

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)

Disciplina: Inteligência Artificial na Educação

Professor: Ig Bert

**Mentes, Máquinas e Salas de Aula: Uma História Corrigida e
Análise Crítica da Inteligência Artificial na Educação**

Autor: Fábio Linhares

Parte I: As Fundações Filosóficas e Psicológicas da IA na Educação

A trajetória da Inteligência Artificial (IA) e sua aplicação na educação é, em sua essência, a história de como a humanidade tem tentado compreender a si mesma. Muito antes que o primeiro circuito fosse sequer projetado ou que a primeira linha de código fosse escrita, as questões fundamentais que animam o campo da IA — a natureza do pensamento, a origem do conhecimento, a mecânica da aprendizagem e a relação entre mente e matéria — já eram o domínio da filosofia e, mais tarde, da psicologia.

É um erro, portanto, enxergar a evolução da IA na educação como uma mera progressão tecnológica. Ela é, na verdade, o reflexo direto de um debate secular sobre o que significa saber e como o saber é adquirido. Esta primeira parte do relatório estabelece a base intelectual sobre a qual toda a saga subsequente foi construída, argumentando que as tensões, os triunfos e as notórias limitações da IA educacional são heranças diretas das escolas de pensamento filosóficas e psicológicas concorrentes que buscaram, cada uma à sua maneira, decifrar o enigma da mente humana.

Capítulo 1: Da Lógica à Aprendizagem - Os Precursores Intelectuais

A concepção de uma inteligência artificial só se tornou de fato possível quando o próprio

pensamento, o raciocínio e o conhecimento foram transformados em objetos de estudo formal. Este capítulo traça a linhagem intelectual desde os primeiros esforços para mecanizar a razão até o surgimento de paradigmas psicológicos que forneceram os modelos e as metáforas para as primeiras e audaciosas tentativas de ensinar com e através de máquinas.

A Base Filosófica

A ideia de que a inteligência poderia ser replicada em um artefato não humano dependia de uma premissa radical: a de que o pensamento segue regras que podem ser formalizadas e manipuladas. Essa noção não surgiu com a computação, mas com a filosofia. A formalização do pensamento por Aristóteles, através do desenvolvimento de seus silogismos, foi a primeira tentativa sistemática de codificar o "pensamento correto". O silogismo, com seu exemplo canônico "Sócrates é um homem; todos os homens são mortais; logo, Sócrates é mortal", estabeleceu o princípio de que conclusões válidas poderiam ser geradas mecanicamente a partir de premissas corretas. Essa foi a semente da abordagem das "leis do pensamento" na IA, a crença de que a inteligência poderia ser reduzida a um processo de inferência lógica — um algoritmo para a razão. O trabalho de Aristóteles sugeria que, ao menos em parte, o raciocínio não era um ato místico, mas um procedimento que poderia, em princípio, ser executado por uma máquina.

Séculos depois, o debate sobre a natureza da mente se intensificou, estabelecendo uma dicotomia fundamental que ecoaria por toda a história da IA. René Descartes, com sua teoria do dualismo, propôs uma separação estrita entre a mente (a substância pensante, imaterial) e o corpo (a matéria física). Para ele, a mente e sua capacidade de raciocínio universal estavam fora do domínio das leis físicas que governavam as máquinas. Em sua visão, uma máquina, por mais sofisticada que fosse, jamais poderia replicar a flexibilidade e a universalidade da razão humana, pois suas ações seriam meramente o resultado de suas disposições mecânicas, incapazes de responder apropriadamente a toda a gama de situações da vida. Essa visão representou um desafio filosófico direto à própria possibilidade da IA.

Em oposição direta, a escola do materialismo, defendida por pensadores como Thomas Hobbes, argumentava que não existia uma mente imaterial; o cérebro, operando segundo as leis da física, constituía a própria mente. Hobbes foi ainda mais longe, postulando que o raciocínio em si era um processo computacional: "Pois 'razão'... não é senão 'cálculo', isto é, somar e subtrair". Essa visão materialista e mecanicista foi essencial para a IA, pois forneceu a justificativa filosófica de que um sistema puramente físico — seja um cérebro ou um computador — poderia, em princípio, dar origem à inteligência.

Paralelamente, a questão da origem do conhecimento deu origem a outra divisão crucial. O empirismo, de filósofos como John Locke e David Hume, defendia que o conhecimento é adquirido primariamente pela experiência sensorial. O princípio da indução de Hume, que postula que regras gerais são aprendidas pela exposição a associações repetidas, é um precursor

direto do paradigma do aprendizado de máquina, onde algoritmos inferem padrões a partir de grandes volumes de dados. Em contraste, o racionalismo enfatizava o papel da razão inata e da lógica.

A tensão histórica na IA entre as abordagens de "pensar humanamente" (modelagem cognitiva) e "agir racionalmente" (otimização) é uma herança direta desses debates. A busca por replicar o pensamento humano está enraizada na tradição empírica de observar como os humanos de fato pensam. Por outro lado, a busca por um comportamento ótimo através da lógica, independentemente de como os humanos o fazem, descende da tradição racionalista que valoriza a dedução formal e as "leis do pensamento". Assim, a própria estrutura do campo da IA reflete um cisma filosófico secular sobre a natureza da inteligência: se ela é algo a ser observado e imitado ou algo a ser formalmente definido e alcançado.

O Surgimento de Paradigmas Psicológicos Concorrentes

No século XX, esses debates filosóficos foram herdados e transformados pela psicologia. As escolas de psicologia que emergiram forneceram os modelos, as metáforas e, em última análise, as estratégias pedagógicas para a aplicação da IA na educação.

