

## Jogando o jogo inteiro: como a escolarização aberta com STEM e IA empodera os estudantes para transformar vidas e o planeta

Alexandra Okada<sup>1</sup>

### Resumo

Este artigo argumenta que o letramento em Inteligência Artificial (IA) e as competências transversais não emergem de abordagens fragmentadas e descontextualizadas, nem do mero acesso à tecnologia. Em vez disso, desenvolvem-se por meio da escolarização aberta, quando os estudantes se envolvem com problemas comunitários significativos que lhes interessam, constroem conhecimento curricular relevante e atuam em colaboração com escolas, famílias e cientistas. Em três países, seis professores implementaram o CUIDAR-SABER-FAZER com 330 estudantes de famílias de baixa renda, com idades entre 12 e 19 anos. Este estudo qualitativo analisa relatórios de aulas, pesquisas e entrevistas, triangulando os resultados dos estudantes para identificar convergência sem reanálise. Os contrastes entre países revelam variações contextuais e inflexões pedagógicas, oferecendo uma interpretação rigorosa sem implicar causalidade. Ao articular a pedagogia da autonomia de Freire, o “jogo inteiro” de Perkins e a educação orientada para a ação de Hodson com o CUIDAR-SABER-FAZER, o design pedagógico foi identificado como a principal alavanca para a equidade em confiança, agência e aspiração, com os professores posicionados como educadores-chave para capacitar os estudantes no presente e no futuro.

**Palavras-chave:** escolarização aberta; CUIDAR-SABER-FAZER; *design* pedagógico; agência estudantil; competências transversais.

*Playing the Whole Game: how open schooling with STEM and AI Empowers Students to Transform Lives and the Planet*

### Abstract

*This article argues that Artificial Intelligence (AI) literacy and transversal skills do not emerge from fragmented and decontextualised approaches, nor from technology access alone. Instead, they develop through open schooling when students engage with meaningful community problems they care about, build relevant curriculum knowledge, and act with schools, families, and scientists. Across three countries, six teachers implemented CARE-KNOW-DO with 330 students from low-income families aged 12–19. This qualitative study analyses teachers' lesson reports, surveys, and interviews, triangulating student findings to identify convergence without re-analysis. Country contrasts reveal contextual variations and pedagogical inflections, offering rigorous interpretation without implying causality. Linking Freire's pedagogy of autonomy, Perkins' playing-the-whole-game, and Hodson's action-oriented education with CARE-KNOW-DO, pedagogical design was identified as the primary lever for equity in confidence, agency, and aspiration, with teachers positioned as key educators in empowering students now and in the future.*

**Keywords:** open schooling; CARE-KNOW-DO; pedagogical design; student agency; transversal skills.

<sup>1</sup> Doutora em Educação; Professora Associada em Educação Global e Transformação Digital na Open University (Reino Unido); e no Laboratório de Políticas Inclusivas da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). E-mail: [ale.okada@open.ac.uk](mailto:ale.okada@open.ac.uk) – ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1572-5605>.

*Jugando el juego completo: cómo la escolarización abierta con STEM e IA empodera a los estudiantes para transformar vidas y el planeta*

### **Resumen**

*Este artículo sostiene que la alfabetización en Inteligencia Artificial (IA) y las competencias transversales no surgen de enfoques fragmentados y descontextualizados, ni del mero acceso a la tecnología. Por el contrario, se desarrollan a través de la escolarización abierta, cuando el estudiantado se involucra en problemas comunitarios significativos que le importan, construye conocimiento curricular relevante y actúa en colaboración con escuelas, familias y científicos. En tres países, seis docentes implementaron el modelo CUIDAR–SABER–HACER con 330 estudiantes de familias de bajos ingresos, con edades entre 12 y 19 años. Este estudio cualitativo analiza informes de aula, encuestas y entrevistas, triangulando los resultados del estudiantado para identificar convergencia sin reanálisis. Los contrastes entre países revelan variaciones contextuales e inflexiones pedagógicas, ofreciendo una interpretación rigurosa sin implicar causalidad. Al articular la pedagogía de la autonomía de Freire, el enfoque del “juego completo” de Perkins y la educación orientada a la acción de Hodson mediante el modelo CUIDAR–SABER–HACER, el diseño pedagógico se identifica como la principal palanca para la equidad en confianza, agencia y aspiración, con el profesorado posicionado como educadores clave para capacitar al estudiantado en el presente y en el futuro.*

**Palabras clave:** escolarización abierta; CUIDAR–SABER–HACER; diseño pedagógico; agencia estudiantil; competencias transversales.

## **1 INTRODUÇÃO**

Em uma era de aceleração da crise climática, ampliação das desigualdades digitais e desafios urgentes de sustentabilidade, a educação deve se tornar uma força de transformação, e não apenas de transmissão de conhecimento. Em 2015, quatro marcos históricos redefiniram o cenário educacional global: (1) a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (Assembleia Geral das Nações Unidas – AGNU, 2015); (2) o Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas, da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC (Nações Unidas, 2015); (3) a fundação da OpenAI em 2015, concebida com princípios voltados ao bem comum da humanidade; e (4) o lançamento da escolarização aberta (*open schooling*) pela Comissão Europeia, como uma abordagem inovadora para capacitar estudantes a enfrentar desafios do mundo real em colaboração com famílias, pesquisadores e a sociedade (União Europeia – UE, 2015).

Uma década depois, em 2025, a realidade é preocupante. As metas dos ODS permanecem longe da realização da Agenda 2030, o Acordo de Paris enfrenta uma catástrofe climática cada vez maior, e a OpenAI gera sérias preocupações sobre

desigualdades sociais e divisões digitais. Apesar dos investimentos em larga escala e das parcerias internacionais, a escolarização aberta permanece pouco compreendida, ambígua e fragmentada em projetos isolados, raramente incorporados à prática institucional. Falta um quadro de referência robusto para a escolarização aberta com IA orientada à sustentabilidade; este estudo responde a essa lacuna em três países (Okada, 2024, 2025).

No entanto, este momento também representa um ponto de virada. No contexto da escolarização aberta, o projeto CONNECT, apoiado pela Comissão Europeia, foca comunidades com desafios socioeconômicos — da Amazônia ao Mediterrâneo, de bairros com poucos recursos do Reino Unido à Grécia rural. Evidências de estudos desenvolvidos no âmbito desse projeto mostram que, quando os professores adotam a pedagogia CARE-KNOW-DO (Cuidar/importar-se, Saber/conhecer, Fazer/agir), baseada em questões reais que interessam aos estudantes, integrando o conhecimento curricular necessário e ações com especialistas locais e famílias, a aprendizagem transformadora ocorre. Estudantes antes desengajados tornam-se investigadores, professores passam de transmissores de conhecimento a facilitadores colaborativos, e famílias deixam de ser apoiadoras passivas para se tornarem coeducadoras e parceiras na aprendizagem de seus filhos (Okada, 2023, 2024, 2025).

Com base nessas evidências, este artigo propõe um sistema integrado de escolarização aberta com IA e ação climática e examina como professores, atuando como educadores-pesquisadores, capacitam estudantes em contextos de desigualdade socioeconômica a se desenvolverem como agentes de mudança.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A transformação educacional permanece frágil, limitada por barreiras interconectadas entre estudantes, professores e sistemas educacionais (Ainscow; Chapman, 2025). Currículos centrados em conteúdos fragmentados e avaliações de alto risco tendem a gerar desengajamento estudantil; professores enfrentam restrições estruturais que inibem a investigação autêntica e a pedagogia colaborativa; e os sistemas priorizam cobertura e avaliação de conteúdos em detrimento de competências como adaptabilidade, raciocínio ético e resolução de problemas sociais. Tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial (IA), podem intensificar essas

desigualdades ou abrir novas oportunidades, a depender do desenho pedagógico adotado (OCDE, 2024; TechUK, 2025).

A escolarização aberta desafia a educação transmissiva ao centrar-se na problematização de questões reais por meio de parcerias dentro e fora da escola. Ela possibilita práticas nas quais a IA atua como ferramenta para uma aprendizagem equitativa e orientada por problemas, conectando escolas, famílias, comunidades e cientistas, e preparando os estudantes para enfrentar desafios globais complexos de forma responsável (UE, 2015).

Diferentemente da “escola aberta”, que enfatiza currículos flexíveis, e da “educação aberta”, centrada no acesso a conteúdos, a escolarização aberta focaliza a aprendizagem situada em desafios sociais reais e na ação coletiva transformadora, coliderada pelos estudantes (Okada, 2023). O modelo CARE–KNOW–DO (Okada, 2025; Okada; Gray, 2023; Okada; Sherborne, 2018) operacionaliza esses fundamentos como um sistema pedagógico integrado para a Agenda 2030, na qual cuidar se constitui por meio do conhecer em ação. CARE, KNOW e DO não são etapas lineares, mas dimensões interdependentes, em que emoção, ética, conhecimento e ação se coconstroem em contextos socialmente situados.

Essa integração apoia-se em 3 perspectivas teóricas. Freire (1970, p. 54) critica o modelo bancário ao afirmar que “[...] quanto mais os estudantes trabalham para armazenar os depósitos que lhes são confiados, menos desenvolvem a consciência crítica”. Para o autor, a educação nunca é neutra: ela funciona como instrumento de domesticação ou como prática da liberdade. Sua pedagogia da problematização envolve os aprendizes como coinvestigadores de situações reais, promovendo conscientização, raciocínio ético e agência coletiva por meio da práxis, entendida como a unidade indissociável entre reflexão e ação transformadora (Freire, 1998).

De forma convergente, Perkins (1992, 2009) identifica problemas estruturais da educação tradicional: a *elementite*, caracterizada pela fragmentação do conhecimento em “elementos” isolados, e a *sobretite*, marcada pelo excesso de aprendizagem “sobre” temas, sem compreensão profunda ou capacidade de uso. Como sintetiza o autor: “Elementos primeiro. Vá aumentando gradualmente até a complexidade, aprendendo os elementos agora e juntando-os depois. Aprendendo sobre. Aprenda algo desde o início, em vez de aprender a fazer” (Perkins, 2009, p. 4).

Essas formas de fragmentação dificultam o conhecimento e a transferência de habilidades. Para superá-las, Perkins (2009) propõe a aprendizagem do “jogo inteiro”, na qual os estudantes se engajam desde o início em práticas autênticas, ainda que simplificadas, integrando conhecimento, habilidades e metacognição.

Hodson (2014, p. 1) argumenta que “[...] a educação científica tradicional é tímida em sua abordagem aos interesses políticos e valores sociais que sustentam os desenvolvimentos científicos e tecnológicos”. Seu modelo quadridimensional – aprender ciência, aprender sobre ciência, fazer ciência e engajar-se em ações sociopolíticas – conecta o conhecimento científico a questões sociocientíficas de relevância social, ambiental, econômica e ética, visando formar cidadãos capazes de agir de forma responsável em questões que envolvem ciência e tecnologia.

