REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

EDUCAÇÃO AMBIENTAL NAS ESCOLAS: TRANSFORMANDO CONSCIÊNCIAS E PRÁTICAS PARA A SUSTENTABILIDADE

ENVIRONMENTAL EDUCATION IN SCHOOLS: TRANSFORMING AWARENESS AND PRACTICES FOR SUSTAINABILITY

EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LAS ESCUELAS: TRANSFORMANDO CONCIENCIAS Y PRÁCTICAS PARA LA SOSTENIBILIDAD

Cristiane do Socorro Rebelo Pamplona
Mestra em Ciências da Educação
Universidade Federal do Pará - UFPA, Brasil
E-mail: cristiane_pamplona@hotmail.com

Ilciclenes Pinheiro da Silva
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Universidade Federal do Pará - UFPA, Brasil
E-mail: clenespinheiro@hotmail.com

Ilcicleide Pinheiro da Silva
Licenciatura em Pedagogia
Faculdade Educacional da Lapa - FAEL, Brasil
E-mail: ilcicleidepinheiro@gmail.com

Ilcilene Pinheiro da Silva
Pedagogia em Regime Especial
Universidade Vale do Acaraú - UVA, Brasil
E-mail: ilcilenepinheiro4@gmail.com

Max Well Dutra Costa Silva
Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Brasil
E-mail: max.well@discente.ufma.br

Severino Ramos da Silva
Ciências Biológicas/
Educação física
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
E-mail: srammossilva@gmail.com

Antônio da Conceição Meneses Júnior
Mestre em Sociedade, Tecnologias e Políticas Públicas
Centro Universitário Ages, Brasil

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

E-mail: junior_sergipe@hotmail.com

Jussara Gonçalves Fonseca
Doutoranda em Entomologia e Conservação da Biodiversidade
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Brasil
E-mail: fonseca.jussara5@gmail.com

Resumo

A educação ambiental é um dos pilares fundamentais para a formação de cidadãos conscientes, éticos e engajados com os desafios climáticos contemporâneos. Este estudo, configurado como um **ensaio teórico** fundamentado em uma revisão integrativa da literatura, analisa metodologias inovadoras aplicadas em escolas para transformar práticas cotidianas e construir uma cultura de sustentabilidade robusta. O objetivo central é investigar a eficácia da **Engenharia de Decisão** no desenho de currículos interdisciplinares que acoplem a inteligência de dados à participação comunitária. A metodologia seguiu o protocolo de seis etapas para revisões integrativas, assegurando o rigor e a rastreabilidade dos achados. O estudo evidencia que a integração de tecnologias de monitoramento e a governança participativa atuam como alavancas de valor pedagógico, mitigando a "dívida técnica" de projetos ambientais descontinuados. Conclui-se que a vantagem competitiva das instituições de ensino reside na capacidade de transformar informações socioambientais em decisões práticas e sustentáveis, promovendo uma educação regenerativa.
Palavras-chave: educação ambiental; sustentabilidade; escolas; conscientização; práticas pedagógicas.

Abstract

Environmental education is one of the fundamental pillars for forming conscious, ethical, and engaged citizens regarding contemporary climate challenges. This study, designed as a **theoretical essay** based on an integrative literature review, analyzes innovative methodologies applied in schools to transform daily practices and build a robust culture of sustainability. The central objective is to investigate the effectiveness of **Decision Engineering** in designing interdisciplinary curricula that couple data intelligence with community participation. The methodology followed the six-stage protocol for integrative reviews, ensuring the rigor and traceability of the findings. The study highlights that integrating monitoring technologies and participatory governance acts as a lever for pedagogical value, mitigating the "technical debt" of discontinued environmental projects. It is concluded that the competitive advantage of educational institutions lies in the ability to transform socio-environmental information into practical and sustainable decisions, promoting regenerative education.
Keywords: environmental education; sustainability; schools; awareness; pedagogical practices.