- **Behaviorismo:** Dominante na primeira metade do século, rejeitou o estudo de processos mentais, focando exclusivamente em comportamentos observáveis de estímulo-resposta. B.F. Skinner, seu maior expoente, argumentou que o comportamento é moldado por reforço e punição. Sua aplicação direta na educação foram as "máquinas de ensinar", que apresentavam material em pequenos passos e forneciam feedback imediato. Embora o behaviorismo tenha sido amplamente suplantado na psicologia, seus princípios foram ressuscitados na era moderna da IA através do Aprendizado por Reforço (RL).
- **Cognitivismo:** Surgindo nos anos 1950 como uma reação ao behaviorismo, a Revolução Cognitiva reabilitou o estudo da mente. Impulsionada pela ciência da computação, esta escola adotou a metáfora do computador para a mente, vendo o cérebro como um dispositivo de processamento de informação. O pensamento era visto como a manipulação de representações simbólicas internas de acordo com regras. O famoso seminário de 1956 no MIT é frequentemente citado como o ponto de partida tanto da ciência cognitiva quanto da IA como campo formal. O cognitivismo forneceu o paradigma dominante para a primeira onda de IA e, conseqüentemente, para os primeiros sistemas de tutoria inteligentes.
- **Construtivismo:** Associado a Jean Piaget, propôs que o conhecimento não é passivamente recebido, mas ativamente construído pelo aprendiz através da interação com o mundo. A aprendizagem é um processo de adaptação, onde novas experiências são assimiladas em estruturas de conhecimento existentes ("esquemas") ou esses esquemas são modificados para acomodar novas informações. Essa perspectiva, que enfatiza a agência do aprendiz, formaria a base para uma abordagem radicalmente diferente da IA na educação, que via o

computador não como um tutor, mas como uma ferramenta para a construção.

Essas três escolas — Behaviorismo, Cognitivismo e Construtivismo — não são apenas teorias distintas; elas encarnam visões de mundo sobre o papel do aprendiz, a natureza do conhecimento e o propósito da educação. Como veremos, cada uma deu origem a uma linhagem diferente de tecnologia educacional de IA, moldando não apenas o design dos sistemas, mas os próprios objetivos pedagógicos que eles buscavam alcançar.

Capítulo 2: O Paradigma Cognitivista - IA como Solucionador de Problemas Especialista

O paradigma cognitivista, com sua metáfora da mente como processador de informações, forneceu a primeira e mais influente moldura teórica para a aplicação da IA na educação. Liderado por pioneiros como Herbert Simon e Allen Newell, este movimento via a IA não apenas como uma proeza de engenharia, mas como uma ferramenta para a psicologia — um meio de criar modelos precisos dos processos de pensamento humano. Essa abordagem "neat" (arrumada) ou simbólica buscava destilar a cognição em sistemas de regras formais, com o objetivo de construir uma verdadeira "ciência da educação".

No coração da abordagem de Simon e Newell estava a busca por entender os processos inteligentes "independentemente de sua realização física". Sua estratégia de pesquisa era uma simbiose entre construir máquinas e estudar humanos. Eles criavam um programa de IA, como o General Problem Solver (GPS), para resolver problemas difíceis, baseando-se na intuição de como os humanos os abordavam. Em seguida, coletavam dados de humanos resolvendo os mesmos problemas, usando protocolos de "pensamento em voz alta". As sequências de raciocínio do programa eram então comparadas com as dos humanos, e o programa era refinado iterativamente. Isso levou à sua famosa **Hipótese do Sistema de Símbolos Físicos**, que postula que qualquer sistema que exibe inteligência o faz através da manipulação de símbolos de acordo com regras.

A transição para a tecnologia educacional foi direta. Simon e Newell acreditavam estar criando uma ciência que poderia descrever em detalhes "a informação e os programas que o executor habilidoso possui". A chave foi o conceito de **sistemas de produção**, que postulava que o conhecimento de um especialista poderia ser decomposto em um conjunto de regras "SE... ENTÃO...". John R. Anderson formalizou essa ideia em sua arquitetura cognitiva **ACT-R**, que se tornou o motor teórico para os **Tutores Cognitivos**.

Esses Sistemas de Tutoria Inteligentes (ITS) continham um modelo especialista codificado como regras ACT-R. O sistema monitorava as ações do aluno e, se um erro fosse cometido (uma ação que não correspondia a uma regra válida), fornecia feedback imediato. Esse processo, chamado de "rastreamento de modelo" (*model tracing*), demonstrou ser notavelmente bem-sucedido,

levando à fundação da Carnegie Learning Inc. para comercializar a tecnologia.

A abordagem cognitivista revelou sua suposição pedagógica fundamental: a educação é um processo de transmissão de conhecimento. O objetivo é fazer com que o novato pense como o especialista da forma mais eficiente possível. O sistema é a autoridade que detém o conhecimento correto, e o aluno é um recipiente que deve se alinhar a esse modelo. A escolha de projetar a IA como um tutor especialista não foi uma mera decisão tecnológica; foi uma escolha filosófica sobre a natureza do ensino.

Capítulo 3: O Paradigma Construcionista - IA como Ferramenta para a Descoberta

Enquanto a abordagem cognitivista florescia na Carnegie Mellon, uma visão radicalmente diferente tomava forma no MIT. Liderada por Marvin Minsky e, mais proeminentemente, por Seymour Papert, essa escola "scruffy" (despenteada) rejeitava as teorias unificadas da cognição. Em vez disso, focavam em abordagens de baixo para cima, inspiradas no desenvolvimento infantil. Essa perspectiva, influenciada pelo trabalho de Papert com Jean Piaget, levou a uma filosofia — o **Construcionismo** — que via o computador não como um instrutor, mas como um material de construção.

A trajetória de Papert foi única. Após anos trabalhando com Piaget em Genebra, ele se mudou para o MIT para continuar o estudo das crianças com novas ferramentas. A teoria central que emergiu foi a **Sociedade da Mente** de Minsky e Papert, que postulava que a mente é uma vasta "sociedade" de processos mais simples, ou "agentes". A inteligência emerge da interação complexa desses agentes, uma visão mais adequada para explicar a natureza gradual e confusa da aprendizagem infantil.

Essa filosofia de IA traduziu-se em uma nova filosofia para a tecnologia educacional. Papert readaptou o conceito de **micromundos** da IA — domínios simplificados para testar ideias complexas — para a educação. Nesses micromundos, os aprendizes não recebem instrução direta, mas aprendem através da experimentação e descoberta. A manifestação mais famosa foi a linguagem de programação **Logo**. A icônica "tartaruga" do Logo, um cursor gráfico que as crianças comandavam, era um ambiente para "aprender através da descoberta". Ao "ensinar" a tartaruga a desenhar, a criança era forçada a externalizar e depurar seu próprio pensamento.