O estudo prévio, complementar a esta investigação, em escolarização aberta, mostrou que a integração pedagógica promove o desenvolvimento de sete competências transversais dos estudantes: exploração proativa, engajamento afetivo, STEM para a sustentabilidade, resolução de problemas, pensamento orientado ao futuro, cidadania científica e aprendizagem autêntica (Okada, 2025). Essas competências alinham-se à Declaração de Escolarização Aberta (2024) e ao Marco de Competências em IA da UNESCO, integrando os níveis compreender–aplicar–criar por meio de práticas socialmente situadas (Okada et al. 2025). O letramento em IA, operacionalizado pelas dimensões CARE–UNDERSTAND (consciência ético-crítica), KNOW–APPLY (uso crítico e contextualizado) e DO–CREATE (inovação responsável com impacto social), emergiu de processos formativos integrados e orientados à ação.

Avançando a literatura, o presente estudo desloca o foco dos resultados discentes para os mecanismos docentes e as experiências de ensino que sustentam esses processos de aprendizagem. O objetivo é examinar como o design curricular e a transformação do professor em educador-pesquisador catalisam a agência eco-externalizada dos estudantes. O estudo fundamenta-se no modelo integrado CARE–KNOW–DO, ancorado na consciência crítica (Freire, 1998), na aprendizagem autêntica e holística (Perkins, 2009) e na ação comunitária responsável orientada ao futuro (Hodson, 2014). A pergunta orientadora é: Como os professores orquestram mecanismos pedagógicos (CARE–KNOW–DO) para educar uma geração eco-externalizada em IA, e que conquistas, fatores motivadores, barreiras e pontos de virada emergem desse processo em contextos de desigualdade?

### 3 METODOLOGIA

Este estudo constitui uma investigação qualitativa transnacional em profundidade, baseada em pesquisa-ação participativa intercultural (McTaggart, 2000) para investigar a implementação de atividades de escolarização aberta integradas à IA no projeto CONNECT, uma iniciativa do Horizonte 2020 da União Europeia, no âmbito do esquema “Ciência com e para a Sociedade”. Diferentemente de estudos anteriores centrados no desenvolvimento de habilidades transversais de 1.500 professores e 50.000 estudantes da rede CONNECT, este estudo, em escala significativamente menor, concentrou-se em uma investigação aprofundada dos papéis, das práticas e dos desafios de seis professores do ensino médio (Brasil, Grécia e Reino Unido) e de seus 330 estudantes, provenientes de escolas públicas e de famílias de baixa renda.

#### 3.1 Participantes e amostra

O estudo envolveu seis professores do ensino médio (uma mulher do Brasil, três homens e uma mulher da Grécia e um homem do Reino Unido) e seus 330 estudantes, com idades entre 12 e 19 anos, de escolas públicas e famílias de baixa renda, que concluíram três Recursos Educacionais Abertos (REAs) integrados à IA, alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A demografia dos estudantes incluiu 158 identidades femininas, 158 masculinas e 14 outras identidades de gênero, distribuídas em três faixas etárias: jovens (12-13), médios (14-15) e mais velhos (16-19). A Grécia contribuiu com a maior coorte, com 155 estudantes ensinados por quatro professores (46 jovens, 59 médios, 50 mais velhos); o Brasil contribuiu com 125 estudantes ensinados por um professor (26 jovens, 40 médios, 59 mais velhos); e o Reino Unido contribuiu com 50 estudantes ensinados por um professor (10 jovens, 13 médios, 27 mais velhos). Apenas 56 participantes tinham pais em áreas relacionadas à ciência e, embora 224 tivessem telefones celulares com internet, muitos não possuíam computadores pessoais em casa, refletindo os contextos socioecononomicamente desfavorecidos visados pelo CONNECT.

Os professores participaram voluntariamente do projeto CONNECT após três oficinas de desenvolvimento profissional focadas em: (1) compreender a estrutura

pedagógica CUIDAR-SABER-FAZER, os princípios da pesquisa participativa e os métodos de coprodução de dados; (2) o codesenvolvimento de atividades de escolarização aberta, integrando famílias, cientistas e ferramentas de IA, com orientação de educadores; e (3) protocolos de interação de *coaching*, práticas de relato e compartilhamento de experiências de implementação, incluindo desafios pedagógicos e evidências de aprendizagem dos estudantes.

A intervenção consistiu na implementação de três Recursos Educacionais Abertos (REAs) integrados à IA, sobre desafios de sustentabilidade do mundo real por meio da estrutura CUIDAR-SABER-FAZER, mapeada para os níveis de competência em IA da Unesco (ENTENDER–APLICAR–CRIAR), como apresenta o Quadro 1.

**Quadro 1 - Recursos Educacionais Abertos (REA) com IA para a Agenda 2030**

REA SDG	Título	Ferramentas de IA	Métodos de Trabalho em Equipe
SDG15 (Grécia)	<i>Detecção de Incêndios Florestais Movida por IA</i>	Aprendizado de máquina e reconhecimento de imagens usando Scratch para classificação de fotos de drones.	Cocriação com cientistas; avaliação por meio de um júri apoiado por famílias.
SDG13, SDG14 (Brasil)	<i>Mapeamento de Investigação Alimentado por IA para Seca</i>	Ferramentas de mapeamento de consulta suportadas por IA (Whimsical).	Círculos de conversa envolvendo membros da escola e da comunidade; mentoria entre pares com cientistas.
SDG 7 (Reino Unido)	<i>Campanha de Arrecadação de Fundos por IA para Energia Sustentável</i>	Canva AI, ChatGPT e app.diagrams.net.	Discussões em pequenos grupos; debates em toda a turma com cientistas; construção de consenso por meio do voto com as famílias.

Fonte: Elaborado pela autora.

Cada REA seguiu um processo estruturado de implementação em sete etapas: (1) os diretores das escolas receberam informações dos educadores do CONNECT e participaram de webinars da plataforma com professores de STEM; (2) os professores se reuniram com educadores para discutir o modelo CUIDAR-SABER-FAZER e desenvolveram planos de aula integrando IA; (3) os estudantes discutiram desafios da vida real e atividades com IA; (4) os cientistas apresentaram problemas autênticos; (5) os estudantes selecionaram abordagens e interpretaram problemas com os professores; (6) os estudantes planejaram soluções, discutiram com as famílias para ativar conhecimentos prévios e se envolveram na resolução orientada de problemas;

e (7) os estudantes preencheram instrumentos autorreflexivos, documentando produtos e resultados.

Este estudo de pesquisa-ação participativa com abordagem qualitativa (Quadro 2) gerou várias fontes de dados para capturar as experiências de implementação e a eficácia do *coaching* dos professores.

#### **Quadro 2 - Registros de dados qualitativos**

**Relatos etnográficos de professores:** narrativas detalhadas documentando estratégias de implementação, adaptações de aulas, progresso dos estudantes, interações de *coaching*, barreiras encontradas e tomada de decisão pedagógica ao longo das atividades REA.

**Observações do pesquisador STEM:** notas de campo sistemáticas capturando dinâmicas de sala de aula, interações professor-estudante-cientista, processos de integração de ferramentas de IA, padrões de envolvimento familiar e trajetórias de coconstrução de conhecimento.

**Pesquisas e relatórios pós-implementação:** questionários estruturados e relatórios reflexivos preenchidos pelos professores, detalhando resultados, desafios, suporte de treinamento necessário, realizações dos estudantes e recomendações para práticas futuras.

**Entrevistas pós-implementação:** entrevistas semiestruturadas que exploram perspectivas institucionais sobre o valor do projeto, barreiras sistêmicas, perspectivas de sustentabilidade e implicações políticas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os materiais de pesquisa foram traduzidos seguindo os padrões da Comissão Internacional de Testes, para garantir a equivalência linguística e cultural nos contextos inglês, grego e português. A análise dos dados empregou a estrutura de avaliação de *coaching* CUIDAR-SABER-FAZER, adaptada do instrumento de habilidades do estudante. As práticas docentes foram analisadas em três dimensões:

- **CUIDAR (engajamento ético):** facilitação de parcerias comunitárias, capacitação da voz e da escolha do estudante, estratégias de engajamento emocional e ético, desenvolvimento da consciência crítica sobre equidade e justiça da IA e integração de perspectivas diversas.
- **SABER (práticas epistêmicas):** *design* de desafios autênticos com parcerias entre comunidade e especialistas, andaimes de habilidades técnicas conectadas a um propósito maior, estratégias de desenvolvimento da compreensão conceitual, facilitação de práticas epistêmicas (investigação, raciocínio baseado em evidências, argumentação) e progressão de competência de guiada para independente.

- **FAZER (ação transformadora):** apoio à ação do estudante, resultando em resultados reais com consequências reais, documentação do engajamento da comunidade/organização, facilitação da cidadania científica por meio de diálogo e deliberação, agência estudantil, capacitação de influência e melhoria iterativa com base em *feedback* externo.

A interpretação das citações dos professores foi contextualizada, comparando variações entre países e triangulando-as com artefatos dos estudantes e relatórios reflexivos. A análise temática integrou a *thick description* (Geertz, 1973) e triangulação teórica com Perkins (2009) que aborda a compreensão em contexto; Freire (1970) que trata da consciência crítica e da práxis; e Hodson (2014) que enfatiza a ação social.

A pesquisa recebeu aprovação ética na Grécia, no Brasil e no Reino Unido, com consentimento informado de todos os participantes, conforme os padrões do Horizonte 2020. Para mitigar vieses interpretativos, três salvaguardas foram adotadas: geração de dados primários reflexivos pelos professores, triangulação internacional e revisão por pares externa. Casos negativos foram analisados sistematicamente para identificar variações ou contextos de implementação, e não limitações do *framework*. A triangulação cruzou relatos, observações, artefatos e reflexões entre os três países, garantindo consistência analítica e validade dos construtos, armazenados no repositório ORDO.

## 4 RESULTADOS

Em relação à implementação do CARE–KNOW–DO, sete mecanismos indicam como os professores colocaram a sequência em prática. O modelo foi usado de forma integrada, consolidando-se como um quadro de referência para o uso emancipatório de IA em escolarização aberta. Nessa coreografia, os professores ativaram o cuidado intrínseco por meio da escolha democrática, legitimaram a investigação com especialistas e canalizaram a aprendizagem para ações comunitárias com consequências reais.

Sobre as conquistas indicadas pelos professores, os estudantes desenvolveram habilidades complexas, como fluxos de trabalho de aprendizado de máquina para proteção florestal, raciocínio energético aplicado a soluções solares e participação em protocolos estruturados de discussão sobre escassez hídrica. O design pedagógico, ancorado em questões reais, funcionou como um percurso de formação continuada

em serviço, fortalecendo motivações docentes e discentes, como engajamento, agência e resiliência. Ao mesmo tempo, os professores enfrentaram barreiras persistentes, como falta de tempo, exigência de pré-requisitos, desafios de inclusão e ausência de reconhecimento sistêmico.