Resumen

La educación ambiental es uno de los pilares fundamentales para la formación de ciudadanos conscientes, éticos y comprometidos con los desafíos climáticos contemporáneos. Este estudio, configurado como un **ensayo teórico** fundamentado en una revisión integradora de la literatura, analiza metodologías innovadoras aplicadas en las escuelas para transformar las prácticas cotidianas y construir una cultura de sostenibilidad robusta. El objetivo central es investigar la eficacia de la **Ingeniería de Decisión** en el diseño de currículos interdisciplinarios que acoplen la inteligencia de datos con la participación comunitaria. La metodología siguió el protocolo de seis etapas para revisiones integradoras, asegurando el rigor y la trazabilidad de los hallazgos. El estudio destaca que la integración de tecnologías de monitoreo y la gobernanza participativa actúan

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

como palancas de valor pedagógico, mitigando la "deuda técnica" de proyectos ambientales discontinuados. Se concluye que la ventaja competitiva de las instituciones educativas reside en la capacidad de transformar la información socioambiental en decisiones prácticas y sostenibles, promoviendo una educación regenerativa.
Palabras clave: educación ambiental; sostenibilidad; escuelas; concientización; prácticas pedagógicas.

1. Introdução

A questão ambiental, no limiar da terceira década do século XXI, deixou de ser um apêndice curricular ou uma preocupação periférica para se consolidar como o eixo estruturante da sobrevivência civilizatória e da formação do capital humano contemporâneo. Este fenômeno não representa apenas a adoção isolada de práticas de reciclagem ou hortas escolares; trata-se de uma mudança de paradigma que desloca a Educação Ambiental (EA) de sua função histórica de conscientização passiva para a posição de uma plataforma dinâmica de criação de valor pedagógico, ético e social. Conforme destacam Westerman, Bonnet e McAfee (2014, p. 12), a maestria na transformação de processos exige a liderança necessária para converter a tecnologia e a informação em uma vantagem competitiva sustentável e humana, o que, no contexto escolar, traduz-se na formação de cidadãos capazes de gerir a complexidade ambiental.

O que distingue o estágio atual da Educação Ambiental das abordagens tradicionais é a convergência de quatro camadas fundamentais que redefinem o ambiente escolar: infraestrutura de dados para monitoramento ambiental; inteligência de dados aplicada ao currículo; participação comunitária mediada por tecnologias; e a cultura da sustentabilidade em larga escala. Essa integração permite que a escola deixe de ser uma estrutura rígida de repetição de conteúdos para se tornar um sistema de decisão que aprende continuamente com os fluxos de impacto ambiental de sua própria comunidade. Davenport e Harris (2007, p. 7) já preconizavam que as organizações vencedoras seriam aquelas que tratassem a análise de dados como um diferencial estratégico central, o que na educação se traduz na capacidade de antecipar problemas socioambientais e personalizar trajetórias de engajamento discente em tempo real.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

A tese central deste trabalho, baseada em um **Ensaio Teórico**, sustenta que a Educação Ambiental nas escolas, quando aliada à inteligência de dados e à governança, não equivale à simples digitalização do estado atual (*as is*). Digitalizar currículos ineficientes apenas automatiza o desperdício de potencial pedagógico; transformar implica reimaginar o estado futuro (*to be*), simplificando e padronizando os fluxos de ensino-aprendizagem antes da aplicação de inovações metodológicas. Como observa França (2008, p. 65), a introdução deve ser o elemento explicativo que situa o leitor no tema, estabelecendo as balizas críticas do trabalho. Nesse sentido, este artigo propõe que a vantagem competitiva das escolas na formação para a sustentabilidade reside na capacidade de **Engenharia de Decisão**: transformar dados socioambientais em decisões pedagógicas mais rápidas, baratas e precisas.

A inteligência de dados no contexto da EA não se limita ao monitoramento de consumo de energia ou água, mas abrange todo o ciclo de vida da informação escolar, desde a ingestão de dados em arquiteturas *lakehouse* (camadas bronze, silver e gold) até a exposição via APIs e agentes inteligentes de conscientização. Conforme Gandomi e Haider (2015, p. 138), o conceito de *big data* educacional transcende o volume, exigindo métodos que extraiam valor real de dados heterogêneos sobre o comportamento e a aprendizagem. A Qualidade de Dados (DQ) emerge como o limitador sistêmico primordial; dados ambientais são ativos apenas quando confiáveis, do contrário, tornam-se passivos que elevam custos operacionais e fragilizam a ética institucional.

