

<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 3 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i3.2639>



Artigo de Pesquisa

Tecnologias aplicadas ao ensino de Geomorfologia – Realidade Virtual e modelos digitais

*Technologies applied to Geomorphology teaching – Virtual Reality and digital
models*

Anna Sabrina Vidal de Souza¹, Rubson Pinheiro Maia², Hudson Silva Rocha³, Mariana Araújo⁴ e Pedro Edson Face Moura⁵

- ¹ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brazil. annasabrinavidal@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5070-8208>
- ² Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brazil. rubsonpinheiro@yahoo.com.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1688-5187>
- ³ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brazil. HUDSONSILVACHA@GMAIL.COM
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-1042>
- ⁴ Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brazil. mariana.araujo123@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1328-9236>
- ⁵ Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Fortaleza, Brasil. pedroedson18@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3693-1280>

Recebido: 01/11/2024; Aceito: 16/04/2025; Publicado: 28/07/2025

Resumo: O ensino de geomorfologia, o qual envolve conceitos sobre processos físico-naturais complexos, foi tradicionalmente abordado com metodologias expositivas auxiliadas por excursões de campo. Entretanto, as práticas educacionais na sociedade atual requerem a utilização de recursos tecnológicos inovadores que subsidiem o processo de aprendizagem. Ademais, há crescente necessidade por inclusão de alunos com diversas necessidades educacionais especiais (e.g. baixa visão e cegos) em diferentes contextos educacionais. Diante disso, e considerando os avanços metodológicos na pesquisa científica em Geomorfologia no uso de geotecnologias, o presente trabalho aplicou tecnologias de Realidade virtual e modelos 3D físicos e digitais na educação, com o intuito de auxiliar no ensino e aprendizado, unindo teoria e prática. Através da fotogrametria e modelagem digital utilizando o algoritmo *Structure from motion* e da gamificação em realidade virtual, pode-se simular em ambiente imersivo uma experimentação prática multissensorial que reproduz o trabalho de campo virtualmente. Isso é feito através da reprodução computacional de cenários reais, como cavernas, *inselbergs*, cânions e falésias. Os modelos 3D do relevo digitais e impressos foram, portanto, levados à educação básica (Ensino Fundamental e Médio), a fim de promover uma prática pedagógica interativa e inclusiva, contemplando a Política Nacional de Educação Digital, no Brasil.

Palavras-chave: Geotecnologias; Ensino de Geociências; Realidade Virtual; Modelos 3D; Educação inclusiva.

Abstract: The geomorphology teaching, which involves concepts about complex physical-natural processes, has traditionally adopted an approach based on methodologies of expository lessons aided by field excursions. However, the educational practices in modern society require the utilization of innovative technological resources subsidizing the learning process. Additionally, there is a growing demand for the inclusion of students with special educational needs (e.g. low vision and blinds) in different educational contexts. In view of this and considering the recent methodological advances in scientific research in Geomorphology with the use of geotechnologies, this work applied Virtual Reality and 3D digital and physical models' resources in education, aiming at shortening the distances between theory and practice. Through photogrammetry and digital modeling using the Structure from Motion algorithm and gamification in Virtual reality, it is possible to simulate, in an immersive environment, a multisensorial and practical experience, reproducing the fieldwork virtually. This was carried out by the computational reproduction of real scenarios, such as caves, inselbergs, canyons, and coastal cliffs. The digital and physical 3D models of these landforms were thus used in teaching activities in basic education (Middle and High School), with the objective to promote an interactive and inclusive pedagogical practice, contemplating the National Digital Education Policy in Brazil.

Keywords: Geotechnologies; Geosciences education; Virtual Reality; 3D Models; Inclusive education

1. Introdução

No ensino de Geociências, são comuns temas como tectônica de placas, origem de cadeias de montanhas e oceanos, relevo do Brasil, formação dos domínios morfoclimáticos e suas paisagens associadas. No tocante aos processos e formas da Terra, há uma dificuldade em não apenas explicar, mas representar e tornar inteligível esses temas para alunos de diversos níveis e contextos educacionais (SCHUCHARDT; BOWMAN, 2007; BEDAIR; SAYED; ALMETWALY, 2022). Apesar do uso crescente de recursos didáticos digitais (e.g. livros didáticos digitais e uso de tablets nas salas de aula), o ensino baseado na explicitação oral e uso de imagens e fotografias bidimensionais ainda é a regra. Por outro lado, a pesquisa científica de ponta cada vez mais dispõe de recursos diversos de imageamento tridimensional da paisagem através de equipamentos como drones, laser scanner portáteis e fixos, dentre outros, que são utilizados nas técnicas de (aero)fotogrametria para geração de modelos tridimensionais do relevo em diversas escalas, de cavernas a montanhas (MOURA, 2022; SOUZA et al., 2023; MAIA; SOUZA, 2024). Em contrapartida, esse avanço tecnológico científico nas Geociências não é amplamente acessível e nem utilizado nas escolas no ensino de Geografia, acarretando um distanciamento entre o Ensino Superior e o Ensino Básico na educação brasileira.