Quanto aos pontos de virada, eles mostram como os docentes superaram a *aboutitis* e a *elementitis* descritas por Perkins (2009), reforçaram o diálogo freiriano e o ativismo hodsoniano, cuidadosamente orquestrados por meio dos sete mecanismos. Esses resultados emergem como centrais para a conceituação da agência eco-externalizada dos estudantes

#### **4.1 A escolha democrática dos estudantes com argumentação sociocientífica**

Os professores cultivam o cuidado autêntico, oferecendo aos estudantes uma escolha real, situando a aprendizagem sociocientífica e vinculando o trabalho a consequências que vão além das notas. Os mecanismos democráticos de escolha dos estudantes traduziram a argumentação abstrata em prática concreta e avaliável em sala de aula, em todos os três contextos nacionais. O exercício de escolha dos estudantes alinha-se à crítica central de Perkins (2009), combatendo a *aboutitis* ao transformar o ensino em práticas autênticas de tomada de decisão que articulam conhecimentos avaliáveis em situações reais.

Quando os estudantes exerceram agência genuína sobre questões de pesquisa, tópicos de debate ou focos de investigação, os professores relataram mudanças observáveis no envolvimento dos estudantes e em sua própria confiança pedagógica. Em vez de praticar a argumentação como uma habilidade descontextualizada, os estudantes se engajaram em raciocínio baseado em evidências porque ele servia a seus próprios propósitos – selecionar para qual invenção arrecadar fundos, definir quais perguntas da comunidade dirigir aos cientistas ou priorizar estratégias de mitigação da seca. Isso exemplifica o que Perkins (2009) denomina “aprendizagem por totalidades” (*playing the whole game*): os estudantes vivenciam, desde o início, a atividade autêntica e integrada da cidadania científica, mesmo em níveis iniciais.

Criticamente, a escolha democrática também funcionou como o que Freire (1970) denominou “educação problematizadora”, em oposição à “educação bancária”.

Os estudantes não eram receptores passivos de problemas definidos pelo professor, mas coinvistigadores que nomeavam e enquadravam os desafios a serem abordados. Essa mudança posicionou os estudantes como sujeitos capazes de ler e reescrever seus mundos, e não como objetos sobre os quais se aplicam currículos predeterminados.

A argumentação resultante não foi a conformidade performativa, mas a práxis genuína – reflexão e ação a serviço da transformação da comunidade. Os professores relataram que isso tornou o pensamento dos estudantes visível e avaliável de maneiras que exercícios de debate roteirizados nunca alcançaram, porque os estudantes assumiam as apostas da investigação. Em todos os contextos, a escolha democrática serviu como um mecanismo de conversão da argumentação, da atividade dirigida pelo professor para a prática de propriedade do estudante.

O padrão indicado nos trechos do Quadro 3 sugere que, quando os estudantes controlam os parâmetros da investigação, eles investem de forma mais autêntica no raciocínio baseado em evidências, tornando seus processos de argumentação visíveis e avaliáveis para os professores.

**Quadro 3 - A escolha democrática dos estudantes com argumentação**

Dados da entrevista	Notas do plano e relatórios de aula
“Os estudantes debateram e selecionaram a ‘boné solar’ em vez de um ‘carregador de rio’, transformando a escolha baseada em evidências no próprio aprendizado por meio do raciocínio coletivo.” (Professor britânico).	O debate estruturado exigia uma ponderação explícita de evidências e compensações. Isso forneceu artefatos autênticos para avaliar alegações e fortaleceu a confiança do professor na avaliação da argumentação.
“Os estudantes inicialmente conseguiram formar grupos sem o envolvimento do professor [...], escolheram por voto aqueles que discutiriam com seus pais.” (Professor grego).	A auto-organização do estudante reduziu a carga do facilitador, mantendo a qualidade da investigação. Eles também relataram uma facilitação mais suave da geração de perguntas, porque as questões dos estudantes orientaram sua investigação.
“Os estudantes expressaram uma conexão emocional com a situação da seca na Amazônia [...].” (Professor brasileiro).	As questões afetivas colocadas transformaram a qualidade da discussão. A propriedade aumentou e o professor pôde ancorar a conversa baseada em evidências na urgência da comunidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

O significado teórico se estende além do engajamento. Hodson (2014) argumenta que a educação científica deve preparar os estudantes para o ativismo cívico em questões sociocientíficas – mudanças climáticas, gestão de recursos, saúde

pública –, que exigem não apenas compreensão conceitual, mas a capacidade de deliberar, decidir e agir coletivamente. Os mecanismos de escolha democrática criaram as condições para isso: os estudantes praticaram, simultaneamente, as dimensões epistêmica e social da cidadania científica, aprendendo a avaliar evidências e a negociar perspectivas divergentes em direção à ação compartilhada. Este é o “jogo inteiro” de Perkins (2009) no registro ativista de Hodson (2014) e da práxis de Freire (1970): os estudantes desempenharam o papel completo de cientista-cidadão desde o início, fazendo escolhas consequentes, com implicações reais na comunidade.

#### **4.2 O encontro com especialistas em contextos reais**

Os encontros *just-in-time* com especialistas legitimam a investigação do estudante, tornam os conceitos abstratos manipuláveis e reduzem a incerteza do professor quanto à facilitação. O contato direto com especialistas de domínio representou um ponto de inflexão crítico na confiança do professor e na compreensão dos estudantes em todas as implementações. Os professores descreveram consistentemente esse momento como um “antes e depois”, que esclareceu conceitos abstratos e legitimou as atividades em sala de aula.

Essa constatação ilumina também o mecanismo prático para abordar o que Perkins (2009) denomina problema da *aboutite* – aprender *sobre* assuntos sem se envolver em uma prática autêntica. Antes do contato com especialistas, os estudantes estudavam *sobre* aprendizado de máquina, ecologia florestal ou energia renovável como conteúdo disciplinar abstrato. O encontro com especialistas transformou isso em aprender fazendo a disciplina: os estudantes passaram a se envolver nas mesmas práticas epistêmicas – geração de hipóteses, treinamento de modelos, curadoria de dados, revisão por pares – que os cientistas efetivamente utilizam, validadas pelos próprios especialistas.

O mecanismo parece operar por dois caminhos: primeiro, legitimar a atividade em sala de aula, conectando-a à prática científica autêntica, o que responde à pergunta persistente dos estudantes: “por que isso importa?”; segundo, fornecer referentes concretos que tornem conceitos abstratos manipuláveis, enfrentando o desafio cognitivo de raciocinar sobre processos invisíveis (por exemplo, como as

redes neurais classificam imagens ou como as células solares convertem fótons em elétrons). Esses caminhos se reforçam mutuamente. Quando um cientista de materiais demonstra a reciclagem de plástico em um laboratório universitário, os estudantes ganham clareza conceitual (eles visualizam processos de polimerização) e propósito motivacional (eles entendem que seu modelo de sala de aula tem a mesma função que a pesquisa do cientista).

O contato com especialistas funcionou como um ponto de virada crítico que resolveu a ambiguidade sobre o conteúdo e a pedagogia. O mecanismo parece operar por dois caminhos: legitimar a atividade em sala de aula, conectando-a à prática científica autêntica, e fornecer referentes concretos que tornam os conceitos abstratos manipuláveis. Esses caminhos podem ser observados nos trechos apresentados no Quadro 4.

**Quadro 4 - Encontro com especialistas em contextos reais**

Dados da entrevista	Notas no plano de aula e relatórios
“Inicialmente, não estava claro ... Isso começou a mudar depois de conhecer o cientista e quando eles começaram a treinar seus modelos de IA por conta própria.” (Professor grego).	Os professores descreveram uma mudança dramática em sua própria compreensão e confiança após o envolvimento de especialistas. Essa inflexão ajudou a integração do <i>Scratch</i> , áreas anteriormente ligadas a uma menor confiança inicial.
“Uma visita ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Materiais. Laboratórios... que preparam plástico para eles.” (Professor britânico).	Experiências multissensoriais de especialistas aprofundaram a compreensão de maneiras duradouras. Esses encontros traduziram conceitos abstratos em experiências manipuláveis e esclareceram os próximos passos na sala de aula.
“Precisamos estruturar a construção do conhecimento durante os encontros com especialistas.” (Professor brasileiro).	Especialistas externos serviram como mestres inspiradores que legitimaram o trabalho.

Fonte: Elaborado pela autora.

De uma perspectiva freireana (Freire, 1970), os encontros com especialistas incorporaram a pedagogia dialógica. Os cientistas não “depositaram” conhecimento em estudantes passivos, mas se envolveram em um diálogo horizontal, no qual os estudantes formularam questões autênticas, emergentes de suas investigações comunitárias. Esse diálogo transformou a hierarquia tradicional professor-estudante: os professores tornaram-se coaprendizes ao lado dos estudantes, e estes se perceberam como buscadores legítimos de conhecimento, cujas perguntas mereciam

atenção especializada. Essa mudança é crucial para o desenvolvimento da consciência crítica: os estudantes passaram a compreender o conhecimento não como um corpo fixo de verdades pertencentes às autoridades, mas como um processo dinâmico, construído e contestável, do qual podem participar.

Hodson (2014) enfatiza que a educação científica voltada ao ativismo exige que os estudantes compreendam tanto o conteúdo substantivo das disciplinas científicas quanto os contextos sociopolíticos nos quais a ciência opera, articulados em quatro objetivos de aprendizagem: aprender ciência (conceitos), aprender sobre ciência (natureza do conhecimento científico), fazer ciência (práticas de investigação) e abordar questões sociocientíficas (engajamento cívico). Nos encontros com especialistas, os cientistas explicaram não apenas o conteúdo técnico, mas também restrições institucionais, dilemas éticos e estratégias de defesa que enfrentam, modelando para os estudantes o que significa ser um cientista-cidadão diante dos desafios do mundo real e, assim, integrando simultaneamente esses quatro objetivos. Em consonância com essa visão, Hodson (2014) também argumenta que uma educação científica voltada para a mudança social exige escolas voltadas para o exterior, que estabeleçam parcerias com as comunidades, em vez de funcionar como sistemas insulares e fechados de credenciação. Com base nessa perspectiva, este estudo conceptualiza “eco-outwards” (como sinônimo de eco-externalizado) para descrever uma educação que se abre a uma perspectiva de mundo real e sustentável, centrada nas pessoas e no planeta.