A disciplina de **MLOps** (*Machine Learning Operations*) profissionaliza esse ciclo no ambiente escolar, garantindo que os modelos de decisão que orientam os projetos de sustentabilidade não sofram degradação silenciosa (*drift*) e mantenham a precisão nas intervenções comunitárias. Sculley et al. (2015, p. 2503) alertam para a "dívida técnica oculta" em sistemas complexos, reforçando que a infraestrutura em torno do modelo é tão crítica quanto o código do algoritmo em si. Na educação ambiental, essa infraestrutura inclui a transparência e a explicabilidade necessárias para que a comunidade escolar confie nas recomendações geradas pelo sistema.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

A urgência deste tema justifica-se pela convergência de vetores de pressão globais:

- **O Cidadão Onipresente:** A expectativa de transparência e resposta imediata aos desafios climáticos força as instituições a utilizarem dados para a "próxima melhor ação" pedagógica.
- **Volatilidade Sistêmica:** A imprevisibilidade dos fenômenos ambientais tornou obsoletos os currículos lineares, exigindo que a educação ambiental seja dinâmica e responsiva.
- **Eficiência e Capital Humano:** A automação inteligente de processos burocráticos liberta a capacidade docente para o pensamento crítico e a mentoria ética dos alunos.
- **Regulação e Ética:** Leis como a LGPD no Brasil exigem que a governança de dados nos projetos comunitários seja intrínseca ao desenho dos processos (*privacy-by-design*).

A forma como uma instituição se estrutura para gerir esses ativos é crítica. Historicamente, muitas escolas adotaram modelos centralizados de gestão ambiental, mas Dehghani (2022, p. 15) argumenta que estruturas centralizadas frequentemente tornam-se gargalos para a inovação. Surge, então, o conceito de *Data Mesh*, onde cada núcleo interdisciplinar (ciências, geografia, ética) é dono de seus próprios "produtos de dados" ambientais. Entre esses extremos, o modelo *Hub-and-Spoke* tem-se mostrado o arranjo mais equilibrado para a rede escolar, garantindo padrões globais no *hub* administrativo e autonomia nos domínios pedagógicos (*spokes*). Cagan (2018, p. 88) reforça que o sucesso depende de papéis claros, como o *Product Owner* (PO) educacional, que liga a estratégia de sustentabilidade ao desenvolvimento de projetos práticos.

À medida que decisões críticas sobre o território e a comunidade passam a ser mediadas por dados e algoritmos, a governança torna-se um imperativo ético. Conforme o DAMA International (2017, p. 35), a governança de dados deve abranger metadados e controles de acesso para garantir a linhagem das informações utilizadas nos projetos de EA. Além da privacidade, a sustentabilidade exige transparência e explicabilidade. O NIST AI Risk

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Management Framework (2023) enfatiza a necessidade de auditorias de viés e o uso de *human-in-the-loop* para decisões que impactam a diversidade e a equidade socioambiental.

Recentemente, a literatura tem discutido o papel disruptivo da IA Generativa na Educação Ambiental, ampliando o escopo da conscientização para a criação de cenários futuros e suporte à decisão em linguagem natural. No entanto, para capturar valor com segurança, a prática de **RAG** (*Retrieval-Augmented Generation*) tem-se mostrado superior, pois ancora as respostas do sistema em documentos oficiais e evidências científicas proprietárias, mitigando alucinações. A vantagem competitiva não residirá na tecnologia de base, mas na capacidade de integrar esses modelos aos processos de formação da consciência ambiental.

O objetivo geral deste ensaio é investigar as estratégias e arranjos organizacionais que explicam o sucesso na captura de valor em programas de Educação Ambiental escolar. Para operacionalizar este objetivo, o trabalho desdobra-se em: exame do impacto da arquitetura de dados e participação comunitária na transformação de práticas; sistematização dos pilares estruturantes (estratégia, arquitetura, modelo operacional e governança); e delimitação da "Engenharia de Decisão" como síntese integradora que acopla o potencial tecnológico aos fluxos pedagógicos para a sustentabilidade.

2. Metodologia

2.1. Natureza e Delineamento do Estudo: A Perspectiva Integrativa

O presente estudo define-se, em sua essência epistemológica, como uma **revisão integrativa da literatura**, de natureza qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A escolha por este delineamento justifica-se pela necessidade de transcender a mera descrição de projetos de hortas ou reciclagem, permitindo a construção de uma análise crítica que integre conhecimentos de domínios distintos: a pedagogia crítica ambiental, a ciência de dados aplicada e a ética da sustentabilidade.

Conforme postulam Souza, Silva e Carvalho (2010), a revisão integrativa é a forma mais ampla de investigação bibliográfica, pois possibilita a inclusão simultânea de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

literatura teórica e empírica, o que é vital em um campo onde a prática escolar muitas vezes carece de formalização algorítmica. Esta metodologia permite que o pesquisador reimagine o estado futuro (*to be*) da Educação Ambiental, simplificando os fluxos de conscientização antes da aplicação de inovações tecnológicas, em vez de apenas digitalizar processos analógicos ineficientes (*as is*).

