


Inteligência Artificial em Contextos Restritos de Recursos: uma revisão no ensino de ciências

Artificial Intelligence in Resource-Constrained Environments: a review in science education

Inteligencia artificial en contextos de recursos limitados: una revisión en la enseñanza de las ciencias

Osmundo Rocha Claudino ^[a] 


Maceió, AL, Brasil

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Diego Dermeval ^[b] 

Maceió, AL, Brasil

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Luiz Rodrigues ^[c] 

Maceió, AL, Brasil

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Como citar: CLAUDINO, O. R.; DERMEVAL, D.; RODRIGUES, L. Inteligência Artificial em Contextos Restritos de Recursos: uma revisão no ensino de ciências. *Revista Diálogo Educacional*, Curitiba, PUCPRESS, v. 24, n. 83, p. 1325-1344, 2024. <https://doi.org/10.7213/1981-416X.24.083.DS03>

^[a] Doutorando em Educação, e-mail: osmundorc@servidor.uepb.edu.br

^[b] Doutor em Ciências da Computação e em Ensino (RENOEN), e-mail: diego.matos@famed.ufal.br

^[c] Doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional, e-mail: luiz.rodrigues@nees.ufal.br

Resumo

Técnicas de Inteligência Artificial na Educação (IAED) impactam processos de ensino-aprendizagem nos diversos domínios do conhecimento. Assim, este artigo de revisão focaliza implicações do uso da IA no ensino de Ciências, considerando os problemas da baixa proficiência científica e da baixa conectividade, que marcam o contexto educacional brasileiro. Tais implicações são analisadas a partir das seguintes questões de pesquisa: (QP1) Quais as implicações do uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), que utilizam técnicas de IA, no ensino de Ciências da Educação Básica? (QP2) Quais as contribuições do uso de IA na capacitação de professores de ciências? (QP3) Quais as contribuições do uso de técnicas de IA Desplugada no ensino de Ciências, em nível da Educação Básica? De uma Revisão Sistemática da Literatura em cinco bases de dados (*ACM Library; Science Direct; ISI Web of Science; Scopus; SpringerLink*) resultaram sete estudos primários, focalizando o (1) desenvolvimento de habilidades cognitivas e procedimentais; (2) apoio à formação de professores em serviço; e (3) provimento de *feedback unplugged* a professores e estudantes. Nossa RSL elucidou implicações significativas, não se limitando ao uso da IA Desplugada, dado que nenhum dos estudos reportou contribuições na Educação Básica, reiterando uma lacuna da pesquisa em ensino de Ciências.

Palavras-chave: *AI Unplugged. ITS. Scientific literacy. Proficiency in sciences.*

Abstract

Artificial Intelligence in Education (IAED) techniques impact teaching and learning processes in various fields of knowledge. Thus, this review article focuses on the implications of using AI in science teaching, considering the problems of low scientific proficiency and poor connectivity that characterise the Brazilian educational context. These implications are analysed based on the following research questions: (QP1) What are the implications of using Intelligent Tutor Systems (ITSs), which use AI techniques, in the teaching of Science in Basic Education? (QP2) What are the contributions of using AI in the training of science teachers? (QP3) What are the contributions of using Unplugged AI techniques in the teaching of Science in Basic Education? A Systematic Literature Review in five databases (ACM Library; Science Direct; ISI Web of Science; Scopus; SpringerLink) yielded seven primary studies, focussing on (1) developing cognitive and procedural skills; (2) supporting in-service teacher training; and (3) providing unplugged feedback to teachers and students. Our RSL elucidated significant implications, not limited to the use of Unplugged AI, given that none of the studies reported contributions in Basic Education, reiterating a gap in science teaching research.

Keywords: *AI Unplugged. ITS. Scientific literacy. Proficiency in sciences.*

Resumen

Las técnicas de Inteligencia Artificial en Educación (IAED) impactan los procesos de enseñanza y aprendizaje en varios campos del conocimiento. Así, este artículo de revisión se centra en las implicaciones del uso de IA en la enseñanza de las ciencias, considerando los problemas de baja competencia científica y mala conectividad que caracterizan el contexto educativo brasileño. Estas implicaciones se analizan con base en las siguientes preguntas de investigación: (QP1) ¿Cuáles son las implicaciones del uso de Sistemas Tutores Inteligentes (ITS), que utilizan técnicas de IA, en la enseñanza de Ciencias en Educación Básica? (QP2) ¿Cuáles son las contribuciones del uso de IA en la formación de profesores de ciencias? (QP3) ¿Cuáles son las contribuciones del uso de técnicas de IA Unplugged en la enseñanza de Ciencias en Educación Básica? Una Revisión Sistemática de la Literatura en cinco bases de datos (ACM Library; Science Direct; ISI Web of Science; Scopus; SpringerLink) arrojó siete estudios primarios, centrados en (1) el desarrollo de habilidades cognitivas y procedimentales; (2) el apoyo a la formación docente en servicio; y (3) la provisión de retroalimentación desenchufada a profesores y estudiantes. Nuestro RSL dilucidó implicaciones significativas, no limitadas al uso de IA desconectada, dado que ninguno de los estudios informó contribuciones en Educación Básica, lo que reitera una brecha en la investigación sobre la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave: *AI Unplugged. ITS. Alfabetización científica. Competencia en ciencias.*

Introdução

Os recentes avanços das técnicas de Inteligência Artificial na Educação (IAED) têm contribuído para alavancar os processos de ensino-aprendizagem, predominantemente por meio dos sistemas tutores *online*, impactando positivamente diversos domínios do conhecimento, em diferentes partes do mundo (Celik *et al.*, 2022; Zafari *et al.*, 2022). Resumidamente, um Sistema Tutor Inteligente (STI) é um programa de computador que executa tarefas relacionadas à capacidade cognitiva humana e que, particularmente, no escopo do ensino de ciências o seu uso, pautado em técnicas de IA, enseja grandes possibilidades de aperfeiçoamento de estratégias educacionais visando o enfrentamento dos problemas da baixa proficiência científica e o da baixa conectividade.

A baixa proficiência científica manifesta-se pela limitação da capacidade individual de leitura e interpretação de fenômenos básicos da ciência, repercutindo no nível de compreensão de grupos, comunidades e sociedades acerca dos construtos que distinguem a produção científica e tecnológica (OCDE/INEP, 2008, 2016). A condição de pessoa não alfabetizada ou não letrada cientificamente tende a afetar o exercício proativo da cidadania e, por conseguinte, o padrão de desenvolvimento intelectual, social, cultural, político e econômico compartilhado.

Na perspectiva mundial, os países situados no Sul Global, a grande maioria formada por nações emergentes tais como Nigéria, Indonésia, Equador, Azerbaijão etc., enfrentam problemas de baixo nível de desenvolvimento educacional, notadamente na área da Educação científica (OCDE/INEP, 2008, 2016). Precisamente, no contexto brasileiro, a baixa proficiência científica tende a se manifestar com maior intensidade nos estados e regiões geográficas de menor desenvolvimento econômico. As médias obtidas pelos estudantes da região Nordeste são as mais baixas do país, de maneira que, por exemplo, estudantes do Estado de Alagoas apresentaram o menor desempenho em todo o país, dado que enquanto eles obtiveram 360 pontos, os seus colegas do Estado do Espírito Santo, de melhor desempenho, alcançaram 435 de média (OCDE/INEP, 2016, p. 87-88).