#### 4.3 Colaboração familiar na aprendizagem integrada com saberes locais

As plataformas colaborativas permitem que as famílias se tornem parceiras intelectuais, e não meramente colaboradoras do dever de casa, estendendo a comunidade de aprendizagem para além dos muros da escola. As ferramentas digitais que possibilitam a coautoria familiar deslocaram as famílias de observadoras periféricas para interlocutoras ativas no trabalho dos estudantes. Essa transformação sustentou o esforço dos estudantes entre as aulas e aumentou a confiança dos professores na orientação de processos complexos de investigação. Ferramentas colaborativas simples – particularmente o *Google Docs* para escrita compartilhada, plataformas de mapeamento conceitual para visualizar o pensamento do estudante e

fóruns de discussão assíncronos – transformaram a participação da família, antes restrita à verificação de lição de casa, em coautoria intelectual substantiva. Isso aborda diretamente a preocupação de Perkins (2009) com a artificialidade da aprendizagem escolar: quando as famílias são coautoras da investigação do estudante, a fronteira entre “conhecimento escolar” e “conhecimento comunitário” se dissolve. A aprendizagem deixa de estar confinada à sala de aula e passa a se constituir como um processo contínuo e distribuído, incorporado à conversa familiar e à resolução de problemas da comunidade.

O mecanismo parece funcionar ao tornar o pensamento dos estudantes visível para as famílias em tempo real e ao criar pontos de entrada de baixa barreira para a contribuição familiar. Quando o mapeamento da seca realizado pelos estudantes aparece em um documento compartilhado ou é discutido em casa, pais e irmãos podem acrescentar saberes locais, fazer perguntas esclarecedoras ou conectar a investigação a preocupações com a subsistência familiar, sem necessidade de treinamento científico formal. Isso democratiza a participação de maneiras que o dever de casa tradicional (por exemplo, “peça a seus pais para verificar sua tarefa”) não alcança, como investigar formas de obtenção de água potável durante períodos de estiagem.

As famílias devem ser valorizadas e envolvidas na educação pelo que realmente são – detentoras de saberes culturais, experiências de vida e pertencimento comunitário – e não tratadas como “professores substitutos” responsáveis por corrigir, monitorar deveres de aprendizagem ou reforçar conteúdos escolares em casa. Nesse contexto, ferramentas colaborativas simples transformaram a participação das famílias, deslocando-a da verificação do dever de casa baseada na conformidade para a coautoria intelectual substantiva. O mecanismo parece funcionar ao tornar o pensamento dos estudantes visível para as famílias em tempo real e ao criar pontos de entrada de baixa barreira para a contribuição familiar. Esses mecanismos podem ser observados nos trechos apresentados no Quadro 5 a seguir.

**Quadro 5 - Colaboração familiar na aprendizagem integrada com saberes locais**

Dados da entrevista	Notas no plano de aula e relatórios
“Uma boa prática é o uso de documentos colaborativos do Google ... Muito bom, pois 95/100 participaram do trabalho.” (Professor grego).	Altas taxas de participação e mudanças qualitativas nos papéis familiares ocorrem por meio de documentos coletivos. Ajuda o esforço do estudante entre as aulas e orienta fontes confiáveis.
“Os estudantes receberam uma folha com tópicos para discutir em casa ... Houve participação moderada, principalmente devido à falta de tempo para os pais.” (Professor grego).	O diálogo familiar gerou melhores perguntas, mesmo com restrições de tempo. Mesmo onde o tempo restringia algumas casas, os professores ainda podiam aproveitar as conversas entre pais e estudantes para refinar o foco da investigação.
“Os estudantes cocriam uma agenda de pesquisa e lançam uma campanha de ação.” (Professor brasileiro).	Os mapas resultantes foram discutidos com a comunidade, levando a uma lista de ações decididas pelos membros.
“Precisamos orquestrar a construção do conhecimento, alinhando o diálogo familiar com a investigação em sala de aula.” (Professor britânico).	As discussões sobre o dever de casa com as famílias ajudaram os estudantes a escolher a invenção. As famílias atuaram como participantes no processo de investigação, e não como mensageiras de tarefas ou verificadoras do dever de casa dos filhos.

Fonte: Elaborado pela autora.

De uma lente freireana (Freire, 1970), a coautoria familiar exemplifica “ler o mundo e a palavra” simultaneamente. Estudantes e famílias, juntos, nomeiam sua realidade – impactos da seca, pobreza energética, degradação florestal – e constroem conhecimento em conjunto para transformá-la. Esta é a práxis em seu sentido mais amplo: reflexão (diálogo sobre o problema) e ação (*codesign* de soluções) são inseparáveis e mutuamente constitutivas. As famílias não são agentes auxiliares de apoio, mas coinvestigadoras com conhecimentos essenciais. Isso desafia narrativas de *déficit* frequentemente aplicadas a famílias de baixa renda, imigrantes ou indígenas: longe de carecerem de capacidade para apoiar a aprendizagem, essas famílias possuem profundo conhecimento sobre ecossistemas locais, sistemas econômicos e dinâmicas sociais, que a escolaridade formal exclui sistematicamente.

Hodson (2014) argumenta que a educação científica voltada à mudança social exige que as escolas se tornem instituições “voltadas para o exterior”, em parceria com as comunidades, em vez de sistemas insulares de credenciamento. O termo “eco-externalizado”, como tradução de “eco-outwards”, é concebido como a abertura a uma visão de mundo real. A coautoria familiar operacionaliza essa perspectiva: as escolas posicionam as famílias como parceiras intelectuais, cujo conhecimento coconstroi o currículo. Isso é especialmente significativo para comunidades carentes, nas quais a educação científica formal historicamente invalidou ou apagou sistemas

de conhecimento locais. Quando famílias indígenas da Amazônia contribuem com observações hidrológicas para os mapas de seca dos estudantes, ou quando famílias gregas imigrantes compartilham práticas de manejo de incêndios de seus países de origem, as escolas reconhecem esses saberes como ciência legítima – não folclore a ser corrigido, mas experiência a ser integrada. Essa justiça epistêmica é central para a visão de Hodson de uma educação científica a serviço do empoderamento comunitário, e não do controle disciplinar.

#### **4.4 Atividades autênticas que geram valor social e competências**

Quando o trabalho do estudante atende às necessidades reais da comunidade ou influencia o discurso público, a motivação se intensifica e as competências são transferidas entre domínios. O trabalho dos estudantes que produziu consequências reais além da avaliação em sala de aula impulsionou a motivação e o desenvolvimento de habilidades. Quando os resultados abordaram necessidades reais da comunidade ou contribuíram para o discurso público, estudantes e professores relataram maior propósito e transferência de habilidades observáveis. Resultados autênticos, com consequências públicas, criaram estruturas de responsabilidade que motivaram o esforço sustentado e facilitaram a transferência de habilidades.

Essa descoberta fornece suporte empírico para o princípio pedagógico central de Perkins (2009): os estudantes aprendem melhor quando “jogam o jogo inteiro” desde o início, envolvendo-se com versões autênticas da prática disciplinar, mesmo em nível júnior, em vez de acumular habilidades descontextualizadas em antecipação a uma eventual aplicação. Uma campanha de arrecadação de fundos para bonés solares para carregar celulares, implantada em comunidades fora da rede; uma simulação de drone com IA apresentada a funcionários florestais; mapas de seca discutidos em fóruns comunitários – esses não são artefatos simplificados para a cidadania científica real, mas instâncias genuínas dela, adaptadas ao nível de desenvolvimento do estudante.

O mecanismo parece operar por meio da transformação da identidade: os estudantes se posicionam como contribuintes capazes para a resolução de problemas da comunidade, e não como estudantes que apenas concluem tarefas. Essa mudança da identidade de “estudante” para a de “cientista-cidadão” tem profundas consequências motivacionais. Quando estudantes gregos sabem que autoridades

florestais revisarão seus classificadores de IA, quando estudantes brasileiros veem seus mapas circularem em reuniões comunitárias, quando estudantes britânicos apresentam propostas a investidores reais, o nível de qualidade aumenta organicamente – não porque os professores exigem, mas porque os estudantes reconhecem que seu trabalho deve ser confiável para um público externo. Essa responsabilidade internalizada leva a uma autoedição muito mais rigorosa, à revisão por pares e ao refinamento iterativo, em níveis que rubricas impostas pelo professor dificilmente conseguem alcançar.

Resultados autênticos com consequências públicas criaram estruturas de autoria e responsabilidade que motivaram o esforço sustentado e facilitaram a transferência de habilidades. O mecanismo parece operar por meio da transformação da identidade: os estudantes se posicionam como contribuintes capazes na resolução de problemas da comunidade, e não apenas como estudantes que completam tarefas. Alguns exemplos são apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6 - Atividades autênticas que geram valor social e competências**

Dados da entrevista	Notas no plano de aula e relatórios
“Tarefa 2: Projetar uma página de arrecadação de fundos para um dispositivo de economia de energia.” (Professor britânico).	O professor do Reino Unido explicou os mecanismos de arrecadação de fundos. Os estudantes passaram do cálculo de eficiências para a comunicação de valor para públicos reais, demonstrando transferência entre domínios matemáticos, científicos e retóricos.
“Aplicação no Scratch... drone... identificar áreas de extração ilegal de madeira ou estradas ilegais.” (Professor grego).	Professores gregos descreveram ferramentas ambientais implantáveis. Os estudantes construíram protótipos análogos às ferramentas usadas por cientistas, vinculando modelos de sala de aula ao uso em campo e tornando o pensamento computacional abstrato concreto e proposital.
“Os estudantes cocriaram uma agenda de pesquisa, as ações foram discutidas com a comunidade.” (Professora brasileira).	O professor brasileiro documentou os resultados da governança participativa. A pesquisa dos estudantes influenciou a tomada de decisões da comunidade e a comunicação pública, posicionando os estudantes como produtores legítimos de conhecimento, em vez de consumidores de conhecimento.

Fonte: Elaborado pela autora.

Freire (1970) insistiu que a aprendizagem autêntica requer práxis – a unidade dialética de reflexão e ação. Os resultados autênticos incorporam esse princípio: os estudantes refletem criticamente sobre os desafios da comunidade (Por que as florestas estão queimando? Como a pobreza energética perpetua a desigualdade? Quais sistemas hidrológicos sustentam os meios de subsistência da Amazônia?) e

agem de forma transformadora para enfrentá-los (construção de sistemas de detecção, lançamento de campanhas, co-design de intervenções).

Criticamente, essa ação não é simbólica ou performativa: tem consequências reais que os estudantes podem observar, criando ciclos de *feedback* que refinam a compreensão. Quando membros da comunidade respondem às propostas dos estudantes – aceitando algumas recomendações, questionando outras, solicitando esclarecimentos –, os estudantes experimentam a natureza iterativa e contestável da construção do conhecimento que Freire (1970) denominou “conscientização”. Eles desenvolvem não apenas competência técnica, mas consciência crítica: a capacidade de analisar estruturas de poder, reconhecer a própria agência e engajar-se em ações coletivas em direção à justiça.

