saúde EM DEBATE

REVISÃO

Indústria 4.0 na saúde: linguagens de programação apoiando a formação médica

Industry 4.0 in healthcare: Programming languages supporting medical training

Industria 4.0 enel sector sanitario: lenguajes de programación que apoyanlaformación médica

Leonardo Moraes Armesto[1], Daniel Souza Ferreira Magalhães[1], Thabata Roberto Alonso[1], Laurita dos Santos[2]

DOI: 10.1590/2358-2898202615111274P

RESUMO Nas últimas décadas, e especialmente nos anos recentes, diversas formas de interação entre o ser humano e a máquina foram desenvolvidas. Assim, torna-se essencial compreender e familiarizar-se com as novas tecnologias. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão de literatura baseada em evidências sobre o uso da aprendizagem de máquina e de programas computacionais aplicados aos cuidados em saúde. A pesquisa contemplou artigos publicados entre 2015 e 2025, abordando aplicações da Inteligência Artificial (IA) na medicina, com foco na incorporação de algoritmos voltados ao diagnóstico e ao prognóstico clínico. Foram excluídos estudos sem acesso integral ou que não se relacionavam à formação profissional tecnológica. Após os critérios de elegibilidade, 42 artigos foram selecionados para leitura completa. A discussão foi orientada por três questões: (i) o desenvolvimento da programação voltada à área médica; (ii) as contribuições da IA para o setor da saúde; e (iii) a linguagem de programação mais adequada para aplicações médicas. Os resultados indicaram o uso de diferentes linguagens conforme os objetivos dos projetos, com destaque para o Matlab. Conclui-se que, embora a IA apresente elevado potencial na saúde, sua plena integração exige o desenvolvimento de novas competências diante das demandas da Indústria 4.0.
PALAVRAS-CHAVE Aprendizado de máquina. Linguagens de programação. Educação médica.

ABSTRACT *In recent decades, and especially in recent years, various forms of interaction between humans and machines have been developed. Therefore, understanding and becoming familiar with new technologies is essential. This study aimed to conduct an evidence-based literature review on the use of machine learning and computer programs applied to healthcare. The research included articles published between 2015 and 2025, addressing applications of Artificial Intelligence (AI) in medicine, focusing on the incorporation of algorithms for clinical diagnosis and prognosis. Studies without full access or unrelated to technological professional training were excluded. After applying eligibility criteria, 42 articles were selected for full reading. The discussion was guided by three questions: (i) the development of programming for the medical field; (ii) the contributions of AI to the healthcare sector; and (iii) the most suitable programming language for medical applications. The results indicated the use of different languages according to the objectives of the projects, with Matlab standing out. In conclusion, although AI presents high potential in healthcare, its full integration requires the development of new skills to meet the demands of Industry 4.0.*
KEYWORDS *Machine learning. Programming languages. Medical education.*

RESUMEN *Enlas últimas décadas, se han desarrollado diversas formas de interacción entre humanos y máquinas. Por lo tanto, comprender y familiarizarse con las nuevas tecnologías es fundamental. Este estudiotuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica basada en la evidencia sobre el uso del aprendizaje automático y los programas informáticos aplicados a la atención médica. La investigación incluyó artículos publicados entre 2015 y 2025 que abordaban lãs aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) en medicina, centrándos e en la incorporación de algoritmos para el diagnóstico y pronóstico clínico. Se excluyeron los estudios sin acceso completo o no relacionados conlaformación profesional tecnológica. Tras aplicar los criterios de elegibilidad, se seleccionaron 42 artículos para sulectura completa. El análisis se guió por tres preguntas: (i) eldesarrollo de laprogramación para el campo médico; (ii) las contribuciones de la IA al sector sanitario; y (iii) ellenguaje de programación más adecuado para aplicaciones médicas. Los resultados indicaronel uso de diferentes lenguajes segúnlos objetivos de los proyectos, destacando Matlab. Enconclusión, IA presenta un alto potencial enlaatención médica, su plena integración requiere el desarrollo de nuevas habilidades para satisfacer las demandas de la Industria 4.0.*
PALABRAS CLAVE *Representación de aprendizaje automático. Lenguaje de programación. Educación médica.*

[1] Universidade Brasil (UB) – São Paulo (SP), Brasil.
leonardo.armesto@ub.edu.br

[2] Universidade de Taubaté (Unitau) – Taubaté (SP), Brasil.

Artigo publicado sob licença aberta CC-BY, com permissão de acesso gratuito, virtual e sem qualquer restrição.

Introdução

O avanço tecnológico contemporâneo, impulsionado pelo desenvolvimento computacional, tem impactado diversos setores da sociedade[1]. Na área da saúde, a engenharia biomédica vem incorporando ferramentas como as Redes Neurais Artificiais (RNA), capazes de otimizar processos, ampliar a precisão diagnóstica e apoiar a tomada de decisão[2]. A globalização e a avançada disseminação de informações intensificaram a necessidade de respostas não apenas rápidas, mas também eficientes e assertivas nas interações homem-máquina[3].

Historicamente, o desenvolvimento computacional remonta à Segunda Guerra Mundial, quando algoritmos foram empregados para transmissão segura de informações[2,3]. Essa trajetória evolutiva culminou na Revolução 4.0, na Internet das Coisas e no armazenamento em nuvem, ampliando exponencialmente a capacidade de processamento e compartilhamento de dados[2,3].

No contexto da saúde, o processamento e a análise de dados específicos exigem profissionais qualificados, capazes de garantir a qualidade e a confiabilidade das informações utilizadas pela inteligência artificial[4-10]. Linguagens como C, C++, HTML, Java, Python e Matlab se destacam pela versatilidade e integração com *softwares* médicos[2,4-10]. Vale destacar que o processamento de informações é feito através de tais linguagens, que funcionam como um intermediário da comunicação entre o homem e a máquina[11,12]. Além disso, podemos dizer que existem linguagens de diferentes níveis, isto é, o nível mais alto, que utiliza maior velocidade de processamento, ou mais baixo, que utiliza menor velocidade de processamento[2-13]. Para melhor entender, podemos comparar a linguagens de programação ao fornecimento de instruções entre profissionais de países diferentes[14]. No caso das linguagens de alto nível como é o caso de Java, Python e Matlab, as instruções precisam de um tradutor antes de chegar ao receptor final da mensagem, o que leva mais tempo para finalizar uma tarefa[13-15]. Já no caso das linguagens de baixo nível como, por exemplo, C e C++, é como se as instruções fossem dadas diretamente na língua nativa do receptor da mensagem, sendo por tanto mais rápidas em seu processamento[16-18].