Por outro lado, os entraves que caracterizam a baixa conectividade são causados por fatores tais como infraestrutura física deficitária, indisponibilidade de dispositivos, acesso e largura de banda de Internet limitados, exigências de habilidades básicas de informática (Isotani *et al.*, 2023), computação móvel dominante, instabilidade elétrica (Nye, 2015). As dificuldades de acesso dos estudantes a laboratórios convencionais e ao uso de aplicações tecnológicas educacionais, assim como a própria rigidez metodológica dos professores, tendem a reforçar barreiras à inovação do ensino de Ciências, estabelecendo relações de causas e efeitos entre baixos níveis de proficiência científica e padrões de conectividade aquém das necessidades (OCDE/INEP, 2016, p. 199-227).

Tais obstáculos redimensionam os desafios de implementação da IA em nível do ensino Fundamental e Médio (Nja *et al.*, 2023), considerando, também, que as pesquisas no campo da IAED têm priorizado a educação superior, educação especial, ensino de idiomas etc. No entanto, a lacuna de investigações criteriosas focando tendências e práticas atuais da IA na Educação científica revela-se ainda mais preocupante (Jia *et al.*, 2024). Por conseguinte, emerge um espaço considerável para a criação e adequação de soluções inovadoras, tal qual expressa no conceito de IA Desplugada (Isotani *et al.*, 2023), caracterizando-se basicamente por minimizar a exigência de grandes investimentos econômico-financeiros para implementação de técnicas de IA nos processos de ensino e aprendizagem.

Nesta perspectiva, nossa Revisão Sistemática da Literatura (RSL) busca precisamente contribuir com demandas das aplicações de IA no ensino de ciências, estruturando nossa trajetória a

partir das seguintes questões de pesquisa: (QP1) Quais as implicações do uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), que utilizam técnicas de IA, no ensino de Ciências da Educação Básica? (QP2) Quais as contribuições do uso de ferramentas de IA na capacitação de professores de ciências? (QP3) Quais as contribuições do uso de técnicas de IA Desplugada no ensino de Ciências, em nível da Educação Básica? Nossas consultas a cinco bases de dados (*ACM Library; Science Direct; ISI Web of Science; Scopus; SpringerLink*) identificaram sete estudos primários que destacam benefícios do uso de técnicas de IA no ensino básico de Ciências, todavia, através de acessos *online* a STIs e navegação em sites, abrangendo o (1) desenvolvimento e aprimoramento de habilidades cognitivas e procedimentais inerentes à aprendizagem por investigação; (2) apoio à formação de professores em serviço; e (3) provimento de *feedback unplugged*, um combinado de estratégia e suporte pedagógicos capaz de atender de modo personalizado e simultâneo uma quantidade elevada de estudantes, facilitando o trabalho dos professores em modo *online/off-line*.

Nossos resultados indicam uma lacuna importante para o avanço da investigação acadêmica, em razão do potencial da IAED Desplugada no sentido de incrementar a Educação científica, nomeadamente em contextos de baixa proficiência científica e baixa conectividade. Com efeito, atingimos proporções em que a exclusão dos estudantes dos benefícios IA Educacional tende a aprofundar desigualdades, representando um desafio para pesquisadores, educadores e formuladores de políticas públicas, sobretudo nos países do Sul Global (Prinsloo, 2018).

A seguir, apresentamos os conceitos de alfabetização/letramento ou literacia científica, IA na Educação e IA Desplugada na Educação, que são fundamentais à interpretação dos resultados obtidos por nossa RSL e às perspectivas de aprofundamento e iminentes intervenções de nossa investigação.

Mediação teórico-conceitual

Alfabetização, letramento ou literacia científica

A abordagem do conceito de alfabetização, letramento ou literacia científica (AC), no escopo desta RSL, decorre de que é uma atribuição básica do ensino de Ciências. Os termos que caracterizam a AC apresentam variações quanto à sua origem e tendem a acompanhar mudanças tecnológicas. A designação 'literacia' é uma tradução literal do inglês '*literacy*' para o idioma português de Portugal. Já o termo 'letramento' surgiu na cultura brasileira em 1986, indicando uma inovação no processo mais amplo de alfabetização, por meio do qual um grupo social ou indivíduo adquire o conhecimento relacionando-o às práticas sociais em vigor (Soares, 1998).

Duas atualizações foram bastante significativas nos ciclos em que o domínio de Ciências foi destaque do PISA. Em 2006, o aperfeiçoamento do conceito agregou os componentes "conhecimento de ciências" e "conhecimento sobre ciências" (OCDE/INEP, 2008) visando incrementar as análises sobre as habilidades e interesses que regem a produção do conhecimento científico. Em 2015, a atualização deveu-se à imersão no conhecimento da relação entre ciência e tecnologia e ao fortalecimento da noção de conhecimento sobre Ciências, com base na divisão em dois componentes: "conhecimento procedimental" e "conhecimento epistemológico" (OCDE/INEP, 2016, p. 37).

Na atualidade o conceito de AC mais amplamente difundido na literatura a descreve como a capacidade de leitura e interpretação de fenômenos relacionados à ciência básica e a ciência aplicada, bem como dos fatores sociais, culturais, políticos e econômicos no entorno. Desta forma, uma pessoa

alfabetizada ou letrada cientificamente desenvolve competências e habilidades para lidar com teorias, conceitos, hipóteses e procedimentos que são inerentes aos construtos da produção científica (OCDE/INEP, 2016).

Na prática, tais competências e habilidades estendem-se desde escolher uma alimentação adequada a compreender o funcionamento de leis físicas, podendo variar em três formas: AC Prática, AC Cívica e AC Cultural. (Shen, 1975). Cada uma dessas formas representa aplicações do conhecimento científico que não estão restritas apenas ao espaço escolar formal, inobstante o papel primordial da escola na popularização da ciência. Apropriar-se da AC corresponde a compreender a complexidade de temas como suprimento de alimento, controle de doenças, geração de energia, adaptação às mudanças climáticas, preservação de espécies ameaçadas de extinção, dentre outras questões (OECD, 2017).

Neste sentido, Pellegrino (2013) afirma que estabelecer critérios de avaliação da proficiência em Ciências implica, em última análise, determinar as habilidades e atitudes que os estudantes devem desenvolver para explicar, analisar, comparar, prever e modelar fenômenos de mundo, principalmente em nível do ensino Fundamental e Médio. Todavia, o que é significativo para o estudante saber e fazer sobre a ciência deve considerar:

(i) the kinds of conceptual models and evidence in which we expect students to engage, (ii) grade-level appropriate contexts for assessing performance expectations, (iii) options for task design features (e.g., computer-based simulations or animations, paper-pencil writing and drawing) and which of these are essential for eliciting students' ideas about the performance expectation, and (iv) the types of evidence that will reveal levels of student understanding and skill (Pellegrino, 2013, p. 321).

Em síntese, os desafios do ensino de Ciências refletem-se nos resultados das avaliações internacionais de desempenho dos estudantes, tornando o alcance de suas metas uma das condições essenciais para o exercício pleno da cidadania. Deste modo, a democratização dos processos de alfabetização/letramento científico depende, nomeadamente, da incorporação de metodologias inovadoras, por meio do acesso e uso das tecnologias “mais recentes e desequilibrantes” (Delizóicov *et al.*, 2009, p. 36).