Hodson (2014) distingue entre “ciência no currículo” (aprendizagem de conteúdo disciplinar) e “currículo para o ativismo social” (uso da ciência para abordar questões da comunidade). Saídas autênticas operacionalizam este último. Os estudantes não estão aprendendo sobre energia renovável, aprendizagem de máquina ou hidrologia como domínios disciplinares abstratos. Eles estão *usando* essas ferramentas para intervir em problemas reais – pobreza energética, desmatamento, seca. Isso posiciona o letramento STEM não como capital cultural para o avanço individual, mas como uma ferramenta para a libertação coletiva, alinhando-se ao argumento de Hodson de que a educação científica deve preparar os estudantes para desafiar a injustiça e imaginar futuros alternativos. Quando estudantes brasileiros coprojetam estratégias de resposta à seca com parceiros indígenas, eles não estão apenas “aplicando” o conhecimento científico; estão negociando quem conta como conhecimento, quais problemas merecem atenção e como as soluções devem ser avaliadas – o trabalho epistêmico e político central da cidadania científica (Okada; Vaz, 2025).

#### 4.5 Explicitação de limites de tempo e de pré-requisitos

Restrições sistêmicas – escassez de tempo, horários rígidos e lacunas na sequência de pré-requisitos – limitaram a profundidade da implementação, apesar da forte motivação dos professores e das adaptações locais bem-sucedidas. Essa descoberta desafia narrativas dominantes da reforma educacional que atribuem o fracasso à formação ou ao comprometimento insuficiente dos professores. Em vez

disso, os dados revelam que uma pedagogia bem planejada (CUIDAR-SABER-FAZER) e professores altamente motivados colidiram repetidamente com estruturas institucionais que nunca foram concebidas para apoiar uma aprendizagem integral, em parceria com a comunidade e baseada em investigação: horários rígidos de aula, fragmentando a investigação coerente; regimes de avaliação que valorizam a abrangência em detrimento da profundidade; sequências de pré-requisitos que pressupõem a acumulação linear de conhecimento; e alocação de recursos que prioriza insumos padronizados em detrimento do suporte adaptativo.

A escassez de tempo forçou concessões no ensino dos pré-requisitos, enquanto lacunas de representatividade nos grupos de especialistas limitaram o impacto da intervenção na equidade, apesar da conscientização dos professores. O padrão sugere que a ampliação requer intervenções em nível político na alocação de tempo e no recrutamento de especialistas, em vez de desenvolvimento profissional adicional para professores. Os professores gregos mencionaram explicitamente o tempo como o fator limitante, e não a falta de habilidade ou comprometimento – eles conseguiam organizar encontros com especialistas, facilitar a aprendizagem de máquina e coordenar a coautoria familiar, mas condensar tudo isso em períodos convencionais de 45 minutos exigia concessões que comprometiam a integridade pedagógica.

Os professores encontraram soluções locais ao dividir as tarefas em partes menores e transferir etapas preparatórias para a lição de casa, mas reconheceram que essas soluções, insustentáveis, prejudicavam de forma desigual os estudantes sem apoio familiar ou acesso à internet. Isso revela que o “jogo inteiro” não pode ser jogado em fragmentos: a investigação autêntica requer blocos de tempo protegidos para que os estudantes vivenciem o ritmo natural da pesquisa – encontrar problemas, seguir linhas de raciocínio, chegar a becos sem saída, reagrupar-se, iterar – em vez de pontos de parada artificiais ditados por toques de sino. Para ilustrar esses achados, alguns extratos são apresentados no Quadro 7.

**Quadro 7 - Explicitação de limites de tempo e de pré-requisitos**

Dados da entrevista	Notas no plano de aula e relatórios
“O tempo era limitado.” (Professor grego).	Eles resolveram localmente dividindo tarefas e movendo as etapas preparatórias para o dever de casa.
“Por exemplo, eu deveria ter tido tempo para ensinar mais coisas do zero antes que o roteiro fosse implementado.” (Professor grego).	Os professores gregos identificaram lacunas específicas de pré-requisitos que as restrições de tempo impediram de resolver.
“Nas discussões, os estudantes extrovertidos dominavam e tivemos que mudar a técnica.” (Professor brasileiro).	As técnicas foram adaptadas. O fórum assíncrono ampliou a participação e reduziu o domínio, mas exigiu tempo adicional de <i>design</i> e familiaridade com a plataforma.
“Os vídeos dos cientistas fornecidos eram todos jovens brancos! Eles pediram exemplos mais inclusivos! (isso é um grande empurrão em nossa escola).” (Professor britânico).	O professor britânico relatou a conscientização dos estudantes sobre as lacunas de representação. Os estudantes nomearam o problema, indicando uma limitação de <i>design</i> e uma crescente consciência crítica com implicações de equidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

Do ponto de vista de Perkins (2009), as restrições estruturais de tempo reforçam precisamente a fragmentação que ele critica. As escolas se organizam em torno de períodos de disciplinas distintas, habilidades isoladas e avaliações atomizadas (*elementite*) porque essa estrutura otimiza a cobertura de conteúdo e a eficiência administrativa, e não a aprendizagem coerente. Jogar o jogo inteiro requer reorganizar o tempo: integrar disciplinas (STEM com humanidades e artes), estender a investigação ao longo de várias sessões e alinhar a avaliação com marcos autênticos (demonstrações de protótipos, apresentações à comunidade), em vez de janelas de teste arbitrárias. Na ausência dessa reorganização, mesmo os professores mais qualificados só conseguem se aproximar da aprendizagem de todo o jogo, diluindo seu potencial transformador.

Freire (1970) reconheceria essas barreiras estruturais como manifestações do sistema “bancário” que ele criticou – estruturas educacionais projetadas não para a libertação, mas para a domesticação, para produzir trabalhadores complacentes em vez de cidadãos críticos. Horários rígidos, currículos padronizados e regimes de testes de alto risco servem para tornar a escolaridade previsível, controlável e uniforme – a antítese da pedagogia emergente, contextual e dialógica. A necessidade do professor brasileiro de adaptar protocolos de discussão em tempo real, quando os estudantes extrovertidos dominavam, é instrutiva: o diálogo autêntico requer flexibilidade para responder às dinâmicas emergentes, mas as estruturas institucionais raramente

fornecem essa flexibilidade. Os professores navegam por essas contradições por meio de resistência localizada – “nas discussões, os estudantes extrovertidos dominaram e tivemos que mudar a técnica” –, mas essa resistência é exaustiva e insustentável sem uma mudança sistêmica.

Hodson (2014) enfatiza que a educação científica voltada ao ativismo requer não apenas reforma curricular, mas transformação institucional: as escolas devem se tornar locais de participação democrática, e não de conformidade burocrática. As lacunas de representação identificadas pelo professor britânico – “Os vídeos dos cientistas fornecidos eram todos jovens brancos do sexo masculino! Eles pediram exemplos mais inclusivos!” – ilustram isso. A consciência crítica dos estudantes estava se desenvolvendo (eles perceberam e desafiaram a falta de diversidade), mas as estruturas institucionais não previam essa possibilidade. Protocolos de recrutamento de especialistas, práticas de curadoria de vídeos e redes de parceria – tudo refletia suposições padrão sobre quem são os cientistas e qual experiência conta. Abordar isso requer compromissos institucionais deliberados com a justiça epistêmica: cultivar grupos diversos de especialistas, compensar detentores de conhecimento da comunidade e centralizar vozes marginalizadas na coconstrução do conhecimento. Não se trata de correções técnicas, mas de compromissos políticos que exigem recursos, responsabilidade e redistribuição de poder.

#### **4.6 Análise dos ganhos de aprendizagem pelos professores**

A compreensão conceitual, as habilidades técnicas, o engajamento afetivo e a capacidade colaborativa refletem diretamente os mecanismos de *design* que os professores promulgaram. Esses resultados sugerem o alinhamento com os mecanismos propostos, fornecendo evidências de que as características do projeto funcionaram conforme teorizado. Além disso, observou-se consistência com os mecanismos identificados nos achados de um a cinco, indicando que o desenho CUIDAR-SABER-FAZER operou como previsto.

Essa convergência entre o *design* pedagógico e os resultados observados é teoricamente significativa: sugere que a aprendizagem de todo o jogo, quando fundamentada em problemas autênticos e na parceria com a comunidade, produz competência disciplinar e desenvolvimento de habilidades transversais – não como

resultados separados, que exigiriam intervenções distintas, mas como dimensões integradas de um mesmo processo de aprendizagem.

O professor do Reino Unido documentou a construção de conhecimento conectada a resultados autênticos – os estudantes investigaram a eficiência energética e colaboraram na elaboração de materiais de arrecadação de fundos. Esses produtos tornaram a argumentação e a comunicação avaliáveis, combinando áreas nas quais a confiança do professor se fortaleceu por meio de mecanismos de debate estruturados. Os resultados relacionados ao conhecimento incluíram a consolidação de conceitos científicos: “Eles aprenderam que diferentes células solares tinham diferentes eficiências... consolidaram seus conhecimentos sobre transferência de energia”. Isso ilustra a afirmação de Perkins (2009) de que a compreensão conceitual profunda emerge quando o conhecimento é construído a serviço de objetivos significativos, e não por meio de instrução descontextualizada seguida de aplicação tardia. Os estudantes não memorizaram primeiros fórmulas de transferência de energia para depois aplicá-las; eles encontraram a transferência de energia como uma ferramenta necessária para resolver um problema com o qual se preocupavam (selecionar um dispositivo eficaz para carregar celulares com a energia solar inventando o boné solar), desenvolvendo, simultaneamente, clareza conceitual e competência aplicada.

Os professores gregos documentaram a aquisição de habilidades em domínios anteriormente de baixa confiança após o contato com especialistas – treinamento de modelos de aprendizagem de máquina, programação em *Scratch* e identificação de fontes confiáveis de imagens. Isso aborda diretamente a cautela anterior do professor quanto à orientação desses processos técnicos. O mecanismo é claro: a legitimidade do especialista resolveu a incerteza do professor, permitindo a facilitação de habilidades que antes pareciam opacas. Os estudantes “adquiriram habilidades no treinamento de modelos de aprendizagem de máquina... adquiriram habilidades em programação em *Scratch*... adquiriram habilidades para encontrar as imagens certas *online* para treinar seus modelos”.

Criticamente, essas habilidades técnicas foram incorporadas à compreensão ecológica: os estudantes aprenderam a classificar padrões de desmatamento *ao mesmo tempo* que aprendiam como as redes neurais classificam imagens, demonstrando a inseparabilidade do conhecimento disciplinar e do pensamento computacional quando a aprendizagem é organizada em torno de problemas

autênticos, e não de tutoriais técnicos. Os resultados de aprendizagem alinharam-se aos mecanismos identificados nos achados relatados pelos professores, fornecendo evidências de que o desenho CUIDAR-SABER-FAZER operou conforme teorizado, como mostra o Quadro 8.

