propose a mechanism based on Ethereum blockchain that encompasses the lattice-based access control (LBAC)¹⁰ model and smart contracts to ensure the security of the interaction between the combination of objects (documents, files, databases, folders etc.) and subjects ('developers, users, processes, etc.'). Only where authorized users can access, security requirements (e.g. security analysis, authorization policies, and transaction policies) are enforced by LBAC. The requirement may be limited to changes where users are authorized as 'true', this means that the user is trusted if the mechanism certifies that he has access permission. The authors describe that the proposed system, compared to benchmarking methods, preserves privacy, maintains transparency, provides an authentication process and data integrity, and provides access control security.

An access control system, called LightMED, was proposed by Fugkeaw et al. (2023). The system enables sharing of medical record data in a blockchain-integrated fog computing environment using CP-ABE. They included a signature algorithm to handle authentication derived from records collected from IoT devices, which according to the authors is not supported by most current CP-ABE schemes. They describe that several fog nodes are established to execute the CP-ABE encryption and implement the connection with the cloud server and blockchain. This improves communication and reduces the cost of outsourcing data computation. Furthermore, for fog nodes to encrypt data without revealing the content of the policy, an attribute tree-based encryption is applied to maintain the privacy of the access policy while it is sent to the fog node. To encrypt data from IoT devices and decrypt it after receiving it, two algorithms have been proposed. According to the authors, the application of these two algorithms can prevent patient data from being improperly exposed (Fugkeaw et al., 2023).

¹⁰ LBAC is an access control model based on the relationship between a combination of objects (such as resources, computers, and applications) and subjects (such as users, groups, or organizations).

For better understanding, a summary of the solutions analyzed, and some related characteristics were shown in Table 5.

Table 5. *Summary of solutions found*

Selected studies	Category	Author	Observations
Aplicativo PHR	Access control	Kim et al. (2022)	The app's strength is to prevent personal data from being tampered with. However, in the study, the authors report that the satisfaction or feasibility of each function of the application was not verified.
PatientDataChain	Access control	Cernian et al. (2020)	In the proof of concept, the proposal proved the feasibility of the model in the integration of varied PHRs and scalability for many users.
HealthChain	EHR storage system	Xiao et al. (2021)	Immutable, permissioned, scalable, HIPAA-compliant, privacy rule, and security rule, and performs well. However, two disadvantages were discussed. "First, the single orderer causes a single point of failure. If the orderer fails, EHR transactions cannot be ordered into a block, causing the entire system to fail, as read latency increases with the growth of the blockchain" (p. 2).
Decentralized model using IPFS	Analysis of proposal for the SUS	Nunes et al. (2021)	The proposal presented is a study and there was no execution of the project to prove the proposal.
Medicalchain	Health-care providers	Capece and Lorenzi (2020)	It presents Medicalchain with a proposal based on two blockchain frameworks and a payment system.
PreHealth	EHR storage system	Stamatellis et al. (2020)	According to the proof of concept, PreHealth ensures privacy and, simultaneously, less overhead in queries with a high volume of stored data.
SmartMed Chain	Data sharing architecture	El Majdoubi et al. (2021)	SmartMed Chain has proven to be efficient in ensuring security, privacy, confidentiality, integrity and scalability requirements for health data.

Selected studies	Category	Author	Observations
Criptografia pesquisável SC-ABSE	Access control	Hussien et al. (2021)	The proposal achieves an increased level of security with lower computation, storage and communication costs.
MedRec	Access control	Azaria et al. (2016)	The implementation is based on the permissionless blockchain and PoW protocol, which has transaction fees and requires “mining” processes and account management.
mHealth remote patient monitoring system	mHealth remote patient monitoring system	Taralunga and Florea (2021)	A remote patient monitoring system, called mHealth, based on Ethereum to share and interpret medical data, using wearable sensors to capture a series of health information.
Healthcare data management application scenarios	Framework for managing and sharing EMR data	Dubovitskaya et al. (2017)	The storage is cloud-based, and encryption and key sharing is applied to ensure data availability, even if the hospital node is momentarily offline.
Searchable schema for distributed EMRs	Storage system	Sun, Ren; et al. (2020)	The proposal showed lower costs in the implementation of contracts for sharing EMRs and is acceptable to users. Although in the call of some of the functions in the smart contract the cost can increase according to a larger volume of medical records. Despite this, they consider the increase irrelevant and the scheme viable.
BSF-EHR structure	Access control	Abunadi and Kumar (2021)	In the experimental results, the BSF-EHR access control system showed security and privacy protection in sharing EHRs data between users.
SmartAcces	Access control	Tuler de Oliveira et al. (2022)	Conducting the SmartAccess proof of concept has proven its feasibility. In which the “complexity and scalability of the functions of the contracts and measuring the latency and throughput of transactions.” (p. 17). The results regarding the overhead when performing the SmartAccess functions were acceptable.

Selected studies	Category	Author	Observations
FHIRChain	Data sharing system between doctors and researchers	P. Zhang et al. (2018)	Some limitations of the FHIRChain prototype were discussed: “Does not address semantic interoperability, may not be compatible with legacy systems that do not support FHIR, cannot control clinical negligence, DApp deployment costs.” (p. 275). However, to solve these limitations, the implementation of the DApp on a consortium blockchain platform is proposed as a future work.
Ancile	Access control	Dagher et al. (2018)	Ancile provides privacy preservation and data integrity. It is designed to be implemented on existing systems and uses the Ethereum platform.
HealthyBlock	Unified EMR system	Gutiérrez et al. (2020)	One element evaluated in performance tests when programming the HealthyBlock architecture is the synchronizer. It is the core of the system, because of its function in preserving the integrity of the system data. It has a high impact on system latency.
LBAC model	Access control	Harittha and Anitha (2023)	They use smart contracts to ensure secure access control to data while preserving privacy. However, there are some limitations, such as focusing only on the development of multi-level security.
LightMED	Access control	Fugkeaw et al. (2023)	The performance of LightMED experiments and results showed that the cryptographic operations achieved considerable throughput, and the scheme was effective and extremely scalable. However, some issues related to user and attribute revocation were not fully addressed and are considered as priorities for further development and research.

6. CONCLUSIONS

This SLR took place through the main information regarding the application of blockchain in the health area. In all the chosen studies, the impact of technology is considered promising. Data security and data ownership, according to Huang (2019), are two

important issues that need to be addressed, he considers that blockchain can be the solution to these issues. It can be applied to the access and sharing of patient medical records. Access to medical records can be complex as they may be spread across various health entities. Therefore, blockchain allows patients to have full and secure access to all their records and medical history.

Regarding the application proposals discovered in the literature, the application of IPFS was the most explored use case. The presented works adopted the use of blockchain based on smart contracts and IPFS. Mechanisms such as encryption protocol were used to ensure privacy, secrecy, and security in the storage of medical records, in the control of access to patient data, as well as to other health professionals and outsourced. Some works used the permissioned blockchain from Hyperledger Fabric and Ethereum. Others used the consortium type blockchain. It also verified the use of several protocols such as ZKPs, PoW, PoS, PoA. In most of the works, the use of the decentralized storage protocol IPFS. In addition to the security features of blockchain, encryption was added to further enhance security, such as CP-ABE, SSE, and OpenPGP.

A relevant fact is that few works are related to the ZTA¹¹, the combination of blockchain with ZTA is still little explored in the literature, probably because it is a new technology. The analysis of the articles found in this literature review points to relevant facts, such as the trend of adopting blockchain in EHR systems. Another aspect identified is that most of the proposed solutions depend on storing the data directly on the blockchain, which is not scalable, other solutions propose off-chain storage, which are not completely decentralized or congruent with the blockchain.

This literature review identified only works related to applications in the health area and the technical subjects that were discussed in this review may need to be reviewed. Therefore, if it is necessary to examine some project decision pointed out in the works, it is interesting to reexamine the literature on the subject without restricting the search to the health domain.

This literature review contributed to presenting solutions for the healthcare sector, highlighting issues related to privacy and security in the sharing of EHR systems. This literature review identified the need to address some gaps in future work, e.g. issues of scalability, latency and integration of an architectural model that preserves the privacy and security of patient data in EHR systems. It is intended to present an archi-

¹¹ ZTA is an enterprise cybersecurity architecture based on zero trust standards and designed to block data breaches. The ZTA approach is primarily focused on protecting data and services.

ecture based on the combination of blockchain technology that integrates the principles of ZTA to solve security and privacy problems related to medical records sharing and storage.

Author contributions:

Silva, R. S.: Conceptualization, Validation, Investigation, Data curation, Writing, review.

Silva, P. C.: Conceptualization, Methodology, Validation, Writing – original draft, Writing, review, and editing, Supervision, Project administration. **Díaz, D. J.:** Conceptualization, Methodology, Validation, Writing, review, and editing, Supervision.

Reginalda Santos Silva (Silva, R. S.)

Paulo Caetano da Silva (Silva, P. C.)

Daniel Josè Díaz (Díaz, D. J.)

Conflict of interest statement

Authors declare that, throughout the research process, there has not been any sort of personal, professional, or economic interest that may have influenced the researchers' judgement and/or actions during the elaboration and publication of this article.

REFERENCES

- Abunadi, I., & Kumar, R. (2021). BSF-EHR: Blockchain security framework for Electronic Health Records of patients. *Sensors*, 21(8), 1-10. <https://doi.org/10.3390/s21082865>
- Agyekum, K. O.-B. O., Xia, Q., Sifah, E. B., Cobblah, C. N. A., Xia, H., & Gao, J. (2022). A proxy re-encryption approach to secure data sharing in the internet of things based on blockchain. *IEEE Systems Journal*, 16(1), 1685–1696. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2021.3076759>
- Alahmadi, D. H., Baothman, F. A., Alrajhi, M. M., Alshahrani, F. S., & Albalawi, H. Z. (2021). Comparative analysis of blockchain technology to support digital transformation in ports and shipping. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 55-69. <https://doi.org/10.1515/jisys-2021-0131>
- Alves, C. J. R., dos Reis, L. T. P., Neto, L. R., da Silva, D. O., & Da Costa, C. A. (2022). Blockchain em Saúde: uma análise de pesquisas na base Scopus. *Journal of Health Informatics*, 14, 110-116. <https://jhi.sbis.org.br/index.php/jhi-sbis/article/view/935>

- Apla Revision. (2018). Proof-of-authority consensus. <https://apla.readthedocs.io/en/latest/concepts/consensus.html#proof-of-authority-consensus>
- Asif, R., Ghanem, K., & Irvine, J. (2020). Proof-of-PUF enabled blockchain: Concurrent data and device security for internet-of-energy. *Sensors*, 21(1), 1-32. <https://doi.org/10.3390/s21010028>
- Association for Computing Machinery. (2025). *ACM Digital Library*. <https://dl.acm.org/>
- Atici, G. (2022). A review on blockchain governance. In G. M. Mantovani, A. Kostyuk, & D. Govorun (Eds.), *Corporate governance: Theory and practice* (pp. 128-133). Palgrave Finance. <https://doi.org/10.22495/cgtapp23>
- Azaria, A., Ekblaw, A., Vieira, T., & Lippman, A. (2016). MedRec: Using blockchain for medical data access and permission management. In I. Awan, & M. Younas (Eds.), *2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)* (pp. 25-30). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OBD.2016.11>
- Berghel, H. (2017). Equifax and the latest round of identity theft roulette. *Computer*, 50(12), 72-76. <https://doi.org/10.1109/MC.2017.4451227>
- Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil De 1988*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Capece, G., & Lorenzi, F. (2020). Blockchain and healthcare: Opportunities and prospects for the EHR. *Sustainability*, 12(22), 1-32. <https://doi.org/10.3390/su12229693>
- Capes. (2024). Portal de Periódicos da Capes. <https://www-periodicos-capes-gov.br/>
- Cernian, A., Tiganoiaia, B., Sacala, I., Pavel, A., & Iftemi, A. (2020). PatientDataChain: A blockchain-based approach to integrate personal health records. *Sensors*, 20(22), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s20226538>
- Conceição, A. F. da, Rocha, V., & Moreira, P. R. F. de. (2019). Blockchain e aplicações em saúde. In N. Castro Fernandes, A. Ziviani, & D. C. Muchaluat Saade (Eds.), *Mini-cursos do XIX Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde* (pp. 1-50). Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
- Dagher, G. G., Mohler, J., Milojkovic, M., & Marella, P. B. (2018). Ancile: Privacy-preserving framework for access control and interoperability of Electronic Health Records using blockchain technology. *Sustainable Cities and Society*, 39, 283-297. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.014>
- Da Silva Costa, M. V., Castro Santos Camargos, M., Nunes Viana, S. M., & Vieira de Souza Mendes, U. (2025). Avanços e desafios da interoperabilidade no Sistema Único de Saúde. *Journal of Health Informatics*, 17(1), 1-6. <https://doi.org/10.59681/2175-4411.v17.2025.1112>

- Da Silva Rodrigues, C. K., & Rocha, V. (2021). Towards blockchain for suitable efficiency and data integrity of iot ecosystem transactions. *IEEE Latin America Transactions*, 19(7), 1199-1206. <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9461849>
- Dubovitskaya, A., Xu, Z., Ryu, S., Schumacher, M., & Wang, F. (2017). Secure and trustworthy electronic medical records sharing using blockchain. In American Medical Informatics Association (Ed.), *AMIA 2017 Annual Symposium Proceedings* (pp. 650-659). American Medical Informatics Association. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.06528>
- Dybå, T., & Dingsøyr, T. (2008). Empirical studies of agile software development: A systematic review. *Information and Software Technology*, 50(9-10), 833-859. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.01.006>
- Elangovan, D., Long, C. S., Bakrin, F. S., Tan, C. S., Goh, K. W., Yeoh, S. F., Loy, M. J., Hussain, Z., Lee, K. S., Idris, A. C., & Ming, L. C. (2022). The use of blockchain technology in the health care sector: Systematic review. *JMIR Medical Informatics*, 10(1), 619-624. <https://doi.org/10.2196/17278>
- El Majdoubi, D., El Bakkali, H., & Sadki, S. (2021). SmartMed Chain: A blockchain-based privacy-preserving smart healthcare framework. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021(1), 1-19. <https://doi.org/10.1155/2021/4145512>
- Elsevier. (2025). *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/>
- Erdem, A., Yildirim, S. Ö., Angin, P., Erdem, A., Yildirim, S. Ö., & Angin, P. (2019). Blockchain for ensuring security, privacy, and trust in iot environments: The state of the art. In Z. Mahmood (Ed.), *Security, privacy and trust in the IoT environment* (pp. 97-122). https://doi.org/10.1007/978-3-030-18075-1_6
- Fang, H. S. A., Tan, T. H., Tan, Y. F. C., & Tan, C. J. M. (2021). Blockchain personal health records: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 23(4), 1-33. <https://doi.org/10.2196/25094>
- Fugkeaw, S., Wirz, L., & Hak, L. (2023). Secure and lightweight blockchain-enabled access control for fog-assisted iot cloud based electronic medical records sharing. *IEEE Access*, 11, 62998-63012. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3288332>
- Gomes, N. B. P., Franco, S. de C., & Salvador, L. do N. (2022). ONTOVID - Uma abordagem para construção de grafos de conhecimento semântico com enfoque em notificações e óbitos relacionados ao novo coronavírus (covid-19). In R. da Rosa Righi, & P. E. Ambrósio (Coords.), *Anais Do XXII Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde* (pp. 425-436). <https://doi.org/10.5753/sbcas.2022.222723>
- Gutiérrez, O., Romero, G., Pérez, L., Salazar, A., Charris, M., & Wightman, P. (2020). HealthyBlock: Blockchain-based it architecture for electronic medical records resi-

- lient to connectivity failures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 1-38. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197132>
- Han, Y., Zhang, Y., & Vermund, S. H. (2022). Blockchain technology for Electronic Health Records. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 1-6. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315577>
- Haritha, T., & Anitha, A. (2023). Multi-level security in healthcare by integrating lattice-based access control and blockchain-based smart contracts system. *IEEE Access*, 11, 114322–114340. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3324740>
- Healthcare Information and Management Systems Society. (2025). *Interoperability in healthcare*. <https://www.himss.org/resources/interoperability-healthcare>
- He, Y., Huang, D., Chen, L., Ni, Y., & Ma, X. (2022). A survey on zero trust architecture: Challenges and future trends. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022(1), 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/6476274>
- Huang, X. (2019). Blockchain in healthcare: A patient-centered model. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 20(3), 1-10. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.20.003448>
- Hussien, H. M., Yasin, S. M., Udzir, N. I., & Ninggal, M. I. H. (2021). Blockchain-based access control scheme for secure shared personal health records over decentralised storage. *Sensors*, 21(7), 1-36. <https://doi.org/10.3390/s21072462>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2025). *IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- International Organization for Standardization. (2005). ISO/TR 20514: 2005 Health Informatics. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:20514:ed-1:v1:en:en>
- Intersoft Consulting. (n. d.). General Data Protection Regulation (GDPR). <https://gdpr-info.eu/>
- Ismail, L., Materwala, H., & Hennebelle, A. (2021). A scoping review of integrated blockchain-cloud (BcC) architecture for healthcare: Applications, challenges and solutions. *Sensors*, 21(11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/s21113753>
- Kemmoe, V. Y., Stone, W., Kim, J., Kim, D., & Son, J. (2020). Recent advances in smart contracts: A technical overview and state of the art. *IEEE Access*, 8, 117782–117801. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3005020>
- Khan, D., Jung, L. T., & Hashmani, M. A. (2021). Systematic literature review of challenges in blockchain scalability. *Applied Sciences*, 11(20), 1-27. <https://doi.org/10.3390/app11209372>

- Kim, J. W., Kim, S. J., Cha, W. C., & Kim, T. (2022). A blockchain-applied personal health record application: Development and user experience. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4), 1-13. <https://doi.org/10.3390/app12041847>
- Kitchenham, B. and Charters, S. (2007, January 9). *Guidelines for performing systematic literature reviews in Software Engineering*. Elsevier. https://www.elsevier.com/_data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Lamounier, L. (2019, January 9). Blockchain híbrida: O melhor de dois mundos. *101 Blockchain*. <https://101blockchains.com/pt/blockchain-hibrida-explicado/>
- Lavina, M. E. (2018). Validação do uso da tecnologia blockchain para o tráfego seguro de dados na área da saúde. *Unisul*, 1(2), 1-16.
- Li, D., Han, D., Weng, T. H., Zheng, Z., Li, H., Liu, H., Castiglione, A., & Li, K. C. (2021). Blockchain for federated learning toward secure distributed machine learning systems: A systemic survey. *Soft Computing*, 26(9), 4423-4440. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06496-5>
- Liu, X., Wang, Z., Jin, C., Li, F., & Li, G. (2019). A Blockchain-based medical data sharing and protection scheme. *IEEE Access*, 7, 118943-118953. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937685>
- Liu, Z., Xiang, Y., Shi, J., Gao, P., Wang, H., Xiao, X., Wen, B., & Hu, Y. C. (2019). Hyperservice: Interoperability and programmability across heterogeneous blockchains. In L. Cavallaro, J. Kinder, X. Feng Wang, & J. Katz (Eds.), *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Computer and Communications Security* (pp. 549-566). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3319535.3355503>
- Mayer, A. H., da Costa, C. A., & Righi, R. da R. (2020). Electronic Health Records in a blockchain: A systematic review. *Health Informatics Journal*, 26(2), 1273-1288. <https://doi.org/10.1177/1460458219866350>
- Mohanta, B. K., Panda, S. S., & Jena, D. (2018). An overview of smart contract and use cases in blockchain technology. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2018.8494045>
- Moura, L. M. F. de, Brauner, D. F., & Janissek-Muniz, R. (2020). Blockchain e a perspectiva tecnológica para a administração pública: Uma revisão sistemática. *Revista de Administração Contemporânea*, 24(3), 259-274. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2020190171>

- Mughal, M. H., Shaikh, Z. A., Ali, K., Ali, S., & Hassan, S. (2022). IPFS and blockchain based reliability and availability improvement for integrated rivers' streamflow data. *IEEE Access*, 10, 61101-61123. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3178728>
- Muneeb, M., Raza, Z., Haq, I. U., & Shafiq, O. (2022). SmartCon: A blockchain-based framework for smart contracts and transaction management. *IEEE Access*, 10, 23687-23699. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3135562>
- Nakamoto, S. (2008, August 21.). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=3440802>
- National Library of Medicine (n. d.). National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Ng, W. Y., Tan, T.-E., Movva, P. V. H., Fang, A. H. Sen, Yeo, K.-K., Ho, D., Foo, F. S. S., Xiao, Z., Sun, K., Wong, T. Y., Sia, A. T.-H., & Ting, D. S. W. (2021). Blockchain applications in health care for covid-19 and beyond: A systematic review. *The Lancet Digital Health*, 3(12), e819-e829. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00210-7](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00210-7)
- Nunes, C. C., Ma, S., & Filho, M. S. T. (2021). Armazenamento descentralizado no Sistema Único de Saúde brasileiro (SUS) usando Interplanetary File System (IPFS) e blockchain. *Revista de Direito*, 13(01), 01-25. <https://doi.org/10.32361/2021130111695>
- Ortega, V., & Monserrat, J. F. (2020). Semantic distributed data for vehicular networks using the inter-planetary file system. *Sensors*, 20(22), 1-21. <https://doi.org/10.3390/s20226404>
- Parsifal. (2021). *Parsifal*. <https://parsif.al/>
- Picot, S., Marty, A., Bienvenu, A.-L., Blumberg, L. H., Dupouy-Camet, J., Carnevale, P., Kano, S., Jones, M. K., Daniel-Ribeiro, C. T., & Mas-Coma, S. (2020). Coalition: Advocacy for prospective clinical trials to test the post-exposure potential of hydroxychloroquine against covid-19. *One Health*, 9, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100131>
- Pimenta, F. U., & Silva, M. A. D. da. (2021). Enabling secure sharing of Electronic Health Records (EHR) with blockchain. *Research, Society and Development*, 10(16), 1-6. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23410>
- Pinna, A., Ibba, S., Baralla, G., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2019). A massive analysis of ethereum smart contracts empirical study and code metrics. *IEEE Access*, 7, 78194-78213. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2921936>
- Pop, C. D., Antal, M., Cioara, T., Anghel, I., & Salomie, I. (2020). Blockchain and demand response: Zero-knowledge proofs for energy transactions privacy. *Sensors*, 20(19), 1-21. <https://doi.org/10.3390/s20195678>

- Reuters. (2019, July 22). Equifax faz acordo para pagar R\$ 2,6 bi por vazamento de dados de clientes nos EUA. *Globo Notícias*. <https://g1.globo.com/economia/tecnologia/noticia/2019/07/22/equifax-faz-acordo-para-pagar-r-26-bi-por-vazamento-de-dados-de-clientes-nos-eua.ghtml>
- Rifi, N., Rachkidi, E., Agoulmine, N., & Taher, N. C. (2017). Towards using blockchain technology for eHealth data access management. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *2017 Fourth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICABME.2017.8167555>
- Rocha, L. (2021, July 30). Blockchain pública, privada e híbrida: entenda as diferenças entre elas. *Criptofácil*. <https://www.criptofacil.com/blockchain-publica-privada-e-hibrida-entenda-as-diferencas-entre-elas/>
- Mohurle, S., & Patil, M. (2017). A brief study of wannacry threat ransomware attack 2017. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5), 1938-1940. <https://doi.org/10.26483/IJARCS.V8I5.4021>
- Senbekov, M., Saliev, T., Bukeyeva, Z., Almabayeva, A., Zhanaliyeva, M., Aitenova, N., Toishibekov, Y., & Fakhradiyev, I. (2020). The recent progress and applications of digital technologies in healthcare: A review. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2020(1), 1-18. <https://doi.org/10.1155/2020/8830200>
- Shah, D., Patel, D., Adesara, J., Hingu, P., & Shah, M. (2021). Integrating machine learning and blockchain to develop a system to veto the forgeries and provide efficient results in education sector. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s42492-021-00084-y>
- Shahnaz, A., Qamar, U., & Khalid, A. (2019). Using blockchain for Electronic Health Records. *IEEE Access*, 7, 147782-147795. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2946373>
- Shi, S., He, D., Li, L., Kumar, N., Khan, M. K., & Choo, K.-K. R. (2020). Applications of blockchain in ensuring the security and privacy of Electronic Health Record systems: A survey. *Computers & Security*, 97, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101966>
- Stamatellis, C., Papadopoulos, P., Pitropakis, N., Katsikas, S., & Buchanan, W. (2020). A privacy-preserving healthcare framework using Hyperledger Fabric. *Sensors*, 20(22), 1-14. <https://doi.org/10.3390/s20226587>
- Stark, P. (2010). Congressional Intent for the HITECH Act. *American Journal of Managed Care*, 16(12), 24-28. https://www.ajmc.com/view/ajmc_10dechit_stark_sp24tp28

- Sun, J., Ren, L., Wang, S., & Yao, X. (2020). A blockchain-based framework for electronic medical records sharing with fine-grained access control. *Plos One*, 15(10), 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239946>
- Sun, J., Yao, X., Wang, S., & Wu, Y. (2020). Blockchain-based secure storage and access scheme for electronic medical records in IPFS. *IEEE Access*, 8, 59389-59401. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982964>
- Superior Tribunal de Justiça. (2020, November 4). Em razão de ataque cibernético, STJ funcionará em regime de plantão até o dia 9. *Superior Tribunal de Justiça*. <https://www.stj.jus.br/sites/portalp/Paginas/Comunicacao/Noticias/04112020-Em-razao-de-ataque-cibernetico--STJ-funcionara-em-regime-de-plantao-ate-o-dia-9.aspx>
- Syed, N. F., Shah, S. W., Shaghaghi, A., Anwar, A., Baig, Z., & Doss, R. (2022). Zero trust architecture (ZTA): A comprehensive survey. *IEEE Access*, 10, 57143-57179. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174679>
- Taralunga, D. D., & Florea, B. C. (2021). A blockchain-enabled framework for mHealth systems. *Sensors*, 21(8), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s21082828>
- Tsai, C.-W., Chen, Y.-P., Tang, T.-C., & Luo, Y.-C. (2021). An efficient parallel machine learning-based blockchain framework. *ICT Express*, 7(3), 300-307. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.08.014>
- Tuler De Oliveira, M., Reis, L. H. A., Verginadis, Y., Mattos, D. M. F., & Olabarriaga, S. D. (2022). SmartAccess: Attribute-based access control system for medical records based on smart contracts. *IEEE Access*, 10, 117836-117854. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3217201>
- Wang, Q., Li, R., Wang, Q., Chen, S., & Xiang, Y. (2022). Exploring unfairness on proof of authority. *Proceedings of the 2022 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security*, 123-137. <https://doi.org/10.1145/3488932.3517394>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In M. J. Shepperd, T. Hall, & I. Myrtveit (Eds.), *EASE '14: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering* (pp. 1-10). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Wu, P. Y., Cheng, C. W., Kaddi, C. D., Venugopalan, J., Hoffman, R., & Wang, M. D. (2017). -Omic and Electronic Health Record big data analytics for precision medicine. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(2), 263-273. <https://doi.org/10.1109/TBME.2016.2573285>

- Xiao, Y., Xu, B., Jiang, W., & Wu, Y. (2021). The healthchain blockchain for Electronic Health Records: Development study. *Journal of Medical Internet Research*, 23(1), 1-13. <https://doi.org/10.2196/13556>
- Yang, F., Zhou, W., Wu, Q., Long, R., Xiong, N. N., & Zhou, M. (2019). Delegated proof of stake with downgrade: A secure and efficient blockchain consensus algorithm with downgrade mechanism. *IEEE Access*, 7, 118541-118555. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935149>
- Yang, J., Jia, Z., Su, R., Wu, X., & Qin, J. (2022). Improved fault-tolerant consensus based on the PBFT algorithm. *IEEE Access*, 10, 30274-30283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3153701>
- Zhang, J., Zhong, S., Wang, T., Chao, H. C., & Wang, J. (2020). Blockchain-based Systems and applications: A survey. *Journal of Internet Technology*, 21(1), 1-14. <https://doi.org/10.3966/160792642020012101001>
- Zhang, P., White, J., Schmidt, D. C., Lenz, G., & Rosenbloom, S. T. (2018). FHIRChain: Applying blockchain to securely and scalably share clinical data. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 267-278. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.07.004>
- Zheng, W., Zheng, Z., Chen, X., Dai, K., Li, P., & Chen, R. (2019). NutBaaS: A blockchain-as-a-service platform. *IEEE Access*, 7, 134422-134433. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941905>

Reception date: 08/05/2024

Review date: 10/05/2024

Acceptance date: 24/04/2025

Contact: caetano.paulo@animaeducacao.com.br

Aplicação de algoritmo de aprendizado de máquina (AM) para previsão do comportamento das ações negociadas no mercado brasileiro

Gabriel Donadio Costa

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Brasil

Rogério João Lunkes

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Brasil

Aplicación de algoritmo de aprendizaje automático para predecir el comportamiento de las acciones negociadas en el mercado brasileño

La economía moderna ofrece diversas opciones de inversión, lo que hace que la asignación de capital sea un proceso complejo, lento y arriesgado. Para ayudar en la toma de decisiones de los inversionistas, las herramientas de inteligencia artificial buscan descubrir patrones ocultos en los datos, y proporcionar informaciones útiles, oportunas y precisas. Este estudio evalúa la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático (AA) en la selección de carteras en el mercado brasileño. Investigaciones recientes han buscado predecir el comportamiento del mercado bursátil implementando AA junto con métodos convencionales, como análisis técnicos o fundamentales (Anghel, 2021; Kamara et al., 2022; Nti et al., 2020b); sin embargo, pocos combinan los análisis en mercados emergentes y volátiles como Brasil. Por lo tanto, se entrenaron tres modelos de AA utilizando variables provenientes del análisis técnico y/o fundamental. La muestra incluyó 40.562 observaciones pertenecientes a seis empresas que cotizan en la Bolsa de Valores de Brasil (B3), durante el período de agosto de 1994 a diciembre de 2021. Los modelos entrenados únicamente con variables fundamentales o técnicas mostraron baja precisión, lo que indica baja capacidad de aprendizaje y generalización del algoritmo. En contraste, el modelo compuesto



<https://doi.org/10.18800/contabilidad.2025ESP.002>

Contabilidad y Negocios 20 (esp.) 2025, pp. 48-70 / e-ISSN 2221-724X

por la combinación de variables técnicas y fundamentales mostró una precisión promedio del 70,7 % en los 5 *folds*, coincidiendo con la literatura que sugiere que los modelos híbridos pueden proporcionar mayor precisión y menor volatilidad. Además, los resultados superan la precisión de estudios previos (Emir et al., 2012; Kim, 2003; Zhang & Zhao, 2009), lo que indica que el *support vector machine* (SVM) también puede aplicarse a mercados emergentes, incluso en escenarios de crisis, como la pandemia de COVID-19.