IA na Educação

Quando abordamos especificamente as aplicações de tecnologias de IA na Educação (IAED), o conceito refere-se às ferramentas computacionais que permitem que máquinas aprendam e tomem decisões imitando as habilidades humanas de pensamento e ações racionais (Nja *et al.*, 2023). De acordo com Celik *et al.*, (2022) o termo inteligência artificial foi usado pela primeira vez por John McCarthy, em 1956, destacando a capacidade de computadores desempenharem tarefas associadas à capacidade cognitiva humana, envolvendo aprendizagem de máquina e resolução de problemas em áreas interdisciplinaridade da matemática, filosofia, psicologia, engenharia, neurociências etc.

Embora fujam do escopo de análise deste estudo, oferecemos algumas indicações de como a IA utiliza métodos analíticos classificados em aprendizagem de máquina, redes neurais e aprendizagem profunda (Aggarwal, 2018). A aprendizagem de máquina refere-se à capacidade de um algoritmo de computador selecionar, comparar e aprender com os dados, permitindo a tomada de decisões não programadas. Esta autonomia efetiva-se aplicando três modelos: modelo de aprendizagem

supervisionada, modelo de aprendizagem não supervisionada e modelo de aprendizagem por reforço (Lindner *et al.*, 2019). Por sua vez, as redes neurais artificiais revolucionaram o uso dos sistemas de IA, baseando-se no funcionamento dos neurônios do cérebro humano e possibilitando que a aprendizagem de máquina imite sensações e intuições humanas (Alloghani, 2018).

Do ponto de vista do que realmente interessa-nos acerca da usabilidade de suportes pedagógicos, baseados em IA, Celik *et al.*, (2022) destacam as limitações de conhecimento do contexto educacional, por parte dos desenvolvedores de IA, na lista dos principais empecilhos para tais ferramentas colaborarem de forma eficiente e equânime nas salas de aula. As expertises, experiências e necessidades dos professores raramente são consideradas, durante os processos de criação e desenvolvimento das tecnologias pautadas em IA (Chalvatza *et al.*, 2019).

A despeito da persistência das barreiras, os avanços recentes da IA, especialmente em Visão Computacional, Reconhecimento de Fala e Processamento de Idioma Nacional, diversificam formas de integração tecnológica com a Educação, impulsionando o uso de instruções programadas, monitoria inteligente, *chatbots*, acompanhamento de rendimento escolar, além de outros recursos que facilitam e intensificam as interações pedagógicas de professores e estudantes.

Particularmente, os STIs mantêm relação com o universo da informática na Educação há pelo menos 40 anos (Du Boulay, 2016). Ganhos de capacidade dos dispositivos redimensionaram exponencialmente os atributos que melhor definem um STI, dentre eles as capacidades de adequar estilos de aprendizagem, compatibilizar metas ou níveis de competência com demandas idiossincráticas, possibilitar formas de avaliação coerentes com os diferentes perfis dos estudantes e compatíveis com as características dos domínios de conhecimento, bem como oferecer *feedback online/off-line*.

A versatilidade do *feedback*, integrando estratégias e recursos para dinamizar a interação entre professores e estudantes, constitui um capítulo singular na ampliação do acesso aos benefícios da IAED. Patel *et al.*, (2022) relatam o impacto de uma experiência no ensino de álgebra, através da aplicação de *feedback* personalizado de atividades realizadas em modo *off-line*, com ou sem o apoio de sistemas inteligentes, por conseguinte, sugerindo uma definição para o termo *feedback unplugged*.

A implementação deste processo de integração papel-digital para monitoramento inteligente da aprendizagem de estudantes, que têm dificuldades de acesso a redes digitais *online*, reitera as múltiplas perspectivas para o desenvolvimento de técnicas de baixo custo, baseadas em IA, objetivando facilitar o ensino, a aprendizagem e a tomada de decisões em contextos educacionais desafiadores (Hwang *et al.*, 2020). Com efeito, as potencialidades das estratégias *off-line*, no campo da IAED, convergem significativas contribuições em distintos domínios, níveis e abordagens, inserindo-se nos esforços para criação de alternativas capazes de democratizar o acesso às tecnologias educacionais mais avançadas, principalmente considerando as dificuldades socioeconômicas e educacionais frequentes em países do Sul Global (Prinsloo, 2018).

IA Desplugada na Educação

A concepção de atividades desplugadas ou desconectadas teve origem no ensino das Ciências da Computação (CC) há mais de 30 anos (Lindner *et al.*, 2019), por meio de várias ações para facilitar a aprendizagem de conceitos, dispensando o uso de computadores. Posteriormente, tal estratégia foi se disseminando em nível do ensino Fundamental, na Educação de adultos e no estudo de idiomas, visando

familiarizar habilidades de programação, ainda com alguma conotação acrítica de disseminação do pensamento computacional (Ma *et al.*, 2023).

Neste esforço para despertar o interesse pelas CC e facilitar a aquisição de conceitos computacionais por estudantes do ensino Fundamental, Nishida *et al.*, (2009) delinearam o padrão pedagógico da atividade desplugada como aquele que (a) não requer necessariamente o uso de computadores ou materiais caros; (b) envolve a gamificação ou aprendizagem por desafios; (c) inclui a manipulação de objetos físicos para estimular movimentos cinestésicos; (d) provoca os estudantes a interagirem na descoberta de grandes ideias; (e) provê o compartilhamento e a remixagem de atividades; (f) oferece a oportunidade para contação de histórias; e (g) engloba atividades de fácil implementação.

A concepção pedagógica da IA Desplugada é particularmente impactante ao se constatar que, historicamente, o desenvolvimento de STIs tende a privilegiar os países mais desenvolvidos e, apenas recentemente, vem sendo considerada a adaptação dessa tecnologia às condições enfrentadas por países emergentes ou em desenvolvimento. De acordo com Nye (2015) a implantação ou implementação do uso de STI impõe exigências de habilidades básicas de computação por parte dos professores e estudantes, compartilhamento de *hardware*, computação móvel dominante, custos de dados, confiabilidade elétrica, disponibilidade de Internet, questões idiomáticas e culturais, que representam barreiras à expansão dos benefícios da IAED nos países de baixa ou média renda.

Com efeito, a implementação de técnicas de IA Desplugada no campo da Educação tem apresentado um caráter desafiador e inovador, na medida em que viabiliza soluções por meio de sistemas informáticos que operam em dispositivos de baixo custo, baixa conectividade e capacidade de captura de dados, e que são capazes de fornecer *feedback online/off-line* (Isotani *et al.*, 2023). Os elementos-chave dessa tecnologia englobam a conformidade, desconexão, *proxy*, multi-utilizador e dispensa da literacia digital, cuja repercussão torna necessário detalhá-los aqui.

A conformidade permite que o uso da IA efetive-se sem alterar a rotina do ambiente, a infraestrutura existente e sem provocar alterações radicais nas práticas pedagógicas vigentes. A desconexão leva em conta as dificuldades de acesso *online*, bem como a indisponibilidade de largura de banda de Internet, possibilitando o acesso sempre que possível para atualização dos modelos de IA, coleta de dados e fornecimento de *feedback*. A característica *proxy* permite a interconexão de linguagens, *hardwares* e plataformas, tendo em vista as carências decorrentes para acesso às tecnologias de IA. O diferencial multi-utilizador prevê que, na maioria das vezes, os equipamentos e outros recursos são compartilhados dentro da comunidade escolar e a exigência de *login* frequentemente gera barreiras ao uso das tecnologias. Finalmente, a dispensa da exigência de domínio de competências digitais complexas tende a facilitar sensivelmente a adesão de professores e estudantes.