No contexto escolar, o estudo de geociências baseia-se sobretudo em excursões de campo, como método que permite o contato do aluno com os objetos de estudo no mundo real. Entretanto, é necessário considerar que os alunos se encontram numa sociedade cada vez mais tecnológica. Ao incorporar ferramentas digitais no currículo escolar, as instituições educacionais não apenas ampliam o alcance do aprendizado, mas também propiciam o desenvolvimento de habilidades essenciais como a interpretação espacial em colaboração em ambientes virtuais (BRASIL, 2018). Ademais, a compreensão sobre formas e processos presentes nas diversas paisagens naturais é relativamente limitada para estudantes com necessidades educacionais especiais, sejam de mobilidade quanto de deficiência visual e de baixa visão (CAKIR; KORKMAZ, 2019). Nesse sentido, alguns estudos no Brasil têm sido feitos utilizando modelos digitais e Realidade Virtual (RV) da paisagem a fim de tornar mais acessível o ensino dos temas de geociências de maneira inclusiva (VERGES et al., 2024). Essas aplicações, todavia, ainda são pontuais e não se encontram difundidas e acessíveis para alunos na rede básica brasileira, apesar de a Base Nacional Comum Curricular para Ensino Fundamental e Ensino Médio englobar competências como a utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação e acesso de informações, além de objetivar que alunos “compreendam fundamentos científico-tecnológico dos processos” (BRASIL, 2018).

Para fortalecer a inserção das tecnologias no ensino, a elaboração da Política Nacional de Educação Digital (PNED - Lei nº14.533/2023) objetiva facilitar o acesso da população a recursos digitais, com prioridade para as populações mais vulneráveis, e garantir a inserção da educação digital nos ambientes escolares, em todos os níveis e modalidades, a partir do estímulo ao letramento digital e informacional e à aprendizagem de diversas competências digitais (BRASIL, 2023).

A integração de tecnologias avançadas no ensino de Geociências tem potencial de promover uma aprendizagem mais interativa e inclusiva, uma vez que, a partir da manipulação dos objetos tecnológicos, estudantes vivem a imersão, a interação e imaginação por meio da Realidade Virtual (CONCANNON; ESMAIL;

ROBERTS, 2019; ŠVEDOVÁ; KUBÍČEK, 2021; AZZURI et al., 2024). Tecnologias como visualização de paisagem em RV com óculos de imersão 3D e maquetes táteis de formas de relevo são recursos que auxiliam na aprendizagem de conceitos complexos apresentados aos alunos, uma vez que oferecem experiências imersivas e práticas que permitem aos estudantes explorarem e interagirem com representações de fenômenos e ambientes naturais de maneira mais tangível (CAROLAN, 2007; FISHER et al., 2019; LAMPROPOULOS; KINSHUK, 2024).

Fato é, que estudos recentes destacam o impacto positivo dessas tecnologias envolvendo realidade aumentada e virtual, gamificação e modelos 3D da paisagem na retenção de conhecimento e na motivação dos alunos, na inclusão de alunos com necessidades especiais (BOWER et al., 2014; MIKROPOULOS; NATSIS, 2011; PARSONS, 2016; SUBHASH; CUDNEY, 2018; KÖSE; GÜNER-YILDIZ, 2021; SILVA; MARTINS; ROCHA, 2025) e, particularmente, no ensino de Geografia e Cartografia (CARRERA; ASENSIO, 2016; CARRERA et al., 2017; HRUBY, 2019; SHAKIROVA; SAID; KONYUSHENKO, 2020; QUOOS; FIGUERÓ, 2021; NIU et al., 2023; CARRUBA; CALCAGNO; COVARRUBIAS, 2023; HAYAKAWA et al., 2024). Nesse sentido, o presente trabalho explora a aplicação dessas tecnologias no ensino de Geociências (particularmente na disciplina de Geomorfologia).

Em vista disso, esse trabalho envolve aplicações tecnológicas usando Impressão 3D e Realidade Virtual como ferramentas de auxílio à educação nas aulas associadas a temas ligados às Geociências, particularmente no ensino de Geomorfologia, utilizando exemplos de diversos relevos no Brasil; algumas das paisagens estudadas incluem maciços cristalinos, *inselbergs*, falésias e cavernas. Buscou-se promover a aplicação desses recursos envolvendo visualização de dados em modelos digitais 3D de formas de relevos através da realização de atividades pedagógicas em contextos diversos a fim de fornecer primeiras impressões sobre o potencial de uso dessas tecnologias nas geociências e avaliar qualitativamente essa aplicação, a fim de contribuir com práticas pedagógicas inovadoras na educação básica, discutindo suas possibilidades e limitações (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017).

Com isso, o presente trabalho se propõe a apresentar a aplicação de tecnologias de RV e modelos 3D digitais como práticas pedagógicas interativas e inclusivas, para facilitar a compreensão de conceitos complexos de geomorfologia no ensino fundamental e médio.

2. Materiais e Métodos

2.1. Aquisição de dados, processamento digital de modelos 3D e impressão de maquetes

A aquisição de dados visuais de objetos naturais (maciços, falésias, afloramentos rochosos etc.) é feita a partir de técnicas de fotogrametria, técnica tradicional que consiste na obtenção de informações quantitativas e mensuração de objetos do mundo real a partir da interpretação de fotografias e seus padrões através do princípio da triangulação (ABER; MARZOLFE; RIES, 2010).