Palabras clave: aprendizaje automático, selección de cartera, análisis técnico, análisis fundamental

Application of machine learning algorithm to predict the behavior of stocks marketed in Brazil

Modern economy offers several investment options, making capital assignments complex, slow and risky. In order to assist investors in the decision-making process, artificial intelligence tools aim at finding patterns hidden in data and providing useful, timely and accurate information. This work analyzes the application of machine learning algorithms in the selection of portfolios in the Brazilian market. Recent research intended to predict the stock market behavior implementing machine learning with conventional methods such as technical or fundamental analysis (Anghel, 2021; Kamara et al., 2022; Nti et al., 2020b); while few combine analyses in emerging and volatile markets like Brazil. Thus, three machine learning models were trained using variables from the technical and/or fundamental analysis. The sample included 40,562 observations from six companies listed on B3, from August 1994 to December 2021. Models trained only with fundamental or technical variables evidenced low accuracy, which was translated into low learning and generalization capacity of the algorithm. In contrast, the model including the combination of technical and fundamental variables revealed an average accuracy of 70,7 % on 5 folds, which was supported by the literature that indicates that hybrid models can provide greater accuracy and lower volatility. In addition, results exceed the accuracy of previous studies (e.g. Emir et al., 2012; Kim, 2003; Zhang & Zhao, 2009), which indicates that the Support Vector Machine - SVM can also be applied to emerging markets, even in crisis times, such as COVID-19 pandemic.

Keywords: machine learning, portfolio selection, technical analysis, fundamental analysis

Aplicação de algoritmo de aprendizado de máquina (AM) para previsão do comportamento das ações negociadas no mercado brasileiro

A economia moderna é repleta opções de investimentos, o que torna a alocação de capital um processo complexo, demorado e arriscado. Para auxiliar a tomada de decisão dos investidores, ferramentas de inteligência artificial buscam a descoberta de padrões ocultos nos dados e fornecem informações úteis, tempestivas e precisas. Este estudo avalia a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina (AM) na seleção de portfólio no mercado brasileiro. Investigações

recentes têm buscado prever o comportamento do mercado acionário implementando AM em conjunto com métodos convencionais, como análises técnicas ou fundamentalistas (Anghel, 2021; Kamara et al., 2022; Nti et al., 2020b), entretanto, poucos combinam as análises em mercados emergentes e voláteis como o Brasil. Portanto, três modelos de AM foram treinados utilizando variáveis advindas das análises técnicas e/ou fundamentalistas. A amostra incluiu 40.562 observações pertencentes a seis empresas negociadas na Brasil, Bolsa, Balcão (B3), durante o período de agosto de 1994 a dezembro de 2021. Os modelos treinados somente com variáveis fundamentalistas ou técnicas apresentaram acurácia baixa, indicando baixa capacidade de aprendizagem e generalização do algoritmo. Em contraste, o modelo composto pela combinação de variáveis técnicas e fundamentalistas, apresentou acurácia média de 70,7% nos 5 *folds*, corroborando com a literatura que sugere que modelos híbridos podem fornecer maior acurácia e menor volatilidade. Além disso, os resultados superam a acurácia de estudos prévios (Emir et al., 2012; Kim, 2003; Zhang & Zhao, 2009), indicando que o *support vector machine* (SVM) também pode ser aplicável à mercados emergentes, inclusive em cenários de crise, como a pandemia da covid-19.

Palavras-chave: aprendizado de máquina, seleção portfólio, análise técnica, análise fundamentalista

1. INTRODUÇÃO

A alocação de capital tem sido um grande desafio para os investidores da economia moderna devido à grande quantidade, variedade e volatilidade dos investimentos. O mercado atual possui desde opções conservadoras como, as poupanças e títulos do governo, até as mais arriscadas como, bolsa de valores e cripto moedas. Visando diversificar os investimentos, aumentar a rentabilidade e encontrar alternativas para enfrentar fatores macroeconômicos adversos, a busca pelo mercado de ações têm apresentado um crescimento contínuo (Feijó et al., 2022). Dados da Brasil, Bolsa, Balcão (B3) evidenciam um aumento significativo no número de investidores pessoa física nos últimos anos, com mudanças na faixa etária e aumento da participação feminina. De 2020 a 2024, o número de investidores cresceu 80%, totalizando 5,1 milhões de investidores em renda variável e 19,4 milhões no total (B3, 2024).

O mercado de ações é uma alternativa de investimento que envolve um alto nível de volatilidade e complexidade, onde há intrínseco um certo grau de incerteza. Muitas vezes, estas incertezas estão associadas a eventos macroeconômicos, como decisões econômicas e políticas, já outras vezes podem tratar-se de ruídos, não-estacionariedade e caos determinístico (Marcelino et al., 2015). No âmbito das finanças, diversos estudos consideram que estas incertezas podem ser, em parte, previsíveis (Fama &

French, 1988; Huerta et al., 2013; Zhang et al., 2018). Para Fan e Palaniswami (2001), as séries históricas das cotações do mercado de ações possuem padrões que, se descobertos, possibilitam previsões a respeito do retorno futuro dos ativos.

Devido à diversidade e complexidade do mercado financeiro, os investidores precisam de informações tempestivas, úteis e precisas que auxiliem na tomada de decisão da forma mais rentável e segura de alocar seu capital. Chenhall e Moers (2015) destacam que, com o passar dos anos, o processo de alocação de capital vem se adaptando e evoluindo com o desenvolvimento de técnicas econométricas modernas, avanços computacionais e aperfeiçoamento dos algoritmos de aprendizado de máquina (AM). Estas novas tecnologias buscam proporcionar a redução de custos, aumento de eficiência e implementação de novas práticas, onde muitas vezes processos disruptivos são necessários.

Recentemente, a indústria financeira tem intensificado o uso de tecnologias relacionadas a inteligência artificial por demonstrarem serem ferramentas úteis para geração de valor, principalmente na detecção de fraudes corporativas, em *e-commerces*, cartões de crédito, previsões de curva de juros, retorno de títulos e seleção de portfólios (Bianchi et al., 2021; Buckmann et al., 2021; Chen et al., 2019; Dang et al., 2022; Huerta et al., 2013; Mun & Soong, 2021; Nti et al., 2020b; Shatshat & Ahmed, 2019). A complexidade destas tarefas faz com que os gestores lancem mão de ferramentas que auxiliam o processo de análise e tomada de decisão, das quais destacam-se os AM como, redes neurais, métodos *ensemble*, *random forest*, e máquina de vetores de suporte (SMV).

Na literatura, há cada vez mais indícios que sugerem que os métodos de AM podem superar os convencionais em problemas de predição econômica (Buckmann et al., 2021; Bianchi et al., 2021; Chen et al., 2019; Emir et al., 2012; Fan & Palaniswami, 2001; Mun & Soong, 2021). Estudos recentes têm buscado prever o comportamento do mercado acionário implementando o uso de AM em conjunto com análises técnicas, fundamentalistas e híbridas (Anghel, 2021; Kamara et al., 2022; Nti et al., 2020b). A maioria destes estudos concentram-se em países desenvolvidos e em períodos de normalidade econômica, onde há a aproximação com a teoria do mercado eficiente (Fan & Palaniswami, 2001; Huerta et al., 2012; Kim, 2003). Poucas são as pesquisas que analisam períodos de crises (econômicas e sanitárias), combinados com mercados voláteis e imprevisíveis como de países emergentes.

Portanto, este estudo investiga a aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquina na previsão do comportamento de ações no mercado brasileiro. Para isto, foram testados três modelos distintos de AM, buscando prever o comportamento de seis ações negociadas no mercado brasileiro, baseados em análises técnicas, funda-

mentalistas e híbridas. Os dados foram coletados da base de dados Econômica, para o período de 18 de agosto de 1994 a 16 de dezembro de 2021, com periodicidade diária.

Ao propor um modelo de AM, destinado a apoiar investidores na previsão do comportamento de ações negociadas em mercados emergentes como o brasileiro, este estudo contribui para auxiliar gestores de fundos, *traders*, analistas financeiros e investidores individuais na promoção e otimização de estratégias de investimento, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões financeiras embasadas em dados. A pesquisa também contribui no âmbito teórico, ao integrar o uso de AM e variáveis advindas das análises técnicas e fundamentalistas, em mercados emergentes, durante um período relativamente longo (27 anos) e volátil. Essa integração de dados longitudinais permite a descoberta de padrões ocultos em dados financeiros complexos e uma melhor generalização dos resultados.

Além desta introdução, o presente trabalho está dividido nos seguintes tópicos: a seção 2 apresenta a referencial teórico do trabalho, a seção 3 descreve a metodologia da pesquisa, seção 4 traz os resultados das aplicações empíricas dos modelos e discussões e, por fim, a seção 5 conclui o artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Análises para seleção de portfólio

O processo de seleção de portfólio no mercado de ações é uma tarefa complexa devido à vasta variedade e volatilidade das opções de investimentos e ao grande número de fatores externos que podem influenciar no processo de decisão (Marcelino et al., 2015). Reportagens jornalísticas, postagens viralizadas nas redes sociais ou eventos macroeconômicos podem acarretar na fuga ou atração de investidores para empresa, elevando ou diminuindo o preço das ações. O mercado de ações é uma alternativa de investimento que envolve um alto nível de complexidade, onde há intrínseco um certo grau de incerteza (Marcelino et al., 2015).

Devido à alta complexidade, os tomadores de decisões utilizam técnicas para prever o comportamento do mercado de ações. Duas ferramentas tradicionais e importantes para previsão do comportamento da ação são as análises técnicas e fundamentalistas (Renu & Christie, 2018).

A análise fundamentalista presume que o preço da ação, tanto no momento atual, quanto no futuro, depende do valor intrínseco da empresa e do retorno esperado. Esta análise utiliza informações públicas disponíveis, para analisar as ações com base

nos aspectos gerais da economia (inflação, taxas de juros e PIB), do setor em que atua (níveis de competição, ameaça de novos concorrentes e políticas governamentais) e nos fundamentos da própria empresa (características dos gestores de topo, finanças da organização, notícias sobre a empresa, participação no mercado e capacidade de endividamento, entre outros), e é indicada para investimentos de médio e longo prazo (Oliveira et al., 2013; Renu & Christie, 2018). Modelos de precificação de ativos com base na análise fundamentalista são amplamente estudados em finanças, como o *capital asset pricing model* (CAPM) que é aplicado para estimar o custo de capital das empresas e avaliar o desempenho de portfólios (Fama & French, 2004).

São exemplos de variáveis advindas da análise fundamentalista as advindas do resultado da organização, como lucro/preço, alavancagem, *book-to-market equity* (Fama & French, 1992), valor econômico adicionado (EVA), fluxo de caixa descontado (DCF), *debt-to-equity ratio* (D/E), *price-to-book* (P/B), *return-on-equity* (RoE), *return-on-asset* (RoA) (Cavalcante et al., 2005), índices de inflação, desemprego, informações setoriais (Silva et al., 2015), boato ou notícia vinculada a venda ou compra de ações, *status* financeiro de uma organização (Adebisi et al., 2012).

A análise técnica envolve o emprego de ferramentas para prever o comportamento futuro do preço da ação, tendências e pontos de inflexão, com base no padrão histórico (Lui & Mole, 1998). Seu foco é analisar a evolução dos mercados a partir da representação gráfica do histórico do preço de venda, preço de compra, volume negociado, entre outros. Portanto, esta análise busca compreender o comportamento histórico dos preços e volumes, visando determinar a tendência e o preço futuro dos ativos, sendo adequada a investimentos de curto prazo (Oliveira et al., 2013; Renu & Christie, 2018). King (1964) e Levy (1967) ainda vão além, expondo a existência de uma intercorrelação entre o preço das ações disponíveis em um mercado, indicando que parte do movimento do preço de uma ação está relacionado às tendências de mercados e setores.

Elder (1993) classifica os indicadores da análise técnica em três grupos, são eles: rastreadores de tendência, osciladores e mistos. Os rastreadores de tendência funcionam quando o mercado apresenta uma direção (tendência) definida. O uso em situações onde o mercado não apresenta uma tendência definida (mercado na horizontal) pode acarretar em resultados pouco fidedignos. São exemplos destes indicadores rastreadores as médias móveis simples (SMA) e média móvel exponencial (EMA), médias móveis convergente e divergente (MACD) (Elder, 1993), que suavizam os movimentos dos preços temporariamente exagerados (Levy, 1967).

O grupo dos osciladores são recomendados quando não há tendência de mercado definida, sendo o índice de força relativa (RSI) e o K-estocástico os indicadores mais

utilizados. Por fim, os indicadores mistos são utilizados para um grupo de ações, não sendo possível aplicá-lo a uma única ação. Seu objetivo é sinalizar um consenso dos investidores em relação a um grupo de ações, mercado como um todo ou a um setor específico da economia (Elder, 1993).

As análises técnicas e fundamentalistas ainda podem se complementar, possuindo foco em períodos de análise diferentes (Lui e Mole, 1998). Uma pesquisa realizada por Lui e Mole (1998) com corretores da bolsa de Hong Kong, afirmou que ambas análises são importantes para o processo de tomada de decisão e previsões dos movimentos da taxa de câmbio, sendo a análise técnica utilizada indicada para horizontes de tempo curtos, enquanto a fundamentalista é apropriada para horizontes de médio e longo prazo.

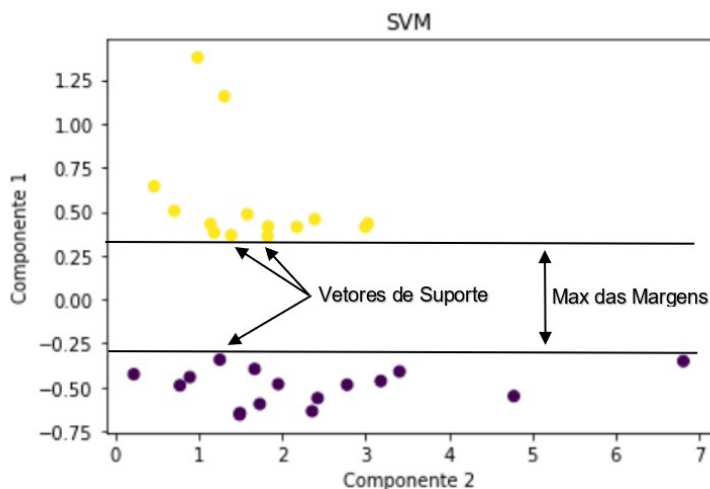
2.2. Aprendizado de máquina

Aprendizado de máquina é uma subárea da inteligência artificial que permite os computadores aprenderem com os dados (Géron, 2019). Em uma definição clássica, o AM é o campo de estudo que permite que os computadores aprendam sem ser explicitamente programados (Samuel, 1959). No campo da ciência de dados existem diversos algoritmos que objetivam o AM através de exemplos. Os algoritmos são modelos estatísticos e computacionais que têm o papel de reconhecer padrões nos dados, extrair informações e prever novas observações (Marcelino et al., 2015), estando amplamente inseridos nas atividades do cotidiano como, nos sistemas de recomendação de filmes da Netflix ou Youtube, no reconhecimento de *spams*, na direção de carros autônomos e em sistemas de seleção de alocação de ativos e seleção de portfólios.

Visando o funcionamento de forma satisfatória dos algoritmos de AM é necessário um grande conjunto de dados, que serão utilizados parte para treinamento do modelo e parte para o teste das previsões. Os dados também precisam ser representativos do problema a ser estudado, de forma que o algoritmo possa reconhecer padrões, aprender e ser capaz de generalizar os resultados. Portanto, é imprescindível analisar as estatísticas descritivas e, por vezes, retirar do conjunto de treinamento os dados errôneos, ruídos e *outliers* (Fan & Palaniswami, 2001).

2.3. Support vector machine (SMV) e finanças

Um dos algoritmos mais populares no âmbito do aprendizado de máquina, a SVM foi desenvolvido na década de 90, por meio dos trabalhos de Boser et al. (1992), e Vapnik (1995). Seu principal objetivo é determinar um hiperplano de separação que visa distinguir os dados em duas ou mais classes, visando atingir a separação máxima entre elas, conforme pode ser visto na figura 1 (Emir et al., 2012; Marcelino et al., 2015).

Figura 1. Maximização das margens pelo SVM

O SVM logo destacou-se pela capacidade de generalização, eficiência, versatilidade, facilidade em lidar com alta dimensionalidade dos dados e evitar *overfitting*, sendo utilizado para realizar tarefas de classificação não linear e linear, regressão, detecção de outliers, entre outros (Géron, 2019).

O trabalho de Fan e Palaniswami (2001) foi um dos pioneiros a testar a eficácia do SVM na seleção de portfólio, utilizando dados de ações negociadas na bolsa de valores australiana, durante o período de 1992 à 2000. O algoritmo foi treinado com indicadores financeiros de sete categorias: retorno de capital, lucratividade, alavancagem, crescimento, liquidez de curto prazo, retorno do investimento e risco. O portfólio selecionado pelo modelo obteve um retorno de 208%, enquanto o *benchmark* produziu um retorno acumulado no mesmo período de 71%, indicando utilidade do SVM para o problema de seleção de portfólio.

A pesquisa de Kim (2003) utilizou o SVM para previsão de séries temporais financeiras, comparando os resultados com os modelos de raciocínio baseado em casos e redes neurais *back-propagation*. O estudo utilizou 12 indicadores provenientes da análise técnica e procurou prever a direção das variações diárias no Korea Composite Stock Price Index (KOSPI). O período da amostra foi de janeiro de 1989 a dezembro 1998, totalizando 2.928 observações. Os resultados demonstraram que o SVM acertou 57,83% das previsões da direção das variações diárias do índice KOSPI, valor superior a acurácia apresentada pelos outros métodos, tendo a rede neural *back-propagation* uma acurácia de 54,73% e o algoritmo raciocínio baseado em casos uma acurácia de 51,97%. O estudo ainda aponta que o SVM utiliza o princípio da minimização de risco

estrutural, ocasionando uma melhor generalização dos dados temporais do que técnicas tradicionais.

O estudo de Emir et al. (2012) procurou construir um modelo financeiro ideal de seleção de portfólios utilizando redes neurais artificiais (RNA) e SVM. Os autores combinaram parâmetros da análise fundamentalista e da análise técnica, durante o período de 2002 a 2010, para as empresas da Bolsa de Valores de Istambul (ISE 30). Visando selecionar as variáveis que realmente são essenciais ao modelo, foi realizado o procedimento de redução de dimensionalidade na fase de pré-processamento dos dados. O procedimento resultou na seleção de 26 indicadores, sendo 14 provenientes da análise fundamentalista e 12 indicadores técnicos. Os resultados demonstraram que o modelo RNA apresentou uma acurácia média de 50,35%, já com o SVM a acurácia média foi de 66,19%, durante os anos de 2004 a 2010. A acurácia do modelo SVM também apresentou menor variabilidade (acurácia mínima de 63,33% e máxima de 70%), se comparado com o modelo RNA (acurácia mínima 32,5% e máxima de 67,5%), indicando que a máquina de suporte de vetor parece ser o modelo ideal para seleção de portfólios.

Huerta et al. (2013) procuraram testar se o SVM seria capaz de auxiliar na previsão do preço das ações, utilizando como *input* as informações contábeis e o histórico de cotações. Para isto, em vez de utilizarem toda a amostra, foi utilizado uma parcela inicial dos dados. Os autores selecionaram 20% das ações com maior e 20% das ações com pior retorno para treinar o modelo, durante o período de 1981 a 2010. Os resultados do estudo evidenciaram que o retorno anual do portfólio nos oito setores excedeu 15% (desconsiderando os custos de transação), já a volatilidade ficou abaixo dos 8%.

Em uma abordagem mais recente, Nti et al. (2020b) testaram a utilização da SMV aprimorada com o algoritmo genético (GASVM) para seleção de *features*, otimização de parâmetros e previsão do preço das ações da bolsa de valores de Gana. Posteriormente, os autores compararam a acurácia do modelo GASVM com as técnicas clássicas de AM. Os resultados demonstraram que o modelo SVM apresentou a maior acurácia entre os modelos estudados, acertando 93,7% das predições, contra 80,1% das redes neurais, 75,3% das árvores de decisão e 82,3% do *random forest*.

No cenário nacional, Monteiro e Ribeiro (2024) testaram algoritmos de AM para previsão do comportamento de três ações negociadas no mercado de ações brasileiro, nomeadamente VALE3, PTR4 e ITUB4. Os algoritmos de SVM, redes neurais e um modelo híbrido, utilizando os dois algoritmos alcançaram acurácia máxima de 54,5%, 51,8% e 54,2%, indicando um valor próximo ao aleatório e corroborando a hipótese do mercado eficiente. Um estudo abrangente de Henrique et al. (2018) propôs um modelo de regressão para cálculo do retorno de dezoito ações brasileiras, norte-a-

americanas e chinesas, com período de treinamento de 15 anos. Algoritmo de *support vector regression*, utilizando Kernel linear e atualizações periódicas resultou em erros menores que o modelo de caminhada aleatória para quase todos os preços diários de ações. O trabalho de Santos (2020) analisou o comportamento das ações VALE3, PETR4 e ITUB5 durante o período de cinco anos (2015 a 2020) por meio do algoritmo SVM, utilizando validação cruzada de 5 *folds*. Os resultados indicam que a acurácia média para as ações VALE3, PETR4 e ITUB5 foram de 62,33%, 63,66% e 61,33%, respectivamente.

Portanto, a literatura indica a eficácia do algoritmo SVM para tarefas de predição do comportamento e preço das ações e seleção de portfólios. O presente trabalho diferencia-se dos demais uma vez que busca testar a eficácia do SVM na predição do comportamento de ações negociadas em um mercado emergente e volátil, durante um período relativamente longo (27 anos), no qual incluí uma crise sanitária e econômica.

3. METODOLOGIA

3.1. Fonte de dados, amostra e identificação das variáveis

Os dados da pesquisa foram obtidos na base Economática e o período de análise compreendeu de 18 de agosto de 1994 a 16 de dezembro de 2021, com periodicidade diária. A população deste estudo compreendeu todas as ações da bolsa de valores B3 (antiga BM&F BOVESPA). Destas, foram excluídas as ações que apresentavam dados faltantes ou incompletos durante o período de análise, resultando em 40.562 observações, pertencentes a seis empresas, conforme tabela 1.

Tabela 1. Amostra do estudo

Ação	Tipo	Empresa	Setor	Valor de mercado ^a	Volume médio ^b
CMIG4	PN	Companhia Energética de Minas Gerais	Energia e Saneamento	27,60	13,04
LAME4	PN	Lojas Americanas	Varejo	1,14	3,64
PETR4	PN	Petróleo Brasileiro S.A.	Petróleo e Gás	506,18	30,69
UNIP6	PN	Unipar Carbocloro	Petroquímico	6,09	0,12
VALE3	ON	Vale S.A.	Mineração	242,04	30,09
VIVT3	ON	Telefônica Brasil	Telecomunicações	81,06	2,19

Nota. De StatusInvest, de Statusinvest, 2025 (<https://statusinvest.com.br/acoes>).

^a Valor em bilhões de reais (R\$)

^b Volume médio representa a média em milhões de negociações diárias de cada ação, nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2025.