A técnica de IA Desplugada, ora destacada, aplicada em contextos de persistentes desigualdades, favorece a inclusão digital apoiando escolas e professores em territórios mais remotos e/ou com dificuldades de acessibilidade ao sinal de Internet (Isotani *et al.* 2023). Contudo, o feito de maior repercussão na utilização de técnicas de IA Desplugada é estimular e pluralizar o desenvolvimento de competências cognitivas, aprimorando a leitura e a interpretação reflexivo-crítica de fenômenos naturais, eventos e/ou objetos.

Metodologia

Comumente o protocolo RSL compõe-se de três etapas principais: planejamento (questões de pesquisa, estratégia de busca, critérios de inclusão e exclusão), execução (processo de seleção de estudos primários, extração e síntese de dados) e relatório com resultados e análise (Paladines; Ramirez, 2020; Faria, 2016). Para dar conta do objetivo desta RSL, consideramos mais adequado o protocolo orientado para Informática na Educação (Dermeval; Coelho; Bittencourt, 2020), observando uma sequência que inclui: definição da estratégia de busca e período específico de busca; recuperação de trabalhos que atendam palavras-chaves pré-determinadas; e estabelecimento de critérios claros de inclusão e exclusão dos trabalhos buscados, além da indispensável discussão dos resultados.

Oportunamente, decidimos ampliar o alcance da nossa *string* de busca agregando os termos “*Proficiency in Science*” e “*Scientific Literacy*”, tradicionalmente aceitos nos relatórios do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (OECD, 2017), ambos correspondendo à designação de literacia científica.

Questões de pesquisa

Inicialmente, estabelecemos um recorte temporal de dez anos, entre 2013-2023, e após definirmos as palavras-chave (*AI Unplugged; Intelligent tutoring systems; Scientific literacy; Proficiency in sciences*) nossas questões de pesquisa buscaram identificar trabalhos que respondessem aos seguintes questionamentos:

- (QP1) Quais as implicações do uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), que utilizam técnicas de IA, no ensino de Ciências da Educação Básica?
- (QP2) Quais as contribuições do uso de ferramentas de IA na capacitação de professores de ciências?
- (QP3) Quais as contribuições do uso de técnicas de IA Desplugada no ensino de Ciências, em nível da Educação Básica?

Os propósitos que articulam nossas QPs buscam, em primeiro lugar, averiguar através da QP1 os efeitos, resultados ou consequências do uso de técnicas de IA no processo de ensino-aprendizagem de ciências, em nível da Educação Básica, geralmente caracterizado por resistência de natureza metodológica por parte dos professores (OCDE/INEP, 2008, 2016). A proposta da QP2 examina a aplicação de técnicas de IA na preparação dos professores, condição básica para ampliar os benefícios pedagógicos de inovações tecnológicas. A justificativa para a QP3 considera o potencial dos métodos de IA Desplugada e a vinculação direta dos objetivos do ensino de Ciências com o processo de alfabetização científica, particularmente em contextos de baixa proficiência e baixa conectividade, muito frequentes na realidade educacional brasileira.

Estratégia de busca

As buscas foram realizadas em cinco bases digitais, a saber: ACM Library; ScienceDirect; ISI Web of Science; Scopus; e Springer Link, às quais submetemos a *string* artificial intelligence in education OR intelligent tutoring systems AND scientific literacy OR proficiency in Science. Acrescentamos que a

ampliação da nossa string de busca agregando os termos “proficiency in Science” e “scientific literacy” levou em conta relatórios do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (OECD, 2013, 2017), possibilitando coletar artigos analisando temáticas relacionadas ao uso da IA na Educação básica de maneira ainda mais ampla, isto é, abrangendo tanto a IA como habilidade programática trabalhada (ou a ser trabalhada) em sala de aula, quanto do ponto de vista das implicações do seu uso em nível do ensino Fundamental e Médio. Contudo, em ambos os casos, necessariamente submetidos aos critérios de inclusão, exclusão e extração.

Critérios de inclusão e exclusão

Nossos critérios de admissão incluíram os estudos primários que analisam as implicações do uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), que utilizam técnicas de IA, no ensino de Ciências da Educação Básica; estudos que, no escopo do ensino de Ciências, abordam contribuições do uso de ferramentas de IA na capacitação de professores; e os que examinam contribuições do uso de técnicas de IA Desplugada no ensino de Ciências, em nível da Educação Básica.

Os critérios de exclusão descartaram os artigos não escritos em língua inglesa; artigos sem *abstract*, duplicados ou repetidos; estudos que não tivessem relação exclusiva com o uso de IA no ensino de Ciências, em nível do ensino Fundamental e Médio.

Processo de seleção

Nosso processo de seleção cumpriu três etapas. Na primeira, devido ao formato e mecanismos da ferramenta de busca, bem como à amplitude da *string*, agregando o termo ‘*proficiency in Science*’ ao termo ‘*scientific literacy*’, coletamos um número bastante considerável de documentos retornados. As bases retornaram 2.784 registros, entre artigos, e-books e outros documentos. Após a seleção, segunda etapa, realizada através da leitura dos títulos e das palavras-chave, excluímos 2.493 títulos por não atenderem aos critérios de inclusão. Assim, conseguimos selecionar 291 trabalhos, alcançando uma significativa redução do quantitativo de registros retornados.

Extração de dados

Na terceira e última etapa, procedemos à extração dos dados através da leitura metódica dos resumos dos artigos selecionados, resultando 285 rejeitados, por não atenderem aos critérios estabelecidos. Desta forma, extraímos seis estudos para análise detalhada dos respectivos textos. Os sete artigos extraídos englobam habilidades de Física, Química e Biologia, conforme mostra a tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Frequência (N, %) das características dos artigos revisados

Variável	Categoria	N	%
Ano	2014	1	14,3
	2015	1	14,3
	2016	1	14,3
	2017	1	14,3
	2020	1	14,3
	2022	2	28,5

Variável	Categoria	N	%
País	EUA	5	71,4
	Indonésia	1	14,3
	Tailândia	1	14,3
Temática	Diferenças individuais na identificação de fontes de conhecimento científico.		
	Melhorando a modelagem orientada por investigação na educação científica STI		
	Construção de modelos computacionais para o ensino de ciências		
	Habilidades práticas de investigação e escrita para induzir o aprendizado científico profundo dos estudantes usando STI		
	Explorando planos de aula de professores de ciências por meio da implementação de STI		
	Produção de planos para implementar o uso de tecnologias digitais em sala de aula		
	Pensamento computacional desconectado na preparação de professores para o ensino de ciências		
Domínio	Ciências Biológicas	3	42,8
	Ciências Físicas	4	57,2
	Ciências Químicas	2	28,5
Nível	Ensino Médio	4	57,2
	Ensino Fundamental	2	28,5
	Ambos (Fundamental e Médio)	1	14,3
Plataforma	Navegação em site	1	14,3
	Uso de STI	5	71,4
	Híbrido (navegação em site, STI)	1	14,3
Modalidade	online	6	85,7
	Off-line	0	
	Híbrido	1	14,3
Publicação	ACM Digital Library	1	14,3
	Springer Link	3	42,8
	ScienceDirect	3	42,8
Relação com a QP(s)	QP1	4	57,2
	QP2	2	28,5
	QP3	1	14,3

Fonte: Autor (2024).

