XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.3/10

Efetividade da Popularização da Ciência na Área Geotécnica

Andrelisa Santos de Jesus
Professora Universitária, UFG, Goiânia, andrelisajesus@ufg.br

André Luís Brasil Cavalcante
Professor Universitário, UnB, Brasília, abrasil@unb.br

José Camapum de Carvalho
Profissional Liberal, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

Márcia Maria dos Anjos Mascarenha
Professora Universitária, UFG, Goiânia, marciamascarenha@ufg.br

Marta Pereira da Luz
Professora Universitária, PUC Goiás, Goiânia, marta.eng@pucgoias.edu.br

Maurício Martines Sales
Professor Universitário, UFG, Goiânia, mmartines@ufg.br

Michéle Dal Toé Casagrande
Professora Universitária, UnB, Brasília, mdtcasagrande@unb.br

Yamile Valencia González
Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia, yvalenc0@unal.edu.co

RESUMO: Formalmente a popularização da ciência no Brasil só ganhou maior destaque a partir de 2003, por meio de iniciativas e programas governamentais e em 2023, foi publicado o Decreto nº 11.754 instituindo o Programa Nacional de Popularização da Ciência - Pop Ciência com o objetivo de desenvolver a cultura científica e estimular a prática da ciência, tecnologia e inovação para promover a inclusão social e reduzir as desigualdades sociais. A partir de 2001 a Universidade de Brasília, a Universidade Federal de Goiás e Eletrobras Furnas por meio de parcerias estabelecidas em projetos de pesquisa deram início a atividades voltadas para a popularização da ciência. De modo a ampliar a acessibilidade e interesse pelos assuntos pesquisados foram realizadas adequações no formato e linguagem publicando-se cartilhas e livros voltados para os públicos infantil e juvenil e livros técnicos com foco em estudantes universitários e profissionais atuando na área. No entanto, apesar de muita criatividade, arte e dedicação de vários profissionais, pesquisadores e estudantes na elaboração das cartilhas e livros tem faltado efetividade na popularização da ciência por meio da utilização das publicações geradas. Nesse sentido o presente artigo buscará, dando ênfase a trechos do Decreto nº 11.754, não só analisar os produtos já gerados, como indicará caminhos voltados para o uso de tecnologias digitais, incluindo o uso da inteligência artificial buscando contribuir para gerar maior efetividade na popularização da ciência na área geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Arte, Educação Ativa, Inteligência Artificial, Multidisciplinaridade, Tecnologias Digitais.

ABSTRACT: Formally, the popularization of science in Brazil only gained greater prominence from 2003 onwards, through government initiatives and programs. In 2023, Decree No. 11,754 was published, establishing the National Program for the Popularization of Science – Pop Ciência – with the objective of developing scientific culture and stimulating the practice of science, technology, and innovation to promote social inclusion and reduce social inequalities. From 2001, the University of Brasília, the Federal University of Goiás, and Eletrobras Furnas, through partnerships established in research projects, began activities focused on the popularization of science. In order to broaden accessibility and interest in the researched topics, the

format and language were adjusted, publishing booklets and books aimed at children and young people, and technical books focused on university students and professionals of the area. However, despite the great creativity, artistry, and dedication of various professionals, researchers, and students in the creation of primers and books, there has been a lack of effectiveness in popularizing science through the use of the publications generated. In this sense, this article will seek, emphasizing sections of Decree No. 11.754, not only to analyze the products already generated, but also to indicate paths aimed at the use of digital technologies, including the use of artificial intelligence, seeking to contribute to greater effectiveness in the popularization of science in the geotechnical area.

KEYWORDS: Art, Active Education, Artificial Intelligence, Multidisciplinarity, Digital Technologies.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e científico do País deve situar entre seus objetivos maiores, a relevância de estar contribuindo para o desenvolvimento humano e social de modo ambientalmente sustentável e socialmente justo voltado para a melhoria da qualidade de vida.