Com o advento tecnológico, o uso de fotografias digitais e a incorporação da aerofotogrametria, processo de aquisição de dados espaciais e tridimensionais do terreno por meio de fotografias aéreas, foi amplamente desenvolvido para diversos fins. Nas Geociências, o uso de fotogrametria aérea com Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS - *Remotely Piloted Aircraft System*), ou drone (BERTACCHINI et al., 2014; BARCELOS; DANELON; RODRIGUES, 2022; GROHMANN et al., 2023), permite a obtenção de dados em áreas de grande extensão e difícil acesso (e.g.: pequenas montanhas). A técnica de fotogrametria utilizando câmeras fotográficas profissionais é geralmente empregada em locais fechados ou de limitado uso de drone (e.g.: galerias em cavernas).

O objetivo do levantamento (aero)fotogramétrico é a geração de modelos virtuais tridimensionais do objeto natural a ser imageado permitindo sua manipulação, visualização e aquisição de dados fora do campo, em computadores.

O protocolo de aquisição desses dados passa inicialmente por etapas de campo. Nesse sentido, trabalhos de campo foram executados para a aquisição de dados em diversos contextos paisagísticos diferentes no Brasil: *inselbergs* no semiárido nordestino, falésias no litoral e cavernas na região tropical do Brasil. Para *inselbergs* e falésias, os levantamentos são aerofotogramétricos e foram realizados com o RPAS Phantom 4Pro DJIgo, com câmera acoplada. Os imageamentos são feitos com resolução submétrica e em altitude média de 80 m a 100 m da base de decolagem, a depender da dimensão do afloramento a ser imageado. A metodologia de aquisição é manual, onde são capturados em torno de 300 fotos por km², com sobreposição de ~80%, com posição em nadir e a ângulos de ~45%, a fim de obter precisão nas laterais do relevo para construção de modelos 3D em ambiente digital com maior precisão.

Em cavernas, a técnica empregada é a fotogrametria, que consiste em duas etapas principais, a primeira é o levantamento de imagens em campo (Figura 1). Nesta etapa são realizadas fotografias sequenciais cumprindo os parâmetros fotogramétricos de sobreposição laterais e verticais de no mínimo 60%. Para este trabalho foram capturadas cerca de 2000 fotos, com uma câmera digital Sony DSC-Hx300, de distância focal da lente até 215 mm. As fotografias são feitas em sequência e devem ter uma cobertura de 360° (globos de aquisição, Figura 1A). A iluminação (artificial, de luz branca) é um fator essencial para aquisição das fotos nesse caso e esse procedimento é repetido ao longo da extensão da cavidade. Ressalta-se que o fotômetro da câmera deve estar ajustado em “Pouca Luz” para maximizar a captação de luz no sensor no interior da caverna. Para auxiliar na geração de pontos homólogos durante processamento das nuvens (e.g. identificação de diferenças na textura do objeto), são posicionados pontos de controle com figuras geométricas diferentes ao longo do percurso de aquisição.

As subsequentes etapas de processamento - similares tanto na fotogrametria quanto para aerofotogrametria - resultam na construção do modelo tridimensional com resolução submétrica. O processamento é realizado no software Agisoft Metashape Photoscan (Laboratório de Geomorfologia - UFC) utilizando o algoritmo *Structure from Motion* (SfM), que cria um modelo computacional de pontos a partir de efeitos estereoscópicos digitais. O Workflow consiste em: adição das fotos e definição de sistema de coordenadas geográficas (SIRGAS 2000); alinhamento de figuras; geração de nuvem de pontos. Após isso, são gerados modelos tridimensionais a partir da interpolação das nuvens de pontos, dando o aspecto de alta resolução da textura do relevo. Esta visualização pode ser fundida com as fotos alinhadas no modelo, dando um aspecto real do afloramento no modelo 3D (*Mesh*). Em seguida, são exportados a partir destes, o Modelo Digital de Terreno (MDT) e ortomosaico georreferenciados; os quais podem ser manipulados em outros softwares de visualização de dados 3D e de SIG (Sistema de Informação Geográfica).



Figura 1. Representação da técnica de aquisição de dados por fotogrametria em ambientes como cavernas a partir do protocolo de aquisição fotogramétrica em cavernas, a partir da obtenção de fotografias em globo de aquisição 360°.

Esses modelos virtuais são adaptados para três fins: visualização do modelo em software livre (*Cloud Compare*), também utilizado para obtenção de dados geométricos em pesquisas; geração de cenários em realidade virtual e impressão 3D (Figura 2), com a finalidade de potencializar o uso didático dessas ferramentas no ensino das Geociências.