Destas, o Matlab é amplamente empregado tanto em engenharia quanto em ciências médicas por sua facilidade de uso e suporte a análise de dados, simulações e visualizações[19-23].

A incorporação de dispositivos e *softwares* médicos, que vai desde ferramentas para diagnóstico precoce até sistemas de reabilitação, reforça a convergência entre avanços computacionais e demandas clínicas[24]. Quando utilizados de forma adequada, esses recursos contribuem para prevenção, tratamento oportuno e melhoria de prognósticos que quadros clínicos de pacientes[11,25].

Dentro dessa evolução, o aprendizado profundo (*deep learning*) surge como um elo entre tecnologia e ciências da saúde, permitindo a análise de grandes volumes de dados e a identificação de padrões complexos[26]. O funcionamento das RNA, inspirado no sistema nervoso central, baseia-se em unidades de processamento interligadas que recebem entradas (*inputs*), processam informações e geram saídas (*outputs*)[10,27-40]. Essa modelagem biomimética reforça o caráter interdisciplinar do desenvolvimento tecnológico[41,42].

No ensino e na prática médica, RNA podem auxiliar tanto na formação de estudantes quanto no suporte clínico, desde que validadas por profissionais habilitados, garantindo assim a confiabilidade dos resultados[15,32]. A consolidação dessa relação de confiança entre homem e máquina é essencial para que a Inteligência Artificial (IA) se estabeleça como ferramenta segura e eficaz no setor da saúde[43].

Em se tratando da aplicação de conhecimentos no âmbito da saúde, o levantamento de informações de caráter específico requer a dedicação de profissionais da área com reconhecido domínio técnico, isto porque, o aperfeiçoamento e a garantia de que os dados foram

lapidados corretamente são o eixo principal no que tange a eficácia da resposta aprendida pela máquina[3,17]. Para tanto, o olhar da engenharia biomédica volta-se para a IA no sentido de aproveitar e explorar novas ferramentas que podem ser aplicadas no setor da saúde[13,20].

Assim, a capacidade de criação e de desenvolvimento de programas capazes de responder a ordens e de reproduzir respostas adequadas para práticas em saúde está diretamente atrelada ao domínio técnico de sistemas de inteligência proficientes em sustentar conversas através de uma linguagem uníssona, elencado ao domínio técnico de padrões de imagens médicas[16].

Neste ínterim, o objetivo do estudo é realizar uma revisão integrativa de literatura, evidenciando as linguagens de programação que são mais comumente utilizadas para a construção de *softwares* de imagens médicas, a fim de subsidiar a compreensão do funcionamento da aprendizagem de máquinas e das RNA. Com isso, busca-se responder à pergunta norteadora do estudo: 'Há alguma linguagem de programação que seja mais adequada para o uso de *softwares* de processamento de imagens aplicados à educação médica?', evidenciando parte do avanço da IA e suas aplicações voltadas para a indústria 4.0 na saúde. Assim, o estudo se justifica pela necessidade de vincular os conhecimentos que versam o universo da programação aos profissionais de saúde, de forma a estimular a aproximação entre as interfaces do conhecimento que são unidas pela engenharia biomédica.

Material e métodos

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura de natureza secundária, de caráter qualitativo e exploratório, com o objetivo de identificar e analisar evidências sobre *machine learning*, programação de computadores e suas aplicações no processamento de imagens para fins médicos. Para tanto, utilizou-se como referencial metodológico o estudo de Whittemore e Kanfl[44], a partir do qual a pesquisa foi dividida em 5 etapas, considerando a identificação do problema, a busca literária, a avaliação das informações encontradas e a análise dos dados seguida da apresentação dos resultados.

A coleta de dados ocorreu entre 2022 e 2025, de forma imparcial e categórica, utilizando quatro bases de dados: Web of Science, Scopus, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (Lilacs) e Scientific Electronic Library Online (SciELO).

Foram empregados os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): "*computer programming*", "*artificial intelligence*" e "*health education*", combinando os operadores booleanos 'AND' e 'OR'. Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas inglês, português ou espanhol e que abordassem a temática proposta. Excluíram-se artigos com acesso integral indisponível, duplicados entre as bases de dados, publicados em outros idiomas que não os selecionados e que estivessem publicados anteriormente ao ano de 2015.

A escolha dos descritores foi pensada com base nas possibilidades de integração dos conhecimentos pautados no uso das RNA e na aplicação na área da saúde. Compreende-se que são poucos os descritores utilizados, contudo a escolha dos autores é pautada na delimitação do tema que aborda ciências da saúde e computação, em uma tentativa de aproximar universos distintos do conhecimento. Como consequência, é possível que nem toda a temática seja abordada de forma abrangente, resultado de um recorte categórico da temática explorada. Tais escolhas refletem que a delimitação realizada pelos autores foi executada de forma consciente, o que também serve como ponto de evidência entre as limitações do estudo e todas as suas potencialidades.