Focar apenas no desenvolvimento econômico e na produção científica em renomados periódicos e grandes eventos termina por gerar isolamento acadêmico com relação a sociedade e favorece uma trajetória da autodestruição, pois o desenvolvimento deve voltar-se para os interesses sustentáveis e coletivos da sociedade. Camapum de Carvalho (2023), mostra no capítulo de livro "Avaliação sucinta da produção em ciência: diálogo entre uma Pesquisadora e um Cidadão", que os países com maior índice de desenvolvimento humano (IDH) são aqueles que apresentam a menor relação entre os documentos citáveis e os documentos publicados, ou seja, a citação não se constitui em aspecto mais relevante para o desenvolvimento humano. Neste mesmo capítulo é mostrado que o PIB Nominal dividido pela população do país aumenta com o número de documentos publicados dividido pela população do país, ou seja, estar publicando os resultados dos estudos é importante. Uma análise mais relevante ainda contida no texto mostra que este aumento da relação entre o PIB Nominal e o número de habitantes do país se dá para as menores relações entre os documentos citáveis e os documentos publicados, ou seja, as publicações devem abranger um horizonte mais amplo que a simples necessidade de serem citáveis, o que coloca em evidência a relevância dos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos voltados para a publicação de cartilhas, livros literários infantil e infantojuvenil e discussões em escolas, pequenos eventos, em eventos locais, regionais e nacionais.

O Programa Nacional de Popularização da Ciência - Pop Ciência, estabelecido pelo Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023) coloca como objetivo já na alínea a, inciso I, artigo 2º, que se deve promover "a alfabetização e o letramento científicos da sociedade brasileira". Para isso, no entanto, faz-se necessário estabelecer mecanismos não só quanto ao formato da produção, mas também quanto à forma de se fortalecer o interesse acadêmico e de se dar efetividade às ações. A Extensão Universitária constitui-se em um dos caminhos para dar efetividade às ações voltadas para a popularização da ciência. Nela as universidades propõem ações à comunidade, mas também acolhe demandas no campo extensivo. Entretanto, as ações extensivas poderiam ser ampliadas, mas não raro encontram gargalos relacionados a pouco apoio institucional, pouca valorização acadêmica das ações, alta complexidade logística.

Buscando contribuir para maior efetividade na popularização da ciência, este artigo busca, dando ênfase a trechos do Decreto nº 11.754 e analisando os produtos geralmente gerados, sugerir caminhos para que se tenha maior efetividade na popularização da ciência por diversos meios.

2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE

O presente estudo adota abordagem qualitativa-analítica com base documental e propositiva, estruturada em três etapas:

1. Levantamento e sistematização das publicações produzidas no âmbito das parcerias entre UnB, UFG e Eletrobras Furnas;
2. Análise crítica à luz das diretrizes do Decreto nº 11.754/2023 (Pop Ciência);
3. Proposição de modelo conceitual para ampliação da efetividade mediante integração de tecnologias digitais e inteligência artificial.

Foram considerados como critérios de avaliação: acessibilidade do material, alcance potencial, grau de interatividade, possibilidade de mensuração de impacto e integração com políticas públicas educacionais.

3 DISPONIBILIZAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO: CARTILHAS E LIVROS

Até março de 2020 quando teve início o período de pandemia de COVID, o meio de disponibilização de material didático voltado para o ensino fundamental e médio, produzido no âmbito de projetos de pesquisa era predominantemente físico, apesar de geralmente estarem disponíveis para *download* nos sítios de internet das instituições executoras. Nessa linha o Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília conjuntamente com o Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estrutura e Construção Civil (PPGGECON) da Universidade Federal de Goiás publicaram, com foco no público integrante da primeira fase do ensino fundamental as cartilhas "Meio Ambiente: Erosão", "Meio Ambiente: Infiltração" e "Meio Ambiente: Erosão em Borda de Reservatório". Objetivando alcançar o público integrante da 6ª série em diante do ensino fundamental e ensino médio foram publicadas as cartilhas "Erosão", "Infiltração" e "Erosão em Borda de Reservatório". Com o intuito de aclarar sobre a possibilidade de igualdade de gênero no acesso de mulheres aos cursos de engenharia publicou-se o livro "Conversas entre meninas e engenheiras" organizado pela Universidade Federal de Goiás e voltado para o ensino médio Embora fazendo referência a educação formal estas publicações são também aplicáveis na educação não formal. Adotou-se o formato impresso para essas publicações e suas disponibilizações, sem ônus, no formato digital nos sites https://cehige.eeca.ufg.br/p/44368-livros-e-cartilhas, https://gecon.eeca.ufg.br/p/18785-publicacoes e www.geotecnia.unb.br. O uso dessas cartilhas quanto a abordagem de conteúdos e conceitos geotécnicos aplicados para os ensinos fundamental e médio é discutido por Mascarenha *et al*. (2023).