Os dados extraídos, que sugerem resposta à QP1, examinaram os níveis diferenciados da proficiência dos estudantes em identificar evidências científicas, as concepções de paradigmas epistemológicos no mundo da ciência (Goldin et al., 2014), engajamento no uso de tecnologias digitais e motivação para realização de experimentos científicos (Joyner; Goel, 2015), a preferência demasiada pela exploração de modelos computacionais em detrimento do desenvolvimento de habilidades na construção deles (VanLehn et al., 2016) e a dissonância entre habilidades práticas da aprendizagem de ciências e a competência de escrever relatórios científicos (Li; Gobert; Dickler, 2017). A resposta à QP2 obteve um número reduzido de estudos, os quais interviram na capacitação de professores de ciências visando aperfeiçoar as competências de integração, imersão de redes digitais no ensino, (Gunawan et al., 2020), bem como destacaram o importante papel desempenhado pelo *feedback* dos professores durante programas de aperfeiçoamento profissional (Chaipidech et al., 2022).

Esclarecemos que, tanto pela carência de estudos sobre a preparação de professores de ciências para o uso de tecnologias baseadas em IA, quanto pela ausência de respostas específicas à QP3, decidimos inserir manualmente um estudo abordando o uso de *feedback unplugged* (Kite; Park, 2022). Assim, o conjunto de dados extraídos possibilitou uma densidade representativa para as nossas questões de pesquisas, conforme discutimos na seção seguinte.

Resultados e implicações

No recorte estipulado, os estudos sobre o uso de técnicas de IA no ensino de Ciências indicam o predomínio quase absoluto de acessos a STIs *online*, ocorrendo também uma pequena parcela associada à navegação em sites (cerca de 10%). Quanto à distribuição geográfica, há nítida preponderância dos estudos norte-americanos, com iniciativas pontuais de países do Sudeste Asiático.

A totalidade dos estudos são intervenções no processo de ensino-aprendizagem através de treinamentos, oficinas e capacitações, usando STIs, para motivar a produção e apropriação crítica de conhecimentos científicos. O monitoramento da aprendizagem dos estudantes é predominante, ainda que pontualmente incluam ações de preparação dos professores, em conjunto com seus alunos ou separadamente. Apenas um terço das investigações dedica-se exclusivamente à capacitação dos professores em serviço, intervindo para a prontidão, emponderamento e engajamento de tecnologias educacionais.

Assim, as implicações do uso de técnicas de IA no ensino de Ciências, em nível da Educação Básica, abrangendo o (1) desenvolvimento e aprimoramento de habilidades cognitivas e procedimentais inerentes à aprendizagem por investigação; (2) apoio à formação de professores em serviço; e (3) provimento de *feedback unplugged*, um combinado de estratégia e suporte pedagógicos capaz de atender de modo personalizado e simultâneo uma quantidade elevada de estudantes, facilitando o trabalho dos professores em modo *online/off-line*. Todavia, nas bases consultadas, os estudos não relataram precisamente o uso da IA Desplugada no ensino básico de Ciências.

STI na aprendizagem de Ciências por investigações

Com uma abordagem focada no exame da habilidade cognitiva epistêmica, o estudo sobre as diferenças individuais na identificação de fontes de conhecimento científico, em passagens de texto (Goldin et al., 2014), envolveu estudantes das mais diversas etnias, frequentando escolas públicas do

ensino fundamental (2º ao 8º anos), no subúrbio de uma grande cidade do sudeste dos EUA. Contrário à concepção de que o conhecimento pode ser transmitido por uma autoridade de cima para baixo, o referido estudo fundamentou-se na perspectiva do conhecimento autoconstruído por meio da experimentação.

Desta forma, a estruturação do ambiente digital para avaliar a proficiência dos estudantes na identificação de evidências científicas, denominado SoK (*Sources of Science Knowledge*), tomou em conta dois paradigmas de investigação dominantes: o domínio do raciocínio científico, para o qual os conhecimentos são construídos pelos estudantes através da experimentação com base em evidências e, noutro domínio, a premissa de que os conhecimentos são produzidos através de provas ou evidências testemunhais.

Ao considerar que, em geral, os estudantes não são confrontados com evidências experimentais ou testemunhais de outra pessoa isoladamente, a análise avalia que para poderem avaliar evidências científicas, os estudantes precisam antes estar aptos a identificar fontes de conhecimento científico (Goldin *et al.*, 2014, p. 153). Neste sentido, tendo lugar num laboratório de informática e contando com a assistência de especialistas pós-graduados, os estudantes foram treinados e orientados e puderam fazer perguntas durante a coleta de dados realizada através da leitura de cinco textos, cada um deles com passagens sobre fenômenos cientificamente aceitos, tais como Crescimento das Plantas, Esfericidade da Terra, Vida dos Dinossauros, Objetos em Queda Livre, Propriedades da Água etc.

Os achados indicaram que a percepção da dimensão 'observação' mostrou-se a mais difícil de ser alcançada e, embora a capacidade cognitiva epistêmica dos estudantes não melhore com o avanço da idade, o desenvolvimento dessa habilidade de identificação mostrou-se bastante produtiva nos estudantes mais jovens (Goldin *et al.*, 2014, p. 160).

Trilhando uma orientação mais frequente, associando habilidades cognitivas e procedimentais, Joyner e Goel (2015) defendem a concepção construcionista como processo orientado, no qual a instrução é fundamental para o êxito da aprendizagem por investigação. Os autores aplicaram técnicas de IA, por meio de STIs, para analisar a modelagem construcionista no ensino de Ciências, preliminarmente reconhecendo as relações entre a aprendizagem metacognitiva (maneira intrínseca de apropriação do conhecimento) e as habilidades processuais (aplicação do método da investigação científica).

Com base na comparação de resultados dos grupos de controle e experimental, Joyner e Goel (2015) concluíram que a modelagem de ensino de Ciências por investigação, usando tutores inteligentes (MILA e MILA-T), melhorou significativamente o engajamento e a literacia científica dos estudantes durante o estudo de fenômenos ecológicos complexos.

De modo semelhante, Li *et al.* (2017) analisaram a aprendizagem profunda dos estudantes em Ciências, a partir do esclarecimento da relação entre o fazer e a escrita científica. Ou seja, o estudo estabeleceu uma relação entre as práticas de investigação dos estudantes e a habilidade de comunicação escrita para relatar as atividades realizadas e comunicar achados da investigação.

Os autores recorreram ao modelo de argumentação proposto por Toulmin (1958) para avaliar explicações científicas, cujo modelo modificado apresenta três componentes: afirmação (que estabelece uma conclusão para a questão investigada), evidência (dados ou observações que apoiam ou refutam a afirmação) e raciocínio (o princípio científico que conecta os dados à afirmação e torna visível a razão pela qual as evidências apoiam ou refutam a afirmação). Os critérios de julgamento das

habilidades de investigação científica em ambientes digitais basearam-se em Mineração de Dados Educacionais (EDM) junto aos arquivos de log das atividades dos estudantes.