Como é possível observar na tabela 1, as empresas que compõem a amostra deste estudo apresentam diferentes tamanhos e pertencem a setores de análise distintos. Estes fatores constituem uma dificuldade adicional no treinamento dos modelos, podendo prejudicar a generalização dos resultados, uma vez que variáveis setoriais e empresariais têm o poder de influenciar no comportamento da ação.

3.1.1. Mensuração das variáveis. As variáveis independentes provenientes das análises fundamentalistas foram calculadas com as informações das demonstrações financeiras (Balanço Patrimonial e Demonstração do Resultado do Exercício) e do histórico de emissão de ações. Na tabela 2 são apresentados os indicadores/siglas e classes de fatores (Haugen & Baker, 1996) e a fórmula utilizada para o cálculo.

Tabela 2. Variáveis da análise fundamentalista

Indicador (sigla)	Classes de fatores (Haugen & Baker, 1996)	Fórmula	
D/E	Risco	$D / E_t = \frac{\text{Passivo Circulante}_t + \text{Passivo não circulante}_t}{\text{Patrimônio Líquido}_t}$	(1)
Cobertura de juros (TIE)	Risco	$TIE_t = \frac{EBITDA_t}{\text{Despesas Financeiras}_t}$	(2)
Market capitalization (MCAP)	Liquidez	$MCAP_t = \text{Núm ações Outstanding}_t \times \text{Preço Fechamento}_t$	(3)
Trading volume (TV)	Liquidez	$TV_t = \frac{\text{Volume}_t}{\text{Market Capitalization}_t}$	(4)
Earning-to-price (E/P)	Nível de preço	$E/P_t = \frac{EBITDA_t}{\text{Preço Fechamento}_t}$	(5)
Sales-to-price (S/P)	Nível de preço	$S/P_t = \frac{\text{Receita Operacional}_t}{\text{Preço Fechamento}_t}$	(6)
P/B	Nível de preço	$P/B_t = \frac{\text{Market Capitalization}_t}{\text{Patrimônio Líquido}_t}$	(7)
Margem de lucro bruto (GPM)	Potencial de crescimento	$P/B_t = \frac{\text{Market Capitalization}_t}{\text{Patrimônio Líquido}_t}$	(8)
Capital turnover (CT)	Potencial de crescimento	$CT_t = \frac{\text{Receita Operacional}_t}{\text{Ativo Total}_t}$	(9)
RoA	Potencial de crescimento	$RoA_t = \frac{EBITDA_t}{\text{Ativo Total}_t}$	(10)
RoE	Potencial de crescimento	$RoE_t = \frac{EBITDA_t}{\text{Patrimônio Líquido}_t}$	(11)

As variáveis advindas da análise técnica foram compostas por nove indicadores, calculados utilizando a cotação diária (preço de fechamento ajustado a splits e dividendos) e o volume diário negociado das ações. A tabela 3 apresenta os indicadores/siglas, classes de fatores de acordo com Haugen e Baker (1996) e a fórmula utilizada para o cálculo de cada um dos indicadores.

Tabela 3. Variáveis da análise técnica

Indicador (sigla)	Classes de fatores (Haugen & Baker, 1996)	Fórmula	
SMA * Calculado para 3, 7, 15, e 30 dias	Histórico de preço	$MMSt = \frac{(P_{(t-1)} + P_{(t-2)} + \dots + P_n)}{n}$	(12)
EMA * Calculado para 5, 9, 12, 21, 26	Histórico de preço	$MME_t = P_{(t-1)} K + MME_{(t-1)} \times (1-K)$ Sendo $K = \frac{2}{n+1}$	(13)
Força relativa (FR)	Histórico de preço	$FR = \frac{U}{D}$ Sendo: U média das cotações dos últimos 14 dias em que o preço da cotação subiu e a média das cotações dos últimos 14 dias em que o preço da ação desceu	(14)
RSI	Histórico de preço	$IFR = 100 \frac{100}{1 + FR}$	(15)
Dummies (RSI)	Histórico de preço	Dummies indicando RSI > 70 ou RSI < 30	
MACD	Histórico de preço	$MACD_t = EMA12_t - EMA26_t$	(16)
Dummy sinal tendência alta (MACD)	Histórico de preço	Dummy indicando se o $MACD_t > EMA9_t$	
On balance volume (OBV)	Histórico de preço	$OBV_t = OBV_{t-1} + \{volume_t, \text{ se } P_{(t-1)} > P_{(t-2)}\} 0, \text{ se } P_t = P_{(t-1)} - volume_t, \text{ se } P_{(t-1)} < P_{(t-2)}$	(17)
OBV/Volume	Histórico de preço	$OBV / Volume_t = \frac{OBV_t}{Volume_t}$	(18)

Este estudo utilizou o comportamento do preço das ações como variável dependente dos modelos de classificação. Para o cálculo do comportamento do preço das ações foi utilizado dados diários do preço de abertura, diminuído do preço de fechamento ajustado a splits e dividendos. A variável dependente assume o valor 1 quando o preço de fechamento for maior ou igual ao preço de aberto e 0 quando o preço de fechado ajustado for menor que o preço de abertura.

$$\text{Comportamento da ação}_t = \text{Preço fechamento ajustado}_t - \text{Preço abertura}_t$$

$$\begin{cases} 1, \text{ se Preço de fechamento ajustado}_t \geq \text{Preço de abertura}_t \\ 0, \text{ se Preço de fechamento ajustado}_t < \text{Preço de abertura}_t \end{cases} \quad (19)$$

3.2. Modelos empíricos e medidas de desempenho

Foram elaborados três modelos empíricos, que utilizaram o algoritmo SMV na previsão do comportamento e retorno de ações negociadas no mercado brasileiro. Para facilitar o entendimento, um resumo das informações dos modelos foi apresentado na tabela 4.

Tabela 4. Resumo dos Modelos Empíricos

Modelo	Tarefa	Variável dependente	Variável independente
A	Classificação	Comportamento das ações	Variáveis fundamentalistas
B	Classificação	Comportamento das ações	Variáveis técnicas
C	Classificação	Comportamento das ações	Híbrido (fundamentalistas e técnicas)

A busca dos parâmetros ideias desempenham um papel crucial na construção de modelos de previsão de ações (Lee, 2009), portanto, a ferramenta *grid search* auxilia na definição dos valores ótimos para os parâmetros C, gamma além de testar funções *kernel* diferentes para o SVM. A otimização dos hiper parâmetros do modelo foram definidos testando os *kernels linear, rbf e sigmoid*, parâmetro C com os valores 0,1; 1; 2; 5; 10; 100; 1000; 10000; e 50000; e o parâmetro *gamma* com os valores 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; “auto” e “scale” (Lee, 2009; Li & Sun, 2020; Monteiro & Ribeiro, 2024). Tendo em vista que a variável dependente do modelo de classificação não apresenta desbalanceamento entre as classes, optou-se pela aplicação da validação cruzada com 5 *folds* (Lee, 2009).

O presente estudo utilizará como métrica principal a acurácia e métricas adicionais a precisão (relacionada ao erro tipo I – falsos positivos), revocação (erro tipo II – falsos negativos) e F1-score, devido ao balanceamento entre as classes da variável dependente do modelo de classificação, que podem ser calculadas conforme equações apresentadas na sequência:

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Verdadeiro Positivo} + \text{Verdadeiro negativo}}{\text{Verdadeiro Positivo} + \text{Verdadeiro Negativo} + \text{Falso Positivo} + \text{Falso Negativo}}$$

(20)

$$\text{F1 score} = 2 \times \frac{\text{Precisão} \times \text{Revocação}}{\text{Precisão} + \text{Revocação}}$$

(21)

$$\text{Precisão} = \frac{\text{Verdadeiro Positivo}}{\text{Verdadeiro Positivo} + \text{Falso Positivo}}$$

(22)

$$\text{Revocação (recall)} = \frac{\text{Verdadeiro Positivo}}{\text{Verdadeiro Positivo} + \text{Falso Negativo}}$$

(23)

3.3. Pré-processamento dos dados

Antes das etapas de treinamento e teste, os dados foram submetidos a etapa de pré-processamento, onde realizou-se a limpeza, compilação e normalização dos dados. Foram utilizados os *softwares* Excel e Python, para emprego das seguintes etapas: 1) Eliminação dos dados faltantes ou incompletos; 2) Separação da amostra em conjunto de treinamento do algoritmo (80%), contendo 32.450 observações, pertencentes ao período de agosto de 1994 a junho de 2016, e conjunto de teste (20%), contendo 8.112 observações relativamente ao período de junho de 1996 a dezembro de 2021; e 3) Normalização, utilizando o método *StandardScaler*, que transforma a distribuição dos dados de forma que a média fique igual a 0 e o desvio padrão igual a 1, conforme equação a seguir:

$$z = \frac{(x - \mu)}{s} \quad (24)$$

Onde μ representa a média da amostra de treinamento e s o desvio padrão da mesma amostra.

4. RESULTADOS DA PESQUISA

A estatística descritiva das principais variáveis e indicadores, apresentada na tabela 5, demonstra a heterogeneidade da amostra, que é formada por empresas de diferentes tamanhos, volumes e preços das ações, níveis de endividamento e retornos das ações. Também é possível observar o balanceamento entre as classes da variável dependente.

Tabela 5. Estatística descritiva

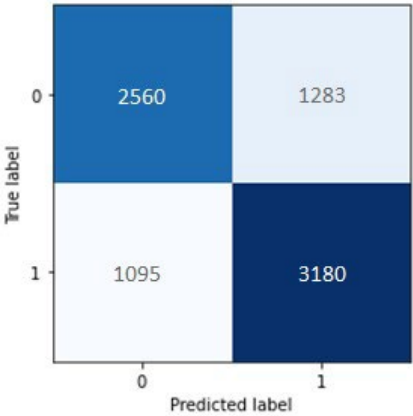
Variável/Indicador	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
Comportamento da ação	0,509	0,496	0	1
Valor da ação	9,49	13,02	0,01	106,26
Volume (em milhares)	151.920,38	424.734,80	0,35	10.989.848
Ativo (em milhares)	99.879,37	207.897,75	341,01	1.239.448,00
Debt-to-equity	1,41	2,05	0,10	12,51
Return on assets	0,02	0,03	-0,58	0,21

A primeira aplicação (modelo A) utilizou somente as variáveis fundamentalistas para treinamento do modelo, conforme tabela 1. Os resultados do modelo foram:

acurácia média 56,46%, medida F1 score igual a 68,95%, precisão média de 59,07% e revocação média de 82,78%. O modelo B fez uso de variáveis advindas da análise técnica para treinamento do algoritmo, conforme tabela 2. Este modelo apresentou os seguintes resultados: acurácia média 55,72%, medida F1-score igual a 67,98%, precisão média de 58,83% e revocação média de 80,50%.

O modelo empírico C aplicou o algoritmo SVM na previsão do comportamento de ações do mercado brasileiro, utilizando a combinação da análise técnica e análise fundamentalista. O modelo de classificação apresentou a média de acurácia nos cinco folds de 70,7%, medida F1-score igual a 72,74%, precisão média de 71,25% e revocação média de 74,33. A figura 2 ilustra a matriz de confusão do modelo de classificação.

Figura 2. Matriz de confusão do modelo de classificação



Dentre as 40.562 observações que constituem a amostra, foi utilizado 80% para treinamento do algoritmo e 20% para teste. Pode-se observar que dos 8.118 dados de teste, o modelo conseguiu classificar corretamente 5.760, isto é, o algoritmo SMV treinado com variáveis técnicas e fundamentalistas, conseguiu prever se o preço da ação iria subir, se manter ou descer em 70,7% das vezes.

5. DISCUSSÃO

Nos resultados dos modelos empíricos foi possível verificar que o treinamento com variáveis provenientes somente da análise fundamentalista (modelo A) teve um resultado ligeiramente superior, se comparado com o modelo que utilizou somente variáveis da análise técnica (acurácia do modelo A = 0,564; acurácia do modelo B = 0,557). Apesar da pequena diferença no poder preditivo dos modelos, os resultados foram na contramão do que é indicado na literatura. Lui e Mole, (1998), Oliveira et al. (2013),

e Renu e Christie (2018) destacam que a análise fundamentalista é ideal para investimentos a médio e longo prazo e que a análise técnica conseguiria captar melhor as alterações de curto prazo, como é o caso das variações diárias do preço das ações objeto deste estudo.

Cabe ressaltar também que o desempenho dos dois primeiros modelos foi mais baixo do que indicado pela literatura (Emir et al., 2012; Kim, 2003; Nti et al., 2020b; Zhang & Zhao, 2009), indicando que o algoritmo conseguiu aprender pouco com os dados e generalizar pouco os resultados, tendo sua acurácia próxima ao aleatório. Possíveis explicações para estes resultados, reside na composição heterogênea de empresas que constituem a amostra na qual as diferenças setoriais e organizacionais podem ter prejudicado a generalização dos resultados e na inclusão de períodos de crise na etapa de teste do modelo. Parte da literatura tentou isolar os efeitos das variáveis externas, por exemplo, Huerta et al. (2013) construíram um modelo diferente para cada um dos setores do mercado americano, Nti et al. (2020b) separaram a análise de empresas dos setores de petróleo e bancos. Já Emir et al. (2012) excluiu da sua análise os anos 2000 a 2001, devido ao período de crise financeira ocorrida na Turquia. No entanto, em comparação ao cenário nacional, os modelos A e B tiveram acurácia similar ao estudo de Monteiro e Ribeiro (2024), o que pode indicar a dificuldade de previsão do comportamento das ações em mercados emergentes, voláteis e instáveis, como o brasileiro.

Quando combinados os dados das análises técnica e fundamentalista (modelo C), o modelo ganha poder de predição e capacidade de generalização dos resultados, atingindo uma acurácia média de 70,7% para os 5 *folds*. Este resultado vem ao encontro da revisão sistemática de Nti et al. (2020a), na qual aponta que modelos híbridos podem fornecer uma melhor acurácia na previsão das ações. O modelo C também apresentou resultados melhores que a maioria dos estudos da revisão da literatura (Emir et al., 2012; Kim, 2003; Zhang & Zhao, 2009), o que pode indicar a superioridade de modelos híbridos para previsão do comportamento das ações.

Em relação aos erros de classificação, a medida de precisão, relacionada ao erro tipo I foi de 59% para o modelo A, 58,8% para o B, e 71,25% para o modelo C, indicando que o modelo C possui a maior capacidade de evitar falsos positivos. Já a medida de revocação (*recall*) relacionada ao erro tipo II, foi de 82,7%, 80,5% e 74,3% para os modelos A, B e C, respectivamente. Estes resultados demonstram que apesar de apresentar a melhor acurácia e precisão, o modelo C possui a menor medida de identificação correta dos verdadeiros positivos. No entanto, como os modelos de classificação desta pesquisa visam prever o comportamento das ações (aumento ou diminuição

do preço da ação), as medidas de falsos positivos e falsos negativos são igualmente importantes, portanto, consideramos também a medida F1-score. Esta medida é uma média ponderada da precisão e revocação e leva em consideração tanto os falsos positivos quanto os falsos negativos. Os valores de F1-score para os modelos A, B e C foram de 68,9%, 67,9% e 72,7%, respectivamente. Novamente, o modelo C (híbrido) apresentou as melhores medidas de erro.

Portanto, considerando as medidas de desempenho para a tarefa de classificação (A, B e C), verifica-se que o modelo C, treinado para a tarefa de classificação, com variáveis híbridas (advindas da combinação das análises técnica e fundamentalista) apresenta a melhor acurácia, precisão e medida F1-score, podendo assim, ser uma ferramenta útil para auxiliar os investidores no processo de previsão do comportamento das ações e seleção de portfólio.

6. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar a aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquina na previsão do comportamento de ações no mercado brasileiro. Para isto, foram testados três modelos distintos de AM, buscando prever o comportamento de seis ações negociadas no mercado brasileiro, baseados em análises técnicas, fundamentalistas e híbridas. A amostra compreendeu seis empresas, durante o período de 27 anos (de 18 de agosto de 1994 a 16 de dezembro de 2021), totalizando 40.562 observações.

Os modelos treinados somente com variáveis fundamentalistas (A) e somente com variáveis técnicas (B) apresentaram acurácia próximo ao aleatório, respectivamente de 56,46% e 55,72%. Estes resultados podem indicar que a heterogeneidade da amostra, que compreendeu empresas de diversos tamanhos e setores, pode ter contribuído para a falta de aprendizado do algoritmo, prejudicando a generalização dos resultados. Conforme indicado pela literatura, esperava-se que o modelo com variáveis provenientes da análise técnica (B) produzisse melhores resultados, tendo em vista que esta análise consegue captar melhor as alterações de curto prazo (Lui & Mole, 1998), como é o caso das variações diárias do preço das ações, objeto deste estudo (Oliveira et al., 2013; Renu & Christie, 2018).

Com a combinação das variáveis provenientes das análises fundamentalistas e técnicas, foi possível notar uma melhora significativa no desempenho do modelo C. Este resultado vem ao encontro da literatura (Nti et al., 2020a), ao apontar que modelos híbridos podem fornecer uma melhor acurácia na previsão das ações. O modelo C também apresentou resultados melhores que a maioria dos estudos da revisão da

literatura (Emir et al., 2012; Kim, 2003; Zhang & Zhao, 2009), podendo indicar que o algoritmo SMV também pode ser utilizado para a realidade brasileira e para períodos de crises, como a pandemia da covid-19.

Considerando as medidas de desempenho dos modelos de classificação, concluiu-se que o modelo C, treinado para a tarefa de classificação, com variáveis híbridas (advindas da combinação das análises técnica e fundamentalista) apresenta a melhor acurácia, F1-score e precisão (medida relacionada ao erro tipo I). O que indica que este modelo pode ser uma ferramenta útil para auxiliar os investidores no processo de previsão do comportamento das ações e seleção de portfólio.

Ao identificar padrões ocultos nos dados e aumentar a precisão das previsões, o presente trabalho auxilia no processo de seleção de portfólio dos investidores, ao propor um modelo de aprendizado de máquina para previsão do comportamento das ações negociadas no mercado brasileiro. Desta forma, contribuí para a prática de diversos profissional da área financeira. Gestores de fundos e *traders* podem utilizar o modelo para maximizar o retorno e ajustar o risco da carteira de investimentos, desta forma, otimiza a composição do portfólio. Os analistas financeiros podem utilizar modelos de AM para gerar *insights* baseados nas variáveis advindas da análise técnica e fundamentalista para complementar suas análises e aumentar a eficiência das suas recomendações de investimentos. Modelos de AM para previsão do comportamento das ações também podem democratizar o acesso a estratégias de investimento, considerando os diversos perfis de investimentos. Enquanto indivíduos conservadores podem utilizar este trabalho para evitar ativos voláteis e buscar reduzir os riscos, os agressivos podem explorar oportunidades identificadas pelo modelo de previsão, maximizando o retorno da sua carteira.

Além das contribuições práticas o presente trabalho apresenta outros pontos que se destacam na literatura, como é o caso da utilização de técnicas híbridas para a previsão do comportamento do mercado de ações e do amplo período de análise dos dados (27 anos, n=40.562), que auxiliaram no treinamento e generalização do modelo.

Apesar dos cuidados na elaboração deste estudo, ele não está isento de limitações. A seleção de uma amostra heterogênea, contendo empresas de diferentes tamanhos e setores, pode ter prejudicado o treinamento do modelo. Outro fator externo que pode ter atrapalhado a aprendizagem do algoritmo foi a inclusão de períodos de crise na amostra (Emir et al., 2012), como a pandemia da covid-19, que pode ter alterado o comportamento das ações e diminuído acurácia dos modelos de predição. A utilização de uma única base de dados para definição da amostra e mensuração das variáveis também constituem uma limitação, uma vez que foram analisadas somente

empresas que possuíam os dados completos no banco de dados. O período de análise dos dados (vinte e sete anos) também pode ser interpretado como uma limitação do estudo, uma vez que pode diminuir o número de empresas analisadas e acarretar em um viés de sobrevivência na amostra.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se a ampliação do escopo da pesquisa, de forma a utilizar o algoritmo de AM para composição de portfólios de investimento considerando as diferentes estratégias de investidores (*buy and hold*, *swing trade*, *value investment*) e perfis de investidores (conservadores/agressivos). Também sugere-se a diversificação das variáveis que possam influenciar o preço da ação como, por exemplo, a análise de sentimento das notícias vinculadas na mídia e nas redes sociais. Por fim, recomenda-se também a utilização de outros AM como, redes neurais e métodos *ensembles*.

Contribuição de autoria:

Costa, G. D.: Conceituação, Metodologia, Software, Pesquisa, Curadoria de dados, Escrita-rascunho original. **Lunkes, R. J.:** Conceituação, Metodologia, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Supervisão

Gabriel Donadio Costa (Costa, G. D.)

Rogério João Lunkes (Lunkes, R. J.)

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram que durante o processo de pesquisa, não existiu nenhum tipo de interesse pessoal, profissional ou econômico que tenha podido influir no julgamento e/ou ações dos pesquisadores no momento de elaborar e publicar o artigo.

REFERÊNCIAS

- Adebiyi, A. A., Ayo, C. K., Adebiyi, M., & Otokiti, S. O. (2012). Stock price prediction using neural network with hybridized market indicators. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 3(1), 1-9.
- Anghel, D. G. (2021). A reality check on trading rule performance in the cryptocurrency market: Machine learning vs. technical analysis. *Finance Research Letters*, 39, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101655>
- Bianchi, D., Büchner, M., & Tamoni, A. (2021). Bond risk premiums with machine learning. *The Review of Financial Studies*, 34(2), 1046-1089. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa062>

- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992, July). A training algorithm for optimal margin classifiers. In L. Valiant and M. Warmuth (Eds.), *Proceedings of the fifth annual workshop on computational learning theory* (pp. 144-152). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/130385.13040>
- Brasil, Bolsa, Balcão. (2024). Perfil pessoas físicas: Nossos investidores. https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/consultas/mercado-a-vista/perfil-pessoas-fisicas/perfil-pessoa-fisica/.
- Buckmann, M., Joseph, A., & Robertson, H. (2021, 15-16 de junho). *An interpretable machine learning workflow with an application to economic forecasting* [Apresentação em conferência]. 11th ECB Conference on Forecasting Techniques, virtual. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4130517>
- Cavalcante, F., Misumi, J. Y., & Rudge, L. F. (2005). *Mercado de capitais: O que é, como funciona*. Elsevier.
- Chen, J. C., Dunn, A., Hood, K., Driessen, A., & Batch, A. (2019). Off to the races: A comparison of machine learning and alternative data for predicting economic indicators. In K. G. Abraham, R. S. Jarmin, B. Moyer, & M. D. Shapiro (Eds.), *Big data for 21st century economic statistics* (pp. 373 – 402). University of Chicago Press.
- Chenhall, R. H., & Moers, F. (2015). The role of innovation in the evolution of management accounting and its integration into management control. *Accounting, Organizations and Society*, 47, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.002>
- Dang, N. H., Van Vu, T. T., & Le Dao, T. N. (2022). Accounting information and stock returns in Vietnam securities market: Machine learning approach. *Contabilidad y Negocios*, 17(33), 94-118. <https://doi.org/10.18800/contabilidad.202201.004>
- Elder, A. (1993). *Trading for a living: Psychology, trading tactics, money management* (Vol. 31). John Wiley & Sons.
- Emir, S., Dinçer, H., & Timor, M. (2012). A stock selection model based on fundamental and technical analysis variables by using artificial neural networks and support vector machines. *Review of Economics & Finance*, 2(3), 106-122. <https://doi.org/10.18800/contabilidad.202201.004>
- Fama, E. F., & French, K. R. (1988). Dividend yields and expected stock returns. *Journal of Financial Economics*, 22(1), 3-25. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90020-7)
- Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The cross section of expected stock returns. *The Journal of Finance*, 47(2), 427-465. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb04398.x>
- Fama, E. F., & French, K. R. (2004). The capital asset pricing model: Theory and evidence. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 25-46. <https://doi.org/10.1257/0895330042162430>

- Fan, A., & Palaniswami, M. (2001, July). Stock selection using support vector machines. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *IJCNN'01. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No. 01CH37222)* (Vol. 3, pp. 1793-1798). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2001.938434>
- Feijó, C., Araújo, E. C., & Bresser-Pereira, L. C. (2022). Política monetária no Brasil em tempos de pandemia. *Brazilian Journal of Political Economy*, 42, 150-171. <https://doi.org/10.1590/0101-31572022-3353>
- Géron, A. (2019). *Mãos à obra: Aprendizado de máquina com Scikit-Learn & TensorFlow*. Alta Books.
- Haugen, R. A., & Baker, N. L. (1996). Commonality in the determinants of expected stock returns. *Journal of Financial Economics*, 41(3), 401-439. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(95\)00868-F](https://doi.org/10.1016/0304-405X(95)00868-F)
- Henrique, B. M., Sobreiro, V. A., & Kimura, H. (2018). Stock price prediction using support vector regression on daily and up to the minute prices. *The Journal of Finance and Data Science*, 4(3), 183-201. <https://doi.org/10.1016/j.jfds.2018.04.003>
- Huerta, R., Corbacho, F., & Elkan, C. (2013). Nonlinear support vector machines can systematically identify stocks with high and low future returns. *Algorithmic Finance*, 2(1), 45-58. <https://doi.org/10.3233/AF-13016>
- Kamara, A. F., Chen, E., & Pan, Z. (2022). An ensemble of a boosted hybrid of deep learning models and technical analysis for forecasting stock prices. *Information Sciences*, 594, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.02.015>
- Kim, K. J. (2003). Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing*, 55(1-2), 307-319. [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(03\)00372-2](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(03)00372-2)
- King, B. F. (1964). *The latent statistical structure of security price changes* [Unpublished PhD dissertation]. University of Chicago.
- Lee, M. C. (2009). Using support vector machine with a hybrid feature selection method to the stock trend prediction. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10896-10904. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.038>
- Levy, R. A. (1967). Relative strength as a criterion for investment selection. *The Journal of Finance*, 22(4), 595-610. <https://doi.org/10.2307/2326004>
- Li, X., & Sun, Y. (2020). Stock intelligent investment strategy based on support vector machine parameter optimization algorithm. *Neural Computing and Applications*, 32(6), 1765-1775. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04566-2>
- Lui, Y. H., & Mole, D. (1998). The use of fundamental and technical analyses by foreign exchange dealers: Hong Kong evidence. *Journal of International Money and Finance*, 17(3), 535-545. [https://doi.org/10.1016/S0261-5606\(98\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S0261-5606(98)00011-4)

- Marcelino, S., Henrique, P. A., & Albuquerque, P. H. M. (2015). Portfolio selection with support vector machines in low economic perspectives in emerging markets. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 49(4), 261-278.
- Monteiro, C. A., & Ribeiro, M. H. (2024, July). Previsão da direção do preço de ação brasileira utilizando redes neurais e máquinas de vetores suporte. In Sociedade Brasileira de Computação (Ed.), *2024: Anais do XI Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais* (pp. 98-105). Sociedade Brasileira de Computação. <https://doi.org/10.5753/encompif.2024.1983>
- Mun, W. C. P. & Soong, V. (2021). Forecasting yield curve with macro-driven models: A comparison between machine learning and traditional statistical approaches. <https://rpubs.com/WendyChongPooiMun/YieldCurve>
- Nti, I. K., Adekoya, A. F., & Weyori, B. A. (2020a). A systematic review of fundamental and technical analysis of stock market predictions. *Artificial Intelligence Review*, 53(4), 3007-3057. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09754-z>
- Nti, I. K., Adekoya, A. F., & Weyori, B. A. (2020b). Efficient stock-market prediction using ensemble support vector machine. *Open Computer Science*, 10(1), 153-163. <https://doi.org/10.1515/comp-2020-0199>
- Oliveira, F. A., Nobre, C. N., & Zárte, L. E. (2013). Applying artificial neural networks to prediction of stock price and improvement of the directional prediction index—Case study of PETR4, Petrobras, Brazil. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7596-7606. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.071>
- Renu, I. R. & Christie, P. (2018). Fundamental Analysis versus technical analysis. A comparative review. *International Journal of Recent Scientific Research*, 9(1), 23009-23013.
- Samuel, A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210-229. <https://doi.org/10.1147/rd.33.0210>
- Santos, G. C. (2020). *Algoritmos de machine learning para previsão de ações da B3* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia]. Repositório Institucional - Universidade Federal de Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29897>
- Shatshat, M. A. H. I., & Ahmed, S. (2019). Information technology governance linkage to the financial report quality in Libyan commercial banks. *International Journal of Business Society*, 3(10), 13-17.