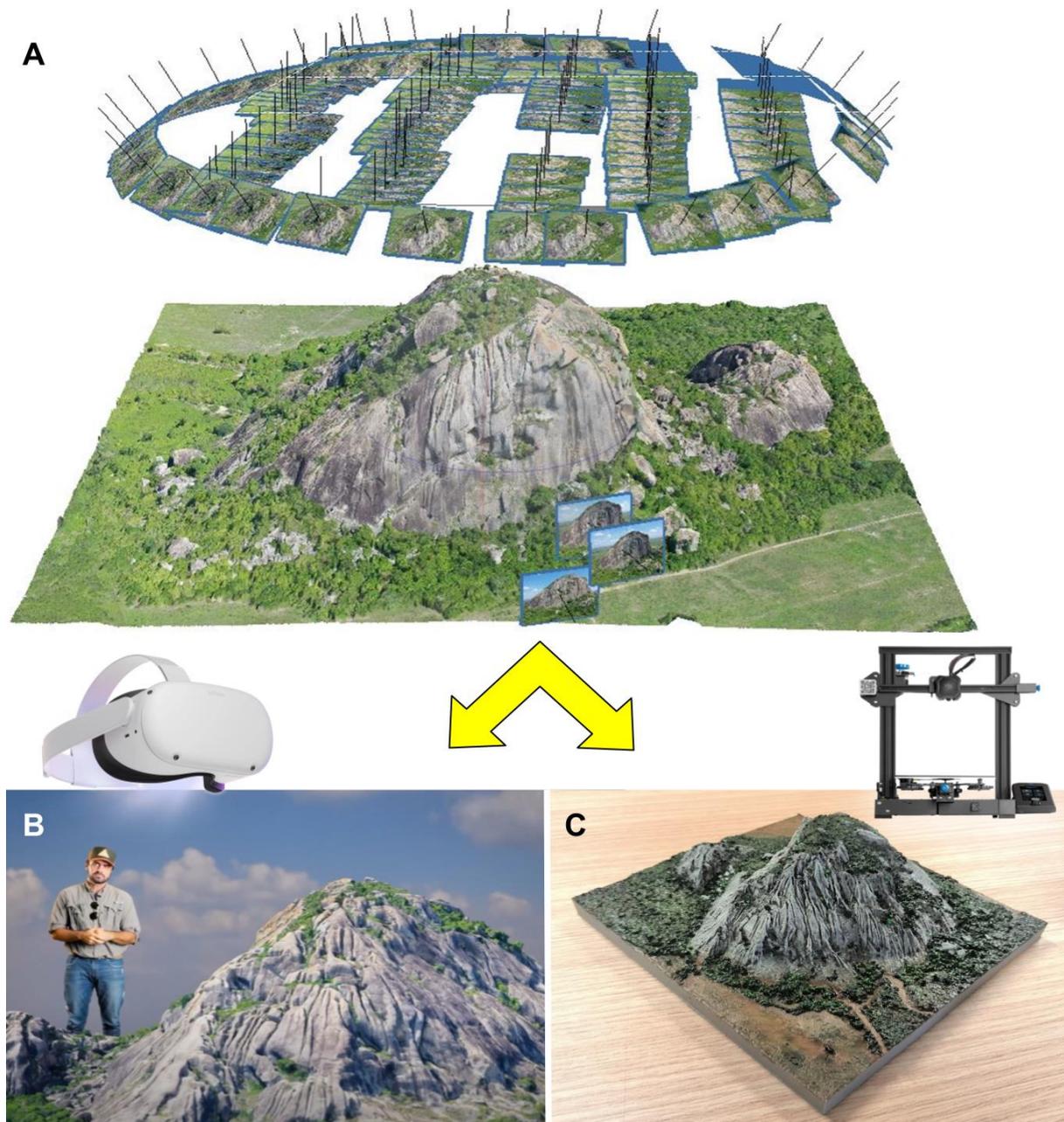


Figura 2. Representação da aquisição de dados e geração de produtos educacionais da técnica de aerofotogrametria, realidade virtual e impressão 3D. (A) Representação da aerofotogrametria em inselbergs utilizando drones e geração do modelo digital do *inselberg* no software *Agisoft*. (B) Exemplo de Modelos gamificados com avatar humano em realidade virtual. (C) Maquete impressa a partir de modelo computacional em impressora 3D e decorada.

Após serem gerados no *software Agisoft Metashape*, os modelos, ainda neste mesmo *software*, passam por um processo de otimização de malhas e texturas, onde há uma aplicação de um algoritmo (*Optimize Alignment*), que através de krigagem, interpola os pontos com falhas para reduzir a quantidade de artefatos do produto. Isso serve para adequar a aplicação às limitações gráficas dos dispositivos Meta Quest 2 (óculos de realidade virtual), sem comprometer a fidelidade visual ao modelo real. O *software Unreal Engine*, um motor de computação gráfica 3D,

é empregado para o desenvolvimento da aplicação interativa, permitindo a exploração dos modelos em tempo real. Para garantir uma experiência fluida, são utilizados recursos de gamificação e técnicas de otimização gráfica, assegurando a interatividade e a imersão dos usuários (COSTA, 2020). Essas técnicas envolvem a renderização dos modelos e suas texturas com a utilização da tecnologia Nanite, a manipulação dos modelos pesados e de alta-resolução são facilitadas, fornecendo também uma interface mais dinâmica e realista na visualização das paisagens tridimensionais imersivas.