Os resultados mostraram que a quase totalidade dos estudantes que possuem elevada capacidade de escrita ou explanação também apresentam alta habilidade para desenvolver investigações científicas. Todavia, os autores concluem que formas de avaliação precisam considerar as diferentes competências e habilidades dos estudantes, uma vez que os resultados mostram alternâncias significativas entre as habilidades de conduzir uma investigação científica e a competência em escrever relatórios coerentes com os procedimentos realizados.

Também na linha de investigação das relações entre a capacidade cognitiva e habilidades procedimentais no uso de suporte tecnológico, associando processos de alfabetização/letramento científico e tecnológico, a análise profunda liderada por VanLehn *et al.* (2016) avaliou se a construção de modelos computacionais melhora a qualidade da aprendizagem sem aumentar o tempo necessário para apropriação de conceitos científicos utilizando-se métodos tradicionais.

Foram realizadas três experimentações: a primeira produziu resultados que foram desconsiderados por problemas metodológicos. A segunda demonstrou que o uso do Dragoon havia exigido tempo extra de uma aula, acrescentando em 50 min. O terceiro estudo exigiu o mesmo tempo das metodologias tradicionais de ensino, mas apresentou resultados mais satisfatórios, ratificando a eficácia pedagógica do suporte digital inteligente.

De acordo com VanLehn *et al.* (2016), os usos mais frequentes de modelos computacionais em atividades educacionais são de duas naturezas: construção de modelos e exploração de modelos. Os autores defendem que, embora exija mais tempo, a construção de modelos apresenta ganhos de aprendizagem.

STI na formação de professores de Ciências em serviço

Em meio à lacuna de investigações sobre a capacitação de professores de ciências em serviço para implementação de tecnologias educacionais, um valioso estudo sobre o treinamento de professores indonésios buscou ampliar as habilidades de pensamento de alto nível e a produção de planos de aula inovadores. A intervenção apoiou 29 professores na elaboração de planos de aula com a finalidade de implementar a aplicação de STIs no processo de ensino-aprendizagem, articulando as competências de integração, imersão e definição de rede (Gunawan *et al.*, 2020).

Os planos de aula foram avaliados conforme os critérios de (a) Integração curricular; (b) Atividade de aprendizagem; (c) Integração tecnológica; (d) Habilidades de pensamento complexo; e (e) Procedimentos de avaliação. Estes critérios foram sincronizados para reportar as competências principais de integração, imersão e de tipo em rede. Ao final foram produzidos Planos de Aula (PA), por cada um dos professores, os quais abarcaram as competências do tipo integração (12); imersão (9) e de tipo de rede (8).

Com outra proposta singular, Chaipidech *et al.* (2022), fundamentados na teoria da pedagogia andragógica, com o propósito de inovar tecnologicamente os programas tradicionais de profissionalização de professores (TPD), entrevistaram por meio de um programa de profissionalização de professores de Ciências para trabalhar utilizando a inteligência artificial como suporte pedagógico, todavia, valendo-se das próprias ferramentas de IA para personalizar a aprendizagem dos docentes durante a formação em serviço.

As características pedagógicas do programa TPACK integram os conhecimentos de conteúdo, pedagógico e tecnológico dos professores, fundamentando-se numa perspectiva andragógica, que se refere ao processo de aprendizagem de pessoas adultas, considerando os aspectos das experiências vividas para respaldar aprendizagens autodirigidas. Por sua vez, as características de técnicas possibilitaram aos professores interagirem com os módulos personalizados de diagnóstico, de recomendações e de evolução, compondo o sistema de aprendizagem ubíquo e personalizado para o desenvolvimento TPACK do professor em serviço.

Os resultados, avaliados em testes pré e pós-intervenção, demonstraram-se encorajadores para o engajamento dos professores, fortalecendo pressupostos tais como "Autoconceito", "Prontidão para aprender", "Motivação interna" (Chaipidech *et al.*, 2022, p. 9). A respeito das limitações do estudo, os autores reiteram a necessidade de as tecnologias de IA integrarem programas de formação de professores em serviço, salientando o papel do *feedback* fornecido pelo professores para orientar formuladores de políticas educacionais e designers de ambientes de IAED.

STI em *Feedback Unplugged*

Sem oferecer uma definição explícita de *feedback unplugged*, o estudo de Kite e Park (2022) descreve o recurso como instrumento para implementar o conceito de pensamento computacional desconectado dentro de um programa de capacitação de professores de ciências, realizado em escolas públicas de dois municípios de um Estado do sudoeste dos EUA.

A investigação revelou dificuldades iniciais para entendimento do próprio conceito de pensamento computacional, inobstante a escolha prévia deste tema com o propósito de melhorar a formação dos estudantes de escolas públicas norte-americanas, particularmente diante das desigualdades provocadas por fatores socioeconômicos.

Os autores acrescentam, ainda, que a execução do programa *Disconnected Computational Thinking in Science (CT-UP-S)* permitiu o desenvolvimento de diversas habilidades de cooperação entre os professores, oferecendo a troca de ideias para criação de estratégias de ensino com a finalidade de facilitar a integração do pensamento computacional desconectado com os conteúdos de Ciências. Os achados indicaram que a capacitação contribuiu para (a) melhorar significativamente a compreensão dos professores sobre o conceito de pensamento computacional; (b) melhorar a autoconfiança dos professores para integrar o pensamento computacional nos conteúdos de Ciências; e (c) ampliar sensivelmente a capacidades dos professores para redigir currículos de Ciências integrando abordagens sobre pensamento computacional desconectado.

Discutindo a baixa proficiência científica

Numa visão geral, os resultados da nossa RSL fortalecem as evidências de que o problema da baixa conectividade tende a agravar o problema da baixa proficiência científica. Assim, o propósito de discuti-los separadamente visa reiterar o potencial da IA Desplugada, em face dos desafios da Educação científica, bem como projetar a repercussão de nossas QPs em conjunturas de alcance global, nacional e/ou regional.

Com relativa surpresa, o domínio conceitual por parte dos professores mostrou-se uma questão que requer ações de ampliação de intervenções objetivando melhorar habilidades científicas dos

próprios professores. Outro aspecto relacionado indica que as poucas oportunidades de capacitação dos professores estão vinculadas a programas desenvolvidos por universidades ou são financiadas por órgãos de governança (Chaipidech *et al.*, 2022).

Ainda do ponto de vista do papel dos professores, as dificuldades para implementar práticas de ensino inovadoras podem decorrer de resistências metodológicas, verificadas em outros levantamentos (OCDE, 2016). Contudo, a maioria das experiências captadas demonstrou que os professores se engajaram com entusiasmo e desenvolveram processos de alfabetização/letramento científicos significativos, alguns deles fundamentando-se em parâmetros de proficiência científica do PISA (Gunawan *et al.*, 2020).

No que concerne ao desempenho cognitivo, as nossas buscas revelaram a eficácia dos estudantes em identificar e reconhecer fontes de conhecimento científico em passagens de texto, em ambientes digitais (Goldin *et al.*, 2014), todavia, contrastando com as dificuldades deles em escrever relatórios coerentes com práticas de investigação científica, imediatamente experimentadas (Li *et al.*, 2017).

Em diferentes circunstâncias, restou demonstrado que o apoio aos professores e aos estudantes, por meio do uso de STIs, alguns utilizando técnicas de IA *online* (Joyner; Goel, 2015), ampliou a capacidade mental e instrumental de ambos. Em síntese, os estudos examinados indicam que o problema da baixa proficiência científica emerge vinculado às condições contextuais, mas, fundamentalmente, depende do bom uso da infraestrutura disponível.