- Silva, A., Neves, R., & Horta, N. (2015). A hybrid approach to portfolio composition based on fundamental and technical indicators. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2036-2048. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.050>
- Statusinvest. (2025). *StatusInvest*. <https://statusinvest.com.br/acoes>
- Vapnik, V. (1995). *The nature of statistical learning theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2440-0>
- Zhang, Z., & Zhao, Q. (2009). The application of SVMs method on exchange rates fluctuation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2009(1), 1-8. <https://doi.org/10.1155/2009/250206>
- Zhang, X., Zhang, Y., Wang, S., Yao, Y., Fang, B., & Philip, S. Y. (2018). Improving stock market prediction via heterogeneous information fusion. *Knowledge-Based Systems*, 143, 236-247. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.12.025>

Data de recepção: 06/11/2024

Data de revisão: 27/11/2024

Data de aceitação: 24/04/2025

Contato: rogerio.lunkes@ufsc.br

O uso da inteligência artificial em planejamento tributário: a nova fronteira da contabilidade como estratégia competitiva nas organizações

Valmor Reckziegel

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Brasil

Edgard Bruno Cornacchione Junior

Universidade de São Paulo - USP, Brasil

Débora Gomes de Gomes

Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Brasil

Jorge de Souza Pinto

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Brasil

El uso de la inteligencia artificial en la planificación tributaria: la nueva frontera de la contabilidad como estrategia competitiva en las organizaciones

En el ámbito de las estrategias, las organizaciones pueden ser diferentes. Factores internos y externos influyen en ellas para alcanzar diversos niveles de desempeño. La búsqueda de estrategias que garanticen una ventaja competitiva ha demostrado que su adopción puede llevar a las organizaciones a un rendimiento superior y la planificación tributaria es una de ellas (Aronmwan & Okafor, 2019; Hanlon & Heitzman, 2010; Lietz, 2013; Maydew, 2001; Shevlin, 2020; Sun et al., 2023). En Brasil, a diferencia de otros países con alta tributación y complejidad fiscal, la gestión legítima de las oportunidades por afrontar tributos puede volver a una organización más competitiva (Ramos et al., 2019). Sobre todo, en el escenario del desarrollo tecnológico, los estudios han abordado la inteligencia artificial (IA) como una herramienta estratégica destinada a mejorar la toma de



<https://doi.org/10.18800/contabilidade.2025ESP.003>

Contabilidade y Negocios 20 (esp.) 2025, pp. 71-88 / e-ISSN 2221-724X

decisiones en diferentes escenarios estructurados (Belahouaoui & Attak, 2024; Krupa & Mullaney, 2024; Li et al., 2024; Rafik, 2024; Silva et al., 2022). A partir de lo mencionado, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿cómo es abordada la IA en los estudios de gestión empresarial, particularmente para la mejor decisión tributaria, dados los diferentes escenarios y la complejidad administrativa presentes en Brasil? El objetivo del estudio es desarrollar una narrativa teórica sobre las investigaciones en IA en los estudios de gestión empresarial, especialmente, en la planificación tributaria. Con ello, se apunta a identificar la mejor opción en el escenario que reduce la tributación y, en consecuencia, mejora el desempeño de la empresa. La metodología adoptada es exploratoria y documental, para lo cual se revisaron revistas nacionales e internacionales. Utilizando las palabras clave “inteligencia artificial”, “planificación tributaria” y “contabilidad”, se identificaron 46 estudios relevantes sobre el tema en las bases de datos de Scopus, Web of Science y revistas de Capes. Tras analizar la literatura que aborda el tema de investigación, los resultados indican una clara brecha en la adopción de la IA en los estudios de planificación tributaria.

Palabras clave: inteligencia artificial, planificación fiscal, ventaja competitiva

The use of artificial intelligence in tax planning: the new accounting boundary as competitive strategy in firms

Firms may have differences in the strategic field, being influenced by internal and external factors to achieve different performance levels. Adopting strategies that guarantee a competitive advantage may result in an improved performance of firms, tax planning being one of them (Maydew, 2001; Hanlon & Heitzman, 2010; Lietz, 2013; Aronmwan & Okafor, 2019; Shevlin, 2020; Sun et al., 2021). Unlike other countries with high taxation and tax complexity, the legitimate management of opportunities to take on taxes can make a firm more competitive in Brazil (Ramos, Niveiros & Carneiro Jr., 2019). In the technological development field, studies present artificial intelligence as a strategic tool to improve the decision-making process in various structured situations (Silva, Costa & Pimenta, 2022; Li et al., 2024; Rafik, 2024; Belahouaoui & Attak, 2024; Krupa & Mullaney, 2024). Therefore, the research question is: How is artificial intelligence presented in business management studies, particularly in the best tax decision, given the different scenarios and administrative complexity in Brazil? The aim thereto is to develop theory on research on artificial intelligence in business management studies, especially in tax planning aiming at the best option in the scenario reducing taxation and, consequently, at improving the company performance. The methodology used was exploratory and documentary, doing research in national and international journals. Using the following keywords: artificial intelligence, tax planning and accounting, forty-six relevant studies on the matter were identified in data bases like Scopus, Web of Science and CAPES gazettes; literature on the research subject was analyzed, and findings evidence a clear gap in the use of artificial intelligence in tax planning studies.

Keywords: artificial intelligence, tax planning, competitive advantage

O uso da inteligência artificial em planejamento tributário: a nova fronteira da contabilidade como estratégia competitiva nas organizações

No campo da estratégia, as organizações podem ser diferentes e fatores internos e externos as influenciam para atingir diversos níveis de desempenho. A busca por estratégias que garantam vantagem competitiva tem mostrado que sua adoção pode levar as organizações a um desempenho superior e o planejamento tributário é uma delas (Aronmwan & Okafor, 2019; Hanlon & Heitzman, 2010; Lietz, 2013; Maydew, 2001; Shevlin, 2020; Sun et al., 2023). No Brasil, diferentemente de outros países, com elevada tributação e complexidade tributária, a gestão legítima das oportunidades de enfrentamento aos tributos pode tornar uma organização mais competitiva (Ramos et al., 2019). Sobretudo, no cenário de desenvolvimento tecnológico, estudos têm abordado a inteligência artificial (IA), como ferramenta estratégica visando melhorar as decisões nas escolhas em diferentes cenários estruturados (Belahouaoui & Attak, 2024; Krupa & Mullaney, 2024; Li et al., 2024; Rafik, 2024; Silva et al., 2022). Diante do exposto, a questão de pesquisa é: como a IA está sendo abordada pelos estudos em gestão empresarial, particularmente na melhor decisão tributária, dados os diferentes cenários e complexidade administrativa presentes no Brasil? Cujo objetivo é desenvolver uma narrativa teórica sobre as pesquisas em IA nos estudos de gestão empresarial, em especial o planejamento tributário, visando a melhor opção no cenário que reduz a tributação e, conseqüentemente, melhora o desempenho da empresa. A metodologia adota é a pesquisa exploratória e documental, utilizando pesquisa em bases de periódicos nacionais e internacionais. Com as palavras-chave inteligência artificial, planejamento tributário e contabilidade foram identificados 46 estudos relevantes sobre a temática, nas bases de dados Scopus, Web of Science e periódicos da Capes visando versar sobre a literatura que aborda o tema de pesquisa e os resultados apontam para uma clara lacuna na adoção da IA em estudos na área de planejamento tributário.

Palavras-chave: inteligência artificial, planejamento tributário, vantagem competitiva

1. INTRODUÇÃO

A investigação, por meio da pesquisa científica, para galgar conhecimento acerca das variações estruturais das empresas que tornam umas mais competitivas que as outras, e, analisar esse movimento para entender como as variáveis influenciam sua performance, bem como avaliar os elementos da prática empresarial que são suficientemente consistentes, de modo a explicar como as organizações atingem vantagem superior, e, em contrapartida, como outras fracassam, apresentam-se como base de estudo de muitos pesquisadores acadêmicos no campo da estratégia, especialmente

em áreas das ciências sociais aplicadas, destacando a administração, economia e contabilidade (Barney & Hesterly, 2004; Dyer & Singh, 1998).

No dinamismo empresarial, entende-se que as transformações no ambiente em que as organizações estão inseridas, afetam seus negócios e a transformação digital tem se tornado um tema central para empresas de todos os setores. Com a rápida evolução das tecnologias e o crescente impacto da internet, as organizações estão sendo desafiadas a se adaptarem a um ambiente cada vez mais digitalizado (Alex, 2024). A transformação digital refere-se à adoção e integração de tecnologias em todos os aspectos de uma empresa, incluindo processos operacionais, modelos de negócios, relacionamento com clientes e cultura organizacional.

Ainda, a transformação digital com o uso da inteligência artificial (IA) pode trazer uma série de benefícios significativos as empresas. Ela pode melhorar a eficiência operacional, reduzir custos, aumentar a agilidade e a capacidade de resposta aos clientes, impulsionar a inovação, facilitar a tomada de decisões baseada em dados e fortalecer a vantagem competitiva. Além disso, a transformação digital com IA pode abrir novas oportunidades de negócios, permitindo a criação de novos produtos e serviços ou a expansão para novos mercados (Alex, 2024).

A introdução dos mecanismos digitais, incluindo a IA como ação estratégica, embute a tecnologia para o centro da estratégia competitiva, e a sua inclusão nas ações diferenciadas estrategicamente preparadas, introduz como fator decisivo a posse da tecnologia. Segundo o estudo da Deloitte (2022), num curto espaço de tempo, as organizações que investirem em tecnologia terão ampla vantagem em recursos disponíveis. Entrevistando pessoas da área comercial e de vendas, a empresa descobriu que quase dois terços das pessoas entrevistadas acreditam que as organizações que não investirem em tecnologia nos próximos cinco anos serão consideradas obsoletas (Deloitte, 2022).

Liga-se a esse o tema de IA no panorama de planejamento tributário, pois requer decisões que podem ser estruturadas na tecnologia computacional capaz de executar decisões frente a cenários que levem as organizações a redução de custos com impostos. Para Gilson e Bramilli (2023) o avanço da IA tem sido objeto de intensa pesquisa e prática, tanto na área acadêmica, quanto na profissional. Nesse contexto, os gestores das empresas reconhecem o potencial da IA como ferramenta estratégica, o que os tem levado a investimentos em sistemas baseados nessa tecnologia para automatizar processos, analisar grandes volumes de dados e obter *insights* valiosos para impulsionar o crescimento e a eficiência operacional (Avelar & Oliveira, 2023).

Tratando de aplicações de IA no ambiente de planejamento tributário, tem-se como exemplo de aplicação da IA o TaxGPT, que segundo Miller (2024), obtém respostas precisas e detalhadas até mesmo para as questões fiscais mais complexas em segundos. Apenas *insights* confiáveis que permitem a tomada de decisões informadas com mais rapidez e oferece a integração ao perfil das empresas para personalizar o TaxGPT para comunicação com o cliente, verificações de auditoria e compartilhamento seguro de documentos.

No Brasil, o então CEO da Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras (FIPECAFI), Edgard Cornacchione, ressalta que o alto grau de subjetividade na interpretação de regras fiscais dá ao sistema tributário nacional um “potencial gigantesco” para as empresas explorarem o ChatGPT. Essa ferramenta é um *chatbot* de IA, lançado no final de 2022, que responde, de forma articulada e em linguagem natural, a qualquer pergunta do usuário (como citado em Inohara, 2023). Os autores acrescentam que o sistema tributário tem imenso potencial e o Brasil é candidato nato para isso, pois a legislação é complexa, não se trata apenas de aplicação de regras, mas, sim de interpretação.

Cornacchione (1993) já advertia sobre o uso de sistemas computacionais para sistemas de análise mais completa que as tradicionais nos anos 90. O autor antecipava a discussão do tema, complementando ser possível visualizar este tipo de sistema (IA) como sendo um sistema de análise mais completo que os tradicionais com a rotina de coleta de dados (balanços, demonstrações de resultados, informações operacionais, setoriais etc.), a partir dos quais se obtinha uma série de informações específicas a serem avaliadas pelo sistema especialista (IA), o qual poderia gerar uma espécie de parecer/opinião sobre o que foi analisado; tais pareceres, com hipóteses associadas a grau de confiabilidade e probabilidade, geram reflexões acerca de uma análise confiável e rápida, capaz de ajudar analistas com economia de tempo.

Considerando a oportunidade de desenvolver estudos ligados ao uso de IA como escolha de melhores cenários que afetam a competitividade das organizações, este estudo se propõe a responder o seguinte problema: Como a IA está sendo abordada pelos estudos em gestão dos negócios, em particular na melhor decisão tributária, frente aos diferentes cenários e à complexidade administrativa presentes no Brasil? Nesse sentido, o objetivo desse estudo é desenvolver uma narrativa teórica sobre as pesquisas em IA nos estudos de gestão empresarial, em especial o planejamento tributário, visando a melhor opção no cenário que reduz a tributação e, consequentemente, melhora o desempenho da empresa.

Dada a devida importância e destaque na literatura do uso da IA como facilitador de tarefas e reconhecidas qualidades ao uso de novas tecnologias, destaca-se o tema como pouco explorado na pesquisa de planejamento tributário em periódicos nacionais e internacionais, denotando como contribuição teórica abordar o tema planejamento tributário na pesquisa científica e como contribuição empírica, propor ferramentas aplicáveis a solução de problemas nas organizações.

Dentre estudos que contribuíram com a discussão do tema de planejamento tributário, cita-se Maydew (2001), com uma discussão sobre a pesquisa empírica em planejamento tributário, Hanlon e Heitzman (2010), com uma análise da pesquisa de tributos, Lietz (2013), que trata da elisão fiscal *versus* agressividade fiscal: uma estrutura conceitual unificadora, bem como evasão tributária corporativa: revisão de medidas e perspectivas (Aronmwan & Okafor, 2019), uma visão geral da pesquisa acadêmica em contabilidade tributária baseada na tributação multinacional dos EUA (Shevlin, 2020; Sun et al. 2023) como o planejamento tributário corporativo mitiga as restrições financeiras com evidências da China. Estes estudos não abordaram o tema planejamento tributário associado ao uso de IA, e seu enfoque em pesquisas recorrentes ao combate da evasão e elisão fiscal, o que reforça o ineditismo dessa pesquisa e sua contribuição teórica e prática.

2. Desenvolvimento temático

O uso da IA tem-se mostrado presente em estudos na área de gestão como ferramenta estratégica de auxílio à tomada de decisões. Friedrich et al. (2022) destacam que o entendimento do futuro da contabilidade é unânime entre teóricos, e os mesmos defendem que a contabilidade não deixará de existir por este motivo, apenas gerará novas oportunidades de buscar na sua essência existir, mantendo-se competitiva com o uso dos processos automatizados, atuando, principalmente, na autenticação de dados e relatórios para a tomada de decisão e não mais em burocracia tributária, como benefício expresso na adoção da IA (Borges et al., 2020).

Tratando do tema IA, alguns autores abordam elementos importantes, como por exemplo: a) um argumento contra a literatura de IA (Holl, 2024); b) IA no combate à fraude e corrupção: a experiência da controladoria geral do município do Rio de Janeiro (Gilson & Bramili, 2023); c) a IA na pesquisa acadêmica (Pigola et al., 2023); d) o impacto dos avanços tecnológicos na auditoria das demonstrações financeiras, ao mostrar que a auditoria foi impactada tecnologicamente pelas ferramentas de técnicas de auditoria assistida por computador (CAAT), capacitação do auditor de Tecnologia da Informação, IA em auditoria, aprendizado profundo em auditoria e impacto

tecnológico emergente (Imoniana et al., 2023). Tais exemplos apresentam o esforço de pesquisadores no desenvolvimento de pesquisas com o uso da IA na área de gestão, e denotam uma lacuna que aborde o uso da IA no planejamento tributário, referenciado anteriormente como de cunho estratégico para as organizações e que justifica a originalidade e inovação desta pesquisa.

Aplicando a IA em estudos de planejamento tributário, há que se destacar primeiro sob argumentos da relevância de abordar o tema planejamento tributário, proposta desse estudo, argumenta-se que no Brasil a carga tributária é uma das mais elevadas do mundo. Com grande contribuição na área profissional, o Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (IBPT), classifica que dentre 29 países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Brasil posiciona-se no 14º lugar do ranking mundial (IBPT, 2015). Na América Latina, o Brasil lidera o ranking do país de elevada carga tributária em comparação com outros países (Ramos et al., 2019).

Diante da elevada carga tributária, as empresas buscam alternativas administrativas e jurídicas, para reduzi-la contabilmente e, assim, melhorar seus ganhos econômicos, que expressam soluções dentre diferentes cenários estruturados para redução de tributos conhecidos no mundo empresarial e acadêmico como planejamento tributário, cuja legalidade formal, reduz, anula ou posterga o tributo (Andrade Filho, 2018; Batista & Machado, 2021; Oliveira, 2009).

Sob enfoque estratégico, Batista e Machado (2021) defendem que o planejamento tributário deve ser tratado no mais alto nível da organização, quanto ao seu planejamento, e quando interiorizado, aplicado diariamente como prática operacional (ambos planejamentos estratégicos e operacional). Com esse escopo, sendo desenvolvido a partir de uma visão global dos ambientes externo e interno, com vistas a definir suas metas e, consequente, redução de custos operacionais, que corrobora a esse estudo e reforça a importância de pesquisar ferramentas de planejamento tributário aliadas a estratégia organizacional para obtenção de vantagem competitiva (Fonseca et al., 2021).

Reafirmada a importância de estudar IA nas ciências sociais, em especial na contabilidade, liga-se a esse o tema do panorama de planejamento tributário, pois requer decisões que podem ser estruturadas na tecnologia computacional, capaz de executar decisões frente a cenários que levem as organizações a redução dos custos com impostos. Para Gilson e Bramilli (2023) o avanço da IA tem sido objeto de intensa pesquisa acadêmica e aplicação profissional. Nesse contexto, reconhecem os gestores das empresas o potencial da IA como estratégica competitiva, o que os tem levado a investimentos em sistemas baseados nessa tecnologia para automatizar processos,

analisar grandes volumes de dados com *insights* valiosos para impulsionar o crescimento das organizações e atingir seus objetivos estratégicos e operacionais (Avelar & Oliveira, 2023; Guedes & Oliveira Junior, 2024).

Sobre estudos recentes na área de gestão, abordando a aplicabilidade da IA destaca-se a obra de estudos de IA na pesquisa em contabilidade, em especial a pesquisa do Professor Miklos Vasarhelyi, dentre outras citando Vasarhelyi et al. (2015), com o trabalho *big data* em contabilidade uma visão geral, Appelbaum et al. (2017), impacto da análise de negócios e sistemas empresariais na contabilidade gerencial e Dai e Vasarhelyi (2017) para a contabilidade e a garantia baseadas em *blockchain* dentre os mais citados.

Tratando das especificidades do ramo da contabilidade, assumir responsabilidade é um dos pilares da governança com uso da IA. Isto se deve, entre outras razões, à delegação de tarefas por exemplo, previsão ou tomada de decisão com uso de sistemas de IA (Novelli et al., 2023). As atuais políticas de IA fora do Brasil, especialmente no contexto europeu, reconhecem este aspecto. Busca-se recorrer cada vez mais à assistência de IA, ou delegar decisões às mesmas. Os autores defendem a necessidade de garantir que estes sistemas sejam justos no seu impacto na vida das pessoas, que estejam alinhados com valores que não devem ser comprometidos e capazes de agir em conformidade a padrões éticos, frente ao uso recorrente de IA (Novelli et al., 2023).

Para Imoniana et al. (2023), a auditoria foi impactada tecnologicamente pelas ferramentas de CAAT, capacitação do auditor de Tecnologia da Informação, IA em auditoria, aprendizado profundo em auditoria e impacto tecnológico emergente da auditoria contínua de *blockchain*. Geralmente, a auditoria é afetada tecnologicamente de três maneiras: a) planejamento de um trabalho, b) durante a execução e c) durante as fases de relato. O impacto também é sentido com as tecnologias inovadoras, como a IA supervisionada para extração de dados e análise de exceções, *LOT*, monitoramento de drones com imagens de satélite, sensoriamento remoto, *deep learning* e automação robótica de processos. Para os autores, dentre as implicações práticas do estudo está a de constituir inovações implementadas em diferentes ritmos pelas empresas de auditoria.

Para Holl (2024) o desenvolvimento de grandes modelos de linguagem (LLMs), aprendizado de máquina (ML) e redes neurais (NNs), em conjunto com a crescente cobertura de notícias dessas tecnologias, levaram a muita especulação sobre suas capacidades e aplicações futuras e o autor defende a necessidade de novas pesquisas e direcionamento com a contribuição científica da pesquisa em IA. Finalizando estudos sobre a importância da IA nos negócios, a satisfação do cliente na prestação de serviços

com IA: um estudo meta-analítico (Costa et al., 2022); resultados e perspectivas da ferramenta de auditoria contínua de compras públicas governamentais com o uso de IA (Rocha et al., 2022); IA na prestação de contas, o que é e como funciona (Novelli et al., 2023); com nenhuma referência da adoção de ferramentas de IA no planejamento tributário, enfatizando sua aplicabilidade na área de auditoria predominantemente e na elisão e evasão fiscal nos que abordaram pesquisa em impostos, com inexpressiva abordagem no planejamento tributário com adoção da IA.

3. Metodologia da pesquisa

Do ponto de vista de sua natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais porque, segundo Silva e Menezes (2005), o propósito dessa pesquisa soluciona o problema de decisões estruturadas no planejamento tributário. Do ponto de vista de tratamento dos dados, Gil (1991), Silva e Menezes (2005) e Martins (2008) classificam como pesquisa bibliográfica. Do ponto de vista dos objetivos, Gil (1991) descreve que a pesquisa é classificada como exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão do tema.

Os procedimentos de pesquisa adotados foram a busca sistemática nas bases de dados Scopus, Web of Science e periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), as palavras-chave utilizadas foram: IA; planejamento tributário; contabilidade e estratégias tecnológicas na gestão, sendo identificados 46 estudos sobre a temática. Desses estudos, depuraram-se os artigos publicados nacionalmente que abordam o tema e, posteriormente, os internacionais, para análise do conteúdo da pesquisa e contribuição no desenvolvimento teórico e prático do planejamento tributário associado a IA.

4. RESULTADOS

Sobre a pesquisa e o uso da IA em estudos de planejamento tributário no Brasil, a pesquisa identificou apenas dois estudos abordando o tema, e eles são apresentados na tabela 1, com identificação da proposta de estudo, ferramentas de IA adotadas e suas aplicações na gestão tributária, com inexpressiva adesão dos pesquisadores nacionais.

Tabela 1. Estudos brasileiros que abordam a IA ao planejamento tributário

Autores	Proposta de estudo	Ferramentas tecnológicas	Aplicações na gestão tributária
Xavier et al. (2022)	Uso da IA no planejamento tributário	IA	Identificação de possíveis evasões fiscais
Silva et al., 2022	Utilizando dados abertos	IA	Revisão da literatura em trabalhos relevantes, os autores observaram que não estavam presentes no Brasil estudos que correlacionam o uso da IA no combate a evasão fiscal pelas empresas governamentais

Estudos revisados em periódicos internacionais apontam direcionamento das pesquisas em planejamento tributário, evidencia-se como ponto de partida Maydew (2001), com abordagem para reflexões sobre o estado da arte e o futuro da pesquisa fiscal empírica em contabilidade, discutindo as contribuições de Shackelford e Shevlin (2001) na pesquisa em contabilidade tributária, que por sua vez, detalham o desenvolvimento da pesquisa empírica de imposto de renda, com fontes secundárias, de base microeconômica e em contabilidade nos últimos 15 anos. A pesquisa detalha três grandes áreas de investigação: i) a coordenação de fatores fiscais e não fiscais, ii) os efeitos dos impostos sobre os preços dos ativos, e iii) a tributação do comércio multi-jurisdicional (internacional e interestadual).

Identificou-se na busca por periódicos internacionais, uma revisão da pesquisa tributária em quatro áreas principais da literatura (Hanlon & Heitzman, 2010), a) o papel informativo das despesas de imposto de renda reportadas para a contabilidade financeira, b) evasão fiscal corporativa, c) tomada de decisões corporativas, incluindo investimento, estrutura de capital e forma organizacional, e d) impostos e precificação de ativos. Em artigo posterior, Lietz (2013) apresentou uma proposta de estrutura conceitual unificadora de planejamento tributário corporativo. A estrutura acomodou construtos frequentemente estudados na pesquisa empírica de contabilidade tributária, ou seja, elisão fiscal, agressividade fiscal, proteção fiscal e evasão fiscal, relacionando-os com a noção seminal de planejamento tributário eficaz apresentada em Scholes e Wolfson (1992) não abordando propriamente planejamento tributário global como preconiza Scholes e Wolfson (1992).

A pesquisa encontrou também estudo elaborado na China, Sun et al. (2023) cujo escopo foram os efeitos de comportamento em empresas chinesas do planejamento

fiscal que impõe restrições financeiras a uma empresa. Explicaram os autores que este efeito é mais pronunciado em empresas não estatais e grandes empresas, em comparação com as suas homólogas. Os resultados da regressão mostraram que o planejamento fiscal está positiva e significativamente associado à mitigação das restrições financeiras, sugerindo que a poupança fiscal em dinheiro provavelmente melhorará a folga financeira das empresas.

Em resumo, estruturou-se na tabela 2, os estudos internacionais pesquisados e o direcionamento acadêmico em incluir a aplicabilidade de ferramentas de IA para a gestão dos negócios e no planejamento tributário.