Em 2024, já após o período de pandemia, foram publicados em formato impresso dentro de uma parceria entre a Universidade Federal de Goiás e a Universidade de Brasília, em projeto financiado pela ANEEL – Eletrobras Furnas, o livro infantil "De grão em grão onde está o torrão?" e o livro infantojuvenil "De montante à jusante: o sedimento andou bastante". Estes livros e os guias de apoio às suas leituras estão disponibilizados em PDF nos sites www.geotecnia.unb.br e https://cehige.eeca.ufg.br/p/44368-livros-e-cartilhas. Estes livros se destacam das cartilhas por apresentarem uma linguagem literária, mas assim como as cartilhas podem contribuir para a educação ativa do público leitor.

Os guias de apoio a leitura dos livros mencionados, assim como as cartilhas voltadas para o ensino fundamental proporcionam protagonismo das crianças leitoras, por meio de perguntas, respostas, desenhos, jogos e reflexões propostas. Eles proporcionam ainda orientação aos(às) professores(as) apresentando os alinhamentos do conteúdo com a Base Comum Curricular e oferecem sugestões de adaptação do conteúdo a mediação pedagógica. Por outro lado os livros, guias e cartilhas carecem de transposição didática para tecnologias digitais atendendo as demandas atuais de divulgação científica também nesse contexto, conforme o objetivo contido na alínea a, inciso II, artigo 2º do Decreto 11.754 de 2023.

Há que se destacar, no entanto, que, no caso das cartilhas, mesmo publicadas antes do Decreto nº 11.754, elas contribuem dentre outros, para:

1. A alfabetização e o letramento científicos da sociedade, não se restringindo aqui à sociedade brasileira, pois as cartilhas "Meio Ambiente: Erosão", "Meio Ambiente: Infiltração" (Lelis e Camapum de Carvalho, 2011), "Erosão" e "Infiltração" já se encontram disponibilizadas em espanhol objetivando atender a países latino-americanos;
2. O estímulo à participação de meninas e mulheres, pessoas com deficiência, indígenas e pessoas negras nas atividades educacionais, cabendo destacar que além de atividades voltadas para educar sobre a necessidade de atender às pessoas com deficiência física a "Cartilha Meio Ambiente: Erosão e Meio Ambiente: Erosão em borda de Reservatório" têm em seus personagens crianças com diferentes origens raciais;
3. O desenvolvimento de atividades que estimulem o respeito ao meio ambiente, a inovação, a criatividade, a investigação científica e a interdisciplinaridade no ensino e na aprendizagem da ciência.

Apesar de colocarem em destaque tais contribuições o material didático gerado e disponibilizado não alcançou sua máxima efetividade, tendo se restringido, na maioria das vezes, a exposições e abordagens pontuais. No caso das cartilhas, elas exigem maior intervenção e mediação do professor. Por exemplo, a contribuição para a formação sobre meio ambiente utilizando como ferramenta a cartilha "Meio Ambiente:

Ersosão", requer o seu uso continuado e mediado e não apenas a ação de colocar a cartilha nas mãos das crianças. Embora os mecanismos de atuação voltados para a popularização da ciência constantes do Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023) sejam ferramentas importantes a falta de elo direto com o Ministério e Secretarias da Educação minimiza a efetividade do uso dos materiais didáticos gerados. Sendo assim, maior apoio governamental a nível municipal, estadual ou federal, podem ampliar o alcance destes materiais nas escolas auxiliando na popularização da ciência. Outro aspecto importante é a sobrecarga dos professores de escolas públicas que já tem que seguir um planejamento pedagógico rígido e com pouco fôlego para inserções e adaptações, caso estas não venham como políticas públicas claras do estado ou município.