Os modelos virtuais, além de manipuláveis em computadores e RV, foram impressos em 3D aplicando manufatura aditiva através da Modelagem por Fusão e Deposição (*FDM - Fused Deposition Modeling*) (VOLPATO, 2017) (Figura 2D). O processo de geração de modelos físicos consiste na extração do arquivo em formato “.stl”, gerado no Agisoft Photoscan. Finalmente, esse arquivo é enviado à impressora, modelo Ender-3 V2 (CReality), onde o processo de fatiamento 3D é realizado através do *software* Creality Slicer. Os modelos, então, são impressos em filamentos de PLA (*polylactic acid* ou ácido polilático), um termoplástico biodegradável, gerando impressões com texturas fidedignas ao modelo de relevo real. Os modelos impressos no filamento de cor cinza são decorados manualmente com pincéis (0, 0,5 e 1) e tinta acrílica fosca. As cores selecionadas são similares ao relevo na realidade, aplicando a técnica “camada sobre camada”, onde as colorações mais escuras são pintadas por baixo, para dar efeito de sombreado e profundidade, e as mais claras nas porções mais elevadas.



Figura 3. Maquetes impressas a partir de modelos digitais fotogramétricos. (A) Conjunto de maquetes geradas pelo Laboratório de Geomorfologia UFC.

2.2. Aplicação de recursos tecnológicos na educação

2.2.1. Atividade “Paisagens Táteis”

Com o objetivo de promover o ensino de Geomorfologia para alunos cegos e com baixa visão e autistas, foram organizadas aulas com uso de maquetes 3D geradas a partir do processamento digital de modelos do relevo (aerofotogrametria). As maquetes táteis feitas com filamentos de PLA são texturizadas, permitindo a sensação de detalhes nas formas de relevo. As aulas de geografia foram ministradas com alunos de 9º e 7º ano do Ensino Fundamental, no Instituto dos Cegos (Fortaleza, Ceará), em uma turma de 7 alunos.

O tema da aula foi “Paisagens Táteis” e abordou a diversidade de paisagens e de formas de relevo no Brasil. Para tanto, foram utilizadas dez maquetes de relevos diferentes no Brasil (*inselbergs*, falésias, cavernas, cânions e cachoeiras). Materiais rochosos também foram utilizados para demonstração de texturas diferentes que formam os relevos.

A condução da aula se deu de maneira interativa, em que conceitos geomorfológicos como formas de relevo e seus processos de formação foram abordados de maneira prática, em que os alunos puderam manipular as maquetes e foram estimulados a fazer reflexões sobre os tipos de eventos geográficos que moldaram aquelas paisagens (veja plano de aula na Tabela 1).

Tabela 1. Plano de aula seguido na atividade “Paisagens táteis”

Plano de aula “Paisagens táteis”	
Disciplina: Geografia / Turma: Ensino Fundamental (Anos Iniciais) - alunos cegos e baixa visão	
Objetivo geral	Apreender conceitos geográficos a partir de modelos físicos 3D
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> ● Compreender a relação entre as rochas e o relevo (texturas gerando formas diversas); ● Desenvolver a noção de escala das formações do relevo em comparação à escala humana; ● Conhecer, a partir de modelos, paisagens naturais brasileiras e suas características (relevo; vegetação e as sensações associadas); ● Associar conceitos geográficos (ex.: lugar) com a diversidade geomorfológica (paisagem).
Materiais	<ul style="list-style-type: none"> ● Maquetes 3D – Inselbergs [3]; Cavernas [2]; Falésia [1]; Cachoeira [1]; Globo [1]. ● Amostras de rocha – Granito [2]; Carbonato [1]; Arenito [1].
Sequência didática/ Metodologia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Início com conversa com os alunos a respeito do conceito de paisagem, relevo. Promoção de diálogo sobre as experiências que eles tiveram com paisagens naturais. 2. Explorar a diversidade de ambientes naturais e a geomorfologia, com a interação de tipos de materiais (rochas) diferentes e os processos naturais que modificam a paisagem. Apresentar nessa etapa tipos de rochas e texturas associadas e comparar texturas naturais e artificiais. 3. Relacionar as formas do relevo com analogias da anatomia humana e apresentar os modelos táteis como exemplos da morfologia terrestre. Demonstrar a diferença da escala espacial humana da escala do relevo. Explorar cada tipo de morfologia por vez – inselbergs; falésias; cavernas, etc. 4. Nos momentos finais, trabalhar o conceito de lugar nesses espaços naturais. Trazendo relações entre a sociedade e o uso desses espaços: sertões, cavernas, praias etc..
Avaliação	Promoção de autoavaliação. Diálogo com alunos a respeito das experiências que tiveram com os modelos e os conhecimentos adquiridos a partir dessa prática.

O plano de aula organizado na atividade de paisagens táteis buscou inovar tanto nos recursos didáticos quanto na inclusão de alunos cegos e com baixa visão nas aulas de Geografia. Nesse sentido, o uso de maquetes táteis geradas por modelos 3D como recursos nessas aulas se tornou um avanço aos tradicionais mapas táteis, que permitem uma visão unicamente 2D do espaço. Os modelos 3D de alta resolução permitiram aos alunos com limitações visuais a abstrair as formas de relevo em detalhe, auxiliando e estimulando sua compreensão do relevo terrestre. Esses recursos ainda não são explorados nas aulas de Geografia, o que permite que essas aplicações possam adquirir potencial para serem exploradas neste e em outros níveis e contextos educacionais.