As etapas do estudo foram reunidas na *figura 1*, que representa o fluxo metodológico realizado, elaborado a partir de uma adaptação do Fluxograma Prisma, que considerou o número de artigos avaliados baseando o processo de seleção em três etapas: (a) identificação,

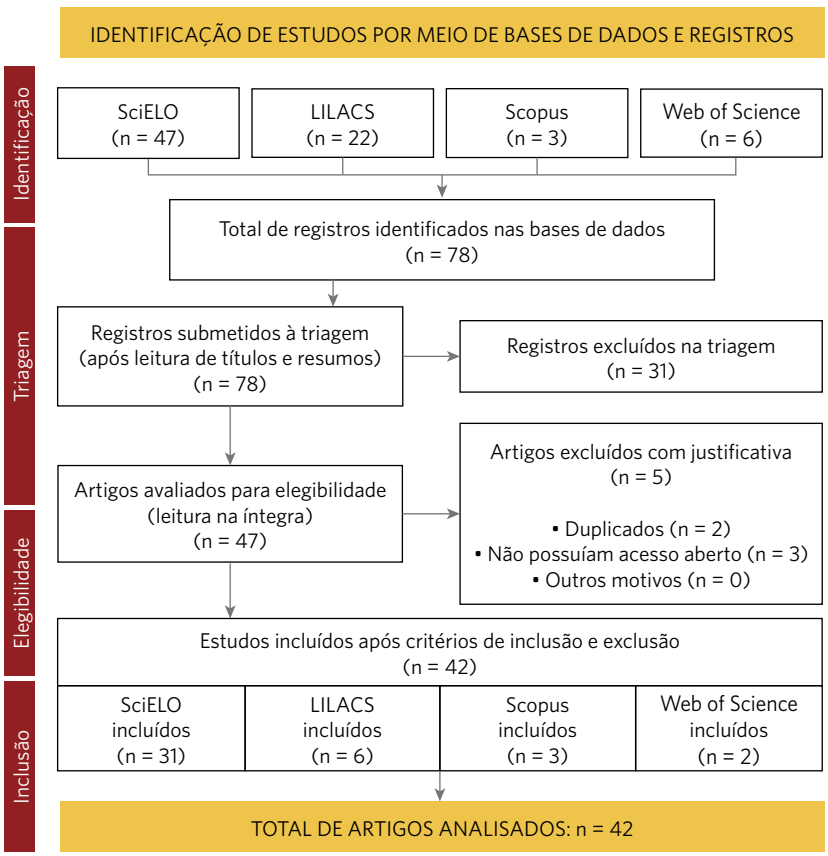
definida pela busca dos artigos utilizando os descritores definidos; (b) triagem, definida pela leitura de títulos e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; (c) seleção, definida pela exclusão de estudos sem acesso ao texto completo[45]. Os artigos que não cumpriram com os critérios de inclusão foram desconsiderados da análise. Ao final, foram selecionados 42 artigos para leitura na íntegra e posterior tabulação de dados.

Para direcionar a análise, definiram-se três perguntas norteadoras: Como se configura o desenvolvimento de programação voltado para a engenharia biomédica? (Q1); Quais evidências existem acerca da colaboração da IA na produção de resultados em saúde? (Q2); Existe um programa que possa ser considerado mais adequado para essa aplicação? (Q3).

A análise dos dados encontrados buscou não só realizar o levantamento das informações já existentes na literatura, mas também reformular os saberes outrora construídos como forma de tornar acessível o conhecimento sobre a linguagem de programação e suas diferentes possibilidades de aplicação.

A discussão foi desenvolvida a partir da leitura crítica e interpretação dos artigos selecionados, buscando responder às perguntas propostas e consolidar o entendimento sobre a aplicação da IA no contexto da saúde, abarcando seus desafios, seus potenciais e suas limitações. Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo nº 304967/2024-6).

Figura 1. Diagrama Prisma



Fonte: elaboração própria.

Resultados e discussão

Durante a pesquisa, foram encontrados um total de 78 artigos cuja abordagem estava relacionada com o uso de RNA e *deep learning* em equipamentos médicos. Destes, 47 artigos foram selecionados para leitura integral considerando a temática do Matlab aplicada à construção de RNA. Destes, 5 artigos foram excluídos por apresentarem inacessibilidade no banco de dados (n=3) ou por estarem duplicados (n=2). O *quadro 1* reflete os resultados encontrados, alocados em colunas segmentadas por autor e as respectivas considerações do estudo.

Quadro 1. Relação dos resultados encontrados

Autor/Ano	Título	Temática/Considerações
AGGARWAL, *et al.,* 2019	Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis.	O uso da IA em imagens médicas apresenta elevado teor de fidedignidade de informação, mas precisam ser criados protocolos para sua utilização.
ALAM, 2016.	Codes in MATLAB for Training Artificial Neural Network using Particle Swarm Optimization.	O artigo aborda a construção de códigos em Matlab para a criação de Redes Neurais Artificiais (RNA).
ALCAZAR, 2018.	La Internet de las Cosas, el Big Data y los nuevos problemas de la comunicación en el Siglo XXI.	Aponta os desafios da tecnologia através da Internet das Coisas e as relações humanas e de comunicação contemporâneas.
BEAM, *et al.,* 2023.	Artificial Intelligence in Medicine	As considerações éticas do uso de IA na medicina devem ser consideradas.
BOUCHER, *et al.,* 2020.	Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it?	A linguagem de programação escolhida é importante, os algoritmos são subjetivos e o objetivo da IA é maximizar as facilidades que ela pode proporcionar.
CAZZOLA, *et al.,* 2015.	Gradually Learning Programming Supported by a Growable Programming Language.	Abordou os aspectos históricos, contemporâneos e desafios futuros da tecnologia da informação.
DADA, *et al.,* 2021.	Information Technology roles and their most-used programming languages	Cada área profissional (bancos de dados, marketing e desenvolvimento de *software)* apresenta uma preferência pela linguagem de programação de escolha.
DEARDORFF, 2020.	Why do biomedical researchers learn to program? An exploratory investigation.	Compreender os objetivos de programação facilita a oferta de serviços à comunidade biomédica.
DE TOGNI, *et al.,* 2021.	What makes AI 'intelligent' and 'caring'? Exploring affect and relationality across three sites of intelligence and care.	Na patologia médica, a IA já está sendo aplicada com sucesso para o diagnóstico precoce de doenças.
EKMEKCI, *et al,* 2016.	An Introduction to Programming for Bioscientists: A Python-Based Primer.	No desenvolvimento de ferramentas computacionais a mineração de dados são desafios complexos a serem superados.
FAYEK, 2017.	MatDL: A Lightweight Deep Learning Library in MATLAB.	Aponta a usabilidade do MatDL e do Matlab para a construção de blocos de redes neurais profundas e redes convolucionais.
GASCIAUSKAITE, *et al.,* 2023.	Human-centered visualization technologies for patient monitoring are the future: a narrative review.	Valida tecnologias de visualização com base na percepção sensorial humana garantindo sua funcionalidade.
JIANG, 2022.	The programming method of matlab language for solving ai based digital health problems.	Apresenta como os cálculos desenvolvidos através do Matlab podem ser utilizados na resolução de problemas com precisão.
KHOIROM, *et al.,* 2020.	Comparative Analysis of Python and Java for Beginners.	Aponta as linguagens Java e Python como as mais utilizadas por programadores iniciantes.