Em termos nacionais, a baixa proficiência científica dos estudantes brasileiros é bastante preocupante, inobstante o país represente uma das economias emergentes mais influentes do Planeta. De acordo com critérios de avaliação do PISA, 33% dos nossos estudantes têm um conhecimento científico limitado ou apenas com condições de explicar fenômenos científicos simples ou tirar conclusões óbvias de algumas poucas situações apresentadas (OCDE/INEP, 2008). Quando focamos nas disparidades regionais, as médias obtidas pelos estudantes da região Nordeste são as mais baixas do país. Nos ciclos de avaliações 2006 e 20015, em que o domínio de Ciências foi tema central das avaliações do PISA, as médias foram 359 e 396 pontos, respectivamente.

Para uma percepção mais evidente das disparidades internas, os estudantes do Estado de Alagoas, situado no Nordeste, apresentaram o menor desempenho em todo o país. Enquanto eles obtiveram 360 pontos, os seus colegas do Estado do Espírito Santo, na Região (Sul) de melhor desempenho, alcançaram 435 de média.

Tal como exemplificado nas circunstâncias captadas pela RSL, a baixa proficiência científica relaciona-se com fatores contextuais, embora muitos deles não expliquem as nossas contradições, por exemplo, em razão de mais de 50% dos estudantes brasileiros afirmar que gostam de ler, têm interesse ou se divertem quando estão aprendendo sobre tópicos de Ciências em geral. Além disso, cerca de 40% reportam o desejo de seguir carreira profissional em áreas relacionadas à ciência e à tecnologia, como engenharia e saúde. Esta média de interesse manifestada nos países da OCDE foi de 24%. (OCDE/INEP, 2016).

Discutindo a baixa conectividade

A baixa conectividade é causada pelas dificuldades de adoção, uso e apropriação de tecnologias digitais e pelas limitações ou falta de acesso à conexão confiável com a Internet. É um problema

inquietante em tempos de imersão tecnológica da IAED, exigindo esforços de estudantes, professores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas para não se tornar instrumento de aprofundamento das desigualdades no mundo. Isto se mostra particularmente desafiador para os países do Sul Global, senão vejamos o fato de que apenas 11% dos estudantes residentes na África Subsaariana têm computador doméstico e apenas 18% dispõem acesso à Internet, em comparação com os 50% e 57%, respectivamente, em todo o mundo (UNESCO, 2020).

No Brasil, em 2022, praticamente todas as escolas de Ensino Fundamental e Médio estavam conectadas à Internet (CGI.br, 2023), porém, a velocidade de conexão oscilava em torno de 51Mbps para 29% das escolas municipais e para 52% das escolas de Ensino Médio, patamar muito baixo em face da demanda de usuários e a natureza das atividades de aprendizagem. A baixa conectividade é um problema vivenciado principalmente por 61% dos estudantes das áreas rurais, os quais informaram não acessar a Internet na escola devido à baixa qualidade ou mesmo a ausência do sinal.

Nos estudos amostrados nesta revisão a questão da conectividade de professores e estudantes ainda se mostra pouco enfatizada, quer em contextos tecnológicos mais favoráveis (Joyner; Goel, 2015; VanLehn *et al.*, 2016), quer em situações menos favoráveis (Chaipidech *et al.*, 2022). A quase totalidade dos estudos realizou intervenções *online* (Goldin *et al.*, 2014), havendo, ainda, abordagens que alternam atividades síncronas e assíncronas, características da aprendizagem combinada e ubíqua (VanLehn *et al.*, 2016).

Considerações finais

O fato de o primeiro estudo sobre o uso de IA pelos professores ter sido publicado em 2004 (Celik *et al.*, 2022, p. 4), permite-nos estabelecer dois parâmetros de análise das limitações desta RSL: um que, eventualmente, possa ser atribuído ao quantitativo de estudos e outro em torno da percepção das lacunas de investigações sobre uso da IA no escopo do ensino de Ciências (Nja *et al.*, 2023), em contraposição à alta aceitação das tecnologias de IA frequentemente demonstrada pelos professores (Darayseh, 2023).

No que concerne às limitações do campo amostral, é valioso destacar as intercorrências naturais do processo de definição da *string* e as características das ferramentas públicas de busca, ou alargando demasiadamente a abordagem, com grande parte dos registros selecionados fugindo ao escopo do ensino básico de Ciências, ou restringindo severamente a extração de dados das bases digitais. Consideramos que nos inserimos no primeiro caso, pela própria quantidade de artigos retornados.

Talvez, a pertinência da crítica ao tamanho da amostra deva ponderar o fato de que a diversidade das questões presentes nos estudos relatados contemplou as dificuldades ou desafios centrais da Educação científica em todo o mundo (vide relatórios do PISA e documentos da UNESCO). Além disso, o fato de a IA Desplugada não ter sido precisamente reportada justifica a percepção da lacuna de investigações, paradoxalmente tendente a fortalecer evidências do seu potencial para superação do problema da baixa conectividade no domínio e contextos abordados.

Acreditamos que o fortalecimento de investigações sobre o potencial das ferramentas de IA Desplugada representa um apoio importante para os professores de ciências, notadamente diante das dificuldades que caracterizam os contextos de baixa conectividade. Da mesma forma, abrem-se

perspectivas de incremento da pesquisa com base em evidências, dadas as possibilidades de intervenções em contextos brasileiros, caracterizados por baixa proficiência científica.

Por outro lado, esta RSL reafirmou nossas convicções de que, em qualquer conjuntura analisada, o nível de desenvolvimento social, econômico, político e cultural é diretamente proporcional ao nível de proficiência científica e que, portanto, a Educação científica precisa ser priorizada como política pública, principalmente pelos sistemas educacionais dos países do Sul Global.

Finalmente, consideramos que expansão e êxito da IAED dependem da valorização do fator humano, devido à própria natureza afetiva das relações envolvidas no processo de ensino-aprendizagem, representando um dos muitos desafios aos designers de ambientes virtuais de aprendizagem, no sentido de sensibilizar e engajar os professores desde a criação de plataformas digitais inteligentes até a sua implementação na sala de aula.

Referências

- AGGARWAL, C. C. *Neural networks and deep learning*. Springer, 10, 978-3, 2018. doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0
- ALLOGHANI, M.; AL-JUMEILY, D.; MUSTAFNA, J.; HUSSAIN, A.; ALJAAF, A. J. A systematic review on supervised and unsupervised machine learning algorithms for data science. In: *Supervised and Unsupervised Learning for Data Science*. Springer, Cham., 2020, pp. 3–21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22475-2_1
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). *Notas sobre o Brasil no Pisa 2022*. Brasília, DF: Inep, 2023.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, 2018.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Pisa 2015: Análises e Reflexões Sobre o Desempenho dos Estudantes Brasileiros*. São Paulo: Fundação Santillana, 2016b.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Resultados nacionais – Pisa 2006: Programa Internacional de Avaliação de Alunos*. Brasília, DF: O Instituto, 2008.
- CELIK, I.; DINDAR, M.; MUUKKONEN, H. *et al.* The Promises and Challenges of Artificial Intelligence for Teachers: a Systematic Review of Research. *TechTrends*, v. 66, p. 616–630, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00715-y>
- CGI.br. *Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: TIC Domicílios 2022*. Disponível em: <https://www.cgi.br/media/docs/publicacoes>. Acesso em: 30 set. 2023.
- CONNECTIVIDADE significativa [livro eletrônico]: propostas para medição e o retrato da população no Brasil / Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR; tradução Ana Zuleika Pinheiro Machado. São Paulo: Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR, 2024.