Tabela 2. Estudos internacionais que abordam o uso de tecnologias de IA e estratégias tributárias no ano 2024

Autores	Proposta de estudo	Ferramentas tecnológicas	Aplicações na gestão tributária.
Li et al. (2024)	Impacto das tecnologias no setor financeiro	Blockchain, IA, ML e análise de big-data	Revisão da literatura sobre o tema, o uso de big-data na prevenção de fraudes tributárias. As demais tecnologias aplicadas as estratégias de investimento das empresas
Rafik (2024)	Uma análise da automação fiscal baseada em IA	IA	Também analisa os dados fiscais das empresas na prevenção de fraudes. Explora o uso da IA para automação fiscal
Belahouaoui e Attak (2024)	Impacto da digitalização fiscal com uso de IA	IA, aprendizagem de máquina e tecnologias de <i>blockchain</i>	Estuda o impacto de adoção das tecnologias de IA para prevenção de evasão e elisão fiscal dos contribuintes em mercados emergentes
Krupa e Mullaney (2024)	IA no auxílio a tomada de decisões com avaliação da eficácia nas estratégias fiscais	IA	Os resultados apontam relação positiva entre empresas que usam a IA, com a evasão fiscal. Além de avaliar a capacidade dos executivos em tratar os impostos na estratégia de negócios

Sobretudo, depreende-se que no setor fiscal especialmente, os autores identificaram lacunas de pesquisa e o pouco uso de ferramentas de IA no planejamento tributário na pesquisa acadêmica brasileira e mais recentemente em 2024 na internacional. Praticamente inexistem pesquisas e trabalhos que relacionam a IA com este setor, excetuando-se questões de auditoria (Silva et al., 2022) e evasão e elisão fiscal (Belahouaoui & Attak, 2024; Krupa & Mullaney, 2024; Li et al., 2024; Rafik, 2024).

Desse modo, esta descoberta traz luz a um *gap* de pesquisa com muitas possibilidades e ainda inexplorado pela academia, mesmo com a importância do planejamento tributário ao funcionamento das empresas e a representatividade dos tributos na economia brasileira, conforme apresentado classificando o Brasil como o país de mais alta carga tributária, se comparado a arrecadação de impostos *versus* os benefícios retornados a população em prestação de serviços públicos de qualidade.

5. CONCLUSÕES

No que se refere a problemática desse estudo, de como a IA está sendo abordada pelos estudos em gestão dos negócios, em particular na melhor decisão tributária, frente aos diferentes cenários e à complexidade administrativa presentes no Brasil? Denota pouco explorada ou inexistente no país. Em apenas dois estudos identificou-se a aplicação da IA no planejamento tributário, conforme abordado em Xavier et al. (2022), sobre como a IA pode ser usada na identificação da evasão fiscal utilizando dados abertos e em Silva et al. (2022), que estudaram a aplicação da IA numa revisão da literatura em contabilidade e tributação, destacando a realização de uma revisão de literatura brasileira.

Contudo, o objetivo desse estudo foi elaborar uma narrativa teórica sobre a pesquisa em IA nos estudos de gestão em negócios, em particular na pesquisa de planejamento tributário, visando a melhor opção no cenário que reduz a taxa e, consequentemente, melhora o desempenho da empresa, argumenta-se como cumprido. Como sugestões para futuras pesquisas registra-se que abordar as ferramentas de IA aplicadas em cenários de planejamento tributário enseja alcançar novos horizontes de auxílio aos tomadores de decisão a reduzir os custos de taxa de forma integral.

Nesse aspecto os estudos podem promover o uso da IA na solução de problemas de planejamento tributário como estratégias das empresas em reduzir sua tributação e as técnicas especificadas servem como instrumento para realização e execução da pesquisa. A investigação poderá abordar o desenvolvimento com especialistas na área de IA de uma ferramenta capaz de simular cenários estruturados a partir de decisões pré-definidas de planejamento fiscal adotada largamente no meio profissional

contábil, com vistas à redução de custos com impostos globalmente nas empresas, conforme preconiza a pesquisa de Scholes e Wolfson (1992).

Como sugestão para futuros estudos ampliar a pesquisa de planejamento tributário com o uso de IA para a totalidade dos impostos tanto no Brasil, como em comparação a outros países conforme propõe Scholes e Wolfson (1992), com estudos também enfocando o uso da IA na detecção de fraudes, em amostras maiores e pesquisas empíricas como preconizado por Silva et al. (2022) e Xavier et al. (2022), e finalmente comparar os resultados com estudos semelhantes publicados internacionalmente de acordo com Belahouaoui e Attak (2024) e Krupa e Mullaney (2024), contribuirão para novos achados e pesquisas nessa importante área temática brasileira, frente a complexidade tributária já evidenciada.

Outras sugestões se direcionam a: evidenciar de que forma as soluções de IA podem ser implementadas na prática e quais são os principais desafios técnicos, jurídicos e organizacionais envolvidos; discutir como as empresas reagiriam à adoção de algoritmos em substituição ou em complemento ao julgamento profissional; verificar se a substituição parcial ou total do julgamento humano pela IA impactaria a percepção de valor do trabalho consultivo; identificar como a IA, apesar de ser uma ferramenta para processamento de grandes volumes de dados, endereçaria preocupações relacionadas à responsabilidade, confiabilidade e segurança das informações fiscais; e, avaliar o custo-benefício de incorporar essas tecnologias ao planejamento tributário.

Contribuição de autoria:

Reckziegel, V.: Conceituação, Metodologia, Software, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Recursos, Curadoria de dados, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto, Aquisição de fundos. **Junior, E. B. C.:** Conceituação, Metodologia, Software, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Recursos, Curadoria de dados, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto, Aquisição de fundos. **Gomes, D. G.:** Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão. **Pinto, J. S.:** Conceituação, Metodologia, Pesquisa, Recursos, Curadoria de dados, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão.

Valmor Reckziegel (Reckziegel, V.)

Edgard Bruno Cornacchione Junior (Junior, E. B. C.)

Débora Gomes de Gomes (Gomes, D. G.)

Jorge de Souza Pinto (Pinto, J. S.)

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram que durante o processo de pesquisa, não existiu nenhum tipo de interesse pessoal, profissional ou econômico que tenha podido influir no julgamento e/ou ações dos pesquisadores no momento de elaborar e publicar o artigo.

REFERÊNCIAS

- Alex. (2023, 23 de junho). Transformação digital: estratégias empresariais para a era digital. *Negócios & Empreendedorismo*. <https://negocioseempreendedorismo.com.br/blog/transformacao-digital-estrategias-empresariais-para-a-era-digital/>
- Andrade Filho, E. O. (2018). *Imposto de renda das empresas*. (13 ed.) Atlas.
- Appelbaum, D., Kogan, A., Vasarhelyi, M., & Yan, Z. (2017). Impact of business analytics and enterprise systems on managerial accounting. *International Journal of Accounting Information Systems*, 25, 29-44. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2017.03.003>
- Aronmwan, E.J., & Okafor, C. (2019). Corporate tax avoidance: Review of measures and prospects. *International Journal of Accounting & Finance*, 8(2), 21-42.
- Avelar, E.A., & Oliveira, C. (2023). A era dos algoritmos de inteligência artificial no controle gerencial. *Revista Mineira de Contabilidade*, Belo Horizonte, 24(2), 4-6. <https://doi.org/10.51320/rmc.v24i2.1543>
- Barney, J. B., & Hesterly, W. (2004). Economia das organizações: Entendendo a relação entre as organizações e a análise econômica. In S. R. Clegg, C. Hardy, & W. R. Nord (Orgs.), *Handbook de estudos organizacionais: ação e análise organizacional* (pp. 131-179). Atlas.
- Batista, A.K.P., & Machado, L. S. (2021). Planejamento tributário em empresa da construção civil: O caso das sociedades de propósito específico (SPes). *Revista ConTexto*, 21(49), 57-72.
- Belahouaoui, R., & Attak, E.H. (2024). Digital taxation, artificial intelligence and Tax Administration 3.0: Improving tax compliance behavior – a systematic literature review using Textometry (2016–2023). *Accounting Research Journal*, 37(2), 172-191. <https://doi.org/10.1108/ARJ-12-2023-0372>
- Borges, W.G., Leroy, R.S.D., Carvalho, L.F., Lima, N.C., & Oliveira, J.M. (2020). Implicações da inteligência artificial na auditoria interna no brasil: Análise sob a percepção de profissionais. *Revista Sociedade, Contabilidade e Gestão*, 15(1), 23-40. https://doi.org/10.21446/scg_ufrj.v0i0.25284

- Cornacchione Júnior, E.B. (1993). *Informática para as áreas de Contabilidade Administração e Economia*. Atlas.
- Costa, L.M. A., Cunha, C.X.C., Silva, W.K.M., & Abreu, N. (2022). Satisfação do cliente na prestação de serviços com inteligência artificial: Um estudo meta-analítico. *Revista de Administração do Mackeïnse*, 23(6), 1-29. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMD220003>
- Dai, J., & Vasarhelyi, M. A. (2017). Toward blockchain-based accounting and assurance. *Journal of Information Systems*, 31(3), 5-21. <https://doi.org/10.2308/isys-51804>.
- Deloitte. (2022). Tecnologia é diferenciador e principal aliada da indústria de seguros na busca de oportunidades. <https://www.deloitte.com/br/pt/our-thinking/mundocorporativo.html/>
- Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of Management Review*, 23(4), 660-679. <https://doi.org/10.2307/259056>
- Fonseca, A.K., Sirqueira, D.M., Araújo, R.A.M., & Garcia, I.A.S. (2021). Reflexo do planejamento tributário no endividamento das empresas não financeiras listadas na Brasil Bolsa Balcão (B3). *Revista GeSec*, 12(2), 225-252. <https://doi.org/10.7769/gesec.v12i2.1191>
- Friedrich, M.P.A., Silva, M.Z., Venturini, J.C., & Schuster, W.A. (2022). Pensamento epistemológico em ciências contábeis na era da inteligência artificial. *RGO Revista Gestão Organizacional*, 15(3), 180-197. <https://doi.org/10.22277/rgo.v15i3.6877>
- Gil, A. C. (1991). *Como elaborar projetos de pesquisa*. Atlas.
- Gilson, D.H.M.I., & Bramili, G.A. (2023). Inteligência artificial no combate à fraude e corrupção: A experiência da controladoria geral do município do Rio de Janeiro. *Revista da CGU*, 15(27), 203-222. <https://doi.org/10.36428/revistadacgu.v15i27.531>
- Guedes, L., & Oliveira Júnior. (2024). Artificial intelligence adoption in public organizations: A case study. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, 16(1), 1-26. <https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2024.v16i1.860>
- Hanlon, M., & Heitzman, S. (2010). A review of tax research. *Journal of Accounting and Economics Conference*, 25, 1-138. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1476561>
- Heberle, E.L., & Koning, J.G. (2023). Inteligência artificial e a robotização de tarefas para o aumento de eficiência em escritório de contabilidade. *RAGC*, 11(45), 95-111.
- Holl, C. (2024). The content intelligence: An argument against the lethality of artificial intelligence. *Discover Artificial Intelligence*, 4(13), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00112-9>

- Imoniana, J. O., Nava Filho, D. C., Cornacchione, E. B., Reginato, L., & Benetti, C. (2023). Impact of technological advancements on auditing of financial statements. *European Research Studies Journal*, 14(4), 131-159. <https://doi.org/10.35808/ersj/3277>
- Inohara, A. (2023, 4 de abril). ChatGPT: Área tributária é candidata natural para aplicação de inteligência artificial, diz Edgard Cornacchione, CEO da Fipecafi. *Portal ContNews*. <https://www.portalcontnews.com.br/chatgpt-area-tributaria-e-candidata-natural-para-aplicacao-de-inteligencia-artificial-diz-edgard-cornacchione-ceo-da-fipecafi/>
- Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário. (2015). Brasil escala ranking mundial das maiores cargas tributárias. <https://www.ibpt.org.br/brasil-escala-ranking-mundial-das-maiores-cargas-tributarias/>
- Kohlhase, S., & Wielhouwer, J.L. (2023). Tax and tariff planning through transfer prices: the role of the head office and business unit. *Journal of Accounting and Economics*, 75(2-3). 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2022.101568>
- Krupa, T.J., & Mullaney, M.S. (2024). *The use of artificial intelligence in decision-making: evidence from the effectiveness of corporate tax strategies*. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=4710463/2024>
- Li, S., Xu, H., Lu, T., Cao, G., & Zhang, X. (2024). Emerging technologies in finance: Revolutionizing investment strategies and tax management in the digital era. *Management Journal for Advanced Research*, 4(4), 35-49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13283670>
- Lietz, G. (2013). Tax avoidance vs. tax aggressiveness: a unifying conceptual framework. *Munster School of Business and Economics*, 12, 1-68. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2363828>
- Martinez, A.L., & Oliveira, J.P.E.G. (2019). Novo CARF e planejamento tributário com operações societárias. *RPCA – Revista Pensamento Contemporâneo*, 13(2), 166-181. <https://doi.org/10.12712/rpca.v13i2.13181>
- Martins, G.A. (2008). Estudo de caso: Uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. *Revista de Contabilidade e Organizações (RCO)*, 2(2), 8-18. <https://doi.org/10.11606/issn.1982-6486.rco.2025.218938>
- Maydew, E.L. (2001). Empirical tax research in accounting: A discussion. *Journal of Accounting and Economics*, 31, 389-403. [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00021-0)
- Mgammal, M.H., & Al-Absy, M.S.M. (2023). Função mediadora e moderadora da governança na relação entre planejamento tributário e divulgação de impostos.

- Revista de Contabilidade e Organizações*, 17, 1-30. <https://doi.org/10.11606/issn.1982-6486.rco.2023.212129>
- Miller, E. (2024). *Copiloto fiscal de IA para contadores e profissionais tributários*. https://www-taxgpt-com.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc/
- Mota, D.E., Gilson, M.I., & Bramili, G.A. (2023). Inteligência artificial no combate à fraude e corrupção a experiencia da controladoria geral do município do Rio de Janeiro. *Revista da CGU*, 1(27), 203-222. <https://doi.org/10.36428/revistadacgu.v15i27.531>
- Novelli, C., Taddeo, M., & Floridini, L. (2023). Accountability in artificial intelligence: What it is and how it works. *AI e Society, Journal of Knowledge, Culture and Communication*, 38, 1871-1882. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01635-y>
- Oliveira, G. P. (2009). *Contabilidade tributária*. (3a. ed.) Saraiva.
- Pigola, A., Scafuto, I.C., Costa, P.R., & Nassif, V.M.J. (2023). Artificial intelligence in academic research. *International Journal of Innovation*, 11(3), 1-9. <https://doi.org/10.5585/2023.25408>
- Rafik, R. (2024). Ai-driven tax automation: an in-depth review. *Review Of Tax Studies*, 12-2(23), 31-51.
- Ramos, A.V.R., Niveiros, S.I., & Carneiro Jr. J.B.A. (2019). Planejamento tributário: Análise bibliométrica dos artigos publicados na base Atena no período de 2012 a 2016. *Desafio Online*, 7(2), 355-376. <https://desafioonline.ufms.br/index.php/deson/article/view/7517>
- Redivo, J.F., Almeida, D.M., & Beuren, I.M. (2020). Reflexos dos controles de gestão no planejamento tributário: Um estudo em uma pequena empresa industrial. *Pensar Contábil*, 22(77), 55-67.
- Rocha, A.L.M., Resende, M.S., & Oliveira, T.C. (2022). Relato técnico Alice: Desafios, resultados e perspectivas da ferramenta de auditoria contínua de compras públicas governamentais com uso de inteligência artificial. *Revista da CGU*, 14(26), 296-308. <https://doi.org/10.36428/revistadacgu.v14i26.530>
- Scholes, M., & Wolfson, M. (1992). *Taxes and business strategy: A planning approach*. Prentice-Hall Inc.
- Shackelford, D.A., & Shevlin, T. (2001). Empirical tax research in accounting. *Journal of Accounting and Economics*, 31, 321-387. [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00022-2).
- Shevlin, T. (2023). *An overview of academic tax accounting research drawing on U.S. multinational taxation*. University of California.

- Silva, D.R., Costa, D.F., & Pimenta, A. (2022, 27-29 de julho). *A influência da inteligência artificial na contabilidade e na tributação das organizações: Uma revisão de literatura* [Apresentação em conferência]. 22 USP Conference in Accounting, São Paulo, Brasil.
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação* (4º ed.). Universidade Federal de Santa Catarina. https://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024_Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes1.pdf
- Sun, J., Makosa, L., Yang, J., Yin, F., & Sitsha, L. (2023). Does corporate tax planning mitigate financial constraints? Evidence from China. *International Journal of Finance & Economics*, 28(1), 510-527. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2433>
- Vasarhelyi, M. A., Kogan, A., & Tuttle, B. M. (2015). Big data in accounting: an overview. *Accounting Horizons*, 29(2), 381-396. <https://doi.org/10.2308/acch-51071>
- Xavier, O.C., Pires S.R., Marques, T.C., & Soares, A.S. (2022). Identificação de evasão fiscal utilizando dados abertos e inteligência artificial. *Revista de Administração Pública*, 56(3), 426-440. <https://doi.org/10.1590/0034-761220210256>

Data de recepção: 30/11/2024

Data de revisão: 02/12/2024

Data de aceitação: 24/04/2025

Contato: valmor.reckziegel@ufms.br

Management control meets AI: From data-driven literature review to research gap*

Omar Feria Alonso

Universidade de Vigo - UVIGO, Spain

Elena Shakina

Universidade de Vigo - UVIGO, Spain

Maria Beatriz Gonzalez-Sanchez

Universidade de Vigo - UVIGO, Spain

Jose Berbel-Vera

Universitat de València - UV, Spain

El control de gestión se encuentra con la IA: De la revisión de literatura basada en datos a la identificación de vacíos de investigación

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la investigación académica constituye un instrumento de alto impacto para la gestión del conocimiento científico. A partir de ello, este artículo presenta una revisión de la literatura basada en datos que explora la intersección entre los sistemas de control de gestión (SCG) y la IA, mapea los principales clústeres temáticos, e identifica vacíos de investigación. Sobre la base de un corpus curado de artículos revisados por pares, publicados entre 2010 y 2025, se identificaron cinco clústeres temáticos principales; además,

* We are grateful for the support of the following institutions: Spanish Ministry of Science and Innovation (PID2022-139974NB – I00), project title “Accounting and management control in small firms and startups: Implications in a context of high uncertainty”; Brazilian Ministry of Science, Technology and Innovation (Ref. MCTI/CNPq nº 14/2023) project title “Management control systems in small businesses and startups: Implications in a context of high uncertainty and their impacts on labour well-being, digital transformation and sustainability.”



se evaluó en qué medida cada uno aborda la transparencia y la explicabilidad, preocupaciones centrales en la implementación de IA en contextos de SCG. Los hallazgos revelan que solo dos clústeres abordan explícitamente la IA explicable (XAI), lo que evidencia una importante laguna en la literatura. Este estudio ofrece una doble contribución: proporciona un mapeo sistemático de las investigaciones actuales sobre sistemas de control habilitados por IA, y propone una agenda de investigación que destaca la necesidad de un enfoque más integrado y transparente hacia la explicabilidad en contextos de toma de decisiones impulsados por IA. Además, el estudio demuestra la capacidad de las técnicas basadas en datos para orientar futuras investigaciones, subrayando el papel indispensable de la lectura crítica y del juicio humano en la aplicación de métodos de IA a la investigación académica.

Palabras clave: revisión de la literatura, control de gestión, inteligencia artificial explicable

Management control meets AI: From data-driven literature review to research gap

The integration of artificial intelligence (AI) into academic research constitutes a highimpact instrument for managing scientific knowledge. Building on these capabilities, this paper presents a datadriven literature review that explores the intersection of management control systems (MCS) and AI, maps key thematic clusters, and identifies research gaps. Drawing on curated corpus of peer-reviewed articles published between 2010 and 2025, we identify five major thematic clusters and assess the extent to which each addresses transparency and explainability, core concerns in implementing AI within MCS contexts. Our findings reveal that only two clusters explicitly engage with explainable AI (XAI), revealing a significant research gap. This study offers a twofold contribution: it provides a systematic mapping of current research on AI-enabled control systems and proposes a research agenda that emphasizes the need for a more integrated and transparent approach to explainability in AI-driven decision-making contexts. The study further demonstrates the capacity of datadriven techniques to steer future inquiry, while simultaneously underscoring the indispensable role of critical reading and human judgment in the application of AI methods to scholarly research.

Keywords: literature review, management control, explainable artificial intelligence

O controle de gestão se encontra com a IA: Da revisão da literatura baseada em dados à identificação de lacunas de pesquisa

A integração da inteligência artificial (IA) na pesquisa acadêmica constitui uma ferramenta de alto impacto para a gestão do conhecimento científico. Com base nessas capacidades, este artigo apresenta uma revisão da literatura baseada em dados que explora a interseção entre sistemas de controle gerencial (SCG) e IA, mapeia os principais clusteres temáticos e identifica lacunas de pesquisa. Com base em um corpus selecionado de artigos revisados por pares, publicados entre

2010 e 2025, identificamos cinco clusters temáticos principais e avaliamos em que medida cada um aborda a transparência e a explicabilidade, preocupações centrais na implementação de IA em contextos de SCG. Nossos resultados revelam que apenas dois clusters abordam explicitamente a IA explicável (IAX), o que destaca uma importante lacuna significativa na literatura. Este estudo oferece uma dupla contribuição: fornece um mapeamento sistemático das pesquisas atuais sobre sistemas de controle habilitados por IA e propõe uma agenda de pesquisa que destaca a necessidade de uma abordagem mais integrada e transparente para a explicabilidade em contextos de tomada de decisão orientada por IA. Além disso, o estudo demonstra a capacidade das técnicas baseadas em dados para orientar futuras pesquisas, ao tempo em que destaca o papel indispensável da leitura crítica e do julgamento humano na aplicação de métodos de IA à pesquisa acadêmica.

Palavras-chave: revisão de literatura, controle gerencial, inteligência artificial explicável

1. INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) is transforming the way academic research is conducted, offering tools for processing and analysing large volumes of text quickly and accurately, exceeding the capabilities of traditional manual methods. One of the most relevant developments of this transformation is natural language processing (NLP), which refers to the ability of machines to understand, interpret, and generate human language. This makes NLP especially valuable for analysing large volumes of textual data such as academic publications (Teerasoponpong et al., 2025).

Manual literature reviews, by contrast, present notable limitations in both scope and objectivity. Traditional bibliographic review usually requires a considerable amount of time -sometimes months or even years- especially in broad or interdisciplinary fields, thereby restricting the volume of literature that can be rigorously analysed. Additionally, cognitive fatigue accumulated during the process may compromise the consistency and rigor of analytical judgments.

Despite these limitations, bibliographic reviews remain essential for gaining a comprehensive understanding of key topics and recent advances within a discipline, as well as for identifying significant gaps in existing body of knowledge. However, they also reflect a certain degree of subjectivity (Pugliese et al., 2023) as they rely heavily on researchers' exposure, experience, and critical assessment (Kraus et al., 2022). For early-career researchers in particular, it is crucial to develop a solid understanding

of the literature they engage with recognizing well-established findings, identifying underexplored areas and understanding ongoing debates.

To overcome these challenges, automated methods such as topic modelling using latent Dirichlet allocation (LDA) have emerged as valuable tools. LDA identifies latent topics in large collections of documents, making it essential for structuring automated literature review. In parallel, the growing capabilities of large-scale language models (LLM) offer new opportunities for generating thematic summaries complementing LDA-based structure analysis,

Building on these capabilities, this paper conducts an automated literature review at the intersection of AI and management control systems (MCS). The convergence of these two domains is rapidly evolving and emerging as a strategically area of organizational research. As AI technologies are increasingly embedded in decision-making and performance monitoring, scholars have begun to investigate the implications, challenges, and transformative potential.

This study presents a data-driven literature review that maps the emerging intellectual landscape of this convergence. It identifies thematic areas and evaluates how well current research addresses foundational AI concerns, particularly those related to the transparency and explainability, collectively termed explainable ai (XAI), which constitute primordial requirements from an MCS perspective.

To identify prevailing trends and research gaps, we apply a structured text mining implementing advanced NLP techniques on a curated corpus of peer-reviewed academic publications. Our analysis identifies five major thematic clusters that shape current discourse. Notably, concerns around XAI, crucial for mitigating algorithmic opacity and preventing hallucinations, are addressed explicitly in only two clusters, while the remaining three, including the widely discussed role of MCS in decision-making, largely neglect this dimension. This gap is particularly significant, as interpretability and trust are prerequisites for the responsible deployment of AI in organizations, especially when the technology aims to enhance, or even automate, decisionmaking processes.

Our findings suggest that while scholarly interest in the intersection of AI and MCS is growing rapidly, literature remains fragmented, and critical concerns such as XAI are unevenly addressed. This review not only synthesizes the state of the field but also highlights a pressing research agenda: the need for a more systematic integration of explainability into theoretical and empirical work on AI-enabled MCS.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1. MCS: Overcoming black-box opacity of AI

MCS have been recognized as essential mechanisms through which managers guide organizational members to implement strategies and align actions with organizational goals (Simons, 1995). Over time, this traditional perspective has evolved toward a more dynamic and context-sensitive understanding of control. Recent studies emphasize that MCS are not static structures but flexible, adaptive configurations that enable organizations to respond to environmental uncertainty, foster learning, and encourage creativity and innovation (Bedford, 2015; Speklé et al., 2017).

Contemporary frameworks emphasise the multi-faceted nature of MCS: they combine formal mechanisms as budgets, performance reports, incentive contracts with informal elements grounded in culture and social norms (Anthony & Govindarajan 2007). These mechanisms may be implemented diagnostically to monitor variance or interactively to stimulate strategic debate (Simons, 1995; Tessier & Otley 2012), and they can fulfil both enabling and coercive functions depending on how managers deploy them (Ahrens & Chapman 2004). This plurality of purposes allows managers to balance efficiency, adaptability, and strategic responsiveness. Control instruments provide managers with quantitative and qualitative information that supports decision-making, mitigates risks, and uncovers opportunities (Chenhall & Moers, 2015).

In recent years, however, the digital transformation of organizations has profoundly reshaped how MCS are designed and used. AI is becoming increasingly embedded in managerial processes, automating tasks traditionally reliant on human judgment and enhancing the scope and depth of managerial analytics. This trend has opened an exciting field of inquiry, as researchers explore the implications of AI-driven decision-making (Dwivedi et al., 2021).

While AI holds significant promise for improving decision quality and organizational performance (Masialetti et al., 2024) its inherent “black-box” nature raises new challenges for accountability, transparency, and managerial understanding. As advanced machine learning models are deployed in high-stakes decisions, managers and stakeholders alike demand greater interpretability and control over AI-generated insights (Jarrahi, 2018).