Quadro 1. Relação dos resultados encontrados

Autor/Ano	Título	Temática/Considerações
KONG, *et al.,* 2021.	Evaluation of an artificial intelligence literacy course for university students with diverse study backgrounds.	Evidencia a alfabetização em IA por parte de pessoas sem formação na área técnica.
LIN, *et al.,* 2020.	Artificial Intelligence in Education: A Review	A integração da IA em diferentes setores permitiu incorporar tecnologias de plataformas diversificadas.
LIU, *et al.,* 2020.	A review of medical artificial intelligence.	Diversas instituições ao redor do mundo colaboraram para o aprimoramento da *Deep Learning* e da *Machine Learning* voltado para o uso de imagens médicas.
MACWAN, *et al.,* 2021.	Introduction to matlab programming in fundamentals of engineering course.	Evidencia o Matlab nos anos iniciais de formação de engenharia de programação em virtude da facilidade de resolução de problemas através de cálculos matemáticos.
MADEAN, 2022.	Medical image enhancement using matlab.	Exemplifica o uso de contraste na formação de imagens através de fórmulas aplicadas no Matlab.
MARTINI, 2016.	Several Types of Types in Programming Languages.	Aponta para a flexibilidade de escolha no momento da seleção de programas para o desenvolvedor.
MCMASTER, *et al.,* 2017.	Java vs. Python Coverage of Introductory Programming Concepts: A Textbook Analysis.	No ensino da linguagem de programação, a opção entre Java, Python ou outra linguagem é objetivo-dependente.
MEHTA, *et al.,* 2017.	Application of computer techniques in medicine.	Vislumbra a necessidade dos profissionais médicos se familiarizarem de forma urgente com as ferramentas da IA.
MOHINDRU, *et al.,* 2020.	MATLAB and Simulink: A Basic Understanding for Engineers	Demonstra o uso do Matlab por meio de fórmulas de função e matriz.
MORILLA, *et al.,* 2017.	Implementing technology in healthcare: insights from physicians.	Os médicos demandam treinamento para o uso da I.A. em sua rotina bem como de investimentos adequados no aprimoramento das habilidades tecnológicas.
NEHER, *et al.,* 2023.	Innovation in healthcare: leadership perceptions about the innovation characteristics of artificial intelligence – a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden.	Novos modelos e estruturas precisam ser desenvolvidos para que a IA possa ser incorporada definitivamente ao uso assistencial em saúde.
PARK, *et al.,* 2020.	Artificial Intelligence in Health Care: Current Applications and Issues.	Evidencia certa preocupação por parte de profissionais médicos quanto à confiabilidade do uso da IA.
QUILIS, *et al.,* 2019.	FactorLib: A MATLAB Library for Static Factor Analysis.	Apresenta um conjunto de funções do Matlab através da FactorLib para construir um modelo dinâmico de uso.
SANTOS, *et al.,* 2015.	Toolbox MATLAB para solução de problemas de otimização dinâmica.	Propõe uma *toolbox* para um procedimento de discretização adaptativa através da formação de uma malha com menor número de elementos e boa funcionalidade.
SHAH, *et al.,* 2019.	Artificial intelligence and machine learning in clinical development: a translational perspective	Métodos sofisticados de IA geram uma interface multidisciplinar e prometem levar respostas de diagnósticos mais rápidas para os pacientes.
SILVA, *et al.,* 2015.	Uso das tecnologias de informação e comunicação no curso de medicina da UFRN.	Evidencia que o grande contingente de dados que são transmitidos durante a formação médica obriga os profissionais em formação a se familiarizarem com a tecnologia da informação.
SILVESTRE, 2020.	OPTool – An optimization toolbox for iterative algorithms.	Apresentou a OPTool, uma *toolbox* para Matlab pautada em algoritmos de equações lineares.

Quadro 1. Relação dos resultados encontrados

Autor/Ano	Título	Temática/Considerações
SUNARTI, *et al.,* 2021.	Artificial intelligence in healthcare: opportunities and risk for future.	Aponta para a necessidade do uso da I.A. em serviços de saúde em análises preditivas, de diagnóstico e tratamento, levantando a desafios éticos a serem superados.
TEKINERDOGAN, 2023.	The Future of Software Programming and Software Programmers.	A capacidade de traduzir conceitos complexos em uma linguagem de fácil entendimento e multidisciplinar é o desafio que molda o futuro para os desenvolvedores de programas.
TOMOZEI, *et al.,* 2023.	A brief introduction to the MATLAB program.	Propõe o uso do Matlab para além das aplicações de engenharia, trazendo novas perspectivas de utilização.
TONG, *et al.,* 2022.	Guaranteed Automatic Integration Library (Gail): An Open-Source MATLAB Library for Function Approximation, Optimization, and Integration.	Demonstra o uso de algoritmos interativos de programação aplicados ao Matlab por meio de funções e equações na resolução de problemas.
VOLOSENCU, 2022.	MATLAB – Applications in Engineering.	Evidencia o uso do Matlab e do Simulink para diferentes aplicações.
YANG, *et al.,* 2018.	An Exploratory Study on Learning Attitude in Computer Programming for the Twenty-First Century.	Propõe o ensino da programação desde o nível escolar médio como desafio do século.
WILJER, *et al.,* 2019.	Developing an Artificial Intelligence-Enabled Health Care Practice: Rewiring Health Care Professions for Better Care.	Aponta que a adequação do uso da IA voltada para os cuidados em saúde deve estar integrada na capacitação dos profissionais em formação.
WOLFF, *et al.,* 2021.	Success Factors of Artificial Intelligence Implementation in Healthcare.	Aborda a relação do investimento público e privado para o uso da IA no segmento da saúde.
ZHU, *et al.,* 2022.	Intelligent Computing – The Latest Advances, Challenges and Future.	Realiza uma revisão de literatura acerca da tecnologia disruptiva.