Essa abordagem culminou na filosofia de Papert, o **Construcionismo**. Uma extensão do construtivismo de Piaget, ele acrescenta que a aprendizagem é especialmente eficaz quando os aprendizes estão "conscientemente engajados na construção de uma entidade pública". O ato de criar um artefato tangível torna o processo de construção do conhecimento concreto e social. A tecnologia aqui não é um tutor, mas um material de construção. A dinâmica de poder é invertida: no modelo cognitivista, o computador instrui o aluno; no modelo construcionista, a criança instrui o computador. O computador se torna um "objeto para pensar com". A divergência entre

Simon/Newell e Papert/Minsky não era apenas sobre técnicas de IA; era um debate sobre duas visões para a relação entre crianças, computadores e conhecimento.

Capítulo 4: A Ressurreição Improvável do Behaviorismo na IA Moderna

Enquanto cognitivismo e construtivismo travavam sua batalha ideológica, os princípios de uma escola de pensamento mais antiga, o behaviorismo, eram silenciosamente reincorporados ao núcleo da IA moderna. A ascensão do **Aprendizado por Reforço (RL)** representa uma notável ressurreição computacional das teorias de B.F. Skinner. Embora o behaviorismo como paradigma psicológico tenha sido desacreditado por sua recusa em considerar processos mentais, sua estrutura de moldar comportamento através de recompensas provou ser um modelo matemático extraordinariamente poderoso.

O behaviorismo de Skinner postulava que a aprendizagem é uma função da mudança no comportamento, onde ações seguidas por recompensas se tornam mais prováveis. Para Skinner, a mente era uma "caixa preta" irrelevante; o que importava era a relação observável entre estímulo, resposta e reforço.

A conexão com o RL moderno é direta e fundamental. O RL é um paradigma onde um agente de IA aprende a tomar decisões interagindo com um ambiente para maximizar uma recompensa cumulativa. A analogia é quase perfeita:

- O **animal na caixa de Skinner** corresponde ao **agente de IA**.
- A **ação do animal** (pressionar uma alavanca) corresponde à **ação do agente** (fazer uma jogada).
- A **recompensa** (pelota de comida) corresponde ao **sinal de recompensa** (+1 por vencer).
- O **comportamento condicionado** corresponde à **política** que o agente aprende.

Hoje, o RL é a força motriz por trás de sistemas como o AlphaGo. Na educação, ele potencializa sistemas de aprendizagem adaptativos. Uma aplicação crucial é o **Aprendizado por Reforço com Feedback Humano (RLHF)**, usado para alinhar grandes modelos de linguagem (LLMs) como o ChatGPT, onde o feedback humano funciona como a "recompensa".

A proeminência do RL representa uma vitória prática da visão behaviorista. Enquanto o cognitivismo insistia em modelos explícitos do conhecimento humano, muitos sistemas de RL aprendem políticas de comportamento eficazes que são, em grande parte, opacas. O AlphaGo, por exemplo, desenvolveu estratégias que confundiram os melhores jogadores humanos; ele aprendeu *o que fazer* para vencer, mas não de uma forma que pudesse ser traduzida em regras compreensíveis. Isso demonstra uma mudança filosófica: atingir um comportamento ótimo (um objetivo behaviorista) não requer necessariamente uma representação explícita do conhecimento (um requisito cognitivista). Em muitas de suas vitórias mais espetaculares, a IA moderna voltou-se para a abordagem de "agir racionalmente" através de um processo que é, em sua

essência, funcionalmente behaviorista.

Parte II: Uma Linha do Tempo Corrigida dos Marcos Tecnológicos

A história da IA na educação é frequentemente contada como uma progressão linear de tecnologias. No entanto, a narrativa real é mais complexa, marcada por saltos conceituais e divergências filosóficas que redefiniram a interação entre aluno e máquina. Esta parte corrige e enriquece a linha do tempo, estruturando-a em torno de sistemas-chave que demonstram a transição da simples instrução para ambientes de aprendizagem complexos.

Capítulo 5: A Gênese (1943–1970s) - Da Teoria aos Primeiros Tutores

O nascimento oficial da Inteligência Artificial é amplamente creditado ao **Workshop de Dartmouth** em 1956, organizado por figuras como John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell e Herbert Simon. A proposta do workshop estabeleceu a conjectura fundamental do campo: "que todo aspecto da aprendizagem ou qualquer outra característica da inteligência pode, em princípio, ser tão precisamente descrito que uma máquina pode ser feita para simulá-lo".

Antes dos sistemas verdadeiramente "inteligentes", os computadores já eram usados para instrução. O sistema **PLATO**, desenvolvido a partir de 1960, foi um pioneiro sistema de tempo compartilhado que, embora pedagogicamente simples, introduziu inovações tecnológicas profundas, incluindo uma das primeiras comunidades online do mundo com fóruns de discussão ("Notes") e chat ("Talkomatic").

O salto conceitual para a tutoria simulada ocorreu no início dos anos 1970, com sistemas que definiram o campo da IA na Educação (IAED).

Sistema (Período)	Proponentes Chave	Tecnologia Central	Abordagem Pedagógica	Inovação Chave	Significado Histórico
PLATO (1960s)	Donald Bitzer	Sistema de tempo compartilhado, CAI baseado em quadros	Instrução programada, entrega de conteúdo	Terminais gráficos, primeira comunidade online (Notes, Talkomatic)	Demonstrou a viabilidade da educação em rede e prenunciou a aprendizagem social online.
SCHOLAR (1970)	Jaime Carbonell	Rede semântica	Diálogo socrático, iniciativa mista	Geração dinâmica de perguntas/respostas, compreensão	Primeiro verdadeiro ITS; mudou o foco da entrega de

				de linguagem natural	conteúdo para a sondagem do entendimento conceitual.
SOPHIE (c. 1975)	John Seely Brown, Richard Burton	Simulação qualitativa, inferência baseada em modelos	Aprendizagem por descoberta, solução de problemas hipotético-dedutiva	Ambiente de aprendizagem reativo para experimentação	Pioneiro na aprendizagem baseada em simulação; enfatizou o desenvolvimento de habilidades processuais sobre fatos.
GUIDON (c. 1982)	William Clancey	Sistema especialista (baseado no MYCIN), sistema de regras	Tutoria baseada em regras, modelagem do aluno	Separação explícita do conhecimento de domínio e do conhecimento de tutoria	Primeiro ITS a tentar ensinar o raciocínio de um sistema especialista; estabeleceu um paradigma arquitetônico influente.