In response, the field of explainable AI (XAI) has emerged as a critical approach to making AI models more transparent and accessible without substantially reducing their predictive power, a dilemma labelled as the “black-box” problem (Arrieta et al., 2020; Meske et al., 2022). While computer scientists devise explanation techniques, researchers grounded in management control emphasise how those explanations

must be integrated with existing accountability routines and decision processes inside organisations, highlighting that technical explanations are not sufficient. So, these explanations must be embedded within existing controls (Elbashir et al., 2021) as review meetings, variance-analysis protocols and ethical boundary systems if they are to sustain meaningful dialogue and informed judgement. When explanations are aligned with the task domain, experimental evidence shows that transparency can enhance user trust (Yu & Li, 2022); when mis-aligned, it risks information overload or misplaced reliance. XAI has therefore emerged as a bridge between algorithmic technical capability and managerial accountability.

In consequence, within the context of MCS, XAI is increasingly viewed as a necessary enabler for ensuring that AI not only improves decision-making processes but does so in a way that managers can comprehend its outputs and justify them. Without sufficient explainability, the adoption of AI-enabled control systems will continue to face critical scepticism, as opaque outputs may undermine trust and hinder integration into established accountability structures and governance routines.

The emerging intersection of MCS, AI, and XAI represents a promising yet underexplored avenue for both research and practice. Recent studies—many still in the form of systematic literature reviews (e.g., Abdel-Karim et al. 2021; Weber et al. 2023) highlight that this field remains in its formative stages. Going forward, it is essential to develop control systems that not only harness the analytical power of AI but also ensure that decision-makers retain sufficient understanding to exercise informed and responsible judgment. This evolving interplay between technological sophistication and managerial comprehension will likely shape the future design of management control, positioning XAI as a vital link to unlock the potential of AI in increasingly data-driven organizations.

3. METHODOLOGY

To achieve the stated objectives, a five-stage, data-driven methodological framework was developed, combining advanced computational techniques with qualitative validation strategies. The analysis was conducted using the R software environment, chosen for its user-friendly interface and its ability to run specialized text analysis packages. This tool facilitated the extraction of key information such as representative bigrams and enabled the clear and replicable visualization of results. R is particularly useful for researchers as it doesn't require advanced knowledge of NLP or complex programming skills.

The core of the approach is grounded in LDA (Blei et al., 2003), a probabilistic topic modelling technique widely used to reveal latent thematic structures within large corpora of unstructured text. These AI techniques have already been used in accounting (Murphy et al., 2024), but as far as we know, not specifically in our field of research, which focuses more on the internal accounting tools than on disclosure of accounting information. LDA was chosen due to its capacity to model the distribution of topics across documents and the distribution of terms across topics, making it particularly suitable for identifying clusters of research themes in a large, heterogeneous set of academic publications. Each document in the corpus is treated as a mixture of multiple topics, and each topic as a distribution over words. This allows for the discovery of underlying thematic patterns that may not be immediately observable through manual review. The model parameters were tuned to identify five major clusters, which were determined to best balance interpretability and thematic distinctiveness based on coherence metrics and expert judgment.

While LDA typically operates on unigrams (individual words), this can lead to overly generic or ambiguous topic descriptors. To address this, we implemented bigram extraction—the identification of frequently co-occurring word pairs within the corpus. Bigrams offer a higher degree of semantic precision, as they often correspond to domain-specific expressions (e.g., “project_management”, “stability_strategy”, or “management_practices”). By associating each LDA-generated topic with its most representative bigrams, we enhanced the clarity and contextual richness of the topic labels. The five-steps (see figure 1) methodological framework are as follows:

1) Corpus construction via Scopus

A targeted search was conducted in the Scopus database using refined Boolean expressions containing the keywords: “*management control systems*”, “*performance measurement systems*”, and “*artificial intelligence*”. The temporal scope was restricted to publications from 2010 to 2025. The search excluded 18 subject areas deemed peripheral to the research focus and was limited to peer-reviewed journal articles written in English. This filtering ensured disciplinary relevance to the domains of business management, accounting, economics, econometrics, and finance.

2) Metadata extraction and preprocessing

Bibliographic metadata -including authorship, publication year, title, abstract, keywords, and institutional affiliation- was extracted and organized in a structured spreadsheet format. This served as the foundation for subsequent text analysis. The analysis was conducted running R programming using a set of specialized pack-

ages for each stage of the work. Initially, libraries for data loading and manipulation (readxl, dplyr) were installed to allow the selection of relevant columns, filtering records, and structuring the information. For corpus preprocessing, tools such as tidytext, tm, and others were used, aimed at removing stop words and tokenization. In the following stages, libraries designed to create term matrices and run topic models such as LDA were applied, as well as others to generate visual representations (word clouds, charts, bigram visualization, and metrics), with the aim of facilitating the interpretation of the results and identifying thematic patterns.

Particular emphasis was placed on the content of titles, abstracts, and author-defined keywords, as these represent the most concise and intentional expressions of a paper's thematic focus. The full text of the articles was not included in the analysis, as the objective of the study is to identify research trends—information that can be effectively extracted from these three key elements.

Limiting the corpus to specific components such as abstracts or key words is due to both methodological and practical considerations. First, these elements are specifically designed to concisely synthesize the fundamental content of the research, including the research questions, methodologies employed, and main findings. Additionally, licensing restrictions constitute a significant barrier to complete access to full texts. Finally, this methodological approach facilitates the replicability and scalability of the analysis, allowing for its consistent application across diverse disciplines and data sets, resulting in a more robust and transferable framework.

3) Topic modelling via LDA

The cleaned corpus was analysed using LDA to uncover latent thematic structures within the data. Five dominant topics were identified as the most representative within the literature. To enhance interpretability, the analysis prioritized the extraction of bigrams - particularly those relevant in the context of MCS and AI-related terminology. Each cluster was described using its top 10 bigrams, with the top 20 used in calculating representativeness for statistical robustness. We tested multiple cluster numbers ($k = 2$ to 20) and assessed coherence using the *ldatuning* package, applying metrics implemented by Cao et al. (2009) and Deveaud et al. (2014).

These metrics are based on studies cited in the topic modelling literature. The index proposed by Cao et al. (2009) measures the similarity between topics based on their word distributions: the lower the value, the greater the thematic differentiation. For example, if two topics share many words like “money,” “bank,” and “credit,” the metric penalizes them. In contrast, the index proposed by Deveaud et al. (2014) evalu-

ates the informational separation between topics, selecting models where each topic contributes distinctive content (higher values indicate better performance). Thus, if one topic focuses on “financial education” and another on “artificial intelligence,” the metric considers it favourable due to its clear distinction. Based on the trade-off between coherence and thematic interpretability, $k = 5$ was selected as the optimal number of clusters.

4) Cluster labelling and thematic interpretation via LLMs

To enhance the interpretability of the topics generated by the LDA model, we employed a LLM to support the labelling and thematic refinement of each cluster. This step involved a two-phase interaction with the LLM, using carefully crafted prompts aligned with the goals of semantic clarity and analytical depth.

The model was tasked with proposing accurate and contextually appropriate labels for each topic based on their top 20 bigrams. The following prompt was used:

Prompt 1: “I am conducting topic modelling as part of a research project at the intersection of management control and artificial intelligence. Below, I present the output for one of the topics identified, which includes the top 20 most relevant bigrams, each accompanied by its beta value and relative weight. Based on this list, please propose the most thematically appropriate and contextually accurate name for the topic. The suggested name should concisely reflect the core theme revealed by the bigrams, capturing both the conceptual and terminological focus within the domain of management control and AI. It is essential that the proposed label takes into consideration all the bigrams provided, not just the most dominant ones.”

5) Assessment of explainability coverage

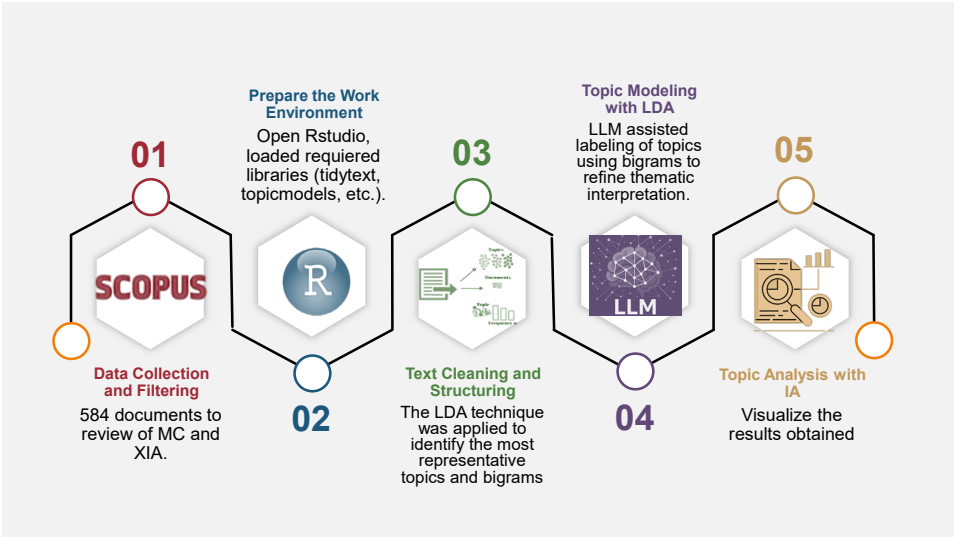
A second intervention using LLMs was performed to analyse whether—and how—each of the identified clusters explicitly or implicitly addressed the issue of AI explainability. This step was critical to assess whether transparency-related concerns constitute a discernible trend across the thematic clusters or remain marginal in the current discourse. The following prompt was employed:

Prompt 2: “As part of a topic modelling analysis on research at the intersection of management control and artificial intelligence, I am seeking to identify whether the issues on AI explainability and interpretability are present within the discovered topics. For each topic, please review the list of most relevant bigrams (along with their beta values and weights) and determine whether any of the terms - either directly or indirectly - relate to the concepts of transparency, explainability, or interpretability

of AI systems. This includes both explicit keywords (e.g., explainable AI, model transparency) and more implicit references (e.g., black box, decision rationale, user trust). Highlight any such connection.”

By integrating LLM-assisted interpretation into the workflow, we ensured a more coherent thematic labelling and a focused assessment of explainability-related dimensions within each topic, contributing to both the interpretive richness and the analytical rigor of the study.

Figure 1. Summary of the work



4. RESULTS

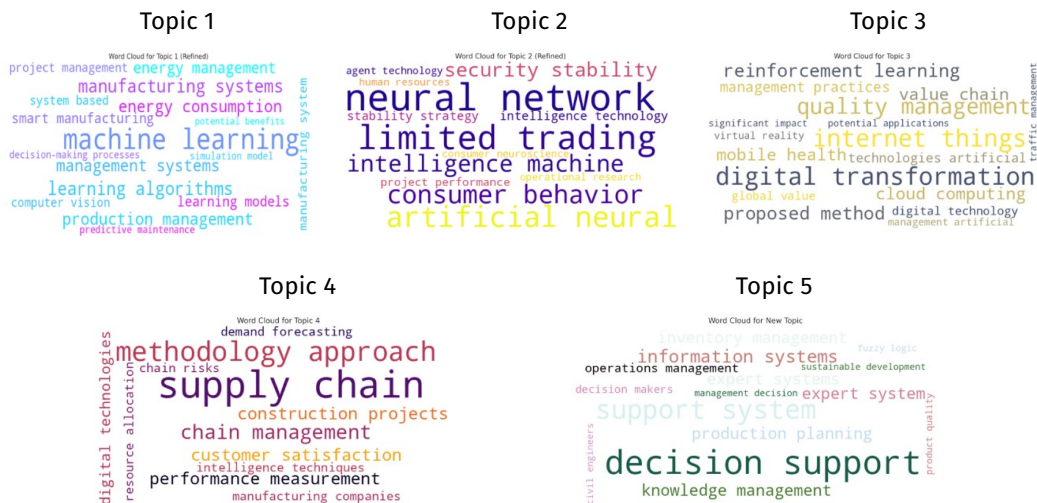
Figure 2 presents the most significant terms extracted from the entire document corpus using frequency-based analysis. These terms reflect the most recurrent and contextually significant lexical items found in the titles, abstracts, and keywords of peer-reviewed publications at the intersection of management control and AI. While this initial lexical mapping offers only a high-level overview of the discourse, it serves as a crucial starting point for identifying the foundational vocabulary around which scholarly debates are organized.

The value of this preliminary output lies not only in its ability to highlight core concepts, such as “artificial”, “performance”, “intelligence”, or “support”, but also in its role as a diagnostic tool for guiding more focused lines of inquiry. In particular, this overview raises key analytical questions that shape the direction of the study:

- To what extent are these core concepts thematically co-located in scholarly texts, and how do they cluster into identifiable domains of knowledge?
- Which of these frequently used terms reflect established areas of inquiry, and which may be indicative of emerging research frontiers?
- Are critical concerns, such as AI explainability, sufficiently visible in the vocabulary of the field, or do their relative absence signal a conceptual blind spot?

The keywords generated by the LDA model represent the most characteristic terms for each topic, selected for their high probability of matching within a thematic group. These keywords allow for content interpretation without reviewing the entire corpus and act as a bridge between the original text and a more structured analysis. Visualizing them as in figure 2 validates thematic coherence and facilitates the exploration of semantic relationships and gaps in the literature.

Figure 2. *The 100 most representative terms identified through topic-based word modelling*



LDA clusters bigrams according to their frequency of co-occurrence in texts and assigns them a probability within each topic, indicating how representative they are for that thematic group. Figure 2 presents the 100 most representative bigrams - pairs of words that frequently co-occur within the corpus - which significantly enhance the semantic granularity and interpretive depth of the thematic analysis. Unlike single-word frequencies, which may yield overly generic or contextually ambiguous findings, bigrams allow for the detection of domain-specific conceptual units that offer more precise and meaningful interpretations. A notable example is the expression “artificial

intelligence”, whose combined meaning constitutes a well-established and distinct research domain, whereas its individual components as “artificial” and “intelligence” lack such clarity when considered in isolation.

By revealing these collocations, the bigram analysis contributes to reconstruct the underlying conceptual architecture of the literature. It illustrates how terms are operationalized in context and how they contribute to the formulation of key academic debates. For instance, bigrams such as “machine_learning”, “neural_network” and “digital_transformation” not only reflect dominant research themes but also anchor broader discussions about the evolving role of AI in managerial decision-making and control systems.

Furthermore, the identification of these compound expressions serves as a crucial intermediate step in the topic modelling process. Bigrams were used both to label the LDA-generated topics and to interpret their content with greater specificity. Their frequency and distribution offer arguments for how scholars articulate complex ideas, facilitating the construction of more coherent thematic clusters (see table 1) and enabling more accurate cross-topic comparisons.

Although both models (figure 2 and table 1) use LDA, they are analysing different units of language and therefore identify different words or combinations as representative.

Following the implementation of LDA, five distinct thematic clusters were generated based on the distribution of terms across the corpus. To enhance the semantic interpretability of these machine-generated clusters, a two-step process involving LLM – GPT-4o model interventions was employed, allowing for a more accurate thematic classification and evaluation of content relevance.

In the first step, the top 20 bigrams with computed betas associated with each cluster - representing the most frequent and meaningful word pairings within each cluster - were extracted and used as input for the LLM. The model was prompted to generate a concise and conceptually coherent title for each cluster based on these bigrams and their representativeness within the overall distribution. This procedure enabled the transformation of abstract probabilistic topic structures into human-readable thematic labels, thereby facilitating meaningful interpretation and subsequent analysis.

Table 1. *The 50 most representative bigrams in MCS- AI intersection*

Word rank	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5
1	<i>machine</i>	<i>neural</i>	<i>digital</i>	<i>supply</i>	<i>decision</i>
	<i>learning</i>	<i>network</i>	<i>transformation</i>	<i>chain</i>	<i>support</i>
2	<i>learning</i>	<i>information</i>	<i>internet</i>	<i>design</i>	<i>support</i>
	<i>algorithms</i>	<i>limited</i>	<i>things</i>	<i>methodology</i>	<i>system</i>
3	<i>manufacturing</i>	<i>limited</i>	<i>quality</i>	<i>methodology</i>	<i>support</i>
	<i>systems</i>	<i>trading</i>	<i>management</i>	<i>approach</i>	<i>systems</i>
4	<i>management</i>	<i>artificial</i>	<i>reinforcement</i>	<i>originality</i>	<i>proposed</i>
	<i>systems</i>	<i>neural</i>	<i>learning</i>	<i>value</i>	<i>system</i>
5	<i>energy</i>	<i>consumer</i>	<i>proposed</i>	<i>purpose</i>	<i>information</i>
	<i>consumption</i>	<i>behaviour</i>	<i>method</i>	<i>paper</i>	<i>systems</i>
6	<i>production</i>	<i>intelligence</i>	<i>exclusive</i>	<i>chain</i>	<i>knowledge</i>
	<i>management</i>	<i>machine</i>	<i>licence</i>	<i>management</i>	<i>management</i>
7	<i>energy</i>	<i>security</i>	<i>cloud</i>	<i>limitations</i>	<i>expert</i>
	<i>management</i>	<i>stability</i>	<i>computing</i>	<i>implications</i>	<i>systems</i>
8	<i>learning</i>	<i>using</i>	<i>value</i>	<i>performance</i>	<i>inventory</i>
	<i>models</i>	<i>artificial</i>	<i>chain</i>	<i>measurement</i>	<i>management</i>
9	<i>smart</i>	<i>intelligence</i>	<i>mobile</i>	<i>literature</i>	<i>production</i>
	<i>manufacturing</i>	<i>technology</i>	<i>health</i>	<i>review</i>	<i>planning</i>
10	<i>project</i>	<i>stability</i>	<i>management</i>	<i>customer</i>	<i>expert</i>
	<i>management</i>	<i>strategy</i>	<i>practices</i>	<i>satisfaction</i>	<i>system</i>

In the second step, the same bigrams were analysed by the LLM to determine whether each cluster explicitly or implicitly addressed issues related to AI explainability and transparency. The LLM was asked to assess the presence of concepts associated with algorithmic interpretability, prevention of hallucinations, and trust-building in AI-enabled systems.

The resulting cluster titles are as follows:

- Cluster 1 AI Integration in MCS for smart manufacturing and energy efficiency
- Cluster 2 Neural models and performance control: Toward transparent and explainable ai in consumer analytics

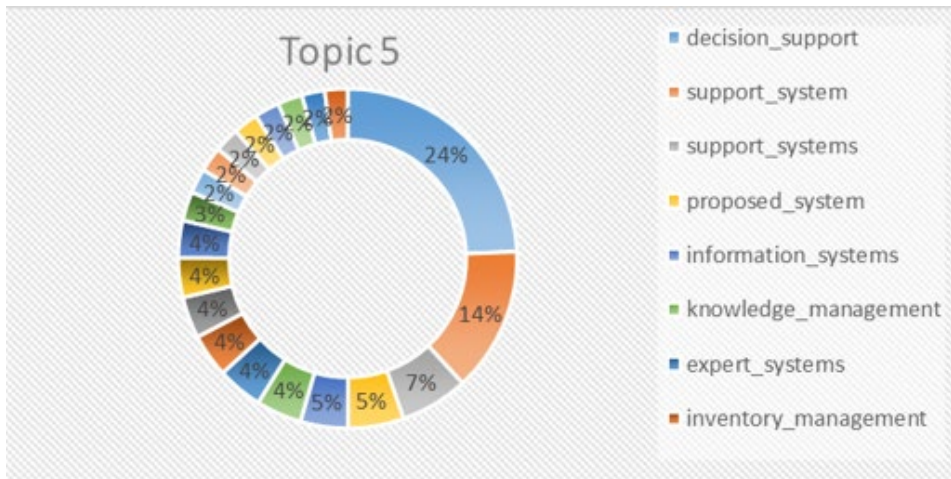
- Cluster 3 Management control in digital transformation: Aligning AI tools with quality and value chain objectives
- Cluster 4 Explainable AI in supply chain forecasting: Enhancing risk control through management systems
- Cluster 5 Decision support systems and sustainable control: Building trust in AI for managerial decision-making

A quick analysis of the clusters leads us to the following insights: the first cluster is related to *smart manufacturing* and is more closely associated with the engineering field; the second focuses on *consumer analytics*, within the area of marketing; the third concerns *quality and value chains*, aligning with quality management research; the fourth clearly centers on *supply chain* topic, mainly linked to logistics; and the fifth is associated with *managerial decision-making*, which is especially relevant to managerial control.

The results of this targeted analysis revealed that only two clusters - cluster 2 and cluster 4 - contained discernible thematic elements connected to explainability and transparency. Cluster 2 focused on neural models and their application in consumer analytics, highlighting the need for transparency in algorithmic decision-making. Cluster 4 dealt with supply chain forecasting, where explainability appeared as a mechanism to enhance risk management through interpretable AI tools. In contrast, the remaining three clusters - although thematically relevant to the broader integration of AI in management control - lacked any significant references to explainability-related constructs.

Finally, figure 3 presents a detailed view of cluster 5, which focuses on decision support and sustainable control. The figure shows the 20 most representative bigrams within this cluster, along with their relative probabilities (β), highlighting the key terms that define this specific area of the literature. The higher the β value for a term, the greater its relevance within the cluster.

Figure 3. Detailed analysis of cluster 5, including the 20 main bigrams and their respective percentages of representation



4.1. Discussion

This study offers a novel, data-driven mapping of the intersection between MCS and AI, revealing a fragmented yet rapidly evolving body of literature. Through LDA topic modelling complemented by LLM-assisted interpretation, five distinct thematic clusters were identified. Although explicability and interpretability are widely recognised as fundamental principles for the responsible use of AI, our analysis shows that these concerns remain peripheral in current MCS-AI research. Only two clusters contain elements explicitly related to explainability, while the other three, despite being highly relevant to the integration of AI in management control, lack significant references to this critical dimension.

The case of cluster 5, which focuses on decision support and sustainable control, is particularly illustrative. While it includes terms such as “trust” and “decision-making”, it does not adequately address the technical or ethical implications of using opaque AI systems. This highlights a conceptual gap: managerial decision contexts inherently demand accountability and auditability, yet the literature does not yet reflect a systematic engagement with the risks posed by black-box models. This may partly reflect the fact that managers are not fully aware of how AI-driven automated decision processes can impact organisational transparency and responsibility.

This finding underscores a broader issue: although the discourse on AI within management control is expanding, the integration of explainability as a core research

concern remains uneven and fragmented. The two-step LLM-assisted analysis proved especially valuable in identifying these latent conceptual gaps, pointing to the need for greater scholarly attention to the responsible and interpretable use of AI-enabled control systems.

From a disciplinary perspective, this study contributes to the emerging dialogue between accounting, management control research, and AI. While explainability is well established in AI studies, its systematic incorporation into MCS frameworks is still underdeveloped. Our results highlight the need for stronger theoretical integration, where concepts such as interpretability, algorithmic bias, and trustworthiness become embedded in the design and evaluation of AI-driven control practices.

Building on this, the literature review suggests several promising directions for future research. First, it is important to examine how different types of MCS (e.g., diagnostic versus interactive systems) may mediate or moderate the role and effectiveness of AI explainability mechanisms. Second, empirical studies, particularly those employing experimental or case-based designs, should investigate how managers interpret, trust, and respond to AI-generated outputs under varying levels of transparency. Third, conceptual work is needed to clarify what “explainability” should mean in the context of MCS: is it sufficient to offer post-hoc justifications, or should AI-driven control tools be inherently interpretable by design? Addressing this question will be crucial for theory development and practical guidance.

Finally, researchers should explore whether certain control environments, such as high-uncertainty or high-stakes contexts, place greater demands on explainable AI, and how organisations can adapt their control architectures to meet these demands effectively.

5. CONCLUSION

Given the increasing emphasis on efficiency also in research, it is essential to employ methods that provide timely and cost-effective insights while also promoting objectivity in the interpretation of complex literature. This paper demonstrates how the integration of NLP, advanced topic modelling techniques and interpretive support from LLMs facilitates the thematic organization of a fragmented body of literature and contribute to the strategic structuring of an academic field. By extracting latent patterns of co-occurrence and clustering them into coherent themes, this approach moves beyond traditional literature reviews, to offer a systematic mapping of intellectual landscape that highlights dominant conceptual cores as well as peripheral or underexplored areas of inquiry.

At the heart of this contribution lies its capacity to reveal research gaps with a relatively higher degree of objectivity and analytical precision. Unlike narrative or subjective judgements based on few numbers of academic contributions that often depend on expert selection and interpretation, this method identifies not only what is being studied, but, critically, what is not. Through comparative analysis of the thematic coverage across clusters, it becomes possible to pinpoint which foundational concepts such as explainability and transparency in AI systems, are systematically embedded in some areas yet conspicuously absent in others where they would be expected to play a central role, as it has been revealed in this work regarding the MCS field.

This evidence-based identification of omissions or imbalances in thematic coverage provides a clear and justifiable rationale for setting future research priorities. It enables scholars to engage in more strategic theorizing and research design by focusing on underexplored intersections, unaddressed ethical concerns, or conceptually inconsistent applications within the field. In our case, the finding that only two of five major clusters engage meaningfully with XAI signals not only a conceptual oversight but a potentially high-impact area for scholarly intervention.

Although in practice, MCS are increasingly supported by algorithmic tools, particularly in areas such as performance measurement, forecasting, or decision-making processes, cluster 5, titled “Decision support systems and sustainable control: Building trust in ai for managerial decision-making,” contains no explicit reference to XAI, despite the theoretical expectation that both concepts should be closely related. This absence may be explained by the inherent complexities of operationalizing XAI within organizational contexts, or by the limited availability of empirical studies that integrate both MCS and XAI as core constructs. Such a gap highlights the need for further research into how XAI can be effectively embedded into AI-supported control systems to enhance transparency, trust, and accountability in managerial decision-making.

From a broader research management perspective, particularly in relation to doctoral programmes and PhD supervision, —this methodology can offer valuable practical support. Supervisors and research programme coordinators can use it to assess whether PhD proposals or research projects align with current trends and gaps in the literature.

However, despite the growing capabilities of AI tools, researchers still need to engage deeply with the literature; there is no substitute for reading extensively to ensure critical understanding and nuanced interpretation. AI tools, as these presented in this paper, should be seen only as an additional aid for systematic literature reviews.

Author contributions:

Alonso, O. F.: Software, Investigation, Writing – original draft, Writing, review, and editing. **Shakina, E.:** Conceptualization, Methodology, Validation, Investigation, Data curation, Supervision, Project administration. **Gonzalez-Sanchez, M. B.:** Validation, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Writing, review, and editing, Supervision, Project administration. **Berbel-Vera, J.:** Validation, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Writing, review, and editing, Supervision.

Omar Feria Alonso (Alonso, O. F.)

Elena Shakina (Shakina, E.)

Maria Beatriz Gonzalez-Sanchez (Gonzalez-Sanchez, M. B.)

Jose Berbel-Vera (Berbel-Vera, J.)

Conflict of interest statement

Authors declare that, throughout the research process, there has not been any sort of personal, professional, or economic interest that may have influenced the researchers' judgement and/or actions during the elaboration and publication of this article.