Fonte: elaboração própria.

Como se configura o desenvolvimento de programação voltado para a engenharia biomédica?

O VÍNCULO ENTRE O MATLAB E A CIÊNCIA DA PROGRAMAÇÃO

A linguagem do Matlab caracteriza-se por sua natureza dinâmica e por códigos intuitivos, facilitando a identificação e correção rápida de erros (*bugs*)[10,27,42]. Essa tipificação permite ampla aplicação de scripts, descrição de sistemas e atribuição de funções, tornando-o uma opção atrativa na engenharia biomédica, quando comparado a programas que demandam maior acurácia e conhecimento técnico[29].

Assim, o Matlab apresenta flexibilidade para programação orientada a objetos, permitindo alternar entre diferentes paradigmas conforme a necessidade, operando de forma procedural, funcional e declarativa, e sua estrutura de blocos simplifica a criação de *scripts* e a organização de códigos[27-30]. Dessa forma, o paradigma de classes, embora abstrato, fornece moldes para criação de objetos programados que refletem entidades reais[31].

Além disso, o Matlab possibilita integração com códigos de outras linguagens, como Python, C e Java, graças à ampla disponibilidade de bibliotecas de computação científica, como SciPy, NumPy, Matplotlib, IPython, Pandas, Sympy,

BeautifulSoup e Scikit-learn[30]. Entre as aplicações mais comuns estão análise de imagens, processamento de sinais, cálculos numéricos e implementação de RNA e *deep learning*[46].

DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O processamento de imagens parte da alocação de sinais ao programa, transformando-os em informações significativas[26,46]. Envolve seleção, adequação e tratamento computacional para corrigir imperfeições, melhorar contraste, realçar detalhes ou destacar regiões de interesse[46].

Na mineração de dados, técnicas de agrupamento baseadas em similaridade permitem identificar padrões, precedidas por etapas de pré-processamento, transformação e processamento dos elementos[47]. O processamento de sinais aplicado à síntese imagética associa-se a fenômenos físicos, sendo fundamental para interpretar formas, cores e estruturas, viabilizando a extração de informações relevantes[32].

SUBSÍDIOS OPORTUNIZADOS PELAS BIBLIOTECAS INTELIGENTES

No Matlab, diversas bibliotecas otimizam o desenvolvimento de soluções matemáticas, simulações e modelagem, como Statistics and Machine Learning, Parallel Computing e Optimization, voltadas, respectivamente, para regressão, computação paralela e resolução de problemas lineares[19]. Outras ferramentas, como Control System e Signal Processing, apóiam pré-processamento, segmentação, extração de padrões e filtragem de sinais, especialmente em *deep learning* e diagnóstico por imagem[30,31].

Há ainda bibliotecas complementares, como GAIL, FactorLib e MatDL, que ampliam a capacidade de simulação e análise[19,29-38]. A facilidade de uso do Matlab por profissionais de áreas não computacionais, como as ciências biológicas, reflete a crescente integração da IA na prática médica[27-40,48].

Essa integração acelera o processamento e a devolutiva de informações, aprimorando diagnósticos, treinamentos e tomadas de decisão[30]. A interação simbiótica entre conhecimento biológico e redes neurais artificiais impulsiona avanços tecnológicos e fomenta práticas multidisciplinares[32-35]. Como observado, explorar o potencial das linguagens de máquina revela um amplo campo para o desenvolvimento de soluções na interface humano-computador[44].

Quais evidências existem acerca da colaboração da IA em conjunto com a produção dos resultados em saúde?

A LOCUÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O uso da IA pode estimular o pensamento crítico de profissionais já formados, uma vez que, mesmo apoiada em informações técnicas precisas, promove desafios cognitivos e fomenta a construção de uma inteligência colaborativa mediada pelo conhecimento científico[22]. No campo da saúde, as redes colaborativas de IA têm ampliado o uso da programação computacional para diagnósticos antecipados, previsão de prognóstico e definição de tratamentos, especialmente por meio de exames de imagem[49].

Destaca-se ainda que a IA também serve de suporte ao desenvolvimento de protocolos terapêuticos, por meio de algoritmos de aprendizagem profunda e redes neurais convolucionais, possibilitando automação em áreas como a patologia médica e favorecendo o diagnóstico precoce[20]. Exemplos incluem empresas como Atomwise – Better Medicines Faster e Apache Hadoop (IBM), voltadas ao desenvolvimento de vacinas e à pesquisa de novos medicamentos[1,16]. Além disso, o armazenamento em nuvem viabiliza a guarda e manutenção de grandes volumes de dados, inclusive históricos de pacientes[17,31].

O FUTURO MÉDICO-ASSISTENCIAL

No âmbito assistencial, a IA oferece suporte na identificação de padrões em sinais e sintomas apresentados pelos pacientes, auxiliando em

diagnósticos complexos ou inconclusivos e na interpretação de imagens desafiadoras[39]. Essa capacidade direciona o raciocínio clínico diante da incerteza, ampliando as hipóteses diagnósticas possíveis[39,40,43,48,50]. É importante salientar que erros diagnósticos podem resultar em tratamentos inadequados e atrasos na assistência, o que, em alguns casos, pode levar a óbitos hospitalares ou prolongamento da internação, representando índices de ocorrência de até 14% em países desenvolvidos[28].

Vale destacar a necessidade crescente de que profissionais da saúde, tanto os já formados quanto os que estão ainda em treinamento, compreendam os conceitos de IA e sejam tecnologicamente alfabetizados em virtude da rápida integração dessas tecnologias ao cotidiano clínico[8-10,28-32]. No entanto, alguns estudos identificam preocupações quanto à fidedignidade de tais sistemas e à confiança no uso dessas ferramentas, revelando uma lacuna que exige avanços no desenvolvimento tecnológico com enfoque multidisciplinar em saúde[28-36].