A progressão do PLATO ao GUIDON revela uma mudança fundamental: o foco inicial na entrega eficiente de fatos foi rapidamente suplantado por um interesse muito mais profundo em ensinar os alunos a *pensar* como especialistas. O desafio central da IAED tornou-se a representação e o ensino não apenas do conhecimento declarativo (fatos), mas do conhecimento processual e estratégico (habilidades de raciocínio).

Capítulo 6: A Era dos Especialistas e os Invernos da IA (1970s–1990s)

Este período foi uma era de extremos, marcada pelo entusiasmo comercial com os **sistemas especialistas** e pela desilusão dos "**invernos da IA**". Para a IA na educação, essa turbulência coincidiu com uma profunda fratura intelectual que dividiu o campo em facções concorrentes.

Sistemas especialistas como o MYCIN (diagnóstico médico) demonstraram desempenho de alto nível, impulsionando um boom na indústria. No entanto, eles se mostraram "frágeis", caros de construir e incapazes de aprender por conta própria. Quando as promessas não se materializaram, a bolha estourou, levando ao segundo e mais severo "inverno da IA" no final dos anos 80 e início dos 90.

Essa crise tecnológica exacerbou uma divisão filosófica na comunidade de IA na educação. As primeiras conferências de Inteligência Artificial e Educação (AIED) reuniram a abordagem cognitivista (ITS) e a construcionista (Logo). No entanto, a ascensão do **Situativismo**, que argumentava que o aprendizado é uma atividade fundamentalmente social e situada, desafiou diretamente a premissa dos ITS baseados em laboratório.

Roger Schank, um crítico da IA simbólica, capitalizou essa insatisfação. Em 1989, ele fundou o Instituto para as Ciências da Aprendizagem (ILS) e, em um movimento controverso, renomeou a conferência AIED de 1991 para a primeira **Conferência Internacional das Ciências da Aprendizagem (ICLS)**, preenchendo-a com pesquisadores alinhados às perspectivas situativista e construtivista.

Este evento cimentou a fratura. A comunidade AIED, marginalizada, restabeleceu sua própria conferência, mas a visão de uma parceria simbiótica deu lugar a uma visão mais aplicada, onde a IA era uma ferramenta de engenharia a ser usada *na* educação. O fracasso do paradigma de sistemas especialistas — e do ITS GUIDON, que herdou suas fraquezas — criou um vácuo intelectual que as teorias de Papert e Lave/Wenger preencheram, levando à criação de um campo rival.

Capítulo 7: O Renascimento Moderno (Anos 2000–Presente) - Dados, Aprendizagem Profunda e Democratização

Após os "invernos", a IA ressurgiu com uma força sem precedentes, impulsionada por uma "tempestade perfeita": a disponibilidade de **vastos conjuntos de dados (Big Data)**, o advento da **computação paralela (GPUs)** e avanços em **aprendizagem profunda (deep learning)**.

1. **Big Data (a partir de 2001):** A internet gerou um volume astronômico de dados, crucial para os modelos de aprendizado de máquina modernos, que são "famintos por dados".
2. **Computação Paralela (a partir de c. 2005):** O aproveitamento das Unidades de Processamento Gráfico (GPUs), projetadas para videogames, tornou-se a chave para realizar os cálculos massivamente paralelos necessários para treinar grandes redes neurais.
3. **Aprendizagem Profunda (a partir de 2011):** A combinação de big data e GPUs tornou viável treinar redes neurais com muitas camadas ("profundas"). O momento decisivo foi em 2012, quando um sistema de aprendizagem profunda (AlexNet) revolucionou o reconhecimento de imagem, desencadeando avanços em inúmeros domínios.

Essa nova onda de IA começou a potencializar uma nova geração de ferramentas educacionais mais sofisticadas e personalizadas. Ao mesmo tempo, a crescente autonomia dos sistemas de IA levantou profundas questões éticas sobre seu alinhamento com os valores humanos.

Refletindo essa preocupação, a 4ª edição do livro seminal de Russell e Norvig (2020) introduziu uma mudança fundamental no objetivo da IA: em vez de criar máquinas que maximizam uma

utilidade fixa, o objetivo passou a ser criar máquinas que buscam alcançar objetivos humanos, mas que são **inerentemente incertas** sobre quais são esses objetivos. Essa mudança reconhece o "problema do alinhamento de valores" e o risco do "Problema do Rei Midas", onde um objetivo mal especificado leva a consequências desastrosas. Um agente verdadeiramente benéfico deve ser cauteloso e permitir a correção humana, marcando uma nova fase na história do campo, onde ética e segurança se tornam tão centrais quanto o desempenho.

Parte III: O Motor Invisível - O Impacto do Software Livre e de Código Aberto

A narrativa convencional da IA, focada em algoritmos e hardware, ignora uma peça central. Paralelamente a esses avanços, uma revolução silenciosa na forma como o software é criado e distribuído estava criando as condições para o renascimento da IA moderna. O movimento do software livre e de código aberto (FOSS), e em particular o sistema operacional **GNU/Linux**, não foi um ator periférico; foi o **motor invisível** que democratizou o acesso, acelerou a inovação e construiu a própria infraestrutura sobre a qual a IA contemporânea foi erguida.

Capítulo 8: GNU/Linux e as Fundações da Computação Científica Aberta

No final do século XX, o GNU/Linux tornou-se a plataforma de fato para a pesquisa científica, suplantando os sistemas proprietários. Isso não foi acidental. As razões são claras:

- **Custo e Acessibilidade:** Sendo livre, eliminou as taxas de licenciamento, um fator transformador para laboratórios e universidades com orçamentos apertados.
- **Abertura e Personalização:** O acesso ao código-fonte permitiu que pesquisadores otimizassem o sistema para tarefas científicas específicas, um nível de controle impossível em sistemas de "caixa preta".
- **Herança Unix:** Cientistas já familiarizados com a filosofia do Unix encontraram no Linux a mesma funcionalidade poderosa em hardware de PC de baixo custo, tornando a transição natural.
- **Supremacia em Supercomputação:** Sua escalabilidade e flexibilidade o tornaram a escolha ideal para computação de alto desempenho. Em 2025, 100% dos 500 supercomputadores mais rápidos do mundo rodavam Linux. Como o treinamento de modelos de IA em larga escala é uma carga de trabalho primária para supercomputadores, o Linux se tornou a plataforma indispensável para a vanguarda da pesquisa em IA.