REFERENCES

- Abdel-Karim, B. M., Pfeuffer, N., & Hinz, O. (2021). Machine learning in information systems—a bibliographic review and open research issues. *Electronic Markets*, 31, 643-670. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00459-2>
- Ahrens, T., & Chapman, C. S. (2004). Accounting for flexibility and efficiency: A field study of management control systems in a restaurant chain. *Contemporary Accounting Research*, 21(2), 271-301. <https://doi.org/10.1506/VJR6-RP75-7GUX-XH0X>
- Anthony, R. N., & Govindarajan, V. (2007). *Management control system* (12th ed.). McGraw Hill Companies Inc.
- Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Benetot, A., Tabik, S., Barbado, A., & Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82-115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Bedford, D. S. (2015). Management control systems across different modes of innovation: Implications for firm performance. *Management Accounting Research*, 28, 12-30. <https://doi.org/10.1016/j.mar.2015.04.003>

- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 993-1022. <https://www.jmlr.org/papers/v3/blei03a.html>
- Cao, J., Xia, T., Li, J., Zhang, Y., & Tang, S. (2009). A density-based method for adaptive LDA model selection. *Neurocomputing: An International Journal*, 72(7-9), 1775-1781. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.06.011>
- Chenhall, R. H., & Moers, F. (2015). The role of innovation in the evolution of management accounting and its integration into management control. *Accounting, Organizations and Society*, 47, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.10.002>
- Deveaud, R., Sanjuan, E., & Bellot, P. (2014). Accurate and effective latent concept modelling for ad hoc information retrieval. *Document numérique*, 17(1), 61-84. <https://doi.org/10.3166/dn.17.1.61-84>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., & Williams, M. D. (2021). Artificial intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, 1-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>
- Elbashir, M. Z., Sutton, S. G., Mahama, H., & Arnold, V. (2021). Unravelling the integrated information systems and management control paradox: Enhancing dynamic capability through business intelligence. *Accounting & Finance*, 61(S1), 1775-1814. <https://doi.org/10.1111/acfi.12644>
- Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organisational decision making. *Business Horizons*, 61(4), 577-586. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007>
- Kraus, S., Breier, M., Lim, W. M., Dabić, M., Kumar, S., Kanbach, D., Mukherjee, D., Corvello, V., Piñeiro-Chousa, J., Liguori, E., Palacios-Marqués, D., Schiavone, F., Ferraris, A., Fernandes, C., & Ferreira, J. J. (2022). Literature reviews as independent studies: Guidelines for academic practice. *Review of Managerial Science*, 16(8), 2577-2595. <https://doi.org/10.1007/s11846-022-00588-8>
- Masialeti, M., Talaei-Khoei, A., & Yang, A. T. (2024). Revealing the role of explainable AI: How does updating AI applications generate agility-driven performance? *International Journal of Information Management*, 77, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102779>
- Meske, C., Bunde, E., Schneider, J., & Gersch, M. (2022). Explainable artificial intelligence: Objectives, stakeholders and future research opportunities. *Information Systems Management*, 39(1), 53-63. <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1849465>

Murphy, B., Feeney, O., Rosati, P., & Lynn, T. (2024). Exploring accounting and AI using topic modelling. *International Journal of Accounting Information Systems*, 55, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2024.100709>

Pugliese, S., Giannetti, V., & Banerjee, S. (2023). How to conduct efficient and objective literature reviews using natural language processing: A step-by-step guide for marketing researchers. *Psychology & Marketing*, 41(2), 223-442. <https://doi.org/10.1002/mar.21931>

Simons, R. (1995). *Levers of control: How managers use innovative control systems to drive strategic renewal*. Harvard Business School Press. <https://doi.org/10.1002/smj.4250150301>

Speklé, R. F., van Elten, H. J., & Widener, S. K. (2017). Creativity and control: A paradox—evidence from the levers of control framework. *Behavioural Research in Accounting*, 29(2), 73-96. <https://doi.org/10.2308/bria-51759>

Teerasoponpong, S., Chernbumroong, S., & Suntornnond, V. (2025). Meta-analysis on sustainable development challenges: Lessons from Asia-Pacific industrial estates. *Business Strategy and the Environment*, (0), 1-23. <https://doi.org/10.1002/bse.70082>

Tessier, S., & Otley, D. (2012). A conceptual development of Simons' Levers of Control framework. *Management Accounting Research*, 23(3), 171-185. <https://doi.org/10.1016/j.mar.2012.04.003>

Weber, P., Carl, K. V., & Hinz, O. (2023). Applications of explainable artificial intelligence in finance—a systematic literature review of finance, information systems, and computer science literature. *Management Review Quarterly*, 74, 867-907. <https://doi.org/10.1007/s11301-023-00320-0>

Yu, L., & Li, Y. (2022). Artificial intelligence decision-making transparency and employees' trust: The parallel multiple mediating effect of effectiveness and discomfort. *Behavioural Sciences*, 12(5), 1-17. <https://doi.org/10.3390/bs12050127>

Reception date: 29/07/2025

Review date: 30/07/2025

Acceptance date: 01/08/2025

Contact: omar.feria@alumnado.uvigo.gal

Evolução da IA em resolver problemas contábeis: uma comparação entre o GPT4 e GPT4o na resolução do Exame de Suficiência

Marcelo Machado de Freitas

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Brasil

Jonatas Dutra Sallaberry

Universidade do Contestado - UNC, Brasil

Thiago Bruno de Jesus Silva

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Brasil

Fabricia Silva da Rosa

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Brasil

Evolución de la IA en la resolución de problemas contables: Comparación entre GPT4 y GPT4o en el Examen de Competencia Contable

La investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento del modelo GPT-4o en comparación con el modelo GPT-4 en la resolución de preguntas del Examen de Competencia Contable. Este estudio se fundamenta en el concepto de procesamiento del lenguaje natural (PLN) de Brown et al. (2020). La investigación se realizó utilizando la metodología *design science*, que busca construir y/o evaluar diferentes artefactos tecnológicos aplicando las preguntas del Examen de Competencia al GPT-4o, utilizando ChatGPT de OpenAI. Si bien las estadísticas reales del Examen de Competencia muestran que solo una parte de los contadores lo aprueba, los resultados de la inteligencia artificial (IA) mostraron que las cuatro ediciones evaluadas aprobaron con al menos 64% de éxito. En general, en la muestra analizada, el modelo de IA GPT-4o alcanzó 77% de precisión, en comparación con el 71% del modelo GPT-4; así, se alcanzó un 84% de precisión en los dos últimos exámenes con el modelo más reciente. Sin embargo, en algunas preguntas



<https://doi.org/10.18800/contabilidad.2025ESP.005>

Contabilidad y Negocios 20 (esp.) 2025, pp. 109-126 / e-ISSN 2221-

que el modelo GPT-4 había respondido correctamente previamente, el modelo más reciente terminó respondiendo incorrectamente o de forma diferente a la esperada por los desarrolladores. Estos resultados contribuyen a la literatura que estudia el uso de la IA en contabilidad, en particular, en la aplicación de modelos de procesamiento del lenguaje natural y modelos de lenguaje extenso (LLMs).

Palabras clave: uso de tecnologías, ChatGPT4o, modelos de lenguaje extensos (LLMs)

Evolution of AI in solving accounting problems: A comparison between GPT4 and GPT4o in solving the Accounting Proficiency Exam

The research aimed to evaluate the performance of the GPT-4o model compared to the GPT-4 model in solving questions on the Accounting Proficiency Exam. This study is grounded in the concept of natural language processing (PLN), as discussed by Brown et al. (2020). The research was conducted using the design science methodology, which aims to build and/or evaluate different technological artifacts by applying the proficiency exam questions to GPT-4o, using OpenAI's ChatGPT. While actual statistics for the Proficiency Exam show that only a portion of accountants pass, the results of artificial intelligence (AI) showed that all four editions evaluated passed with at least a 64% success rate. Overall, across the sample analyzed, the GPT-4o AI model achieved 77% accuracy compared to 71% for the GPT-4 model, achieving 84% accuracy in the last two exams using the most recent model. However, on some questions that the GPT-4 model had previously answered correctly, the more recent model ended up answering incorrectly or differently than expected by the question developers. These results contribute to the literature studying the use of AI in accounting, particularly the application of natural language processing models and large language models (LLMs).

Keywords: use of technologies, ChatGPT4o, large language models (LLMs)

Evolução da IA em resolver problemas contábeis: uma comparação entre o GPT4 e GPT4o na resolução do Exame de Suficiência

A pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho do modelo GPT-4o em relação ao modelo GPT-4 na resolução de questões do Exame de Suficiência em Contabilidade. Esse estudo se baseia no conceito de processamento de linguagem natural (PLN) de Brown et al. (2020). A pesquisa foi operacionalizada com a metodologia de *design science*, que visa construir e/ou avaliar diferentes artefatos tecnológicos, mediante a aplicação das questões do Exame de Suficiência no GPT-4o, por meio do ChatGPT da OpenAI. Enquanto as estatísticas reais do Exame de Suficiência demonstram a aprovação de apenas uma parcela dos contabilistas, os resultados da inteligência artificial (IA) foram de aprovação em todas as quatro edições avaliadas com pelo menos 64% de aproveitamento. No âmbito geral da amostra analisada, o modelo de IA do GPT-4o apresentou 77% de aproveitamento de respostas frente a 71% do modelo GPT-4, alcançando uma acurácia de 84% nos últimos dois exames pelo modelo mais recente. Ainda assim, em algumas questões que o modelo GPT-4 havia acertado, esse modelo mais atual acabou respondendo de forma equivocada, ou diferente do previsto pelos elaboradores das questões. Esses resultados contribuem para a literatura

que estuda o uso de IA dentro do campo da contabilidade, em especial a aplicação de modelos de linguagem de processamento natural e *large language models* (LLMs).

Palavras-chave: uso de tecnologias, ChatGPT4o, large language models (LLMs)

1. INTRODUÇÃO

Modelos de processamento de linguagem natural (PLN) podem realizar análise de sentimentos, responder perguntas e classificar textos (Essel et al., 2024). Esses modelos permitem desde a automação de tarefas repetitivas até o aprimoramento dos processos de tomada de decisão (Davenport & Kirby, 2016), além de possibilitar a análise de dados financeiros, auxiliando em previsões e decisões estratégicas (Makridakis et al., 2018). Especificamente, o ChatGPT é capaz de gerar respostas em formato de conversa semelhantes às humanas (Radford et al., 2018), pois foi treinado com uma vasta quantidade de dados textuais, permitindo que entenda e gere textos com alta precisão (Kasneci et al., 2023). A IA pode ser ainda, uma ferramenta valiosa no ensino contábil, proporcionando *feedback* instantâneo e orientações personalizadas aos estudantes (Albuquerque & Gomes do Santos, 2024; Baidoo-Anu & Owusu Ansah, 2023).

No entanto, a rápida evolução dessas tecnologias impressiona e, ao mesmo tempo, serve de alerta para a profissão contábil. Por um lado, existem preocupações com os desafios relacionados à eficiência dos modelos e, por outro, com o impacto na formação de contadores e na continuidade da profissão como a conhecemos. É importante reconhecer que os modelos de PLN ainda enfrentam desafios, como a geração de outputs falsos ou tóxicos e limitações no raciocínio abstrato (Wu et al., 2023).

Estudos anteriores revelam que modelos de PLN, como o GPT-4, podem ser utilizados para facilitar a comunicação entre alunos e instrutores (Pardos & Bhandari, 2024; Qadir, 2023) e analisar os exames de suficiência de contabilidade (Albuquerque & Gomes do Santos, 2024; Atanasovski et al., 2023; Eulerich et al., 2024; Freitas et al., 2024; Masuda et al., 2023). Os resultados desses estudos revelam as capacidades da inteligência artificial (IA) em satisfazer problemas teóricos e práticos, que podem ser respondidos em termos descritivos, do mundo contábil (Freitas et al., 2024). No entanto, há um contraditório: por um lado, teme-se que o alto desempenho do ChatGPT possa ser prejudicial aos setores de contabilidade e auditoria (Eulerich et al., 2024), e por outro, estudos de Albuquerque e Gomes do Santos (2024), e Freitas et al. (2024) identificaram que a ferramenta é menos eficiente em questões que exigem maior julgamento profissional, demonstrando falta de precisão em questões mais

complexas nos exames de proficiência em contabilidade (Albuquerque & Gomes do Santos, 2024).

Essa ambiguidade destaca a necessidade de ampliar as análises sobre a contribuição do uso de modelos de PLN, como o GPT4 e o GPT4o, para a profissão contábil, uma vez que estudos anteriores também revelam que esta IA tem a capacidade de evoluir rapidamente, melhorando suas análises e suas respostas em exames de proficiência (Freitas et al., 2024). Dado esse contexto, o estudo objetiva avaliar o desempenho do modelo GPT-4o em relação ao modelo GPT-4 na resolução de questões do Exame de Suficiência em Contabilidade, como *proxy* de problemas na atividade contábil.

Decidiu-se empregar as questões do Exame de Suficiência como uma *proxy* os problemas na atividade contábil, ainda que questões teóricas ou práticas do conteúdo contábil não reflitam completamente a capacidade de executar tarefas avançadas de um profissional contábil. Todavia, essa escolha é justificada pela importância do exame, uma vez que sua aprovação é uma exigência legal para o exercício da profissão contábil no Brasil.

Este estudo contribui ao analisar a contribuição da IA com a área de contabilidade, e acompanhar a integração da tecnologia no ensino e na prática contábil, alertando para a importância de considerar a IA como uma ferramenta de apoio e não um substituto ao conhecimento humano. Também serve para investigar como os treinamentos específicos no modelo melhoram seu desempenho em áreas desafiadoras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A IA e os modelos de PLN têm o potencial de revolucionar diversos aspectos da contabilidade, desde a automação de tarefas rotineiras até a melhoria dos processos de tomada de decisão (Davenport & Kirby, 2016). De acordo com Chui et al. (2016), uma parte considerável das atividades realizadas por profissionais financeiros pode ser automatizada em um futuro próximo, especialmente aquelas ligadas à coleta e ao processamento de dados.

O alcance das aplicações de IA vai além, abrangendo a solução de problemas, PLN, reconhecimento de fala, análise de imagens, programação automática e robótica (Guerreiro et al., 2023). Essas tecnologias não apenas armazenam e processam dados com maior eficácia e eficiência do que os humanos, mas também permitem a substituição de trabalhadores por máquinas em certos processos, além de possibilitar a realocação de funcionários para funções mais estratégicas e críticas nos negócios (Mancebo & Mucci, 2023).

Os modelos de PLN podem extrair informações de dados não estruturados, como demonstrativos financeiros, relatórios anuais e notas de auditores (Loughran & McDonald, 2016). Integrando dados históricos e informações financeiras em tempo real, esses algoritmos de aprendizado de máquina são capazes de identificar tendências e padrões, auxiliando analistas humanos. Isso conduz a previsões mais precisas e a decisões estratégicas mais fundamentadas (Makridakis et al., 2018). Essa capacidade de análise aprimorada pode, portanto, modificar a maneira como as empresas de contabilidade operam e tomam decisões estratégicas.

O ChatGPT pode gerar relatórios de previsão financeira e sugestões de tomada de decisão com base nos dados fornecidos, identificar e avaliar riscos financeiros e auxiliar o pessoal da contabilidade na condução de análises financeiras inteligentes. Sua aplicação específica na gestão financeira poderá contribuir para a transformação digital das empresas. (Fu et al., 2024). Foram observados estudos com foco em dois pontos relacionados ao ChatGPT em contabilidade e finanças, de acordo ao estudo bibliométrico por Dong et al. (2024). O primeiro foi centrado na utilidade do ChatGPT como ferramenta de pesquisa, com o intuito de aproveitar a capacidade como classificação, resumo e geração de texto. O segundo, centraram nas implicações da adoção à profissão, bem como para diversas organizações e setores.

Modelos de PLN, como o GPT-4 e o GPT-4o, podem ser aplicados para melhorar a comunicação entre alunos e instrutores, oferecendo *feedback* imediato e explicações sobre conceitos complexos. Essa eficácia já foi comprovada em outras áreas do conhecimento, como a matemática (Pardos & Bhandari, 2024) e a engenharia (Qadir, 2023). O ChatGPT já foi utilizado para analisar os exames de suficiência para advogados e engenharia, por exemplo (Katz et al, 2024; Martínez, 2024; Pursnani et al., 2023). Em contabilidade foram encontrados alguns estudos com a mesma finalidade em contextos distintos, como Albuquerque e Gomes do Santos (2024), Atanasovski et al. (2023), Eulerich et al. (2024), Freitas et al. (2024), Masuda et al. (2023), e Oliveira e Khatib (2024).

Os resultados dos estudos sugerem a importância de considerar o Exame de Suficiência em Ciências Contábeis como uma medida representativa dos conhecimentos necessários para o exercício da profissão contábil, oferecendo uma visão inicial das capacidades da IA em atender a questões teóricas e práticas do mundo contábil, que podem ser descritas de forma detalhada (Freitas et al., 2024).

Eulerich et al. (2024) apontam que o alto desempenho do ChatGPT indica que a ferramenta pode, de fato, impactar os setores de contabilidade e auditoria. Por outro lado, Albuquerque e Gomes do Santos (2024), e Freitas et al. (2024) observaram que

a ferramenta não foi uniformemente precisa em todas as questões, especialmente aquelas que exigiam julgamento profissional mais aprofundado.

Esses resultados ressaltam que, embora o ChatGPT possa ser uma ferramenta útil para aumentar a eficiência dos profissionais, ele não está, pelo menos por ora, em posição de substituir o profissional humano. A utilidade potencial do ChatGPT também se estende ao ambiente educacional, servindo como um recurso em salas de aula para incentivar o pensamento crítico dos alunos e facilitar discussões orientadas pelos professores (Albuquerque & Gomes do Santos, 2024). Esta aplicação pode preparar os estudantes para uma utilização mais eficaz da tecnologia em suas futuras práticas profissionais.

O Exame de Suficiência, estabelecido pelo Conselho Federal de Contabilidade (CFC) através da *Resolução CFC nº 853/1999* (CFC, 1999) e consolidado pela *Lei nº 12.249, de 11 de junho de 2010* (Brasil, 2010), é uma avaliação destinada a verificar se os bacharêis em Ciências Contábeis possuem os conhecimentos necessários para exercer a profissão com um nível básico de precisão. Inspirado no modelo americano *certified public accountant* (CPA), o exame busca garantir um padrão mínimo de competência técnica para contadores no Brasil. O exame é realizado semestralmente e consiste em questões objetivas e dissertativas que cobrem os conteúdos fundamentais do curso de bacharelado em Ciências Contábeis (Miranda et al., 2017).

Embora seja amplamente reconhecido como um mecanismo de valorização profissional e incentivo à educação contínua (Lima et al., 2012; Miranda et al., 2017; Nogueira et al., 2013; Terres et al., 2011), o exame enfrenta críticas quanto à sua capacidade de refletir adequadamente a preparação dos estudantes. As discrepâncias entre o conteúdo do exame e as exigências globais e profissionais, além da falta de alinhamento com o currículo sugerido pela Organização das Nações Unidas (ONU) e as demandas do mercado (Oliveira Neto & Kurotori, 2009), ressaltam as limitações do formato atual. Pesquisas apontam que o desempenho no Exame de Suficiência não está diretamente relacionado à carga horária das disciplinas, embora haja uma correlação significativa e positiva com o desempenho no Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE) (Sena & Sallaberry, 2021).

A análise dos resultados das edições mais recentes do Exame de Suficiência revela uma realidade preocupante: a baixa taxa de aprovação entre os candidatos. No exame de 2022-2, por exemplo, dos 44.085 inscritos, 35.984 compareceram e apenas 7.595 foram aprovados, representando 21,11% dos presentes (CFC, 2023). Esses dados indicam que muitos graduados em Ciências Contábeis enfrentam dificuldades para ingressar na profissão. Além disso, entre os candidatos que prestaram o exame pela

primeira vez, somente 38% foram aprovados, enquanto 62% eram candidatos que já haviam sido reprovados em tentativas anteriores (CFC, 2022).

Os resultados também expõem disparidades entre diferentes grupos de conteúdo. Essa tabela detalha a distribuição de questões por área do conhecimento e o desempenho percentual dos candidatos de 2018 a 2022, além de apresentar a média de desempenho para o período mencionado (Miranda et al., 2017).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi operacionalizada utilizando a metodologia *design science*, que visa construir e avaliar diferentes artefatos (tecnológicos ou não tecnológicos) dentro de um campo específico do conhecimento (Hevner et al., 2004). Especificamente, a pesquisa testa a aplicabilidade de modelos de PLN e seus *large language models* (LLMs) dentro do ambiente contábil. Hevner et al. (2004) explicam que o paradigma da *design science* busca expandir os limites das capacidades humanas e organizacionais por meio da criação e avaliação de artefatos inovadores.

Primeiramente foi necessário selecionar uma *proxy* de problemas na atividade contábil onde a pesquisa pudesse ser operacionalizada. Como a aprovação no Exame de Suficiência do CFC é condição necessária para que os profissionais da área possam atuar efetivamente nas funções de contabilidade, escolheu-se as questões desse exame como uma *proxy* para esses problemas.

As questões utilizadas para serem respondidas pelo modelo do GPT-4 e GPT-4o foram extraídas dos Exames de Suficiência dos anos de 2021 e 2022 (Prova Branca). As questões foram coletadas, tabuladas com as respectivas alternativas de respostas, e posteriormente inseridas manualmente (uma a uma), dentro da interface do ChatGPT.

Freitas et al. (2024) desenvolveram e validaram com especialistas uma indicação condicional específica para ser usada como *prompt* inicial na interação com a tecnologia, considerando os modelos de perguntas e os objetivos da pesquisa. Essa questão foi então inserida no início da conversa com o ChatGPT, modelo GPT-4 e GPT-4o.

Você deverá agir como um Contador que conhece as Normas Brasileiras de Contabilidade, Contabilidade de Custos, Contabilidade Gerencial, Tributária (relacionado aos aspectos fiscais brasileiros) e todos os demais aspectos que circundam a contabilidade brasileira. A seguir, vou te dar questões sobre contabilidade e preciso que você as responda para mim. Todas as questões são de múltipla escolha (A, B, C, D). Somente uma única alternativa

está correta. Para cada questão, de uma breve explicação de como você chegou no resultado. Está pronto? (OpenAI, 15 de julho de 2024).

Cada uma das 50 questões, de cada uma das provas, do CFC foi inserida no chat, uma a uma, sem qualquer novo *prompt* ao longo da execução. Embora *prompts* adicionais pudessem ter sido incluídos para tentar melhorar a qualidade das respostas, optou-se por manter um *prompt* que somente delimitasse os conteúdos a serem abordados, procurando testar a capacidade do modelo de entender adequadamente o contexto de cada questão e respondê-la. No caso de questões que apresentavam tabelas, os dados foram extraídos e apresentados sequencialmente por linhas.

As questões do exame do CFC não foram inseridas todas em uma única sessão. Dessa forma, elas foram inseridas no ChatGPT entre os dias 10 de agosto e 27 de agosto de 2024. Toda vez que uma nova sessão era iniciada, o *prompt* inicial era novamente inserido para que o modelo do GPT sempre tivesse as mesmas orientações.

Após a resolução das questões, os resultados foram organizados em planilhas, onde as respostas fornecidas pelo ChatGPT foram registradas e avaliadas em relação ao gabarito oficial de cada exame. No caso de questões que foram anuladas pelo CFC e pela banca examinadora, as respostas do ChatGPT foram consideradas corretas. Para alinhar com os objetivos da pesquisa, os autores classificaram as questões com base nos conteúdos e quantitativos especificados pela banca organizadora, facilitando a análise por conteúdo.

As análises das respostas do ChatGPT foram realizadas tanto quantitativamente - para destacar o número de acertos por prova e por área - quanto qualitativamente. O objetivo da análise qualitativa era compreender como as respostas foram formuladas e identificar os principais erros cometidos pelo modelo, proporcionando *insights* sobre as capacidades e limitações do sistema em contextos de teste específicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Percebe-se que o modelo GPT-4o superou, em média, o modelo GPT-4, com um aumento percentual médio de acerto de 8,5%. Considerando que o GPT-4 já havia apresentado um resultado relativamente satisfatório, esse incremento coloca o GPT-4o com uma nota muito próxima (ou até maior) das alcançadas pelos melhores resultados daqueles que realizaram a prova. Por exemplo, no 2022-2, as notas máximas nas regiões brasileiras foram: centro-oeste (43 pontos), nordeste (44 pontos), norte (38 pontos), sudeste (44 pontos) e sul (45 pontos), enquanto o modelo GPT-4o alcançou um

resultado de 42 acertos. Nesse exame, inclusive, o modelo teve um desempenho 31% maior que seu modelo antecessor.

Tabela 1. Resultados da pesquisa

Especialidade	Total	Acertos 21-1		Acertos 21-1		Acertos 21-2		Acertos 21-2		Acertos 22-1		Acertos 22-1		Acertos 22-2		Acertos 22-2		Acertos Geral		Acertos Geral	
		(%) Aprov. 21-1		(%) Aprov. 21-1		(%) Aprov. 21-2		(%) Aprov. 21-2		(%) Aprov. 22-1		(%) Aprov. 22-1		(%) Aprov. 22-2		(%) Aprov. 22-2		(%) Aprov. Geral		(%) Aprov. Geral	
		GPT4		GPT4o		GPT4		GPT4o		GPT4		GPT4o		GPT4		GPT4o		GPT4		GPT4o	
CG	17	11	65	11	65	13	76	11	65	14	82	16	94	10	59	13	76	48	71	51	75
CC	4	4	100	4	100	3	75	4	100	3	75	3	75	2	50	3	75	12	75	14	88
CSP	3	2	67	3	100	2	67	3	100	3	100	3	100	2	67	3	100	9	75	12	100
CGR	2	1	50	0	0	2	100	2	100	2	100	2	100	1	50	2	100	6	75	6	75
CON	1	1	100	1	100	0	0	0	0	1	100	1	100	0	0	0	0	2	50	2	50
DIR	3	2	67	2	67	2	67	3	100	3	100	3	100	3	100	2	67	10	83	10	83
MF	2	2	100	2	100	2	100	2	100	0	0	1	50	2	100	2	100	6	75	7	88
TC	4	3	75	1	25	2	50	2	50	3	75	4	100	3	75	4	100	11	69	11	69
LE	4	4	100	4	100	4	100	3	75	3	75	3	75	2	50	4	100	13	81	14	88
PNC	4	2	50	2	50	1	25	2	50	1	25	2	50	1	25	3	75	5	31	9	56
AC	2	0	0	0	0	2	100	2	100	2	100	2	100	2	100	2	100	6	75	6	75
PC	2	1	50	2	100	1	50	1	50	2	100	1	50	2	100	2	100	6	75	6	75
LP	2	1	50	0	0	2	100	2	100	2	100	1	50	2	100	2	100	7	88	5	63
Total	50	34	68	32	64	36	72	37	74	39	78	42	84	32	64	42	84	141	71	153	77

Nota. Abreviaturas: AC = Auditoria Contábil; CC = Contabilidade de Custos; CG = Contabilidade Geral; CGR = Contabilidade Gerencial; CON = Controladoria; CSP = Contabilidade do Setor Público; DIR = Direito; LE = Legislação e Ética; LP = Língua Portuguesa; MF = Matemática Financeira; PC = Perícia Contábil; PN = Princípios e Normas Contábeis; TC = Teoria da Contabilidade.