4 FORMAS DE INTERAÇÃO COM A SOCIEDADE

O Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023) estabelece meios para o desenvolvimento do programa de popularização da ciência, sendo os eventos acadêmicos o primeiro listado (art. 4º, inciso I). Embora sem as especificidades apontadas no referido Decreto, mas objetivando a popularização da ciência, em 2003 foi realizado na Universidade de Brasília o I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste buscando contribuir "para o entrelaçamento da comunidade geotécnica regional incentivando-a e inspirando-a para contribuições futuras", ou seja, buscou-se popularizar a ciência. Outros simpósios se seguiram em outras localidades do Centro-Oeste a cada 2 anos até o seu desaparecimento após o 6º Simpósio. Dada a natureza dos temas discutidos a ideia é que fosse um evento multidisciplinar, mas ela não prosperou, pois as atuações na esfera acadêmica são predominantemente disciplinares e os próprios órgãos de fomento e avaliação não as valoriza. Um exemplo é o fato de um periódico em uma área de atuação ter conceito A e em outra ele sequer ser citado, desmotivando assim as atuações multidisciplinares.

Embora a falta de elo mais direto com o Ministério e Secretarias da Educação dificultem a efetividade da popularização da ciência, os meios para o seu desenvolvimento estabelecidos no Decreto nº 11.754 são de grande relevância e merecem constante uso e reflexão. Um aspecto importante que se situa entre os objetivos do Programa Pop Ciência, no Decreto nº 11.754, art. 2º, inciso II, alínea a, é o incentivo e apoio "a iniciativas de popularização da ciência que estimulem o uso de tecnologias digitais, com vistas a promover a inclusão digital e a inovação na divulgação da ciência". Nesse eixo, este artigo discutirá os desafios da inteligência artificial no contexto da popularização da ciência. É fato que está em curso uma grande revolução tecnológica sendo a IA alvo de grandes expectativas que merecem debate e discernimento quanto a sua utilização ética. Nesta direção, Silva e Paniago (2024) apontam que a "alfabetização científica e tecnológica pode trazer grandes contribuições quando se vislumbra um futuro em que a IA seja uma ferramenta a serviço da humanidade, e não uma ameaça devido à concentração de poder nas mãos de poucos". Considerando a alínea b do inciso II, "atividades que estimulem a inovação, a criatividade, a investigação científica e a interdisciplinaridade no ensino e na aprendizagem das ciências", conjuntamente com a alínea a, o artigo abordará a relevância das tecnologias digitais e da interdisciplinaridade no ensino e aprendizagem das ciências.

O uso e aplicação destas abordagens aos materiais didáticos já gerados, alguns aqui apresentados, poderão dar maior efetividade a sua utilização contribuindo para avanços na popularização da ciência. No campo das plataformas digitais, mais do que disponibilizar livros e cartilhas para *download*, criar interação textual com o leitor a partir de Qr Codes que direcionam o leitor para plataformas com jogos interativos, leituras complementares etc. Isso requer, no entanto, cuidado e atenção quando de seus desenvolvimentos e usos, a fim de garantir coerência científica e adequação didática ao público-alvo.

5 O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA

A inteligência artificial (IA) representa uma ferramenta transformadora para a popularização da ciência, especialmente quando consideramos o objetivo estabelecido na alínea a, inciso II, artigo 2º do Decreto nº 11.754, que incentiva iniciativas que estimulem "o uso de tecnologias digitais, com vistas a promover a inclusão digital e a inovação na divulgação da ciência". A integração de sistemas de IA, pode ser útil na produção de materiais didáticos e de divulgação científica, assim como propiciar adequações e ampliação de alcance e efetividade de utilização dos materiais didáticos já existentes, tais como os produzidos pela parceria entre a Universidade de Brasília, a Universidade Federal de Goiás e a Eletrobras.

Uma das aplicações mais promissoras da IA na popularização do conhecimento científico no campo da Geotecnia está na adequação didática para personalização da aprendizagem. Sistemas baseados em algoritmos

de aprendizado de máquina podem adaptar o conteúdo das cartilhas "Meio Ambiente: Erosão", "Meio Ambiente: Infiltração" e "Meio Ambiente: Erosão em Borda de Reservatório", bem como dos livros "De grão em grão onde está o torrão?" e "De montante à jusante: o sedimento andou bastante", ao nível de compreensão de cada usuário. Essa adaptação dinâmica do conteúdo permite que crianças em diferentes faixas etárias e com distintos contextos e perfis de aprendizagem possam compreender conceitos científicos de maneira mais dinâmica e atrativa. Contudo, para alcançar essa efetividade, é recomendável que a utilização da IA conte com a mediação de um professor capacitado para gerar comandos adequados e reconhecer possíveis limites e inconsistências da IA e auxiliar na superação de eventuais limitações do formato impresso tradicional.