Essa adoção reflete um profundo **alinhamento cultural**. O ethos da ciência — transparência, revisão por pares, colaboração — espelha a filosofia do software livre. O Linux forneceu uma plataforma cuja estrutura social e ética era um reflexo da própria comunidade científica. Não era apenas uma ferramenta melhor; era a ferramenta *certa* para a cultura da comunidade.

Capítulo 9: A Democratização do Desenvolvimento da IA

A influência do FOSS vai muito além do sistema operacional. A disseminação de bibliotecas de

aprendizado de máquina de código aberto foi o catalisador que transformou a IA de uma disciplina de elite em um campo global e democratizado.

A ascensão do Python como a linguagem da ciência de dados, impulsionada por bibliotecas como NumPy e, crucialmente, **scikit-learn**, padronizou a prática e reduziu drasticamente a barreira de entrada. A revolução da aprendizagem profunda foi igualmente impulsionada por frameworks de código aberto. Ferramentas como **TensorFlow** (Google, 2015) e **PyTorch** (Facebook, 2016) deram a pesquisadores e estudantes de todo o mundo acesso às mesmas ferramentas usadas nos maiores laboratórios de tecnologia. Mais recentemente, a biblioteca **Transformers** da Hugging Face revolucionou o NLP ao tornar modelos massivos como BERT e GPT acessíveis a todos.

Ano	Biblioteca/Framework	Linguagem Principal	Contribuição Chave	Impacto na Pesquisa
1999	Weka	Java	Coleção abrangente de algoritmos de mineração de dados com uma GUI amigável.	"Tornou o ML clássico acessível para ensino e pesquisa aplicada, especialmente para não programadores."
2007	Scikit-learn	Python	Forneceu uma API unificada, simples e robusta para uma vasta gama de algoritmos de ML.	"Padronizou a prática de ML em Python, tornando-se a biblioteca padrão para tarefas de ML não relacionadas a deep learning."
2015	TensorFlow	Python/C++	Framework de grafos computacionais escalável para deep learning em larga escala, com forte suporte para produção.	"Lançado pelo Google, democratizou o acesso a ferramentas de deep learning de nível industrial e impulsionou a pesquisa em larga escala."

2016	PyTorch	Python/C++	Framework de deep learning com uma abordagem mais "pythônica" e grafos dinâmicos.	"Desenvolvido pelo Facebook, tornou-se o favorito na comunidade de pesquisa por sua flexibilidade e facilidade de depuração, acelerando a prototipagem."
2017	Hugging Face Transformers	Python	Forneceu implementações fáceis de usar de modelos de transformadores de última geração e um hub para compartilhar modelos pré-treinados.	"Revolucionou o NLP, tornando modelos massivos como BERT e GPT acessíveis a todos e criando um ecossistema colaborativo para o compartilhamento de modelos."

O impacto foi profundo: aceleração da inovação, transparência e, o mais importante, **democratização do acesso**. O acesso à IA de ponta não era mais limitado por licenças caras ou conhecimento de programação de baixo nível. O movimento de código aberto criou um novo paradigma de "inovação sem permissão", demolindo os portões que antes eram guardados por algumas poucas corporações e instituições de elite.

Parte IV: O Gargalo Humano - Avaliando a Hipótese da Estagnação

Apesar do ritmo vertiginoso do avanço tecnológico, a adoção e o impacto da IA no setor educacional têm sido notavelmente lentos e desiguais. Isso levanta uma questão crítica, que é a hipótese central desta análise: a estagnação na aplicação da IA na educação se deve à falta de ferramentas tecnológicas adequadas ou a barreiras mais profundas, de natureza humana e institucional? Argumento aqui que os principais gargalos para uma integração significativa da IA são, de fato, a falta de visão, a qualificação profissional inadequada e a inércia institucional.

Capítulo 10: Prontidão Tecnológica vs. Inércia Humana e Institucional

A hipótese é que a lacuna entre o potencial da IA e sua prática na educação é primariamente um problema humano, não tecnológico. A evidência disponível apoia fortemente essa proposição.

A tecnologia, em grande parte, já existe. Sistemas de tutoria inteligentes, plataformas adaptativas

e ferramentas de avaliação não são mais conceitos futuristas; são tecnologias maduras. A alegação de que a estagnação se deve à falta de ferramentas é, portanto, insustentável.

As barreiras reais são humanas e institucionais. A principal delas é a **lacuna na preparação dos professores**, que, em sua maioria, carecem de conhecimento, confiança e formação para integrar a IA de forma significativa. Os programas de formação de professores estão atrasados, focando mais em questões reativas (como o plágio) do que em uma visão proativa de como a IA pode transformar o ensino.

Some-se a isso as **preocupações pedagógicas e éticas legítimas** dos educadores: o medo da redução da interação humana, a preocupação com o viés algorítmico, a privacidade dos dados dos alunos e o risco de atrofiar o pensamento crítico. A falta de motivação e a resistência também são desafios-chave, muitas vezes decorrentes do medo de que a tecnologia desvalorize a profissão ou simplesmente não se alinhe aos seus objetivos pedagógicos.

A questão, portanto, não é apenas um déficit de habilidades, mas um profundo **descompasso de valores**. Muitas ferramentas de IA são projetadas com uma mentalidade de engenharia para otimizar métricas quantificáveis, alinhando-se à visão cognitivista de educação como transmissão de informação. No entanto, muitos educadores operam a partir de uma perspectiva mais construtivista ou humanista, valorizando o processo, o relacionamento e a investigação crítica.

A tecnologia está, frequentemente, resolvendo um problema (como entregar conteúdo de forma mais eficiente) que muitos educadores não consideram o problema mais importante a ser resolvido. A situação é análoga a dar um carrinho de mão robotizado a um servente de pedreiro, que, por falta de preparo, visão ou por simplesmente não ver valor na automação daquela tarefa específica, continua a empurrá-lo manualmente. A ferramenta pode ser avançada, mas se ela não for compreendida, se não houver um alinhamento com os objetivos do usuário ou se a cultura de trabalho for resistente à mudança, seu potencial será desperdiçado. A estagnação não é por falta de um "carrinho de mão" melhor, mas pela falta de preparo e visão para utilizá-lo.