2.2.2. Atividade “Relevo Virtual”

As atividades de ensino utilizando Realidade Virtual englobaram diversos níveis educacionais, incluindo aulas interativas com alunos de Ensino Médio (1° e 2° ano) e Ensino Superior (Estudantes de Engenharia Ambiental), o que permitiu a abordagem dos conceitos geomorfológicos em contextos de aprendizado diferentes. Essas ações foram realizadas por meio de visitas das escolas ao Laboratório de Geomorfologia (Departamento de Geografia – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza).

Ressalta-se aqui a distinção entre Realidade Virtual e Realidade Aumentada (RA). A RV mergulha o usuário num ambiente digital completamente novo, proporcionando uma experiência interativa através da utilização de fones e/ou óculos. Já a RA complementa o ambiente do mundo real, sobrepondo-lhe objetos digitais, aumentando-o com informações adicionais ou melhorando a sua funcionalidade (ÇOLTEKIN et al., 2020; RAUCHSNABEL, et al., 2022; AL-ANSI et al. 2023). Neste trabalho, deu-se a utilização didática de Realidade Virtual.

As aulas foram adaptadas ao contexto e nível de cada turma e a metodologia empregada consistiu na participação ativa dos alunos na utilização dos recursos metodológicos acompanhada pelo professor com explanação sobre relevos em diversos contextos ambientais, com foco em *inselbergs* e cavernas, abordando, em geral, conceitos sobre controles geológicos na evolução do relevo e aplicações das geotecnologias na Geografia. Realizou-se campos virtuais e visualização do relevo envolvendo o uso de (1) modelos computacionais (digitais e físicos) e (2) realidade virtual com óculos RV (veja plano de aula na Tabela 2).

Tabela 2. Plano de aula seguido na atividade “Relevo virtual”

Plano de aula “Relevo Virtual”	
Disciplina: Geografia / Turmas: Ensino Médio (1 e 2° anos) e Superior (Eng. Ambiental)	
Objetivo geral	Compreender conceitos de geomorfologia a partir de modelos virtuais do relevo de diferentes ambientes.
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> ● Elucidar a relação entre as rochas e o relevo; ● Conhecer a diversidade de paisagens e morfologias diversas pouco acessíveis/remotas e as novas técnicas para mapear e representá-las; ● Racionalizar como processos naturais modelam as paisagens (formas de relevo).
Materiais	<ul style="list-style-type: none"> ● Óculos VR [2] ● Computadores [2] com modelos 3D no software Cloud Compare ● Maquetes 3D – Inselbergs [4]; Cavernas [2]; Falésia [1]; Cachoeira [1]; Globo [1].
Sequência didática/ Metodologia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Início com conversa com os alunos a respeito dos conceitos de paisagem, relevo e os processos que modelam as formas na terra, relacionando a geologia com a geomorfologia. 2. Abordar tipos de relevo diversos e os ambientes em que ocorrem (relação com clima, vegetação etc.) e sua importância para entender a história da terra. 3. Explicação das etapas de geração de modelos a partir de geotecnologias (ex.: aerofotogrametria) e manipulados para obter informações sobre a paisagem, e utilizadas para a sociedade (ex.: mapeamento de riscos; indústria do petróleo, etc). 4. Manipulação dos modelos virtuais e físicos de relevos no Brasil e imersão em realidade virtual (uso de óculos VR), estimulando o raciocínio geomorfológico sobre formas e processos.
Avaliação	<p>Roda de conversa com perguntas subjetivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Você já tinha ouvido falar em modelos digitais de paisagens? ● Você sabia das aplicações que modelos 3D tem na sociedade? ● Você já conhecia algum local que visualizou na RV? ● O que mais chamou sua atenção na atividade de paisagens interativas?

A primeira parte consistiu em duas etapas principais: primeiramente, foi explicado como os modelos eram gerados (técnica de fotogrametria). Os modelos virtuais, em seguida, puderam ser manipulados pelos alunos no *software* livre *Cloud Compare*. Os modelos foram abertos nos computadores e disponibilizados aos alunos. Com a visualização dos modelos, formas e feições do relevo, desconhecidos por muitos, puderam ser não apenas vistos, mas manipulados em ambiente virtual. Os mesmos modelos virtuais impressos em 3D foram apresentados aos alunos seguidos da explicação do tipo de relevo observado, suas especificidades de formação e processos geomorfológicos na sua evolução. Esses temas são estudados por eles de maneira geral nas disciplinas de Geomorfologia (aulas de Geografia), entretanto, o contato mais direto com essas formas não acontece.