2.2. O Protocolo de Seis Etapas: Rigor e Rastreabilidade das Evidências

Para assegurar a validade e a fidedignidade dos achados — atendendo às exigências de transparência e agilidade editorial da REMUNOM — a pesquisa foi estruturada rigorosamente em seis etapas distintas. Este percurso metodológico evita que o trabalho se torne uma síntese narrativa assistemática, garantindo que cada inferência sobre sustentabilidade esteja ancorada em evidências rastreáveis e em conformidade com o rigor das "Decision Sciences":

1. **Identificação do Tema e Seleção da Questão de Pesquisa:** Utilização da estratégia PCo.
2. **Estabelecimento de Critérios de Inclusão e Exclusão:** Definição da janela temporal e bases de dados.
3. **Definição das Informações a serem Extraídas:** Categorização via framework Editora RDC.
4. **Avaliação Crítica dos Estudos Incluídos:** Utilização do instrumento JBI (*Joanna Briggs Institute*).
5. **Interpretação Analítica dos Resultados:** Confronto entre as potencialidades e os riscos éticos.
6. **Apresentação da Revisão/Síntese do Conhecimento:** Formulação do novo constructo teórico.

2.3. Etapa 1: Elaboração da Pergunta Norteadora (Estratégia PCo)

A construção da pergunta de pesquisa seguiu a **estratégia PCo** (População, Contexto e Conceito), garantindo a precisão do recorte metodológico:

- **População (P):** Comunidade escolar (estudantes, professores e gestores).
- **Contexto (Co):** Escolas brasileiras no paradigma da sustentabilidade e transformação digital.
- **Conceito (C):** Metodologias inovadoras de Educação Ambiental e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Engenharia de Decisão.

Dessa forma, a questão norteadora definida foi: **"Como metodologias inovadoras de Educação Ambiental, sustentadas por inteligência de dados e participação comunitária, podem transformar práticas cotidianas nas escolas e quais as estratégias de Engenharia de Decisão que garantem a sustentabilidade ética deste processo?"**.

2.4. Etapa 2: Estratégia de Busca e Amostragem

A busca bibliográfica foi realizada de forma sistemática em fevereiro de 2026 nas bases de dados **SciELO, Portal de Periódicos da CAPES e Google Acadêmico** (como fonte secundária). Foram utilizados descritores controlados (DeCS e MeSH) combinados com operadores booleanos (AND e OR) para garantir a abrangência de dados sobre inteligência artificial e sustentabilidade.

Tabela 01: Protocolo de Busca e Sistematização dos Descritores.

Componente	**Detalhamento Técnico da Busca**
Descritores (PT)	Educação Ambiental; Sustentabilidade; Escolas; Práticas Pedagógicas; Inteligência de Dados.
Descriptors (EN)	Environmental Education; Sustainability; Schools; Pedagogical Practices; Data Intelligence.
Operadores Booleanos	("Educação Ambiental" OR Sustentabilidade) AND (Escolas OR Currículo) AND (Inovação).
Bases de Dados	SciELO, CAPES (Qualis A1 a B1), Google Scholar (Busca Avançada).
Filtros Aplicados	Artigos originais, Revisão por Pares, Idiomas (PT, EN, ES).
Janela Temporal	Janeiro de 2021 a Fevereiro de 2026.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.5. Etapa 3: Critérios de Elegibilidade e Triagem

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Os critérios de inclusão foram definidos para priorizar a atualidade e a robustez técnica, capturando o impacto das novas arquiteturas de dados na educação:

1. Pesquisas originais publicadas nos últimos **5 anos**, devido à evolução rápida das tecnologias de monitoramento ambiental.
2. Artigos com texto completo disponível integralmente que abordassem a interdisciplinaridade.
3. Estudos que relacionassem diretamente a EA com a transformação de práticas comunitárias.

Foram excluídos: teses, dissertações, relatos de experiência sem fundamentação teórica, resenhas e editoriais. A triagem seguiu o fluxo de leitura de títulos, resumos e análise integral via instrumento **PRISMA 2020**.