Capítulo 11: O Imperativo da Liderança

Superar essa inércia e esse descompasso de valores exige uma liderança educacional proativa, informada e visionária. A falha em integrar a IA nas escolas não é, em última análise, uma falha da tecnologia ou dos professores isoladamente, mas uma **falha de liderança**.

As principais responsabilidades dos líderes educacionais na era da IA incluem:

- **Visão Estratégica e Política:** Articular uma visão clara de como a IA se alinha aos objetivos pedagógicos da instituição, desenvolvendo políticas que orientem seu uso ético e eficaz.

- **Alocação de Recursos e Infraestrutura:** Realizar um planejamento financeiro estratégico para garantir que a infraestrutura necessária seja implementada e que o acesso seja equitativo.
- **Desenvolvimento Profissional:** Defender e financiar um desenvolvimento profissional significativo e contínuo, que vá além do treinamento técnico e aborde as dimensões pedagógicas e éticas.
- **Governança Ética:** Gerenciar os riscos associados à IA, como a privacidade dos dados dos alunos e o viés algorítmico, estabelecendo políticas claras de governança e transparência.

O líder educacional moderno não pode ser apenas um "líder instrucional" ou um "gerente de tecnologia"; ele deve ser ambos: um **estrategista de tecnologia instrucional**. Um líder que entende de tecnologia, mas carece de visão pedagógica, comprará "gadgets" que acumulam poeira. Um líder pedagogicamente forte, mas sem letramento tecnológico, será incapaz de avaliar ou implementar novas ferramentas poderosas. A "lacuna de liderança" é, portanto, um dos principais motores da estagnação.

Capítulo 12: Conclusão – Reconectando Cultura Humana e Tecnologia para Destruir o Futuro da Aprendizagem

No nosso sentir, a trajetória da IA na educação parece demonstrar que, hoje, a tecnologia necessária já está amplamente disponível. Sistemas maduros de tutoria, plataformas adaptativas e ferramentas analíticas não são mais protótipos: são recursos consolidados e prontos para uso. A estagnação não decorre da ausência de soluções técnicas, mas da insuficiência de preparo humano, da inércia institucional e da falta de liderança visionária capaz de integrá-las de modo significativo.

Seguir investindo majoritariamente em novas tecnologias, sem antes resolver o déficit de visão, formação e alinhamento pedagógico, é perpetuar um ciclo estéril: esperar que a próxima inovação resolva problemas que são essencialmente humanos. A prioridade, portanto, no nosso sentir, não é reinventar a roda, mas aprender a conduzi-la. Cremos que superar esse impasse exige:

1. **Reposicionar o design de IA educacional** para servir à pedagogia, e não moldá-la; **Reformar profundamente a formação docente**, incorporando competências tecnológicas, éticas e críticas como elementos centrais;
2. **Formar lideranças bilíngues** em pedagogia e tecnologia, capazes de guiar mudanças estruturais;
3. **Fortalecer a colaboração interdisciplinar** entre IA e Ciências da Aprendizagem, com base em plataformas abertas e transparentes.

O verdadeiro salto qualitativo não virá de máquinas mais inteligentes, mas de um ecossistema

humano preparado para guiá-las com sabedoria e propósito. A tecnologia já está pronta; agora, é a vez de a educação se preparar para acompanhá-la.

Works cited

1. texto4.txt
2. What would Aristotle say about artificial intelligence? - BBVA, accessed August 13, 2025, <https://www.bbva.com/en/innovation/what-would-aristotle-say-artificial-intelligence/>
3. Aristotle and the limits of AI - AI Advances, accessed August 13, 2025, <https://ai.gopubby.com/aristotle-and-the-limits-of-ai-c1732e5b0f11>
4. scientiamag.org, accessed August 13, 2025, <https://scientiamag.org/ai-descartes-the-ai-scientist-revolutionizes-scientific-discovery/#:~:text=During%20the%2017th%20century%20in,separate%20entities%20that%20are%20in,terconnected.>
5. Introduction - Descartes and Artificial Intelligence - Masahiro Morioka - Journal of Philosophy of Life, accessed August 13, 2025, https://www.philosophyoflife.org/jpl2023si_intro.pdf
6. René Descartes - A History of Artificial Intelligence, accessed August 13, 2025, <https://ahistoryofai.com/descartes-2/>
7. Descartes' theory against artificial intelligence and the micro-world, accessed August 13, 2025, <https://epublications.marquette.edu/dissertations/AI3059388/>
8. What Is Artificial Intelligence? - Winder.AI, accessed August 13, 2025, <https://winder.ai/what-is-artificial-intelligence/>
9. Machines, minds and computers: 2.1 What is mind? | OpenLearn - The Open University, accessed August 13, 2025, <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/computing-ict/machines-minds-and-computers/content-section-2.1>
10. THE FRONTISPIECE OF HOBBS' LEVIATHAN AND ITS RELEVANCE TO AI ETHICS, accessed August 13, 2025, <https://sites.duke.edu/aasim/the-frontispiece-of-hobbes-leviathan-and-its-relevance-to-ai-et-hics/>
11. Philosophy of artificial intelligence - Wikipedia, accessed August 13, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Philosophy_of_artificial_intelligence
12. Reinforcement Learning: From Behaviorism to Artificial Intelligence (and Back Again) - | Community | CGScholar, accessed August 13, 2025, https://cgscholar.com/community/community_profiles/new-learning/community_updates/240195
13. Reinforcement Learning in Behavior Science and Artificial Intelligence - OSF, accessed August 13, 2025, <https://osf.io/preprints/psyarxiv/ue5vx/download>
14. Reinforcement Learning in Behavior Science and Artificial Intelligence - ResearchGate, accessed August 13, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/373555979_Reinforcement_Learning_in_Behavior_Science_and_Artificial_Intelligence
15. From Skinner's Teaching Machines to Nobel Ambitions: The Unlikely Trajectory of Reinforcement Learning by Rob Tyrie - Medium, accessed August 13, 2025, <https://medium.com/grey-swan-guild/from-skinner-teaching-machines-to-nobel-ambitions-the-unlikely-trajectory-of-reinforcement-5ecc9067f50e>
 16. From Skinner's Operant Conditioning to Artificial Intelligence's Algorithms - Medika Life, accessed August 13, 2025, <https://medika.life/from-skinner-operant-conditioning-to-artificial-intelligences-algorithms/>
 17. AI as the New Pigeon: Training Artificial Intelligence Through the Skinner Box Lens, accessed August 13, 2025, <https://ai.plainenglish.io/how-reinforcement-learning-mirrors-human-behavior-ai-through-the-lens-of-skinner-psychology-92675139b758>
 18. AI and Reinforcement Learning — Machines that Learn through Experience | by Eliran Natan | Cantor's Paradise, accessed August 13, 2025, <https://www.cantorsparadise.com/ai-and-reinforcement-learning-machines-that-learn-through-experience-e7eea7bb6765>
 19. Cognitive revolution - Wikipedia, accessed August 13, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_revolution
 20. The cognitive research behind AI's rise - Stanford Report, accessed August 13, 2025, <https://news.stanford.edu/stories/2024/11/from-brain-to-machine-the-unexpected-journey-of-neural-networks>
 21. A Brief History of Cognitive Computing - DATAVERSITY, accessed August 13, 2025, <https://www.dataversity.net/brief-history-cognitive-computing/>
 22. History of artificial intelligence - Wikipedia, accessed August 13, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_artificial_intelligence
 23. Constructivism - EdTech Books, accessed August 13, 2025, <https://edtechbooks.org/studentguide/constructivism>
 24. Constructivism in AI: Prospects, Progress and Challenges - University of Aberdeen, accessed August 13, 2025, <https://homepages.abdn.ac.uk/f.guerin/pages/guerinAISB2008.pdf>
 25. On Constructivism in AI — Past, Present and Future | by Aleksandra ..., accessed August 13, 2025, <https://artlexa.medium.com/on-constructivism-in-ai-past-present-and-future-6efe6f2d6478>
 26. (PDF) Constructionism and AI: A history and possible futures, accessed August 13, 2025, https://www.researchgate.net/publication/351374628_Constructionism_and_AI_A_history_and_possible_futures
 27. Seymour Papert and Constructionism | EBSCO Research Starters, accessed August 13, 2025, <https://www.ebsco.com/research-starters/religion-and-philosophy/seymour-papert-and-constructionism>
 28. Exploring Constructionist Pathways for Generative AI in Education - UNL Digital Commons, accessed August 13, 2025, <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1580&context=teachlearnfacp>