Além da personalização, a IA possibilita a criação de assistentes virtuais educacionais capazes de responder perguntas sobre os temas abordados nas publicações assumindo grande relevância a participação do professor(a) neste processo de modo a evitar a indução de erros e ao mesmo tempo complementar as respostas aportadas. Esses assistentes, implementados por meio de chatbots ou interfaces de voz, podem, após avaliação docente, ser integrados aos sites onde os arquivos digitais das cartilhas e livros já estão disponibilizados, oferecendo suporte contínuo aos leitores. Diferentemente do material estático, um assistente virtual pode esclarecer dúvidas específicas, propor atividades complementares e estimular a curiosidade científica de forma interativa, contribuindo para a educação ativa já mencionada nas publicações voltadas ao ensino fundamental. Transcrições e adaptações de materiais para estudantes cegos(as) ou com baixa visão também pode ser considerado na utilização das ferramentas de IA.

A geração automatizada de conteúdo multimídia, tais como sites, representa outra frente de aplicação relevante. Ferramentas de IA podem transformar os textos das cartilhas em narrativas audiovisuais, produzindo vídeos explicativos, animações e até mesmo realidade aumentada que ilustrem conceitos como erosão, infiltração e transporte de sedimentos. Essa transposição do conteúdo técnico para formatos mais atrativos e acessíveis alinha-se ao objetivo do Pop Ciência de promover a alfabetização científica da sociedade brasileira, uma vez que diferentes públicos possuem preferências distintas de consumo de informação.

A tradução automática neural, uma aplicação madura de IA, pode expandir o alcance internacional das publicações, sendo, no entanto recomendada a participação de um(a) tradutor(a) local, regional ou nacional, conforme o caso para que possam ser incorporadas nuances culturais. As cartilhas já disponibilizadas em espanhol poderiam ser automaticamente traduzidas para outras línguas, mantendo a qualidade técnica e adaptando o conteúdo, culturalmente, para diferentes contextos latino-americanos. Essa capacidade de internacionalização sem custos financeiros diretos proporcionais é especialmente relevante para países em desenvolvimento que enfrentam desafios similares relacionados à conservação de solos e à gestão de recursos hídricos.

A análise de dados de interação dos usuários com os materiais digitais, processada por algoritmos de IA, pode fornecer insights valiosos sobre quais conteúdos geram maior engajamento, onde os leitores apresentam maiores dificuldades de compreensão e quais abordagens pedagógicas são mais efetivas e, igualmente aqui, não dispensando a participação humana para que se tornem melhores e mais proveitosas. Essa retroalimentação contínua permite aperfeiçoar as publicações existentes e orientar o desenvolvimento de novos materiais, estabelecendo um ciclo virtuoso de atualização e melhoria baseado em evidências científicas disponíveis.

É importante reconhecer, entretanto, que a implementação de soluções de IA na popularização da ciência deve considerar questões éticas fundamentais. A transparência sobre o uso de algoritmos, a privacidade dos dados dos usuários – especialmente quando se trata de crianças e adolescentes – e a mitigação de vieses presentes nos modelos de IA são preocupações que devem ser endereçadas desde o projeto das iniciativas. Além disso, a IA deve ser compreendida como uma ferramenta de ampliação do trabalho humano dos educadores e pesquisadores, e não como substituta da expertise pedagógica e científica que fundamentou a criação das cartilhas e livros.

A integração da inteligência artificial aos esforços de popularização da ciência na área geotécnica representa, portanto, uma oportunidade significativa de aumentar a efetividade das publicações já desenvolvidas. Ao personalizar a aprendizagem, criar interfaces interativas, gerar conteúdo multimídia, expandir o alcance internacional e fornecer dados para melhoria contínua, a IA pode contribuir para que os objetivos do Decreto nº 11.754 sejam alcançados de forma mais abrangente, promovendo efetivamente a cultura científica e a inclusão social por meio da ciência, tecnologia e inovação.

6 O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA

Camapum de Carvalho et al. (2018), ao discutirem "O que, Onde e Como Ensinar o Conteúdo Geotécnico", já indicavam que o processo educativo não deve limitar-se à transmissão de conteúdos, mas considerar estratégias, ambientes e ferramentas adequadas para promover aprendizagem significativa. Nesse contexto, as tecnologias digitais constituem instrumentos estratégicos tanto no "como ensinar" quanto no "onde ensinar", abrangendo ambientes formais e não formais de educação.

O Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023), que institui o Programa Nacional de Popularização da Ciência – Pop Ciência, estabelece no artigo 2º, inciso II, alínea a, o incentivo a iniciativas que estimulem o uso de tecnologias digitais "com vistas a promover a inclusão digital e a inovação na divulgação da ciência". Tal diretriz reforça a necessidade de superação do modelo predominantemente estático de difusão do conhecimento, seja ele impresso ou disponibilizado apenas em formato PDF.

Embora as cartilhas e livros produzidos pelas universidades parceiras representem avanços significativos na democratização do conteúdo geotécnico, sua disponibilização digital ainda ocorre majoritariamente de forma passiva. A conversão dessas publicações em objetos digitais interativos pode ampliar sua efetividade, favorecendo maior engajamento, acessibilidade e mensuração de impacto.

Como exemplo concreto, atividades da cartilha "Meio Ambiente: Infiltração" podem ser convertidas em ambientes digitais interativos que permitam ao estudante simular diferentes condições de infiltração, alterando parâmetros como tipo de solo, intensidade de precipitação e cobertura vegetal. A visualização dinâmica dos resultados — por meio de gráficos simplificados ou animações — fortalece a compreensão de processos físicos frequentemente abstratos no ensino fundamental e médio.

De modo semelhante, atividades da cartilha "Meio Ambiente: Erosão" podem ser transformadas em jogos educativos digitais que incentivem a tomada de decisão quanto ao uso do solo, práticas conservacionistas e controle de processos erosivos. Já os conteúdos da cartilha "Erosão em Borda de Reservatório" podem dar origem a mapas interativos e simulações que permitam testar estratégias de mitigação, aproximando o estudante de situações reais de gestão ambiental.

A incorporação dessas atividades em plataformas web responsivas, acessíveis por dispositivos móveis, amplia significativamente o alcance das ações de popularização da ciência. Além disso, ambientes digitais possibilitam feedback imediato ao usuário; registro e análise de interações para avaliação de impacto; atualização contínua do conteúdo sem necessidade de reimpressão e integração com ambientes virtuais de aprendizagem utilizados por escolas públicas e privadas. Há que se destacar que as desigualdades regionais e sociais do Brasil, implicam em acesso igualmente desigual ao universo digital, muitas vezes limitado ao uso de celulares com baixo volume de dados móveis para acesso a sites e, não raro, limitados ao whatsapp.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de integrar recursos multimídia, como vídeos explicativos, animações, narrativas audiovisuais e realidade aumentada, favorecendo diferentes estilos de aprendizagem. Essa abordagem contribui para tornar os conceitos geotécnicos mais acessíveis a públicos diversos, incluindo crianças, jovens e adultos com distintos níveis de letramento científico.

Destaca-se que o uso de tecnologias digitais não substitui o material físico, mas o complementa, formando um modelo híbrido de popularização científica. A articulação entre cartilha e livro literário impressos, versão digital interativa e atividades mediadas por professores pode constituir um ecossistema educacional mais robusto e alinhado às demandas contemporâneas. Assim, a digitalização interativa das atividades já produzidas representa um passo estratégico para dar efetividade à produção. Ao alinhar-se às diretrizes do Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023), essa abordagem fortalece a inclusão digital, amplia o alcance social do conhecimento geotécnico e contribui para consolidar a cultura científica como instrumento de desenvolvimento humano sustentável.

7 RELEVÂNCIA DA INTERDISCIPLINARIDADE NA POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA

As mudanças climáticas, o crescimento da população e o uso acelerado dos recursos naturais são problemas que aumentaram significativamente nas últimas décadas, tornando evidente que, para alcançar uma gestão sustentável dos recursos naturais, que também satisfaça as necessidades humanas, é necessário um enfoque interdisciplinar na educação e na pesquisa científica. A interdisciplinaridade é uma estratégia essencial, que implica a interação participativa de várias disciplinas por meio do trabalho em equipe, do diálogo

e da colaboração para alcançar um objetivo comum. Com isso, são promovidas qualidades como flexibilidade, confiança, paciência, intuição, pensamento divergente, sensibilidade e capacidade de se relacionar na diversidade (Carvajal, 2010). Dessa forma, o trabalho em equipe é mais importante do que as contribuições individuais. Os problemas fundamentais que a humanidade enfrenta exigem um estudo integral. Isso demanda o uso do recurso humano e abordar cada um dos conhecimentos de forma interligada e interdependente. Portanto, é crucial trabalhar com uma visão integral, mostrando a necessidade de gerar mudanças na educação, no desenvolvimento da pesquisa e na divulgação da ciência, com novas abordagens interdisciplinares.