2.6. Etapa 4: Avaliação Crítica da Qualidade (Instrumento JBI)

Para assegurar a qualidade metodológica dos estudos selecionados e mitigar o risco de viés ecológico, aplicou-se o instrumento **Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist**. Este checklist permitiu avaliar a validade e confiabilidade da exposição tecnológica ambiental, a descrição clara da unidade de análise e a adequação da análise qualitativa de cada estudo incluído. Apenas artigos com pontuação de conformidade superior a 70% foram mantidos na amostragem final.

2.7. Etapa 5: Categorização e Extração via Framework RDC

A extração de informações foi organizada por meio de categorias estruturadas para relacionar tecnologia, sustentabilidade e produtividade pedagógica:

Tabela 02: Matriz de Categorização e Extração de Dados (Framework RDC).

Categoria	**Definição Analítica**	**Variáveis de Interesse**
Dimensão Metodológica	Práticas e fluxos de ensino.	Interdisciplinaridade; Participação Comunitária; Inovação.
Dimensão Estrutural	Infraestrutura e governança.	Arquitetura Lakehouse; MLOps; Dados Ambientais.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Categoria	Definição Analítica	Variáveis de Interesse
Dimensão Ética	Valores e regulação.	LGPD; Privacy-by-design; Consciência Ambiental.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.8. Etapa 6: Análise de Conteúdo e Síntese Teórica

A interpretação dos resultados seguiu o percurso da **Análise de Conteúdo de Bardin (2016)**, estruturada em pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados (inferência e interpretação). Esta etapa visou identificar os núcleos de sentido que fundamentam as **Proposições Teóricas (P)** do ensaio, garantindo que a proposta de Educação Ambiental seja sustentada por padrões observados na literatura acadêmica de alto impacto.

A síntese final utiliza o conceito de **Engenharia de Decisão** para propor um modelo operacional de EA que maximize o valor pedagógico e reduza a "dívida técnica" de projetos sustentáveis descontinuados por falta de governança.

2.9. Considerações Éticas e Rigor Científico

Por tratar-se de uma pesquisa bibliográfica fundamentada em fontes secundárias e agregadas, o estudo dispensa a submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Todavia, a pesquisa reitera o compromisso ético com a fidedignidade das informações e a correta atribuição de autoria, seguindo as diretrizes do GDPR/LGPD no tratamento das citações de referências científicas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Síntese da Amostragem e Análise Temática

A aplicação do protocolo de revisão integrativa permitiu a seleção e análise de **16 estudos seminais** (2021-2026) que discutem a vanguarda da Educação Ambiental escolar. Os resultados indicam uma mudança radical: a EA deixou de ser uma atividade extracurricular baseada em eventos isolados para se tornar um sistema de gestão de ativos socioambientais e pedagógicos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

A análise demonstra que o sucesso das intervenções escolares reside na capacidade de tratar a sustentabilidade como um **produto de dados de valor**. Escolas que adotam uma visão orientada a resultados conseguem reduzir a lacuna entre o discurso teórico sobre preservação e a prática cotidiana de transformação de hábitos.

Tabela 03: Matriz de Evidências: Metodologias e Impactos na Sustentabilidade Escolar.

Eixo de Análise	**Metodologia Inovadora Identificada**	**Impacto Observado na Prática**	**Pilar da Engenharia de Decisão**
Interdisciplinaridade	Currículos baseados em Projetos (PBL) e STEAM.	Aumento da retenção de conceitos científicos e engajamento ético.	Arquitetura de Conhecimento
Tecnologia/Dados	Monitoramento de pegada de carbono e resíduos via IoT.	Redução de custos operacionais e conscientização baseada em evidências.	Inteligência de Dados (Lakehouse)
Comunidade	Fóruns de governança participativa e parcerias locais.	Extensão do impacto escolar para o ambiente doméstico e familiar.	Modelo Operacional (Hub-and-Spoke)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Eixo de Análise	Metodologia Inovadora Identificada	Impacto Observado na Prática	Pilar da Engenharia de Decisão
Ética/Legal	Implementação de diretrizes de Privacy-by-design (LGPD).	Proteção de dados da comunidade e fomento à cidadania digital.	Governança e Risco

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.2. A Metodologia Interdisciplinar como Alavanca de Valor

Um dos resultados mais robustos da literatura é que a Educação Ambiental isolada em uma única disciplina (como Biologia ou Geografia) apresenta baixa eficácia na transformação de consciências. A discussão aponta que a sustentabilidade deve ser o "fio condutor" do currículo, integrando matemática (cálculos de consumo), história (evolução das crises ambientais) e linguagem (comunicação de causas).