- [ub](#)
29. INTRODUCTION: FIFTY YEARS OF CONSTRUCTIONISM - MIT, accessed August 13, 2025,
https://mitp-content-server.mit.edu/books/content/sectbyfn/books_pres_0/12091/Intro.pdf?dl=1
 30. Constructionism - Stimpunks Foundation, accessed August 13, 2025,
<https://stimpunks.org/glossary/constructionism/>
 31. AI in Education: The Future of Learning - Robert F. Smith, accessed August 13, 2025,
<https://robertsmith.com/blog/ai-in-education/>
 32. On the Origins and Influences of Artificial Intelligence in Education, accessed August 13, 2025,
<https://jaxpef.discovertecweb.com/news-articles/on-the-origins-and-influences-of-artificial-intelligence-in-education>
 33. PLATO | Computer-Based Learning & Education System | Britannica, accessed August 13, 2025, <https://www.britannica.com/topic/PLATO-education-system>
 34. AI in CAI: An Artificial-Intelligence Approach - Stacks are the Stanford, accessed August 13, 2025, <https://stacks.stanford.edu/file/druid:xr633ts6369/xr633ts6369.pdf>
 35. Intelligent tutoring system - Wikipedia, accessed August 13, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_tutoring_system
 36. Intelligent Tutoring Systems - CoMPASS, accessed August 13, 2025,
<http://www.compassproject.net/Sadhana/teaching/readings/its.pdf>
 37. Intelligent Tutoring Systems - Google Books, accessed August 13, 2025,
https://books.google.com/books/about/Intelligent_Tutoring_Systems.html?id=H4BLRe2yy_8C
 38. John Seely Brown's research works | Palo Alto Research Center and ..., accessed August 13, 2025,
<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/John-Seely-Brown-2206010694>
 39. Intelligent Tutoring Systems - Google Books, accessed August 13, 2025,
https://books.google.com/books/about/Intelligent_Tutoring_Systems.html?id=pjqcAAA_MAAJ
 40. SOPHIE: A Step toward creating a reactive learning environment - OUCI, accessed August 13, 2025, <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/1Dzy3QG7/>
 41. Search Results - ERIC, accessed August 13, 2025,
<https://eric.ed.gov/default.aspx?q=descriptor%3A%22Instructional+Systems%22&ffl=author%2C+John+Seely>
 42. John Seely Brown: Chief of Confusion, accessed August 13, 2025,
<https://www.johnseelybrown.com/>
 43. Publications - John Seely Brown, accessed August 13, 2025,
<https://www.johnseelybrown.com/pubs.html>
 44. SOPHIE: A Step toward creating a reactive learning environment, accessed August 13, 2025,
<https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&id=W2106350297>
 45. (PDF) Adaptive Instructional Systems and Digital Tutoring - ResearchGate, accessed August 13, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/334365891_Adaptive_Instructional_Systems_and_Digital_Tutoring
46. Tutorial dialogue with SOPHIE (adapted from Brown et al. 1982) - ResearchGate, accessed August 13, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Tutorial-dialogue-with-SOPHIE-adapted-from-Brown-et-al-1982_fig3_324571586
 47. A Critical Review of Development of Intelligent Tutoring Systems: Retrospect, Present and Prospect - CiteSeerX, accessed August 13, 2025, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7ee69fbc060c462693ff4283622a3bb63fafefbf>
 48. AI in Education: Crafting Better Learning Experiences for All | DigitalOcean, accessed August 13, 2025, <https://www.digitalocean.com/resources/articles/ai-in-education>
 49. --GUIDON_engages_astudent in a dialogUe about - ERIC, accessed August 13, 2025, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED242311.pdf>
 50. GUIDON: A Computer-Aided Instructional Program. - DTIC, accessed August 13, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA139999.pdf>
 51. GUIDON - William J. Clancey, accessed August 13, 2025, <https://billclancey.name/GUIDON-Clancey-CBI1982.pdf>
 52. Knowledge-based tutoring: the GUIDON program, accessed August 13, 2025, <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&id=W1593414871>
 53. (PDF) Intelligent tutoring systems : A multidisciplinary approach - ResearchGate, accessed August 13, 2025, https://www.researchgate.net/publication/283562870_Intelligent_tutoring_systems_A_multidisciplinary_approach
 54. Why Linux Rules the World of Science - How-To Geek, accessed August 13, 2025, <https://www.howtogeek.com/why-linux-rules-the-world-of-science/>
 55. Harnessing the Power of Linux to Drive Innovations in Neuroscience Research, accessed August 13, 2025, <https://www.linuxjournal.com/content/harnessing-power-linux-drive-innovations-neuroscience-research>
 56. Neuroscience Runs on GNU/Linux - Frontiers, accessed August 13, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/neuroinformatics/articles/10.3389/fninf.2011.00008/full>
 57. Research | Linux Foundation, accessed August 13, 2025, <https://www.linuxfoundation.org/research>
 58. A brief history of machine learning: Software – BUAD 220: Emerging ..., accessed August 13, 2025, <https://buad220.sites.utk.edu/2025/02/01/a-brief-history-of-machine-learning-software/>
 59. Why open source is critical to the future of AI - Red Hat, accessed August 13, 2025, <https://www.redhat.com/en/blog/why-open-source-critical-future-ai>
 60. Role of Open Source Software in Rise of AI - Nutanix, accessed August 13, 2025, <https://www.nutanix.com/theforecastbynutanix/technology/role-of-open-source-software-in-rise-of-ai>
 61. The Rise of Open Source Models and Implications of Democratizing AI, accessed August