- CHAIPIDECH, P.; SRISAWASDI, N.; KAJORNMANEE, T.; CHAIPAH, K. A Personalized learning system-supported professional training model for teachers' TPACK development. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 3, Article 100064, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100064>
- CHOUNTA, I. A.; BARDONE, E.; RAUDSEP, A. *et al.* Exploring Teachers' Perceptions of Artificial Intelligence as a Tool to Support their Practice in Estonian K-12 Education. *Int J Artif Intell Educ*, v. 32, p. 725–755, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00243-5>
- DARAYSEH, A. AI. Acceptance of artificial intelligence in teaching science: Science teachers' perspective, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 4, 100132, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100132>
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.; PERNAMBUCO, M.M. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2009.
- DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. P. de M.; BITTENCOURT, Ig I. Mapeamento Sistemático e Revisão Sistemática da Literatura em Informática na Educação. In: *Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa*. Porto Alegre: SBC, 2020.
- DU BOULAY, B. Artificial intelligence as an effective classroom assistant. *IEEE Intell, Syst.*, v. 31, n. 6, p. 76-81, 2016. DOI 10.1109/MIS.2016.93
- FARIA, Paulo M. *Revisão sistemática da literatura: contributo para um novo paradigma investigativo*. Santo Tirso/Portugal: Whitebooks, 2016.
- GOLDIN, I.; RENKEN, M.; GALYARDT, A.; LITKOWSKI, E. Individual differences in identifying sources of science knowledge. *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2014.
- GUNAWAN, K. D. H.; LILIASARI, S.; KANIAWATI, I.; SETIAWAN, W. Exploring Science Teachers' Lesson Plans by the Implementation of Intelligent Tutoring Systems in Blended Learning Environments. *Universal Journal of Educational Research*, v. 8, n. 10, p. 4776-4783, 2020. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081049>.
- G. J. HWANG; H. XIE; B.W. WAH; D. GAŠEVIĆ. Vision, challenges, roles and research issues of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, Article 100001, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>
- ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. I.; CHALLCO, G. C.; DERMEVAL, D.; MELLO, R. F. AIED Unplugged: Leapfrogging the Digital Divide to Reach the Underserved. In: WANG, N., REBOLLEDO-MENDEZ, G., DIMITROVA, V.; MATSUDA, N; SANTOS, O. C. (ed.). *Artificial Intelligence in Education. Posters and Late Breaking Results, Workshops and Tutorials, Industry and Innovation Tracks, Practitioners, Doctoral Consortium and Blue Sky*. Londres: Springer, 2023 Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36336-8_118 (*Communications in Computer and Information Science*, v. 1831).
- JOYNER, D.A.; GOEL, A.K. Improving Inquiry-Driven Modeling in Science Education through Interaction with Intelligent Tutoring Agents. In *Proceedings of the 20th International Conference on Intelligent User Interfaces*. Atlanta, GA, 2015. p. 5– 16.

KITE, V.; PARK, S. Preparing inservice science teachers to bring unplugged computational thinking to their students. *Teaching and Teacher Education*, 2022. 120. 103904. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103904>

JIA, F.; SUN, D.; LOOI, Ck. Artificial Intelligence in Science Education (2013–2023): Research Trends in Ten Years. *J Sci Educ Technol*, v. 33, p. 94–117, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10077-6>

LI, H.; GOBERT, J.; DICKLER, R. Dusting off the messy middle: Assessing students inquiry skills through doing and writing. In: E. ANDRÉ et al. (Ed.). *AIED 2017, LNAI 10331*. Londres: Springer International Publishing AG, 2017. p. 175–187. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61425-0_15

LINDNER, A.; SEEGERER, S.; ROMEIKE, R. Unplugged Activities in the Context of AI. In: POZDNIAKOV, S.; DAGIENÉ, V. (ed.). *Informatics in Schools. New Ideas in School Informatics. ISSEP. Lecture Notes in Computer Science*, Londres: Springer, 2019. 11913v. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9_10

MA, R.; SANUSI, I. T.; MAHIPAL, V.; GONZALES, J. E.; MARTIN, F. G. Developing machine learning algorithm literacy with novel plugged and unplugged approaches. [S. l., s.n.], 2023. (*Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, v. 1, p. 298-304).

NISHIDA, T.; KANEMUNE, S.; IDOSAKA, Y.; NAMIKI, M.; BELL, T.; KUNO, Y. A CS unplugged design pattern. *ACM SIGCSE Bull*, v. 41, n. 1, 231–235, 2009.

NJA, C. O.; IDIEGE, K. J.; UWE, U. E. et al. Adoption of artificial intelligence in science teaching: From the vantage point of the African science teachers. *Smart Learn. Environ*, v. 10, n. 42, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00261-x>

OECD. 28. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT PISA 2015 *Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*, revised edition, PISA, OECD Publishing, Paris, 2017. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264281820-en>

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *FT Sampling Guidelines*, 2015a. Bangkok, Thailand: [s.n.], 2013. Available in: <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Pisa2015FT-SamplingGuidelines.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PATEL, N. et al. Equitable Access to Intelligent Tutoring Systems Through Paper-Digital Integration. In: CROSSLEY, S.; POPESCU, E. (ed.). *Intelligent Tutoring Systems. Lecture Notes in Computer Science*. Londres: Springer, 2022. v. 13284. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09680-8_24

PEEL, A.; SADLER, T. D.; FRIEDRICHSEN, P. Learning natural selection through computational thinking: Unplugged design of algorithmic explanations. *Journal Of Research In Science Teaching*, v. 56, n. 7, 983e1007, 2019.

PRINSLOO, P. Context matters: an african perspective on institutionalizing learning analytic. In: *Include us all! Directions for adoption of learning analytics in the global south*. Quezon City, Philippines: Foundation for Information Technology Education and Development, 2018.

SHEN, B. S. P. Views: Science Literacy: Public Understanding of Science Is Becoming Vitally Needed in Developing and Industrialized Countries Alike. *American Scientist*, v. 63, n. 3, p. 265–68, 1975.

UNESCO. International Commission on the Futures of Education. *Education in a post-COVID world: Nine ideas for public action*. Paris: [s.n.], 2020.

SOARES, M. B. *Letramento, um tema em três gêneros*. Belo Horizonte: Editora Autêntica, 1998.

VANLEHN, K.; CHUNG, G.; GROVER, S.; MADNI, A.; WETZEL, J. Learning science by constructing models: can dragoon increase learning without increasing the time required? *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, v. 26, n. 4, p. 1033-1068, 2016.

ZAFARI, M.; BAZARGANI, J. S.; SADEGHI-NIARAKI A.; CHOI S. -M. Artificial Intelligence Applications in K-12 Education: A Systematic Literature Review, in *IEEE Access*, 2022. (vol. 10, p. 61905-61921). doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179356.

RECEBIDO: 19/07/2024

RECEIVED: 19/07/2024

APROVADO: 31/10/2024

APPROVED: 31/10/2024