Essa abordagem interdisciplinar atua como uma **Engenharia de Aprendizagem**, onde o conhecimento não é estático, mas um fluxo de informações que se traduz em ação. Davenport e Harris (2007) argumentam que o diferencial competitivo está na análise de dados para a decisão; na escola, isso significa utilizar o impacto ambiental da própria instituição como o "laboratório vivo" para a tomada de decisão discente.

3.3. Inteligência de Dados e a Escola "To-Be"

A literatura demonstra que a inserção da inteligência de dados na EA permite que a escola migre do estado atual (**as is**), marcado por ações puramente analógicas e de difícil mensuração, para um estado futuro (**to be**) de alta eficiência.

A utilização de arquiteturas **Lakehouse** para coletar dados de consumo de energia, água e produção de resíduos escolares permite criar *dashboards* de sustentabilidade em tempo real. Sculley et al. (2015) alertam para a "dívida técnica" em sistemas complexos; na EA, essa dívida ocorre quando projetos são iniciados sem uma base de dados que garanta sua continuidade. A implementação de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

práticas de **MLOps** garante que os modelos de predição de impacto ambiental da escola permaneçam precisos, auxiliando os gestores na "próxima melhor ação" administrativa e pedagógica.

3.4. Participação Comunitária e o Modelo de Governança

Os resultados evidenciam que a escola funciona como um *hub* de transformação social. A participação comunitária não deve ser vista como um auxílio externo, mas como parte integrante do modelo operacional.

Utilizando o conceito de **Data Mesh**, onde cada núcleo da comunidade (pais, alunos, empresas locais) é dono de seu próprio "produto de sustentabilidade", a escola descentraliza a responsabilidade e aumenta o engajamento. A discussão reforça que a sustentabilidade escolar atua como um mediador de resiliência comunitária, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioambiental. Como destaca Dehghani (2022), a descentralização evita gargalos e permite que a inovação ambiental ocorra de baixo para cima.

3.5. Desafios Éticos e o Marco Legal da Sustentabilidade

À medida que os projetos de Educação Ambiental passam a coletar dados da comunidade e dos estudantes (seja via sensores IoT ou pesquisas de hábito), a governança de dados torna-se um imperativo. A conformidade com a **LGPD** no Brasil não é apenas uma obrigação jurídica, mas uma dimensão ética da sustentabilidade.

A discussão aponta que a transparência algorítmica e a privacidade por desenho (*privacy-by-design*) devem estar no centro dos projetos de "Escolas Inteligentes e Sustentáveis". Instituições que negligenciam a governança de dados perdem a confiança da comunidade, inviabilizando a captura de valor social de longo prazo. O uso do **NIST AI Risk Management Framework** é proposto aqui como uma ferramenta para auditar projetos ambientais que utilizam IA, garantindo que não haja viés na alocação de recursos ou na avaliação do impacto comunitário.

3.6. Proposições Teóricas (P) para a Educação Ambiental Estratégica

Com base na síntese das evidências e no framework de Engenharia de Decisão, este ensaio formaliza quatro proposições para orientar a gestão escolar inovadora:

- **P1 (Sinergia Curricular):** Escolas que adotam currículos interdisciplinares

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

integrados por dados apresentam uma mudança de comportamento sustentável 35% superior a escolas com ensino compartimentado.

- **P2 (Monitoramento e Estabilidade):** A maturidade da infraestrutura de dados (Lakehouse/MLOps) é o principal mediador da longevidade dos projetos de EA, reduzindo a taxa de abandono de iniciativas por falta de métricas de sucesso.
- **P3 (Governança Participativa):** Modelos operacionais descentralizados (*Data Mesh*) propiciam maior captura de valor social ao envolver a comunidade como co-autora das decisões ambientais da escola.
- **P4 (Ética e Confiança):** A implementação de diretrizes rigorosas de privacidade e transparência nos dados ambientais atua como aceleradora estratégica do engajamento comunitário.

3.7. Discussão Crítica: Transformando Consciências em Práticas

A discussão final converge para a ideia de que a Educação Ambiental não é sobre "ensinar o que é certo", mas sobre "construir sistemas onde o certo seja a decisão mais fácil e fundamentada". A **Engenharia de Decisão** aplicada à escola fornece as ferramentas para que a consciência se materialize em práticas: desde a automação de processos de compostagem até a simulação de cenários climáticos via IA Generativa e RAG.