No âmbito geral da amostra analisada, o modelo GPT-4o apresentou 77% de aproveitamento de respostas frente a 71% do modelo GPT-4. Todavia, nota-se que no Exame de Suficiência de 2021-1, o modelo GPT-4o gerou um resultado inferior ao seu modelo antecessor. Esse resultado é particularmente interessante, pois existem discussões sobre até onde tais modelos de PLN conseguirão avançar, e quais serão os avanços realmente significantes daqui para frente.

Embora os desenvolvedores dos modelos GPT (Open Ai) indiquem que o GPT-4o é mais preciso do que o modelo GPT-4, o resultado obtido em 2021-1 levanta dúvidas

sobre a real melhora desse novo modelo. Todavia, uma característica do modelo GPT-4o é que ele gera respostas consideravelmente mais rápidas do que o modelo GPT-4, e embora isso não tenha sido mensurado de forma metodológica na presente pesquisa, isso foi observado durante a aplicação das questões no ChatGPT. Essa característica ágil pode ser particularmente importante em alguns ambientes de decisão (como por exemplo, em *chatbots*, em que o cliente necessita de uma resposta mais ágil). Porém, no cenário contábil, a precisão das respostas é mais importante do que a agilidade (especialmente quando a variação no tempo de resposta é levemente diferente de um modelo para o outro). Um cenário contábil onde pode ser particularmente importante mais agilidade seria no envio de um e-mail a clientes contendo informações contábeis. Um modelo que possa rapidamente evidenciar inconsistências entre a informação enviada e as informações contábeis poderia ser útil (por exemplo, o envio de informações de determinado cliente por e-mail para um outro cliente).

Quanto aos resultados por área, observou-se que o modelo GPT-4o geralmente superou o GPT-4 em termos de taxa de acertos e consistência em diversas áreas ao longo dos períodos estudados. Especificamente, em Contabilidade Geral (CG), ambos os modelos apresentaram desempenho semelhante no início do período analisado (2021-1 e 2021-2), mas o GPT-4o mostrou melhorias em semestres subsequentes (2022-1 e 2022-2).

Na área de Contabilidade de Custos (CC) o GPT-4o melhorou seu desempenho em duas, das quatro edições analisadas. Além disso, na área de Contabilidade do Setor Público (CSP), o GPT-4o alcançou 100% de sucesso em todas as edições avaliadas, melhorando seu desempenho em relação ao modelo GPT-4 em três edições.

Percebe-se que no aproveitamento geral, houve uma piora somente na especialidade de Língua Portuguesa (LP), o que é algo um pouco surpreendente, já que a priori deveria ser uma das áreas com maior facilidade para modelos de PLN, como os modelos GPT.

Para entender um pouco melhor os erros cometidos pelo GPT-4o em relação ao modelo GPT-4, foi selecionado uma questão na qual o modelo mais recente trouxe um resultado errado, e o modelo antecessor, havia acertado a mesma questão. Uma dessas questões foi a questão 25 do Exame de Suficiência de 2021-1, na qual será apresentada a seguir.

Figura 1. Questão 25: Uma sociedade empresária apresentou as seguintes informações:

Receita de vendas	800.000,00
Custos e despesas variáveis (CDV)	(400.000,00)
Margem de contribuição (MC)	400.000,00
Custos e despesas fixos (CDF)	(150.000,00)
Resultado operacional (RO)	250.000,00

A empresa quer aumentar sua produção e vendas em 25%, passando para 5.000 unidades mensais, mantendo o custo fixo em R\$ 150.000,00 e o preço de venda unitário em R\$ 200,00. Sabendo-se que o custo total (fixo + variável) aumentará de R\$ 550.000,00 para R\$ 650.000,00, qual será o grau de alavancagem operacional?

A) 1,25 B) 1,40 **C) 1,60** D) 2,00 (**Resposta correta em negrito**)

As respostas dos modelos GPT-4 e GPT-4o podem ser visualizadas a seguir, na figura 2.

Percebe-se que enquanto o modelo GPT-4 usou a fórmula tradicional do grau de alavancagem operacional (GAO), calculando a variação no resultado operacional (RO) e na receita de vendas e, em seguida, dividindo essas variações o GPT-4o utilizou a fórmula simplificada do GAO, que é a relação direta entre a margem de contribuição (MC) e o RO. É difícil precisar porque o modelo GPT-4o optou por essa solução, mas uma hipótese plausível é porque esse modelo, dado mais de um caminho viável possível, irá por aquele cujo resultado será dado de forma mais rápida e ágil. Outra possibilidade decorre da evolução do modelo, que avança na interpretação de problemas e elaboração de soluções além da simples aplicação de fórmulas.

É importante reforçar que não foram realizadas técnicas de otimização dos *prompts* utilizados (*prompt engineering*), pois a intenção da pesquisa era analisar as respostas apresentadas pelos modelos com a menor interferência possível por parte dos pesquisadores. Acredita-se que os resultados poderiam ser ainda melhores se essas técnicas fossem implementadas.

Para exemplificar a racionalização apresentada no parágrafo anterior, foi realizada uma análise adicional, sendo inserido no *prompt* do ChatGPT, para resolução da questão 25 do Exame de Suficiência uma outra orientação: “Para responder essa questão, você deve aplicar a fórmula $GAO = \text{variação percentual do lucro} / \text{variação percentual das vendas}$ ”. Essa simples orientação adicional fez o modelo acertar a questão.

Figura 2. Estatísticas por grupo de conteúdo

Resposta GPT-4	Resposta GPT-4o
Primeiro, precisamos encontrar o novo resultado operacional com o aumento de 25% na produção e vendas. Novas vendas: $800.000,00 \times 1,25 = 1.000.000,00$ Novo custo total: $650.000,00$ Novo resultado operacional: $1.000.000,00 - 650.000,00 = 350.000,00$ Agora, podemos calcular o grau de alavancagem operacional (GAO) usando a seguinte fórmula: $\text{GAO} = (\Delta \text{resultado operacional} / \text{resultado operacional inicial}) / (\Delta \text{receita de vendas} / \text{receita de vendas inicial})$ $\Delta \text{Resultado operacional} = 350.000,00 - 250.000,00 = 100.000,00$ $\Delta \text{Receita de vendas} = 1.000.000,00 - 800.000,00 = 200.000,00$ $\text{GAO} = (100.000,00 / 250.000,00) / (200.000,00 / 800.000,00)$ $\text{GAO} = (0,4) / (0,25) = 1,6$ Portanto, o grau de alavancagem operacional é: C) 1,60	Para resolver a questão, precisamos calcular o grau de alavancagem operacional (GAO). O GAO é calculado pela fórmula: $\text{GAO} = \text{margem de contribuição} / \text{resultado operacional}$ Primeiro, vamos calcular a nova receita de vendas e a nova margem de contribuição com o aumento de 25% na produção e vendas. Passo 1: Calcular a nova receita de vendas Receita de vendas original: $\text{R\\$}800.000,00$ Aumento de 25%: $800.000,00 \times 1,25 = \text{R\\$}1.000.000,00$ Passo 2: Calcular a nova margem de contribuição Custos e despesas variáveis (CDV) originais: $\text{R\\$}400.000,00$ Aumento nos custos totais (fixos + variáveis) de $\text{R\\$}550.000,00$ para $\text{R\\$}650.000,00$, resultando em um aumento de $\text{R\\$}100.000,00$ Nova margem de contribuição: Receita de vendas: $\text{R\\$}1.000.000,00$ (-) Custos e despesas variáveis: $\text{R\\$}500.000,00$ (já que o custo variável aumentou proporcionalmente ao aumento na produção) $\text{MC} = \text{R\\$}1.000.000,00 - \text{R\\$}500.000,00 = \text{R\\$}500.000,00$ Passo 3: Calcular o novo resultado operacional Custos e despesas fixos (CDF): $\text{R\\$}150.000,00$ Resultado operacional: $\text{RO} = \text{MC} - \text{CDF}$ $\text{RO} = \text{R\\$}500.000,00 - \text{R\\$}150.000,00 = \text{R\\$}350.000,00$ Passo 4: Calcular o grau de alavancagem operacional (GAO) $\text{GAO} = \text{MC} / \text{RO}$ $\text{GAO} = \text{R\\$}500.000,00 / \text{R\\$}350.000,00$ $\text{GAO} \approx 1,43$ Portanto, a resposta correta é: B) 1,40

5. CONCLUSÕES

Foi possível avaliar que houve um incremento médio nos acertos realizados pelo modelo mais atual (GPT-4o) em relação ao seu modelo antecessor (GPT-4). A relevância desse incremento precisa ser avaliada dentro do espaço em que ainda existe de melhora, já que nos exames mais recentes (2022), o GPT-4o alcançou uma taxa de acerto de 84% da prova, o que é um resultado bastante expressivo.

Todavia, a qualidade de algumas respostas dadas pelo modelo mais atual pode ser questionada, já que em algumas questões que o modelo GPT-4 havia acertado, esse modelo mais atual acabou respondendo de forma equivocada, ou diferente do previsto pelos elaboradores das questões. O processamento de soluções parte de algoritmos estabelecidos para entender os questionamos e apresentar respostas, que poderiam ser de distintas formas, mas devido a parâmetros técnicos precisam se enquadrar entre as respostas disponíveis, o que pode levar a uma escolha equivocada a depender do nível de compreensão das perguntas.

O trabalho contribui para a literatura que estuda o uso de IA dentro do campo da contabilidade, em especial a aplicação de modelos de linguagem de processamento natural e LLMs. Muito tem se discutido sobre como esses modelos vão impactar a contabilidade, e considerando as limitações inerentes ao uso do Exame de Suficiência como uma *proxy* de problemas contábeis, entende-se que o uso desses modelos pode eventualmente ser integrado ao ambiente contábil, considerando também as suas limitações.

Modelos como o GPT podem alucinar (criando soluções simplesmente desconectadas da realidade) e variar suas respostas de maneira que não é possível compreender a razão exata dessa variabilidade. Os resultados podem contribuir com os desenvolvedores ao demonstrar um ponto de evolução ou de não evolução em conteúdos específicos, bem como evidenciar limitações da tecnologia ou dos avanços tecnológicos. Embora isso não tenha sido realizado na presente pesquisa, o ChatGPT permite que você elenque respostas erradas para a OpenAI e explique o que estava errado nessa questão. Esses *feedbacks* ao longo do tempo tem o potencial de aprimorar ainda mais modelos futuros.

A pesquisa apresenta como limitação a restrição dos problemas contábeis terem sido mensurados por meio de uma *proxy* (questões do Exame de Suficiência), a qual foi assumido como critério de aprovação dos indivíduos para o exercício profissional, ou seja, os requisitos dos profissionais. Sugere-se a expansão das análises para exames mais recentes e para outras atividades não parametrizadas para respostas em

múltipla escolha. Mais estudos sejam realizados que testem a eficácia dos modelos de PLN, inclusive, utilizando outras ferramentas como os modelos da Google (Gemini), da Meta (Meta AI) e outros LLMs que estão disponíveis.

Contribuição de autoria:

Freitas, M. M.: Conceituação, Metodologia, Software, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Curadoria de dados, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto. **Sallaberry, J. D.:** Conceituação, Metodologia, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto. **Silva, T. B. J.:** Conceituação, Metodologia, Validação, Análise Formal, Pesquisa, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto. **Rosa, F. S.:** Conceituação, Metodologia, Análise Formal, Pesquisa, Escrita-rascunho original, Escrita, revisado e edição, Visualização, Supervisão, Administração do projeto.

Marcelo Machado de Freitas (Freitas, M. M.)

Jonatas Dutra Sallaberry (Sallaberry, J. D.)

Thiago Bruno de Jesus Silva (Silva, T. B. J.)

Fabricia Silva da Rosa (Rosa, F. S.)

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram que durante o processo de pesquisa, não existiu nenhum tipo de interesse pessoal, profissional ou econômico que tenha podido influir no julgamento e/ou ações dos pesquisadores no momento de elaborar e publicar o artigo.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, F., & Gomes dos Santos, P. (2024). Can ChatGPT be a certified accountant? Assessing the responses of ChatGPT for the professional access exam in Portugal. *Administrative Sciences*, 14(7), 1-15. <https://doi.org/10.3390/admsci14070152>
- Atanasovski, A., Tocev, T., Dionisijev, I., Minovski, Z., & Jovevski, D. (2023). Evaluating the performance of ChatGPT in Accounting and Auditing Exams: An experimental study in North Macedonia. Em M Trpeska (Ed.), *Proceedings of the 4th International Conference Economic and Business Trends Shaping the Future* (pp. 40-50). Ss. Cyril and Methodius University. <http://doi.org/10.47063/EBTSF.2023.0003>

Baidoo-Anu, D., & Owusu Ansah, L. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52-62. <https://doi.org/10.61969/jai.1337500>

Brasil. (2010, 11 de junho). *Lei nº 12.249, de 11 de junho de 2010. Altera a legislação tributária federal e dá outras providências*. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12249.htm

Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Zieger, D. M., Wu, J., Winter, C.,... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877-1901.

Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2016, 8 de julho). Where machines could replace humans—and where they can't (yet). *McKinsey Quarterly*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet>

Conselho Federal de Contabilidade. (2022). *Exame de Suficiência: Panorama geral dos inscritos na 2ª edição de 2022*. CFC. <https://cfc.org.br/noticias/exame-de-suficiencia-panorama-geral-dos-inscritos-na-2a-edicao-de-2022>

Conselho Federal de Contabilidade. (1999, 28 de julho). *Resolução CFC nº 853/1999. Institui o Exame de Suficiência como requisito para obtenção de Registro Profissional em Conselho Regional de Contabilidade*. Diário Oficial da União. <https://www.conta-beis.com.br/legislacao/4629/resolucao-cfc-853-1999/>

Conselho Federal de Contabilidade. (2023). *Exame de Suficiência*. CFC. <https://cfc.org.br/category/exame-de-suficiencia-anteriores/>

Davenport, T. H., & Kirby, J. (2016). *Only humans need apply: Winners and losers in the age of smart machines*. Harper Business.

Dong, M. M., Stratopoulos, T. C., & Wang, V. X. (2024). A scoping review of ChatGPT research in accounting and finance. *International Journal of Accounting Information Systems*, 55, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2024.100715>

Essel, H. B., Vlachopoulos, D., Essuman, A. B., & Amankwa, J. O. (2024). ChatGPT effects on cognitive skills of undergraduate students: Receiving instant responses from AI-based conversational large language models (LLMs). *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100198>

Eulerich, M., Sanatizadeh, A., Vakilzadeh, H., & Wood, D. A. (2024). Can artificial intelligence pass accounting certification exams? ChatGPT: CPA, CMA, CIA, and EA. *Review of Accounting Studies*, 29, 2318-2349. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4452175>

Freitas, M. M., Sallaberry, J. D., Silva, T. B. & Rosa, F. S. (2024). Application of Chatgpt 4.0 for solving accounting problems. *GCG: Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad*, 18(2), 49-64.

Fu, X., Yang, L., Song, Y., & Yang, C. (2024). Exploration on the application of ChatGPT in corporate financial management. *Academic Journal of Management and Social Sciences*, 7(1), 65-73. <https://doi.org/10.54097/bb1xcw03>

Guerreiro, R., Amaral, J. V., Russo, P. T., & Mucci, D. M. (2023). Indústria 4.0: Características e potenciais impactos no ambiente interno das empresas. *Advances in Scientific and Applied Accounting*, 16(3), 92-104. <http://doi.org/10.14392/asaa.2023160305>

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 28(1), 75-105. <https://doi.org/10.2307/25148625>

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ...& Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Katz, D. M., Bommarito, M. J., Gao, S., & Arredondo, P. (2024). Gpt-4 passes the bar exam. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382(2270), 1-17. <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0254>

Lima, C. E. S., Silva, A. C. B., Campelo, K. S., & Gonçalves, V. L. (2012, 26-29 de agosto). Exame de Suficiência: Um estudo sobre a percepção de alunos concluintes de cursos de ciências contábeis do município de Caruaru-PE quanto a sua preparação face ao conhecimento adquirido na graduação [Apresentação em conferência]. 19º Congresso Brasileiro de Contabilidade, Belém, Brasil.

Loughran, T., & McDonald, B. (2016). Textual analysis in accounting and finance: A survey. *Journal of Accounting Research*, 54(4), 1187-1230. <https://doi.org/10.1111/1475-679X.12123>

Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and machine learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PloS One*, 13(3), 1-26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889>

Mancebo, V.O.C., & Mucci, D. M. (2023, 26-28 de julho). Impactos das tecnologias digitais nas atividades desempenhadas pela Controladoria [Apresentação em conferência]. 23º USP International Conference on Accounting e 20º Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade, São Paulo, Brasil.

Martínez, E. (2024). Re-evaluating GPT-4's bar exam performance. *Artificial Intelligence and Law*, (2024), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10506-024-09396-9>

- Masuda, I., Nakagawa, K., & Hoshino, T. (2023, 6-9 de junho). *Can ChatGPT pass the JCPA exam?: Challenge for the short-answer method test on auditing* [Apresentação em conferência]. The 37th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, Kumamoto, Japão.
- Miranda, C. D. S., Araújo, A. M. P. D., & Miranda, R. A. D. M. (2017). O Exame de Suficiência em Contabilidade: Uma avaliação sob a perspectiva dos pesquisadores. *Revista Ambiente Contábil*, 9(2), 158-178. <https://doi.org/10.21680/2176-9036.2017v9n2ID10760>
- Nogueira, C. A. G., Nogueira, A. O., Almeida, S. F. D. C., Ribeiro, J. L., & Chaves, V. T. L. (2013, 25 de outubro). *Preparação para o Exame de Suficiência: Desafios para os docentes do curso de Ciências Contábeis* [Apresentação em conferência]. 5º Encontro de Práticas Docentes, Fortaleza, Brasil.
- Oliveira, J., & Khatib, A. (2023). Man or machine? An exploratory study of the performance of ChatGPT 3.5 in the CFC sufficiency exam. *Revista Capital Científico*, 22(1), 42-56. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4560434>
- Oliveira Neto, J. D., & Kurotori, I. K. (2009). O retorno do Exame de Suficiência do CFC. *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ*, 14(1), 62-79.
- OpenAI. (2024). *ChatGPT* [IA generativa]. OpenAI. <https://chat.openai.com>
- Pardos, Z. A., & Bhandari, S. (2024). Learning gain differences between ChatGPT and human tutor generated algebra hints. *PloS One*, 19(5), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304013>
- Pursnani, V., Sermet, Y., Kurt, M., & Demir, I. (2023). Performance of ChatGPT on the US fundamentals of engineering exam: Comprehensive assessment of proficiency and potential implications for professional environmental engineering practice. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100183>
- Qadir, J. (2023). Engineering education in the era of ChatGPT: Promise and pitfalls of generative AI for education. Em Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ed.), *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) Proceedings* (pp. 1-9). IEEE. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.21789434.v1>
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). *Improving language understanding by generative pre-training*. OpenAI. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf
- Sena, T. R., & Sallaberry, J. D. (2021). Contabilidade Geral e o desempenho dos estudantes no Exame de Suficiência: Uma pesquisa com IES baianas. *Revista de Contabilidade e Controladoria*, 13(1), 139-155. <https://doi.org/10.5380/rcc.v13i1.78581>

Terres, J. C., Simoni, P. R., Pereira, P., Timmermans, C., Lizote, S. A., & Lana, J. (2011, 7-9 de dezembro). *Exame de Suficiência da Profissão Contábil: Um estudo envolvendo o posicionamento de contabilistas e estudantes do curso de Ciências Contábeis a respeito de sua aplicabilidade* [Apresentação em conferência]. 11º Colóquio Internacional sobre Gestão Universitária na América do Sul, Florianópolis, Brasil.

Wu, Z., Qiu, L., Ross, A., Akyürek, E., Chen, B., Wang, B., Kim, N., Jacob, A. & Kim, Y. (2023). *Reasoning or reciting? Exploring the capabilities and limitations of language models through counterfactual tasks*. <https://arxiv.org/abs/2307.02477>

Data de recepção: 02/09/2025

Data de revisão: 02/09/2025

Data de aceitação: 09/09/2025

Contato: marcelo.freitas@ufsc.br

NUESTROS COLABORADORES



Reginalda Santos Silva

Universidade Salvador - UNIFACS

Master in Systems and Computing, Universidade Salvador - UNIFACS. Graduate in System Analysis and Development, Universidade Salvador, UNIFACS.

<https://orcid.org/0000-0001-5409-1153>

Paulo Caetano da Silva

Universidade Salvador - UNIFACS

Postdoc at Rutgers Business School - RBS. Doctorate in Computer Science, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Master in Computer Networks, Universidade Salvador - UNIFACS. Chemical engineer from the Federal University of Bahia - UFBA. Professor at Universidade Salvador, UNIFACS, in Master in Administration and Master in Systems and Computing.

<https://orcid.org/0000-0002-5038-2460>

Daniel José Díaz

Universidad Nacional de Rosario - UNR

Bachelor 's degree in Accounting from the Faculty of Economics and Statistics, Universidad Nacional de Rosario - UNR. Professor of Information Technology and in the pos-graduate program of Strategic Management of Information Technology, Universidad Nacional de Rosario, UNR.

<https://orcid.org/0000-0001-5459-1297>

Gabriel Donadio Costa

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Doutorando pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Mestre em Contabilidade, Fiscalidade e Finanças Empresariais pela Universidade de Lisboa - ULISBOA.

<https://orcid.org/0000-0002-3733-7964>

Rogério João Lunkes

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Doutor e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Professor do Departamento de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

<https://orcid.org/0000-0003-4232-5746>

Valmor Reckziegel

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS

Pós-doutorando em Ciências Contábeis pela Universidade de São Paulo - USP. Doutor em Administração de Empresas, Universidade Nove de Julho - UNINOVE. Mestre em Contabilidade, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. Bacharel em Ciências Contábeis, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Docente em curso de Bacharelado em Ciências Contábeis, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS.

<https://orcid.org/0000-0002-9985-3913>

Edgard Bruno Cornacchione Junior

Universidade de São Paulo - USP

Doutorado em Controladoria e Contabilidade, Universidade de São Paulo - USP. Mestrado em Controladoria e Contabilidade, Universidade de São Paulo, USP. Bacharel em Ciências Contábeis, Universidade de São Paulo, USP. Docente da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, USP.

<https://orcid.org/0000-0002-0745-131X>

Débora Gomes de Gomes

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Doutora em Ciências Contábeis e Administração pela Universidade Regional de Blumenau - FURB. Mestre em Ciências Contábeis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. Bacharel em Ciências Contábeis, Universidade Católica de Pelotas - UCPEL. Professora Associada da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis - ICEAC.

<https://orcid.org/0000-0002-7955-0958>

Jorge de Souza Pinto

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS

Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional Sustentável, UNIDERP Universidade Anhanguera. Mestre em Controladoria e Contabilidade, Universidade de São Paulo - USP. Bacharel em Ciências Contábeis, Universidade Estadual do Paraná -

UNESPAR. Docente em Curso de Bacharelado em Ciências Contábeis, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

<https://orcid.org/0000-0002-2049-4744>

Omar Feria Alonso

Universidade de Vigo - UVIGO

Public Accountant at Instituto Politécnico Nacional - IPN, Mexico. Currently in his final semester of the Master's in Administration in Education Management and Development (MAGDE), Instituto Politécnico Nacional, IPN.

<https://orcid.org/0009-0002-1524-0923>

Elena Shakina

Universidade de Vigo - UVIGO

Candidate of Science (PhD equivalent) in Finance, Higher School of Economics University. PhD in Economics (Economic Analysis and Business Strategy), Universidade de Vigo - UVIGO. Master in Business Administration, National Research University Higher School of Economics. Bachelor's Degree in Economics, specialization in Finance, National Research University Higher School of Economics. Professor at Department of Financial Economics and Accounting, Universidade de Vigo, UVIGO.

<https://orcid.org/0000-0003-4048-6132>

Maria Beatriz Gonzalez-Sanchez

Universidade de Vigo - UVIGO

PhD in Economic and Business Sciences, Universidade de Vigo - UVIGO. Master in Business Administration (MBA), Instituto de Empresa, Madrid. Bachelor's Degree in Economic and Business Sciences, Universidad Complutense de Madrid - UCM. Professor at Department of Financial Economics and Accounting, Universidade de Vigo, UVIGO.

<https://orcid.org/0000-0001-9247-178X>

Jose Berbel-Vera

Universitat de València - UV

PhD in Accounting and Corporate Finances, Universitat de València - UV. Bachelor's Degree in Economic and Business Sciences, Universitat de València, UV. Professor at Department of Accounting, Universitat de València, UV.

<https://orcid.org/0000-0001-9982-7531>

Marcelo Machado de Freitas

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Doutor em Contabilidade pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Mestrado em Contabilidade e graduado em Ciências Contábeis pela Universidade

Federal de Santa Catarina, UFSC. Professor do Departamento de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

<https://orcid.org/0000-0001-9767-7285>

Jonatas Dutra Sallaberry

Universidade do Contestado - UNC

Doutor em Contabilidade pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Mestrado em Contabilidade pela Universidade de Brasília - UNB. Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Professor da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

<https://orcid.org/0000-0001-7492-727X>

Thiago Bruno de Jesus Silva

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

Doutor em Contabilidade pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Mestrado em Contabilidade pela Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB. Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade do Estado da Bahia - UEBA. Professor do curso de Gestão de Cooperativas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.

<https://orcid.org/0000-0002-1128-6601>

Fabricia Silva da Rosa

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e Doutora em Contabilidade pela Universitat de València - UV. Mestrado em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Professora do Departamento de Contabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

<https://orcid.org/0000-0003-4212-1065>

CONTENIDO

EDITORIAL

Managing medical records with blockchain

Reginalda Santos Silva, Paulo Caetano da Silva, Daniel José Diaz

Aplicação de algoritmo de aprendizado de máquina (AM) para previsão do comportamento das ações negociadas no mercado brasileiro

Gabriel Donadio Costa, Rogério João Lunkes

O uso da inteligência artificial em planejamento tributário: a nova fronteira da contabilidade como estratégia competitiva nas organizações

Valmor Reckziegel, Edgard Bruno Cornacchione Junior, Débora Gomes de Gomes, Jorge de Souza Pinto

Management control meets AI: From data-driven literature review to research gap

Omar Fera Alonso, Elena Shakina, María Beatriz Gonzalez-Sanchez, Jose Berbel-Vera

Evolução da IA em resolver problemas contábeis: uma comparação entre o GPT4 e GPT4o na resolução do Exame de Suficiência

Marcelo Machado de Freitas, Jonatas Dutra Sallaberry, Thiago Bruno de Jesus Silva, Fabricia Silva da Rosa

NUESTROS COLABORADORES