A interdisciplinaridade pode ajudar a aumentar a possibilidade de acessar a novos conhecimentos em diferentes áreas da ciência e melhorar a capacidade de integrar ambientes. É fundamental implementar a interdisciplinaridade nas instituições de ensino superior, sem a necessidade de eliminar a pesquisa e a educação tanto nos campos disciplinares quanto multidisciplinares. Isso pode ser alcançado abrindo a mente e estabelecendo redes e alianças que conectem, compartilhem informações, acelerem a produção e a transferência de conhecimento; para que a aplicação da ciência, em prol do desenvolvimento, possa chegar a muitos mais espaços, aproveitando sempre que possível o conhecimento gerado em contextos disciplinares e multidisciplinares. A participação ativa do ensino superior na busca de soluções para problemas urgentes é crucial (Vessuri, 2008). Sua relevância se amplia quando o conhecimento gerado é levado à sociedade como um todo, incluindo crianças, jovens, adultos e idosos. Promover o desenvolvimento e a divulgação da ciência, por meio da interdisciplinaridade, além de buscar o crescimento, deve promover o desenvolvimento humano integral. Isso envolve formar profissionais não apenas em suas habilidades acadêmicas e éticas, mas também em valores de solidariedade e cooperação.

8 MODELO INTEGRADO DE POPULARIZAÇÃO CIENTÍFICA E GEOTÉCNICA DIGITAL

A análise desenvolvida neste artigo evidencia que a produção de materiais didáticos voltados à popularização da ciência geotécnica pode ser consistente, criativa e alinhada a princípios de inclusão e sustentabilidade. Contudo, a ausência de mecanismos estruturados de mensuração, acompanhamento e retroalimentação limita a efetividade dessas iniciativas. Nesse contexto, propõe-se o Modelo Integrado de Popularização Científica Geotécnica Digital (MIPCGD), concebido como um sistema articulado entre produção acadêmica, tecnologias digitais, inteligência artificial e avaliação contínua de impacto.

O modelo inicia-se com a produção científica e sua transposição didática, compreende a transformação dos resultados de pesquisa em materiais acessíveis a diferentes públicos, como crianças, adolescentes, estudantes do ensino médio e universitários. Essa etapa, já consolidada por meio das cartilhas e livros produzidos pelas instituições parceiras, constitui a base estrutural do processo de popularização. Em seguida, propõe-se a digitalização interativa dos materiais, indo além do formato predominantemente estático (impresso ou PDF). Essa etapa envolve a conversão dos conteúdos em objetos digitais interativos, incluindo simulações simplificadas de processos geotécnicos, jogos educativos baseados em tomada de decisão, recursos multimídia e interfaces responsivas para dispositivos móveis. Essa transformação amplia o engajamento e favorece a aprendizagem ativa.

O terceiro componente do modelo corresponde à integração com ferramentas de inteligência artificial, que podem atuar na personalização do conteúdo conforme faixa etária e nível de compreensão, na implementação de assistentes virtuais para esclarecimento de dúvidas, na tradução automática para ampliação do alcance internacional e na análise de dados de interação dos usuários. Aqui a IA é compreendida como instrumento de apoio pedagógico, mas mantendo a centralidade humana na curadoria científica. O modelo prevê ainda a criação de uma plataforma digital integrada, destinada a centralizar os materiais, hospedar as atividades interativas, integrar assistentes virtuais e coletar dados de uso. Essa plataforma pode articular-se com ambientes virtuais de aprendizagem utilizados por escolas públicas e privadas, ampliando o alcance das ações de popularização científica.