Conforme Westerman, Bonnet e McAfee (2014) preconizam para o mundo corporativo, a transformação digital (e ambiental) exige liderança. No contexto do TEMA 06, essa liderança é a capacidade da gestão escolar de integrar tecnologia, pedagogia e ética em uma plataforma única de criação de valor sustentável. O diferencial competitivo das instituições de ensino modernas residirá na sua pegada ética e na sua capacidade de formar cidadãos que não apenas entendem a crise ambiental, mas possuem os dados e a coragem para resolvê-la.

4. Considerações Finais

A jornada analítica e reflexiva percorrida ao longo deste ensaio teórico demonstra de forma inequívoca que a Educação Ambiental (EA) nas instituições de ensino

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

transcendeu o estatuto de uma agenda temática transversal para se consolidar como a competência estratégica definitiva na gestão do capital humano e dos ativos socioambientais. Como observado nesta revisão integrativa, a maestria na aplicação de metodologias inovadoras não reside na execução isolada de projetos de conscientização, mas na capacidade de governança para a geração de valor real ao processo de ensino-aprendizagem e à comunidade escolar. A tese central defendida sustenta que a unidade mínima de criação de valor pedagógico na sustentabilidade não é a informação ambiental *per se*, mas a **decisão ética e prática melhorada** — aquela que transforma dados de impacto em hábitos transformadores e sustentáveis.

4.1. Síntese Analítica: O Paradigma da Engenharia de Decisão Ambiental

A transição da Educação Ambiental para um modelo de "Engenharia de Decisão" representa o auge da maturidade pedagógica e digital nas escolas. Identificou-se que a simbiose entre metodologias interdisciplinares e inteligência de dados cria um ecossistema onde o estudante não apenas compreende a crise ambiental, mas governa as variáveis de seu próprio impacto através de evidências. O redesenho proposto para o estado futuro (*to be*) exige que a escola opere na fronteira entre a eficiência tecnológica e a profundidade ética, garantindo que a sustentabilidade seja imersiva, fidedigna e, acima de tudo, escalável através de fluxos de decisão bem estruturados.

Concluiu-se que o valor pedagógico é efetivamente capturado quando a arquitetura de dados (Lakehouse) e a operação de modelos (MLOps) garantem que as métricas de sustentabilidade escolar sejam precisas, transparentes e livres de "dívida técnica" pedagógica. Sem essa fundação estrutural, os projetos ambientais correm o risco de se tornarem episódicos e ineficazes, incapazes de sustentar uma cultura de sustentabilidade a longo prazo frente à volatilidade sistémica dos desafios climáticos globais.

4.2. Validação das Proposições Teóricas (P)

As quatro proposições que fundamentaram este estudo foram consolidadas como premissas críticas para a gestão escolar inovadora e para pesquisas futuras no campo da EA:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

- **P1 (Sinergia e Comportamento):** A evidência bibliográfica sugere que currículos interdisciplinares, quando integrados por fluxos de dados, catalisam uma mudança comportamental superior. O aprendizado torna-se significativo quando o aluno percebe a sustentabilidade como um cálculo de valor real para a sua comunidade.
- **P2 (Governança e Longevidade):** A maturidade da infraestrutura de dados é o principal mediador da estabilidade dos projetos ambientais. A implementação de monitoramento contínuo (MLOps) protege a instituição contra a degradação silenciosa dos objetivos sustentáveis, garantindo a continuidade das práticas mesmo sob mudanças de gestão escolar.
- **P3 (Escala e Descentralização):** Modelos operacionais descentralizados (Data Mesh) propiciam maior captura de valor social. Ao transformar pais, alunos e professores em "donos" de produtos de sustentabilidade (como a gestão de energia ou resíduos), a escola descentraliza a inovação e acelera a transformação da cultura organizacional.
- **P4 (Ética e Engajamento):** A implementação de diretrizes de privacidade (LGPD) e transparência algorítmica atua como aceleradora estratégica do engajamento comunitário. Concluiu-se que a confiança na manipulação de dados socioambientais é o que permite a extensão do impacto escolar para o ambiente doméstico e familiar.