INVESTIMENTOS DO SETOR PÚBLICO E PRIVADO

Os resultados analisados consideraram a relação entre investimentos públicos e privados para o avanço de tecnologias em saúde, enfatizando a necessidade de aprofundamento científico para seu contínuo aperfeiçoamento e estímulo à pesquisa[4-9,25,26,46,47,49]. A IA aplicada ao rastreio de doenças e ao diagnóstico oportuno, considerando o uso para direcionar exames, sinais e sintomas, agrega velocidade ao processamento e à resposta das informações, aumentando a assertividade dentro da janela de oportunidade clínica[44].

Atualmente, a maior parte dos investimentos nesse segmento provém da iniciativa privada[36]. Um exemplo é a DeepMind Technologies Limited – Health, que aplica IA na análise de imagens médicas para detecção de alterações anatômicas, configurando-se como ferramenta de valor prognóstico[36-40,48]. Outras empresas, como Aidoc, MaChiron, ZebraMedical Vision e Butterfly Network, também se destacam no uso de aprendizagem profunda para ampliar o acesso a informações médicas em redes associadas à assistência[44].

Existe um programa que seja mais ou menos ideal?

COMO A PROGRAMAÇÃO SE COMUNICA

A escolha da linguagem de programação é fortemente dependente do operador, refletindo a importância do conhecimento prévio e da prática de cada desenvolvedor[5]. Diferentes áreas profissionais apresentam preferências distintas, como por exemplo, Java, Python, HTML e C são mais comuns em marketing, bancos de dados e desenvolvimento de *software*[18-23,25]. Apesar disso, há flexibilidade na escolha, já que qualquer linguagem pode ser aplicada a diferentes propósitos, desde que suas características sejam compatíveis com as necessidades do projeto[51].

Vale ressaltar que, embora haja liberdade na escolha, a adequação da linguagem ao objetivo final deve ser cuidadosamente considerada, pois cada uma apresenta variações de configuração e de produtos finais possíveis[6]. Além disso, os algoritmos que alimentam os programas são subjetivos, já que a IA aprende com os dados fornecidos[2,3,15,41,42]. Assim, as decisões tomadas pelos algoritmos refletem as perspectivas e vieses embutidos no conjunto de dados de treinamento[2,3,15,41,42]. Esse ponto levanta questões éticas relevantes, reforçando a necessidade de medidas regulatórias para prevenir problemas decorrentes da integração da *machine learning* à sociedade e para garantir a confiabilidade da IA, especialmente em setores críticos como a saúde[13,14,51].

TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS

Com o papel das tecnologias disruptivas no avanço da computação inteligente, destaca-se

o potencial dessas soluções para suprir lacunas ainda existentes na IA[11,43,44,48,50]. Assim, é possível afirmar que o conhecimento que sustenta a *machine learning* é baseado na sabedoria humana e que funções como reconhecimento de imagem, de voz e rastreamento de alvos dependem diretamente da qualidade e do tipo de dados utilizados[11]. Nesse cenário, a computação colaborativa e multidisciplinar, apoiada em recursos como computação em nuvem e de alto desempenho, permite armazenar, processar e explorar grandes volumes de dados de forma integrada[11,13,43,44,48,50].

Além disso, a evolução da internet impulsionou novas tendências de mercado na ciência da computação, incluindo a inserção da IA em *softwares* de programação, viabilizada pela *machine learning*[8-10]. As escalas numéricas dos algoritmos contribuem para a agilidade na execução ou interrupção de comandos, além de otimizar o desempenho e a precisão dos *softwares*[36].

Neste ínterim, as técnicas de aprendizado profundo (*deep learning*) utilizam uma variedade de modelos para tomada de decisão, como árvores de decisão, programação indutiva, agrupamento (*clustering*) e redes bayesianas[16,31-36]. Com isso, a IA vem sendo aplicada de forma ampla, abrangendo setores como educação, negócios, marketing e saúde[26].

Ressalta-se ainda que o uso de redes neurais profundas exige alta capacidade de processamento, o que ultrapassa as capacidades dos computadores tradicionais[11]. Para viabilizar tais aplicações, é necessário investir em sistemas de alta velocidade e baixo consumo de energia[11,43-45,50]. Nesse sentido, tendências futuras da computação associadas a tecnologias disruptivas como a computação neuromórfica, quântica e biocomputação, visam explorar plenamente o potencial das redes neurais profundas e ampliar o aproveitamento das soluções que a tecnologia pode oferecer[9,40].

Conclusões

O avanço tecnológico acompanha o desenvolvimento da sociedade, estando intimamente ligado ao seu comportamento, costumes, cultura e necessidades. As novas formas de produzir tecnologia indicam um futuro que exige investimento contínuo em pesquisa, visando integrar de maneira cada vez mais eficiente os sistemas computacionais ao cotidiano social.

Como resultado, o estudo comparou diferentes linguagens de programação que são aplicadas à indústria 4.0 na saúde, evidenciando principalmente que a forma com que são utilizadas está diretamente vinculada à formação de imagens médicas em 3D para o treinamento em anatomia de médicos em formação ou até mesmo para a visualização de planejamento cirúrgico, voltada para profissionais já formados.

No que diz respeito às linguagens de programação, observou-se que todas apresentam flexibilidade de uso, cabendo ao programador escolher aquela que melhor se adapta às suas habilidades e aos objetivos do projeto. Para profissionais da saúde, especialmente os que atuam no estudo de imagens médicas, seja na radiologia ou mesmo na patologia, a literatura analisada aponta o Matlab como a opção mais alinhada à reprodução e ao processamento imagético.

Tal preferência decorre do fato de o Matlab possibilitar manipulação avançada de imagens, incluindo ajustes de iluminação, contraste, texturização e perspectiva, além de contar com uma ampla variedade de toolboxes e recursos específicos para o aperfeiçoamento visual. Isso não significa que outras linguagens não sejam empregadas com esse propósito, mas sim que há um amplo leque de alternativas, cuja escolha dependerá do contexto e das necessidades do usuário.

Em relação aos resultados encontrados nas análises, os autores observaram que ainda há um vasto campo a ser explorado no

que tange ao desenvolvimento de programas de computador com imagens médicas cada vez mais realistas. Fica assim evidente que o objetivo da pesquisa foi cumprido, visto que foram analisados diferentes estudos relacionados ao *machine learning* e a verificação dos impactos do uso da IA no âmbito da saúde.