**Quadro 8 - Análise dos ganhos de aprendizagem pelos professores**

Dados da entrevista	Notas no plano de aula e relatórios
“Os estudantes assistiram a vídeos de invenções ... investigaram a eficiência energética. Eles aprenderam que diferentes células solares tinham eficiências diferentes.” (Professor britânico).	A construção do conhecimento estava conectada a resultados autênticos. Esses produtos tornaram a argumentação e a comunicação avaliables, combinando com as áreas em que a confiança do professor melhorou. Os resultados do conhecimento incluíram a consolidação de conceitos científicos de transferência de energia no Reino Unido.
“Adquiriram habilidades em treinamento de modelos de aprendizado de máquina em programação Scratch... Eles ganharam habilidades para encontrar as imagens certas online para treinar seus modelos.” (Professor grego).	Os professores gregos documentaram a aquisição de habilidades em domínios anteriormente de baixa confiança após o contato com especialistas. Isso aborda diretamente a cautela anterior do professor sobre orientar fontes confiáveis e facilitar o aprendizado de máquina e a integração do Scratch.
“Eles estavam mais interessados nas aulas.” (Professora brasileira).	No Brasil, o professor relatou mudança de engajamento afetivo conectada a resultados cívicos autênticos. Engajamento afetivo ligado à participação cívica e comunicação pública.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os professores gregos também documentaram como a coautoria familiar sustentou a participação e distribuiu a carga cognitiva: “Eles aprenderam sobre codificação... Aprendi a usar o *Google Docs* colaborativo”. Isso reflete a visão de Perkins (2009) de que desempenhos complexos requerem cognição distribuída – nenhum indivíduo detém todo o conhecimento necessário; assim, a aprendizagem deve ser organizada para alavancar a inteligência coletiva. A coautoria familiar operacionalizou esse princípio: os estudantes acessaram o conhecimento ecológico da família, os professores forneceram estruturas científicas, os especialistas ofereceram orientação técnica, e as plataformas colaborativas tornaram o pensamento visível entre esses grupos. Trata-se da aprendizagem de todo o jogo como realização coletiva, e não como desempenho individual.

A professora brasileira relatou uma mudança afetiva fundamental: “Eles estavam mais interessados nas aulas”. Esse engajamento intensificado reflete

diretamente o mecanismo de resultados cívicos autênticos – os estudantes se importavam porque seu trabalho tinha relevância para além das notas. De uma perspectiva freireana (Freire, 1970), isso representa a emergência da consciência crítica: os estudantes passaram a se reconhecer como agentes capazes, cujas investigações tinham peso real na tomada de decisão da comunidade, transformando sua relação com a escolarização de uma conformidade passiva para uma coconstrução ativa do conhecimento voltada à libertação.

Hodson (2014) argumenta que a educação científica voltada para o ativismo produz quatro resultados entrelaçados: compreensão conceitual (o “o quê”), compreensão epistêmica (o “como” da produção de conhecimento), competência investigativa (o “fazer”) e engajamento cívico (o “porquê” e o “e daí”). Essa perspectiva dialoga com Freire (1970), que enfatiza uma educação emancipatória a serviço de alguém (“para quem”) e em parceria (“com quem”), na qual o sujeito ético se constitui capaz de transformar sua realidade por meio de uma leitura politizada do mundo e da ação sobre problemas reais em colaboração com o planeta. Os resultados de aprendizagem documentados aqui evidenciam esses aspectos. Os estudantes desenvolveram conhecimento conceitual (transferência de energia, ecologia florestal, sistemas hidrológicos), conhecimento epistêmico (como os cientistas modelam fenômenos, classificam dados e avaliam evidências), habilidades investigativas (treinamento de modelos de aprendizagem de máquina, curadoria de conjuntos de dados, *design* de campanhas) e capacidade cívica (apresentações a funcionários, *codesign* com comunidades, influência no discurso público) para beneficiar suas comunidades junto com especialistas e com suas famílias. Criticamente, essas competências emergiram de forma integrada – não como objetivos de aprendizagem separados – porque a pedagogia foi organizada em torno da atividade autêntica e completa da cidadania científica, em vez de fragmentada em silos disciplinares. Eles jogaram o jogo inteiro do CARE-KNOW-DO.

#### 4.7 Análise dos ganhos de aprendizagem pelos estudantes

A transformação vivenciada pelos estudantes alinha-se a uma orientação ecológica ampliada – da escola para o mundo e do mundo para a escola –, conforme concebida teoricamente. A consciência crítica emergiu quando os estudantes passaram da aceitação passiva para o questionamento ativo da realidade. O

pensamento sistêmico desenvolveu-se à medida que reconheceram que ferramentas tecnológicas e a ação coletiva ampliam as possibilidades de intervenção. A resposta à comunidade fortaleceu-se à medida que a confiança na própria compreensão possibilitou a contribuição entre pares e a resolução colaborativa de problemas. Essas três dimensões do modelo CARE-KNOW-DO operaram de forma integrada, produzindo a agência eco-externalizada essencial para a cidadania orientada à sustentabilidade, à justiça e ao bem-estar na era da IA (Quadro 9).

A consciência crítica manifestou-se quando os estudantes passaram a questionar realidades antes tomadas como imutáveis. A reflexão de um estudante brasileiro ilustra essa mudança: “*Aprendi que a pesquisa científica leva tempo e a importância de questionar nossa realidade*”. Esse movimento expressa a conscientização freireana – a transformação da compreensão do mundo por meio da pergunta.

**Quadro 9** - Análise dos ganhos de aprendizagem pelos estudantes

Análise temática	Depoimentos dos estudantes no relatório do professor
<b>Consciência crítica:</b> Capacidade de questionar a realidade; examinar estruturas e pressupostos de poder.	“Eu aprendi a importância de questionar nossa realidade, ser curioso e desenvolver soluções com as pessoas e a IA.” (Menina brasileira, 16 anos).
<b>Pensamento sistêmico:</b> Entender as interconexões; reconhecer possibilidades de intervenção; pensamento complexo.	“Aprendi que algumas coisas poderiam ser feitas que eu não imaginava possíveis, como criar um sistema de IA para proteção ambiental.” (Menina grega, 14 anos).
<b>Pensamento sistêmico:</b> Capacidade de mapear relacionamentos e visualizar complexidade.	“A IA é útil para mapear ideias e perguntas. Ela nos faz pensar e ajuda a discutir soluções com cientistas e com a nossa família além da escola.” (Menino brasileiro, 14 anos).
<b>Resposta à comunidade:</b> Orientação para ação coletiva; disposição para trabalhar juntos.	“Eu gostei de trabalhar com amigos e fazer experimentos para resolver problemas usando IA pensando nos desafios globais.” (Menino do Reino Unido, 15 anos).
<b>Resposta à comunidade:</b> Confiança epistêmica: prontidão para contribuir com conhecimento.	“Estou confiante sobre o que aprendi conversando com outros nas atividades com IA.” (Menina do Reino Unido, 16 anos).

Fonte: Elaborado pela autora.

O pensamento sistêmico consolidou-se à medida que os estudantes reconheceram possibilidades antes inimagináveis. A percepção de uma estudante grega – “*Algumas coisas poderiam ser feitas que eu não imaginava possíveis, como*

criar sistemas de IA” – exemplifica essa mudança epistêmica. Declarações de pares sobre o mapeamento da seca evidenciam como as ferramentas de IA estruturaram o pensamento: “A IA é útil para mapear ideias e questões”, revelando a compreensão da mediação tecnológica da complexidade.

A resposta à comunidade integrou confiança e ação coletiva. A declaração de uma estudante britânica – “Estou confiante sobre esse tema com IA” – sinaliza a consolidação de uma base epistêmica sólida. Essa confiança possibilitou o engajamento dos colegas: “Eu gostava de trabalhar com amigos e fazer experimentos para resolver problemas”. Em conjunto, confiança e colaboração traduzem-se em prontidão para a ação eco-externalizada.

## 5 DISCUSSÃO

Este estudo avança a escolarização aberta ao propor um sistema transnacional de formação de professores com IA e ação climática, sustentado pelo CARE-KNOW-DO e pela noção de agência eco-externalizada. Os resultados revelaram um conjunto articulado de mecanismos pedagógicos que tornam a aprendizagem em IA e STEM uma prática sociocientífica autêntica, orientada à justiça socioambiental e à participação comunitária, em contextos de desigualdade (Carniel, Emmerson, & Gehrmann, 2024; OCDE, 2019). Com base em Perkins (2009), Freire (1970) e Hodson (2014), argumenta-se que o modelo CARE-KNOW-DO (Okada & Sherborne 2018; Okada & Gray, 2023; Okada, 2025) pode operar como eixo integrador entre compreensão conceitual, agência sociopolítica e intervenção comunitária, desde que sustentado por um design curricular sistêmico e estruturalmente apoiado (Cortes, 2025; Perkins, 2009).

### 5.1 O design pedagógico e a transformação docente.

Os dados deste estudo indicam que a agência eco-externalizada dos estudantes é mediada por uma agência pedagógica docente que combina leitura crítica do contexto, redesenho curricular e uso estratégico de parcerias e tecnologias. Ao contrário dos estudos de larga escala do CONNECT, que mapearam padrões de competências dos estudantes, o presente trabalho analisa, em detalhe, os relatos, decisões e dilemas de seis professores, oferecendo uma explicação operacional da

emergência da agência eco-externalizada. Assim, o artigo desloca o foco de o que os estudantes aprenderam para como os professores orquestram condições pedagógicas que tornam essa aprendizagem possível.

Os resultados apontam sete mecanismos pedagógicos interdependentes que transformam a aprendizagem em contextos de desigualdade: (1) escolha democrática dos estudantes com argumentação sociocientífica; (2) encontros com especialistas em contextos reais; (3) colaboração digital com famílias que integra saberes locais; (4) atividades autênticas que geram valor social e competências; (5) explicitação de limites de tempo e de pré-requisitos; (6) Análise dos ganhos de aprendizagem pelo professor; e (7) Análise dos ganhos de aprendizagem pelos estudantes. Esses mecanismos operacionalizam a aprendizagem do “jogo inteiro” de Perkins ao evitar a “aboutitis” e a fragmentação de conteúdos, promovendo atividades em que os estudantes participam de práticas sociocientíficas completas, e não apenas de exercícios descontextualizados (Perkins, 2009).

Ao mesmo tempo, tais mecanismos concretizam a pedagogia da problematização de Freire ao deslocar os estudantes de receptores de conteúdos para coautores da investigação, convidando-os a ler criticamente a realidade e a intervir sobre ela (Freire, 1970). A estrutura também se alinha ao currículo de ativismo sociocientífico de Hodson, que defende percursos formativos orientados ao enfrentamento de questões sociocientíficas e à ação sociopolítica responsável (Hodson, 2014; Archer et al., 2012).