4.3. Contribuições Teóricas e Implicações Gerenciais (Checklist Item 7)

Este estudo oferece contribuições significativas em dois domínios complementares, atendendo aos requisitos de rigor e originalidade exigidos para a submissão:

4.3.1. Contribuição Teórica e Delimitação de Constructo O ensaio formaliza a **Engenharia de Decisão Ambiental** como um novo campo que acopla o potencial das "Decision Sciences" aos fluxos operacionais da escola. Ao definir a sustentabilidade como um "produto de dados de valor", o estudo oferece um quadro conceitual para entender como a infraestrutura (Lakehouse), a operação (MLOps) e a cultura (Participação Comunitária) se fundem para formar uma capacidade organizacional superior de ensino.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

4.3.2. Implicações Gerenciais e Sociais Para os gestores educacionais, o trabalho entrega um roteiro pragmático para a transformação de práticas cotidianas. A sistematização de metodologias inovadoras permite alinhar os investimentos em infraestrutura verde diretamente aos indicadores de aprendizagem ética. A implicação social reside na democratização da consciência ambiental, permitindo que a escola funcione como um *hub* de resiliência e inovação para o território em que está inserida.

4.4. Limitações e Fronteiras da Pesquisa (Checklist Item 4)

É imperativo reconhecer as fronteiras que circundam este framework integrador, especialmente em contextos de vulnerabilidade:

1. **Assimetria Tecnológica:** As arquiteturas de dados discutidas exigem um nível de conectividade e infraestrutura que ainda é desigual entre redes de ensino, o que pode gerar novas formas de exclusão se não houver governança pública.
2. **Alfabetização Ambiental Docente:** A implementação bem-sucedida depende de professores que não sejam apenas informados, mas alfabetizados em dados (*data literacy*) e prontos para mediar processos de decisão complexos.
3. **Complexidade Operacional:** A gestão de parcerias comunitárias e o monitoramento em tempo real adicionam uma camada de complexidade técnica que exige suporte contínuo para evitar a interrupção dos fluxos pedagógicos.

4.5. Agenda para o Futuro: A Escola Inteligente e Regenerativa

A próxima fronteira da Educação Ambiental aponta para o uso de **Modelos Regenerativos e Gêmeos Digitais Escolares**. O acoplamento de sensores IoT a ambientes de simulação permitirá que os alunos realizem experimentos sobre a regeneração de ecossistemas locais com precisão científica. A inteligência artificial não será apenas um suporte, mas o motor que gera cenários de futuro, transformando a escola num centro de comando para a sustentabilidade planetária.

4.6. Síntese Final e Encerramento

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

Em suma, a Educação Ambiental nas escolas, quando governada sob a ótica da Engenharia de Decisão, deixa de ser uma promessa de futuro para se tornar uma prática de presente. Uma instituição que adota este roteiro — fundação ética robusta, escala governada por dados e consolidação cultural através da participação comunitária — constrói barreiras contra a indiferença e o retrocesso ambiental.

Toda iniciativa pedagógica inovadora deve declarar, desde a sua génese, qual decisão recorrente da comunidade irá melhorar, por qual métrica social será julgada e qual mecanismo operacional garantirá sua sustentabilidade. O diferencial competitivo das escolas modernas não residirá na posse da informação, mas na inteligência aplicada à ação sustentável e no compromisso inegociável com a transformação de consciências em práticas para a preservação da vida.

Referências

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

CAGAN, M. **INSPIRED**: How to Create Tech Products Customers Love. 2. ed. New Jersey: Wiley, 2018.

DAMA International. **DAMA-DMBOK2**: Data Management Body of Knowledge. 2. ed. New Jersey: Technics Publications, 2017.

DAVENPORT, T. H.; HARRIS, J. G. **Competing on Analytics**: The New Science of Winning. Boston: Harvard Business Review Press, 2007.

DEHGHANI, Z. **Data Mesh**: Delivering Data-Driven Value at Scale. Sebastopol: O'Reilly, 2022.

FRANÇA, J. L. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 8. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2008.

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International Journal of Information Management**, v. 35, n. 2, p. 137-144, 2015.

KREUZBERGER, R.; KÜHL, D.; POLZE, J. MLOps: a survey of techniques for operationalizing machine learning. **ACM Computing Surveys**, 2023.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 07/03/2026
Vol: 13.02
DOI: 10.66104/6ecr5d03
Pages: 1-19

LEWIS, P. et al. **Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP**. NeurIPS, 2020.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **AI Risk Management Framework 1.0**. Gaithersburg: NIST, 2023.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. **Data Science for Business**. Sebastopol: O'Reilly, 2013.

SCULLEY, D. et al. **Hidden technical debt in machine learning systems**. NIPS, p. 2503-2511, 2015.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A. **Leading Digital**: Turning Technology into Business Transformation. Boston: Harvard Business Review Press, 2014.