A segunda parte da aula consistiu na imersão virtual no campo, ou seja, nos locais onde esses dados foram adquiridos. Três óculos de RV foram colocados nos alunos, de maneira que cada um tivesse alguns minutos para visualizar e explorar a paisagem virtual. Foram apresentados modelos de uma caverna (Caverna Cristal, Bahia) e *inselberg* (Serrote Muxió, Quixadá). Um dos modelos consistia em uma videoaula, em que um avatar virtual do professor coordenador foi inserido ao lado do modelo do relevo com explicações sobre suas formas e características específicas. No modelo da caverna, o próprio aluno é um avatar que se desloca no interior da cavidade, podendo percorrê-la por alguns metros.

A sequência didática pensada nessa atividade buscou diferir-se das metodologias de ensino comuns nas salas de aula no ensino de geociências para ensino médio, buscando ir além da exposição de conceitos comuns em Geomorfologia. Considerou-se no plano de aula o contexto em que os jovens se inserem no uso de tecnologias, e buscou-se explorar esses recursos na elucidação e desenvolvimento de conceitos na disciplina. Para a turma de Ensino Superior de Engenharia Ambiental, essa exploração dos conceitos e aplicações das geotecnologias na Geomorfologia permitiu que os alunos tivessem contato mais direto com o objeto de estudo dessa ciência, que é importante na sua formação profissional no meio ambiente, além de permitir o conhecimento de técnicas que podem ser exploradas profissionalmente em suas áreas. Objetivou-se fornecer esse espaço de aprendizagem para esses alunos a partir da nossa experiência com geotecnologias, indo além do que o curso regular poderia fornecer na compreensão da ciência geomorfológica.

3. Resultados e discussão

3.1. Ensino de Geomorfologia com maquetes do relevo para alunos com necessidades educacionais especiais

O ensino de Geociências, particularmente da disciplina de Geomorfologia, envolve conceitos tais como tipos de relevo, processos que geram formas de relevo, e feições que caracterizam tipos diversos de paisagem. Estes foram abordados por meio de um ensino inclusivo e tecnológico, em turmas de alunos com necessidades educacionais especiais, incluindo estudantes cegos e com baixa visão, e autistas.

A prática pedagógica objetivou tornar esses temas de Geografia física que aparentemente se tornam distantes ou complexos dos alunos, que vivem numa realidade urbana, com pouco contato com o contexto natural das formas de relevo da Terra e, ademais, enfrentam o desafio de aprender e compreender os processos que os geram devido às suas limitações físicas.

Tendo isso em vista, a abordagem didática com alunos de Ensino Fundamental – Anos Finais, consistiu na introdução aos alunos sobre a relação entre os diferentes tipos de materiais que formam a crosta terrestre (a parte mais externa do planeta) e as diversas formas que o relevo da crosta pode assumir como resultado da interação de inúmeros processos. Essa introdução foi mediada pelo contato com amostras de rochas extraídas de diversas localidades (incluindo granitos, calcários, arenitos etc.) ou seja, rochas com diferentes texturas, as quais foram comparadas com texturas de materiais antrópicos (tal como a mesa da sala de aula), que possuem um aspecto regular devido à ação humana. Os alunos, então, puderam manipular rochas ígneas (formadas por cristais) e rochas sedimentares (formados por areia e carbonato de cálcio), e foram conduzidos a perceber as diferenças na sua textura, tal como rugosidade, presença de grãos finos ou grossos, ou de superfície mais regulares. Para os alunos cegos e de baixa visão, a experiência tátil com materiais naturais foi fundamental na criação da compreensão inicial de que os materiais que formam o relevo da terra são muito diversos. Partindo dessa percepção, foi exemplificado aos alunos os diversos processos que essas rochas podem ser submetidas (ex. chuva e ventos fortes), os quais vão, ao longo do tempo, esculpir essas rochas, desgastando-as. Essa percepção das diferenças dos materiais permitiu aos alunos abstraírem sobre quais materiais podem ser mais resistentes ou frágeis em frente a processos de erosão

e formação de relevo. Foi perceptível essa racionalização uma vez que os próprios alunos sugeriram os tipos de processos que poderiam alterar ou desgastar aquelas rochas.

Essa compreensão basilar sobre o que pode levar um relevo (um alto) a se formar, no momento da manipulação das amostras, foi conduzida a partir da ideia de que alguns materiais tendiam a ser mais “fortes” e sustentar altos relevos, ao passo que outros poderiam ser facilmente desgastados. A avaliação da compreensão por parte dos alunos dessa diferença foi baseada na resposta que davam frente às explicações, por exemplo, que um material como a areia é fraco e levado pelo vento, então não forma grandes e estáveis relevos.

Em seguida, foi abordada a diversidade de relevos e formas que a Terra pode possuir como resultado de processos, tais como a temperatura, as chuvas, a passagem de rios pela superfície etc. Essa noção é o fundamento da ciência geomorfológica, ou seja, compreender a interação entre o substrato físico da Terra e a atmosfera. Nesse sentido, e com o objetivo de fazer os alunos perceberem diferenças e similaridades entre relevos que constituem o Brasil, foram entregues aos alunos maquetes com características similares por bloco (Figura 4). Nesse momento, é importante ressaltar que a noção de escala foi também trabalhada com os alunos. Considerando que as maquetes são miniaturas do relevo, foi explicado aos alunos que essa representação em miniatura correspondia a relevos de em torno de 200 metros de altura. A fim de comparação, abordou-se a escala do relevo em relação à escala humana, através da noção que eles têm de si próprio. Cada aluno, possuindo em média 1,60 – 1,70m, sendo mais de 100 vezes menores do que algumas formas de relevo apresentadas. Assim, isso os permitiu ter uma noção da dimensão que a morfologia da paisagem pode alcançar.