- 13, 2025, <https://www.computer.org/csdl/magazine/co/2025/08/11104064/28MaVd6ygs8>
62. Open-Source AI 2025: How Community Models Are Democratizing Innovation - AI CERTs, accessed August 13, 2025, <https://www.aicerts.ai/news/open-source-ai-2025-how-community-models-are-democratizing-innovation/>
63. www.aicerts.ai, accessed August 13, 2025, <https://www.aicerts.ai/news/open-source-ai-2025-how-community-models-are-democratizing-innovation/#:~:text=3%20hours%20ago-,Open%2DSource%20AI%202025%3A%20How%20Community%20Models%20Are%20Democratizing%20Innovation,longer%20limited%20to%20big%20tech.>
64. The Democratization of AI: A Pivotal Moment for Innovation and Regulation - Justia's Verdict, accessed August 13, 2025, <https://verdict.justia.com/2025/02/24/the-democratization-of-ai-a-pivotal-moment-for-innovation-and-regulation>
65. New Study Shows Open Source AI Is Catalyst for Economic Growth, accessed August 13, 2025, <https://about.fb.com/news/2025/05/new-study-shows-open-source-ai-catalyst-economic-growth/>
66. Is Open Source the Future of AI? A Data-Driven Approach - MDPI, accessed August 13, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2790>
67. AI in Schools: Pros and Cons - College of Education | Illinois, accessed August 13, 2025, <https://education.illinois.edu/about/news-events/news/article/2024/10/24/ai-in-schools--pros-and-cons>
68. Challenges and best practices in training teachers to ... - Frontiers, accessed August 13, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1470853/full>
69. Empowering ELA Teachers: Recommendations for Teacher Education in the AI Era, accessed August 13, 2025, <https://citejournal.org/volume-25/issue-1-25/english-language-arts/empowering-ela-teachers-recommendations-for-teacher-education-in-the-ai-era/>
70. Preservice Teachers' Readiness for Integrating AI in Elementary Classrooms - Redfame Publishing, accessed August 13, 2025, <https://redfame.com/journal/index.php/jets/article/download/7785/6938>
71. AI is Evolving, but Teacher Prep is Lagging: A First Look at Teacher ..., accessed August 13, 2025, <https://crpe.org/ai-is-evolving-but-teacher-prep-is-lagging/>
72. Unveiling the shadows: Beyond the hype of AI in education - PMC - PubMed Central, accessed August 13, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11087970/>
73. Assessing teachers' readiness and perceived usefulness of AI in education: an Estonian perspective - Frontiers, accessed August 13, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2025.1622240/full>
74. Artificial Intelligence in the Education of Teachers: A Qualitative Synthesis of the Cutting-Edge Research Literature - DergiPark, accessed August 13, 2025, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3902641>
75. AI Integration and Barriers in Education - Arts Management and Technology Lab, accessed August 13, 2025,

- <https://amt-lab.org/blog/2025/2/msilfg56bx713pgscl8ia13j86yeed>
76. Faculty Experts on AI in the Classroom: Obstacle or Opportunity? - American University, accessed August 13, 2025, <https://soeonline.american.edu/blog/ai-in-the-classroom-obstacle-or-opportunity/>
 77. Breaking Faculty Barriers to AI Literacy: Adoption, Incentives, and Scaling Strategies, accessed August 13, 2025, <https://www.digitaleducationcouncil.com/post/breaking-faculty-barriers-to-ai-literacy-adoption-incentives-and-scaling-strategies>
 78. AI in School Management: A New Era of Leadership | AI in Education at Oxford University, accessed August 13, 2025, <https://aieou.web.ox.ac.uk/article/ai-school-management-new-era-leadership>
 79. Educational Technology: Effective Leadership and Current Initiatives - ERIC, accessed August 13, 2025, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED527339.pdf>
 80. Exploring integration aspects of school leadership in the context of digitalization and artificial intelligence | International Journal of Educational Management - Emerald Insight, accessed August 13, 2025, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijem-11-2024-0703/full/html>
 81. Full article: Transforming School Leadership with Artificial Intelligence: Applications, Implications, and Future Directions - Taylor & Francis Online, accessed August 13, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15700763.2024.2411295>
 82. Key factors influencing educational technology adoption in higher education: A systematic review - PMC - PubMed Central, accessed August 13, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12040101/>
 83. (PDF) Artificial Intelligence in Educational Leadership: Risks and Responsibilities, accessed August 13, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385383790_Artificial_Intelligence_in_Educational_Leadership_Risks_and_Responsibilities
 84. (PDF) The Role of Technology in Enhancing Educational Leadership - ResearchGate, accessed August 13, 2025, https://www.researchgate.net/publication/388918971_The_Role_of_Technology_in_Enhancing_Educational_Leadership
 85. Reversing the Influence: How Teacher Technology Adoption Shapes Principal Digital Leadership Practice? | International Journal of Educational Development, accessed August 13, 2025, <https://international.aspirasi.or.id/index.php/IJED/article/view/178>