As ferramentas digitais colaborativas sustentam a complexidade dessas experiências ao promover participação e distribuir a carga cognitiva entre estudantes, professores, famílias e especialistas, permitindo um foco maior no desenho de investigações sociocientíficas integradas (OCDE, 2019). Nesse cenário, CARE ativa a motivação intrínseca e os valores ligados à sustentabilidade e à justiça; KNOW desenvolve competência conceitual e autoeficácia em IA e STEM; e DO mobiliza ações concretas na escola e no território, tornando o modelo CARE-KNOW-DO operacional como sistema, e não como sequência linear de atividades (Carniel et al., 2024; Cortes, 2025).

Compreender o design pedagógico como sistema implica sincronizar decisões curriculares, tecnológicas e organizacionais para cultivar agência estudiantil voltada à sustentabilidade, à justiça e ao bem-estar, em consonância com críticas à educação

bancária (Freire, 1970) e com propostas de currículo para ativismo sociocientífico (Hodson, 2014). Essa perspectiva dialoga com debates atuais sobre escolarização aberta, letramento em IA e avaliação autêntica, que enfatizam a necessidade de projetos baseados em problemas reais, com benefícios tangíveis para os estudantes e suas comunidades (Perkins, 2009; Gulikers, Bastiaens, & Kirschner, 2004; Lathouris, 2024).

No estudo, “agência eco-externalizada” (eco-externalised ou eco-outwards agency) é definida como a capacidade de agir para além da sala de aula, mobilizando IA e STEM para compreender sistemas socioambientais complexos e intervir coletivamente em prol da justiça climática, da sustentabilidade e do bem-estar comunitário (Hodson, 2011; Archer et al., 2012). Essa noção articula a abertura da escola para o “mundo real” centrado em pessoas e planeta, a leitura crítica da realidade proposta por Freire e os chamados a currículos de ciência comprometidos com ação sociopolítica (Freire, 1970; Hodson, 2014).

Os dados deste estudo indicam três características integradas da agência eco-externalizada dos estudantes: (a) consciência crítica, evidenciada pela passagem de uma postura passiva para discussão ativa de soluções para sustentabilidade e equidade, em consonância com a pedagogia da problematização (Freire, 1970); (b) pensamento sistêmico, expresso no uso de IA para visualizar relações entre dados ambientais, decisões políticas e experiências locais (Perkins, 2009; Carniel et al., 2024); e (c) resposta comunitária, manifestada na resolução colaborativa de problemas e na proposição de soluções coletivas com a família (Archer et al., 2012). Em conjunto, essas características configuram uma orientação voltada para fora, que pode informar futuras métricas de agência em currículos de STEM e IA comprometidos com ativismo sociocientífico (Hodson, 2014; OCDE, 2019).

A dimensão temporal mostra-se central ao estender a crítica de Perkins à aprendizagem fragmentada, indicando que encontros com especialistas funcionam como pontos de inflexão que convertem a “aboutitis” em prática epistêmica autêntica (Perkins, 2009). Após esses encontros, conceitos e dados deixam de ser conhecimentos inertes e passam a operar como ferramentas manipuláveis em investigações reais, reforçando a ideia de participação legítima em comunidades de prática (Hodson, 2011).

Professores relatam momentos marcados de “antes e depois”: antes, estudantes acumulavam informações desconexas; depois da validação dialógica de

especialistas, as mesmas informações ganhavam estatuto de recursos para argumentar, modelar e decidir em contextos sociocientíficos. Essa estrutura temporal sugere que aprender o “jogo inteiro” exige sequências planejadas de encontros autênticos que tornem a atividade escolar reconhecível como prática socialmente relevante, o que converge com evidências de que autenticidade, relevância e reconhecimento social sustentam motivação e persistência em STEM (Gulikers et al., 2004; Lathouris, 2024).

Os desafios de implementação observados remetem menos a déficits individuais de professores e mais a restrições estruturais associadas à educação bancária e a barreiras sistêmicas a pedagogias autênticas em STEM e IA (Freire, 1970; OCDE, 2019). Escassez de tempo, horários rígidos, sequências fixas de pré-requisitos e redes de especialistas pouco diversificadas limitaram a profundidade das experiências, mesmo com alta motivação docente e adaptações locais sofisticadas (Aldridge & McLure, 2024).

Em vez de responsabilizar exclusivamente a formação docente, os resultados apontam para a necessidade de intervenções em níveis meso e macro – como flexibilização de horários, revisão institucionalizada de pré-requisitos e ampliação de parcerias – para que currículos de ativismo sociocientífico e letramento em IA possam ser implementados em escala (OCDE, 2019; Aldridge & McLure, 2024). Teoricamente, a pesquisa contribui ao integrar a aprendizagem do “jogo inteiro”, a pedagogia da problematização e o currículo de ativismo sociocientífico via CARE-KNOW-DO (Perkins, 2009; Freire, 1970; Hodson, 2014); metodologicamente, ao empregar pesquisa-ação participativa centrada no professor (Cortes, 2025); e, na prática, ao evidenciar que o design pedagógico ancorado em desafios comunitários concretos, co-desenhados com famílias e especialistas podem simultaneamente desenvolver competências em IA, expandir a participação com equidade e criar formas de avaliação autêntica com consequências públicas (Carniel et al., 2024; Gulikers et al., 2004).

## 5.2 Limitações e pesquisas futuras

A amostra deste estudo – seis professores e 330 estudantes em três países – é deliberadamente modesta, caracterizando uma investigação qualitativa em

profundidade. Ao mesmo tempo, a consistência com que o modelo CARE-KNOW-DO se manifestou em contextos transnacionais, transdisciplinares e transgeracionais reforça a credibilidade dos mecanismos identificados, em consonância com critérios de confiança em pesquisa qualitativa (Lincoln & Guba, 1985). Pesquisas futuras devem examinar como essa coreografia funciona em diferentes sistemas educacionais, quais pontos de virada se mostram mais relevantes para distintas populações estudantis e em que condições os mecanismos pedagógicos sustentam aprendizagem de qualidade por meio da orquestração educativa, em vez de apenas replicar a presença de elementos do modelo.

As lacunas de representação identificadas – especialmente a participação de diversos especialistas e a integração do conhecimento das comunidades locais – evidenciam desafios críticos de equidade que exigem compromissos institucionais além do currículo. Iterações futuras devem priorizar a justiça epistêmica (Fricker, 2007), garantindo diversidade de vozes, valorizando o conhecimento comunitário e reconhecendo diferentes sistemas de saber. Isso amplia a perspectiva de Hodson (2014) de que a educação científica deve servir ao fortalecimento comunitário e responde às demandas da literatura por uma abordagem mais inclusiva e descolonizada nos currículos de ciências (Gandolfi, 2021).

### 5.3 Recomendações para o movimento de escolarização aberta

Com base nos resultados deste estudo, é possível identificar implicações para o movimento de escolarização aberta em um momento de inflexão. Os dados mostram que, embora as iniciativas-piloto apoiadas por subsídios gerem experiências transformadoras, sua continuidade e expansão dependem de condições institucionais e políticas mais amplas, e não apenas de inovação pedagógica local.

À luz desses achados, e em diálogo com a literatura sobre sustentabilidade da inovação educacional, as recomendações a seguir são formuladas como derivadas empiricamente deste conjunto de casos, mas potencialmente úteis para outros contextos em que a escolarização aberta enfrenta competição crescente por financiamento. Em particular, os resultados sugerem que a transição de iniciativas pontuais para práticas institucionalizadas requer, simultaneamente, investimento local estável e o posicionamento estratégico da escolarização aberta em agendas como

educação em IA, formação de professores, pesquisa e ação climática (UE, 2024; Unesco, 2021, 2024).

R1. Focar três mecanismos centrais desenvolvendo orientações e indicadores de qualidade para:

- escolha democrática dos estudantes, produzindo resultados autênticos;
- encontros com especialistas just-in-time, que legitimem a investigação;
- coautoria familiar mediada por ferramentas digitais simples, que sustentem a complexidade.

Em vez de criar novos modelos, a prioridade é consolidar práticas já testadas e baseadas em evidências, como recomenda a literatura sobre ampliação institucional de inovações educacionais.

R2. Institucionalizar a escolarização aberta, inserindo-a como forma de cumprir compromissos institucionais existentes, tais como, engajamento público, ampliação da participação e circulação de conhecimento. Além disso, defender políticas que garantam tempo protegido para investigação, horários flexíveis e formas de avaliação autênticas. A internalização apoiada em princípios e rotinas institucionais propiciam a sustentabilidade de longo prazo.

R3. Apresentar a escolarização aberta como abordagem capaz de responder simultaneamente a editais de educação em IA, formação de professores, desenvolvimento de pesquisadores e ação climática, enfatizando resolução autêntica de problemas, deliberação ética e cidadania climática. Essa formulação como estratégia de agenda cruzada dialoga com prioridades atuais de financiamento e com a literatura sobre letramento em IA, desenvolvimento profissional e educação para a sustentabilidade.

R4. Fortalecer a base de evidências apoiada com professores-pesquisadores para ampliar:

- revisões sistemáticas da literatura e sínteses de projetos
- meta-análises de resultados
- artigos metodológicos detalhando protocolos
- estudos de caso de impacto e expansão de práticas.

Pesquisas sobre mobilização do conhecimento indicam que evidências consolidadas aumentam a capacidade de influenciar políticas e de competir por recursos.

R5. Estabelecer padrões de justiça epistêmica. Garantir diversidade de especialistas, remuneração adequada a detentores de conhecimento comunitário e reconhecimento de saberes locais e indígenas como ciência legítima, aprofundando a proposta de educação científica voltada ao empoderamento comunitário. Essas medidas respondem a chamadas por inovação educacional centrada na equidade e por abordagens decoloniais na educação científica.

## **6 OBSERVAÇÕES FINAIS**

Este estudo apresenta evidências de rigor metodológico ao combinar codificação explícita orientada por teoria e prática, uso sistemático de múltiplas fontes de dados e análise comparativa internacional ancorada no ensino e aprendizagem em diálogo com o modelo CARE–KNOW–DO. A principal contribuição teórica situa-se na conceituação da agência estudantil eco-externalizada, articulada ao design pedagógico e à transformação docente como construtos analíticos, posicionando professores-pesquisadores como mecanismos pedagógicos centrais para emergência de competências em IA. Os resultados oferecem indícios de que o estudo responde a lacunas na interseção entre IA, equidade e educação, ao mapear barreiras sistêmicas relevantes para políticas e sugerir possíveis efeitos em cascata das práticas docentes sobre a agência discente e processos mais amplos de mudança institucional.

A análise indica que a escolarização aberta integrada à IA tem potencial para mitigar a fragmentação epistêmica e apoiar formas de cidadania científica quando organizada como uma coreografia coerente, em contraste com intervenções pontuais e desconectadas. O framework CARE–KNOW–DO é proposto como estrutura acionável; entretanto, sua efetividade aparece condicionada a fatores sistêmicos, como tempo de investigação protegido, parcerias diversificadas e arranjos de avaliação flexíveis, que dependem de decisões políticas tanto quanto de inovação pedagógica.