Constata-se, ainda, que o uso da IA na área da saúde está em franca expansão, o que exige que os profissionais se familiarizem com suas aplicações e limitações. Importa ressaltar que a multiplicidade de usos dessas ferramentas não implica substituição da atuação humana, mas representa uma oportunidade para ampliar o potencial tecnológico disponível. Vale lembrar que a IA não se constitui como um sistema autônomo absoluto: ela reflete e opera com base nos dados fornecidos, como ocorre nos processos de aprendizado de redes neurais profundas.

Contribuições de autoria

Armesto LM (0000-0003-1836-6871)* contribuiu substancialmente para o desenvolvimento do estudo, elaboração do artigo científico, revisão bibliográfica, tabulação, análise e interpretação dos dados, discussão dos resultados e redação do manuscrito, e aprovou a versão final do manuscrito. Magalhães DSF (0000-0002-3761-1927)* contribuiu para a coorientação da pesquisa, revisão crítica e reformulação textual do manuscrito, e aprovou a versão final do manuscrito. Alonso TR (0000-0002-6838-4579)* contribuiu para a estruturação metodológica do estudo, levantamento e revisão bibliográfica e redação do manuscrito, e aprovou a versão final do manuscrito. Santos L (0000-0002-6363-6837)* contribuiu para a orientação e supervisão da pesquisa, desenvolvimento dos instrumentos de pesquisa, revisão crítica e reformulação textual do manuscrito, e aprovou a versão final do manuscrito. ■

Referências

1. Davenport T, Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. Future Healthc J. 2019;6(2):94-8. DOI: https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94

2. Afonso P, Salgado P. Introdução à programação em Matlab. 1ª ed. Porto: Quântica; 2019. 172 p.

3. Alcázar MP. La Internet de las Cosas, el Big Data y losnuevos problemas de la comunicación em el Siglo XXI. Mediac Soc. 2018;17(5):11-24. DOI: https://doi.org/10.5209/MESO.60190

4. Martini S. Several types of types in programming languages. In: International Conference on the History and Philosophy of Computing [Internet]; 2015 out 8-11; Pisa, Itália [acesso em 2026 ago 6]. Disponível em: https://inria.hal.science/hal-01399694/document

5. McMaster K, Sambasivam S, Rague B, et al. Java vs. Python coverage of introductory programming concepts: a textbook analysis. InfSystEduc J [Internet]. 2017[acesso em 2026 ago 6];15(3):4-13. Disponível em: https://isedj.org/2017-15/n3/ISEDJv15n3p4.html

6. Mehta VK, Deb PS, Rao DS. Application of computer techniques in medicine. Med J Armed Forces India. 1994;50(3):215-8. DOI: https://doi.org/10.1016/S0377-1237(17)31065-1

*Orcid (Open Researcher and Contributor ID).

7. Mohindru P, Mohindru P. MATLAB and SIMULINK: a basic understanding for engineers. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing; 2020. 208 p.

8. Morilla MDR, Sans M, Casas A, et al. Implementing technology in healthcare: insights from physicians. BMC Med Inform Decis Mak. 2017;17:92. DOI: https://doi.org/10.1186/s12911-017-0489-2

9. Neher M, Petersson L, Nygren JM, et al. Innovation in healthcare: leadership perceptions about the innovation characteristics of artificial intelligence—a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden. Implement Sci Commun. 2023;4:81. DOI: https://doi.org/10.1186/s43058-023-00458-8

10. Paixão GMM, Santos BC, Araújo RM, et al. Machine learning na medicina: revisão e aplicabilidade. ArqBrasCardiol. 2022;118(1):95-102. DOI: https://doi.org/10.36660/abc.20200596

11. Wolff J, Pauling J, Keck A, et al. Success factors of artificial intelligence implementation in healthcare. Front Digit Health. 2021;3:594971. DOI: https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.594971

12. Zhu S, Yu T, Xu T, et al. Intelligent computing: the latest advances, challenges and future. Intell Comput. 2022;2022:0006. DOI: https://doi.org/10.34133/icomputing.0006

13. Boucher F. Artificial intelligence: how does it work, why does it matter, and what can we do about it? Brussels: European Parliamentary Research Service; 2020. 76 p. DOI: https://doi.org/10.2861/44572

14. Cazzola W, Olivares DM. Gradually learning programming supported by a growable programming language. IEEE Trans Emerg Top Comput. 2015;4(3):404-15. DOI: https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2446192

15. Beam AL, Drazen JM, Kohane IS, et al. Artificial intelligence in medicine. N Engl J Med. 2023;388:1220-1. DOI: https://doi.org/10.1056/NEJMe2206291

16. Deardorff A. Why do biomedical researchers learn to program? An exploratory investigation. J Med Libr Assoc. 2020;108(1):29-35. DOI: https://doi.org/10.5195/jmla.2020.819

17. De Togni G, Erikainen S, Chan S, et al. What makes AI "intelligent" and "caring"? Exploring affect and relationality across three sites of intelligence and care. SocSci Med. 2021;277:113874. DOI: https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113874

18. Ekmekci B, McAnany CE, Mura C. An introduction to programming for bioscientists: a Python-based primer. PLoS Comput Biol. 2016;12(6):e1004867. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004867

19. Fayek HM. MatDL: a lightweight deep learning library in Matlab. J Open SourceSoftw. 2017;2(19):413. DOI: https://doi.org/10.21105/joss.00413

20. Gasciauskaite G, Lunkiewicz J, Roche TR, et al. Human-centered visualization technologies for patient monitoring are the future: a narrative review. Crit Care. 2023;27:254. DOI: https://doi.org/10.1186/s13054-023-04544-0

21. Jiang S. The programming method of Matlab language for solving AI-based digital health problems. J Commer Biotechnol. 2022;27(1):7-18. DOI: https://doi.org/10.5912/jcb1084

22. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke Vasc Neurol. 2017;2(4):230-43. DOI: https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101

23. Khoirom S, Sonia M, Laikhuram B, et al. Comparative analysis of Python and Java for beginners. Int Res J Eng Technol. 2020;7(8):4384-407.