Um elemento estruturante do modelo é a definição de indicadores de efetividade, tais como número de acessos e downloads, tempo médio de interação com atividades digitais, número de instituições participantes e avaliações qualitativas de professores e estudantes. A mensuração objetiva transforma a popularização da ciência em processo monitorável e passível de aprimoramento contínuo. O modelo incorpora também um mecanismo de retroalimentação e atualização contínua, no qual os dados coletados orientam ajustes nos

conteúdos, reformulação de atividades e incorporação de novas tecnologias. Esse ciclo transforma a popularização científica em sistema dinâmico, adaptativo e progressivamente aperfeiçoado.

Por fim, o modelo enfatiza a necessidade de articulação institucional, envolvendo secretarias de educação, ministérios competentes, projetos de extensão universitária e políticas públicas alinhadas ao Programa Pop Ciência (Brasil, 2023). Essa integração é condição essencial para que a produção acadêmica alcance efetiva inserção social e educacional. De forma sistêmica, o modelo estrutura-se como um ciclo contínuo que conecta produção científica, transposição didática, digitalização interativa, integração com inteligência artificial, mensuração de impacto e atualização permanente. Ao consolidar esse ecossistema integrado, a popularização da ciência geotécnica deixa de ser apenas produção de material e passa a constituir um processo estruturado, mensurável e replicável em âmbito nacional.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste artigo evidencia que a produção de material didático voltado à popularização da ciência na área geotécnica, no grupo de pesquisa citado, tem sido consistente, criativa e alinhada a princípios de inclusão, sustentabilidade e formação científica. No entanto, somente a produção e disponibilização de cartilhas e livros, mesmo em formato digital , não garante sua efetiva utilização.

O Decreto nº 11.754 (Brasil, 2023) oferece um marco normativo relevante ao estabelecer diretrizes claras para o fortalecimento da cultura científica e para o uso de tecnologias digitais como instrumentos de inclusão e inovação. Contudo, a efetividade dessas diretrizes depende da articulação entre universidades, escolas, secretarias de educação e ambientes digitais.

O uso de tecnologias digitais , incluindo plataformas interativas, objetos de aprendizagem, simulações e ferramentas baseadas em inteligência artificial, apresenta-se como caminho estratégico para ampliar o alcance das publicações já produzidas; tornar o processo de aprendizagem mais ativo e participativo; permitir avaliação do impacto das ações; fortalecer a integração entre educação formal e não formal. Além disso, a interdisciplinaridade surge como elemento estruturante da popularização da ciência, especialmente diante dos desafios contemporâneos relacionados às mudanças climáticas, à gestão sustentável dos recursos naturais e à formação cidadã.

Conclui-se que a popularização da ciência na área geotécnica não depende apenas da produção de conteúdo, mas da construção de ecossistemas de aprendizagem que integrem material didático, tecnologias digitais, políticas públicas e participação social. A consolidação desse modelo poderá contribuir de forma mais efetiva para a alfabetização científica e para o desenvolvimento humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil (2023) *Programa Nacional de Popularização da Ciência - Pop Ciência*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11754.htm. Acesso em: 10/02/2026.

Camapum de Carvalho, J. (2023) Avaliação sucinta da produção em ciência: diálogo entre uma pesquisadora e um cidadão. In: José Camapum de Carvalho et al. (Org.). *Diálogos geotécnicos: convite à reflexão*. 2ed. Brasília. v. 1, p. 17-55.

Camapum de Carvalho, J., Jesus, A. S., Mascarenha, M. M. A., Porto, F. M. R., Luz, M. P. (2018). O que, Onde e Como Ensinar o Conteúdo Geotécnico. Salvador: COBRAMSEG 2018. ABMS, 10 p.

Carvajal, Y. (2010) Interdisciplinariedad: desafío para la educación superior y la investigación. Revista Luna Azul, Colombia, No. 31, p. 156-169, ISSN 1909-2474.

Mascarenha, M. M. A., Camapum de Carvalho, J., Jesus, A. S., Rezende, L. R., Sales, M. M., Luz, M. P. (2023). Interaction of geotechnics with society through education. *Soils & Rocks*, v. 47, p. e2024004023

Vessuri, H. (2008). El futuro nos alcanza: Mutaciones previsibles de la Ciencia y la Tecnología. Capítulo 2. En Ana Lucía Gazzola y Axel Didriksson, (Eds.), Tendencias de la Educación Superior en América Latina y el Caribe. Caracas. 410 p.