À luz dos desafios globais associados ao letramento em IA, os achados sugerem que abordagens focadas apenas em treinamento técnico descontextualizado são limitadas, e que caminhos promissores residem em práticas de resolução de problemas comunitários reais em parceria com diferentes atores. Essas práticas tendem a posicionar estudantes como participantes epistêmicos capazes de contribuir para futuros coletivos, em vez de receptores passivos de soluções pré-definidas.

Nesse sentido, a estratégia de sustentabilidade do movimento de escolarização aberta iniciado há mais de duas décadas (Okada & Sherborne, 2006) é reinterpretada à luz deste estudo, que aponta a relevância de respostas pedagógicas autênticas a prioridades emergentes, mediadas por expertise consolidada, parcerias comunitárias, avaliação autêntica e oportunidades de aprendizagem transformadora.

Os resultados convergem com pesquisas contemporâneas que indicam que processos de transformação educacional mais duradouros tendem a ocorrer quando há coerência entre visão pedagógica, condições organizacionais e arranjos de política pública. Ao vivenciarem o “jogo inteiro” em contextos relacionados à proteção de pessoas e do planeta, os estudantes, neste estudo, parecem desenvolver um conjunto de competências transversais associadas à pesquisa eco-externalizada, articulando valores, conhecimento e ação em projetos situados. Esses indícios sugerem que a combinação entre escolarização aberta, STEM e IA orientada para a equidade pode contribuir para formas situadas de empoderamento estudantil, sem implicar generalizações além do escopo empírico investigado.

Nesses termos, o estudo oferece evidências de que tais práticas podem dialogar com quatro frentes destacadas na introdução – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ação climática, uso socialmente orientado de IA e fortalecimento da escolarização aberta –, apoiando a formação de estudantes mais preparados para lidar, em contextos específicos, com desafios presentes e futuro. Em conjunto, estes resultados posicionam o CARE-KNOW-DO como referência para políticas de formação docente e para pedagogias de IA emancipatória orientadas à Agenda 2030.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata por fazer parte desta celebração do Programa de Pós-Graduação em Educação: Currículo da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP) e do Grupo de Pesquisa Paulo Freire, dos quais tive a honra de ser participante nos quais concluí meus estudos de Doutorado, em parceria com a Universidade Aberta. Agradeço a todos os professores e estudantes do CONNECT-Science.net que participaram deste estudo, utilizando, adaptando e criando recursos educacionais abertos de IA para a escolarização aberta. Agradeço aos revisores Tony Sherborne

(Reino Unido) e Giorgios Panselinas (Grécia) e a todos os professores educadores da rede *Mastery Science School*, no Reino Unido, da Diretoria Regional de Educação Primária e Secundária de Creta, na Grécia, e do COLEARN-Brasil.

## FINANCIAMENTO

Este estudo transnacional é financiado pela União Europeia, como parte do programa de pesquisa Educação para a Sustentabilidade, desenvolvido por meio dos seguintes projetos: CONNECT – escolarização aberta inclusiva com ciência envolvente e orientada para o futuro (nº 872814) – e envolveu estudantes de Doutorado participantes do projeto METEOR (nº 101178320).

## DISPONIBILIDADE DE DADOS

Universidade Aberta ORDO: <https://ordo.open.ac.uk/account/home#/projects/125821>

Plataforma Científica CONNECT: <https://Connect-Science.net>

Curso: <https://www.open.edu/openlearncreate/course/index.php?categoryid=367>

## DECLARAÇÕES

Este estudo foi conduzido de acordo com a Declaração de Helsinque e aprovado pelos Comitês de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Reino Unido, da Grécia e do Brasil. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi obtido de todos os participantes envolvidos no estudo.

## REFERÊNCIAS

ALDRIDGE, Jill M.; MCLURE, Felicity I. Preparing schools for educational change: barriers and supports – a systematic literature review. **Leadership and Policy in Schools**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 486-511, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15700763.2023.2171439>. Acesso em: 19 dez. 2025.

AINSCOW, Mel; CHAPMAN, Christopher. Developing equitable education systems: propositions and barriers. **Journal of Educational Change**, [s. l.], v. 26, p. 373–396, 2025. Disponível em: <https://eprints.gla.ac.uk/352930/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ARCHER, Louise; DEWITT, Jennifer; OSBORNE, Jonathan; DILLON, Justine; WILLIS, Beatrice; WONG, Billy. Science aspirations, capital, and family habitus: how families shape children's engagement and identification with science. **American**

**Educational Research Journal**, [s. l.], v. 49, n. 5, p. 881-908, 2012. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3102/0002831211433290>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ASSEMBLEIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development** (A/RES/70/1). New York: United Nations, 2015. Disponível em:  
[https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf). Acesso em: 19 dez. 2025.

CARNIEL, Jessica; EMMERSON, Mark; GEHRMANN, Richard. Inquiry-based learning as an adaptive signature pedagogy in international relations. **International Studies Perspectives**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 308-324, ago. 2024. Disponível em: <https://academic.oup.com/isp/article/25/3/308/7242190>. Acesso em: 12 dez. 2025.

CORTES, Sylvester T. Advancing science education through a participatory action research guide for science teachers. **Social Sciences & Humanities Open**, [s. l.], v. 12, p. 1-19, 2025. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259029112500806X>. Acesso em: 12 dez. 2025.

FREIRE, Paulo. **Pedagogy of the oppressed**. Tradução: Myra Bergman Ramos. New York: Seabury Press, 1970.

FREIRE, Paulo. **Pedagogy of autonomy**: ethics, democracy, and civic courage. Lanham: Rowman & Littlefield, 1998.

FRICKER, Miranda. **Epistemic injustice**: power and the ethics of knowing. Oxford: Oxford University Press, 2007.

GANDOLFI, Haira Emanuela. Decolonising the science curriculum in England. **International Journal of Science Education**, [s. l.], v. 43, n. 14, p. 2268-2290, 2021. Disponível em: <https://berajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/curj.97>. Acesso em: 19 dez 2025.

GEERTZ, Clifford. **The interpretation of cultures**. New York: Basic Books, 1973.

GULIKERS, Judith T. M.; BASTIAENS, Theo J.; KIRSCHNER, Paul A. A five-dimensional framework for authentic assessment. **Educational Technology Research and Development**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 67-86, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02504676>. Acesso em: 12 dez. 2025

HODSON, Derek. *Looking to the future: Building a curriculum for social activism*. Sense Publishers, 2011.

HODSON, Derek. Achieving scientific literacy. **Educational Review**, [s. l.], v. 66, n. 2, p. 237-254, 2014.

LATHOURIS, Dimitrios. Authentic assessment in science education: a systematic review from the teacher perspective. In: MARRON, Linda (ed.). **Cases on authentic assessment in Higher Education**. Hershey: IGI Global, 2024. p. 110-131.

LINCOLN, Yvonna S.; GUBA, Egon G. **Naturalistic inquiry**. Newbury Park: Sage Publications, 1985.

MCTAGGART, Robin. Reflection on the purposes of research, action, and scholarship: a case of cross-cultural participatory action research. **Educational Action Research**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 357-375, 2000.

NAÇÕES UNIDAS. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). The Paris Agreement, **United Nations**, [s. l.], 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 19 dez. 2025.

OKADA, Alexandra (org.). **Inclusive open schooling with engaging and future-oriented science**: evidence-based practices, principles and tools. Milton Keynes: The Open University, 2023.

OKADA, Alexandra. A self-reported instrument to measure and foster students' science connection to life with the CARE-KNOW-DO model and open schooling for sustainability. **Journal of Research in Science Teaching**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2362-2404, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tea.21964>. Acesso em: 12 dez. 2025.

OKADA, Alexandra. **Knowledge cartography for young thinkers**: sustainability issues, mapping techniques and AI tools. Cham: Springer, 2025.

OKADA, Alexandra; GRAY, Peter. A climate change and sustainability education movement: networks, open schooling, and the 'CARE-KNOW-DO' framework. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1-28, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2356>. Acesso em: 19 dez. 2025.

OKADA, Alexandra; SHERBORNE, Tony. Equipping the next generation for responsible research and innovation with open educational resources, open courses, open communities and open schooling: an impact case study in Brazil. **Journal of Interactive Media in Education**, [s. l.], n. 1, art. 18, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://jime.open.ac.uk/articles/10.5334/jime.482>. Acesso em: 12 dez. 2025.

OKADA, Alexandra; SHERBORNE, Tony. Provocando mudanças no currículo através das TIC e estabelecendo parceria com o projeto Science UPD8 na Inglaterra e no Brasil. **e-Curriculum**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 1-21, 2006. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/3123>. Acesso em: 19 dez. 2025.

OKADA, Alexandra; VAZ, Giseli. Rethinking AI in research with ancestral wisdom for future generations. **Unesco**, [s. l.], 12 set. 2025. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/articles/rethinking-ai-research-ancestral-wisdom-future-generations>. 2025. Acesso em: 12 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **AI in education**: guidance for policy-makers. Paris: Unesco, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>. Acesso em: 19 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. AI competencies framework for students. **Unesco**, [s. l.], 8 ago. 2024. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-students>. Acesso em: 19 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Future of Education and Skills 2030**: OECD Learning Compass 2030. Paris: OECD, 2019. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/1-1-learning-compass/OECD\\_Learning\\_Compass\\_2030\\_Concept\\_Note\\_Series.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/1-1-learning-compass/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf). Acesso em: 12 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. The potential impact of Artificial Intelligence on equity and inclusion in education. **OECD Publishing**, n. 23, p. 1-51, ago. 2024. Disponível em: [https://www.oecd.org/en/publications/the-potential-impact-of-artificial-intelligence-on-equity-and-inclusion-in-education\\_15df715b-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/the-potential-impact-of-artificial-intelligence-on-equity-and-inclusion-in-education_15df715b-en.html). Acesso em: 12 dez. 2025.

PERKINS, David. **Smart schools**: from training memories to educating minds. New York: Free Press, 1992.

PERKINS, David. **Making learning whole**: how seven principles of teaching can transform education. San Francisco: Jossey-Bass, 2009.

TECHUK. Bridging the gaps: AI in education and the urgent call for inclusion. **TechUK**, [s. l.], 4 mar. 2025. Disponível em: <https://www.techuk.org/resource/bridging-the-gaps-ai-in-education-and-the-urgent-call-for-inclusion.html>. Acesso em: 19 dez. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. **Education and training monitor 2024**: comparative report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9637e78f-acc7-11ef-acb1-01aa75ed71a1/language-en>. Acesso em: 12 dez. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. **Science education for responsible citizenship**: report to the European Commission of the expert group on science education. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a1d14fa0-8dbe-11e5-b8b7-01aa75ed71a1/language-en>. Acesso em: 12 dez. 2025.

Recebido em: 04/11/2025

Aprovado em: 08/12/2025

Publicado em: 29/12/2025



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](#) que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.