24. Morilla MDR, Sans M, Casas A, et al. Implementing technology in healthcare: insights from physicians. BMC Med Inform Decis Mak. 2017;17:92. DOI: https://doi.org/10.1186/s12911-017-0489-2

25. Kumari A, Tanwar S, Tyagi S, et al. Fog computing for Healthcare 4.0 environment: opportunities and challenges. ComputElectr Eng. 2018;72:1-13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.08.015

26. Lin Z, Chen P, Chen L. Artificial intelligence in education: a review. IEEE Access. 2020;8:75264-78. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510

27. Paluszek M, Thomas S, Ham E. Practical Matlab deep learning. In: Paluszek M, Thomas S, Ham E. Matlab machine learning toolboxes. Berkeley, Califórnia: Apress; 2022. p. 25-40. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7912-0_2

28. Park CW, Seo SW, Kang N, et al. Artificial intelligence in health care: current applications and issues. J Korean Med Sci. 2020;35(42):e379. DOI: https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e379

29. Quilis EM. FactorLib: a Matlab library for static factor analysis. Madrid: Research and Statistics Department; 2019. 25 p. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.3416219

30. Santos LS, Secchi AR, Biscaia Junior EC. Toolbox Matlabpara solução de problemas de otimização dinâmica. Blucher Chem Eng Proc. 2015;1(2):11803-10. DOI: https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0877-22916-173744

31. Shah P, Kendall F, Khozin S, et al. Artificial intelligence and machine learning in clinical development: a translational perspective. NPJ Digit Med. 2019;2(69):1-5. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-019-0148-3

32. Silva JR, Medeiros FB, Moura FMS, et al. Uso das tecnologias de informação e comunicação no curso de medicina da UFRN. RevBrasEduc Med. 2015;39(4):537-41. DOI: http://doi.org/10.1590/1981--52712015v39n4e02562014

33. Silvestre D. OPTool - an optimization toolbox for iterative algorithms. SoftwareX. 2020;11:100371. DOI: https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.100371

34. Sunarti S, Rahman FF, Naufal M, et al. Artificial intelligence in healthcare: opportunities and risk for future. Gac Sanit. 2021;35(1):67-70. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.019

35. Tang J, Yuan F, Shen X, et al. Bridging biological and artificial neural networks with emerging neuromorphic devices: fundamentals, progress, and challenges. Adv Mater. 2019;31(49):1-34. DOI: https://doi.org/10.1002/adma.201902761

36. Tekinerdogan B. The future of software programming and software programmers. Wageningen University & Research. 2023;1(5):1-7. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29354.59847

37. Tomozei I, Axinte T, Paraschiv L. A brief introduction to the Matlab program. Technium Rom J Appl Sci Technol. 2023;9:54-9. DOI: https://doi.org/10.47577/technium.v9i.8801

38. Tong X, Choi SCT, Ding Y, et al. Guaranteed Automatic Integration Library (GAIL): an open-source Matlablibrary for function approximation, optimization, and integration. J Open Res Softw. 2022;10(1):1-7. DOI: https://doi.org/10.5334/jors.381

39. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. Nat Med. 2019;25:44-56. DOI: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7

40. Van de Ven GM, Siegelmann HT, Tolias AS. Brain--inspired replay for continual learning with artificial neural networks. Nat Commun. 2020;11:4069. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-020-17866-2

41. Aggarwal R, Sounderajah V, Martin G, et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis. NPJ Digit Med. 2021;4(65):1-23. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-021-00438-z

42. Alam MN. Codes in Matlab for training artificial neural network using particle swarm optimization. 2016 jul 15. 16 p. ResearchGate. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2579.3524

43. Wiljer D, Hakim Z. Developing an artificial intelligence–enabled health care practice: rewiring health care professions for better care. J Med Imaging Radiat Sci. 2019;50(4):S8-S14. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.09.010

44. Whittemore R, Knafl K. The integrative review: updated methodology. J AdvNurs. 2005;52(5):546-53. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

45. Van de Ven GM, Siegelmann HT, Tolias AS. Brain-inspired replay for continual learning with artificial neural networks. Nat Commun. 2020;11:4069. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-020-17866-2

46. Gupa Y, Ghosh T, Sharma P, et al. Medical image enhancement using Matlab. In: International Conference on AI Developments Across Domains [Internet]. Nova Delhi, Índia; 2025. [acesso em 2026 ago 6]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/397009028_Medical_Image_enhancement_using_Matlab

47. Macwan I, Zabinsk M, Belfadel D. Introduction to Matlab programming in fundamentals of engineering course. In: ASEE Annual Conference and Exposition [Internet]; 2021 jul 19-26 [acesso em 2026 ago 6]. p. 1-11. Disponível em: https://peer.asee.org/introduction-to-matlab-programming-in-fundamentals-of-engineering-course

48. Volosencu C. Matlab and Simulink applications. In: Volosencu C. Matlab – applications in engineering. Romania: IntechOpen; 2022. p. 1-9. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.91588

49. Liu R, Rong Y, Peng Z. A review of medical artificial intelligence. Glob Health J. 2020;4(2):42-5. DOI: https://doi.org/10.1016/j.glohj.2020.04.002

50. Yang J, Wong GKW, Dawes C. An exploratory study on learning attitude in computer programming for the twenty-first century. In: New media for educational change. 2018. p. 59-70. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8896-4_5

51. Dada OA, Aruleba K, Yunusa AA, et al. Information technology roles and their most-used programming languages. In: Proceedings of the International Conference on Information Technology. Cham: Springer; 2021. p. 1610-7. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96299-9_75

Recebido em 04/11/2025
Aprovado em 11/09/2026
Conflito de interesses: inexistente
Disponibilidade de dados: os dados de pesquisa estão contidos no próprio manuscrito
Suporte financeiro: este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo nº 304967/2024-6)

Editor responsável: Leonardo Vidal Mattos, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro/RJ), Brasil. Lattes: http://lattes.cnpq.br/0343170437330734, Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4800-0010, e-mail: leonardomattos@iesc.ufrj.br