Inicialmente, foram entregues para manipulação maquetes de relevos típicos do semiárido, formado por rochas muito resistentes tais como granitos (que previamente foi sentido por eles nas amostras). Esses relevos possuem particularidades, incluindo escarpas íngremes e algumas feições menores, tal como pequenas caneluras (canais formados pela passagem da água), que foram sendo indicados aos alunos conforme eles tocavam e manipulavam as maquetes. Esses detalhes da superfície puderam ser sentidos pelos alunos uma vez que, durante a mediação, os professores posicionam a mão dos alunos cegos/baixa visão nesses locais com feições particulares acompanhado de uma explicação dos processos de sua formação. Em geral, os alunos ficaram muito curiosos e faziam perguntas como as formas que sentiam nas maquetes, dada a grande interação física deles com o objeto estudado (algo que é incomum na geomorfologia, uma ciência que se estuda visualizando o relevo).

Os alunos com baixa visão conseguiam, além de reconhecer as texturas verificar um pouco das cores (de maquetes decoradas), o que os ajudava a perceber como aquele relevo é na realidade e seu aspecto de cor que resulta de processos de alteração da rocha superficialmente ou da composição daquele material.



Figura 4. Atividades de paisagens táteis com alunos cegos e de baixa visão do Ensino Fundamental utilizando maquetes do relevo geradas pelo Laboratório de Geomorfologia – UFC.

Na sequência, maquetes relativas a morfologias como cachoeiras e cavernas foram apresentadas, seguidas da explicação de como cada uma dessas formas tende a se desenvolver na paisagem. A interação dos alunos não ocorreu apenas da manipulação individual das maquetes; os estudantes fizeram diversas perguntas tais como, “como se formam cachoeiras?” e puderam trazer interpretações pessoais das formas de relevo antes de receberem as explicações. Esse contato com as formas de relevo nas maquetes seguidas de interpretação geomorfológica e abstrações de processos naturais na evolução da paisagem evidencia o potencial que a ferramenta tecnológica tem em estimular o raciocínio sobre a relação forma-processo, que reside na base das Geociências.

Por fim, maquetes com formas de relevo costeiras, como falésias, foram entregues aos alunos; de maneira particular, foi considerado a perspectiva da vivência dos alunos, que residem em uma cidade litorânea. Deste modo, a discussão sobre as formas das falésias foi acompanhada da interação dos alunos com aquele espaço vivido (MOTTA, 2003), já que muitos conheciam a praia a partir da qual o modelo foi gerado (Beberibe, CE), suscitando uma identificação com a atividade em questão. Os alunos puderam interagir e discutir sobre aspectos da formação dos paredões rochosos nas praias associado às práticas sociais.

Um aspecto fundamental na atividade de Paisagens Táteis é a possibilidade que a manipulação de cada maquete confere aos alunos a percepção de detalhes do relevo, o qual é praticamente inacessível quando se considera a visualização dessas formas, seja em ambiente virtual ou na realidade. Isso se dá, pois, aspectos como a profundidade e forma de feições de detalhe são sensíveis no modelo, tais como feições erosivas em escarpas, cavidades e irregularidades, que puderam ser percebidas pelos alunos, uma vez que as maquetes foram impressas a partir de modelos com malhas de alta resolução.

Uma avaliação qualitativa da atividade pode ser delineada a partir da percepção de que as maquetes foram exploradas por estudantes com diferentes níveis de engajamento na atividade. Alunos com deficiência visual (cegos) puderam explorar, de maneira tátil, as diversas formas da Terra e suas morfologias de detalhe nos relevos em miniatura. Aqueles de baixa visão conseguiram perceber as cores, o que confere uma percepção melhor do aspecto de cada relevo e suas diferenciações, por exemplo, de ambiente, evidenciados pela cor da “superfície rochosa” e da “vegetação”. Além disso, notamos que alunos em espectro autista demonstraram grande curiosidade sobre os processos tecnológicos envolvidos na confecção dos modelos físicos, o que estimulou suas habilidades e interesses no campo tecnológico. Assim, são perceptíveis as potencialidades do emprego destes instrumentos

tecnológicos no ensino de Geomorfologia, de maneira prática e inclusiva, oferecendo uma experiência educacional equitativa.

Observou-se que as maquetes oferecem uma oportunidade para promover a autonomia e a participação ativa dos alunos com deficiência visual no ambiente educacional. Estudos recentes têm evidenciado a eficácia do uso de modelos digitais no ensino, mostrando experiências positivas em diversos contextos educacionais. Fisher et al. (2019) conduziram análises de estudos de caso na Austrália, México e Canadá e concluíram que modelos multissensoriais e multidimensionais têm o poder de transformar nossa forma de pensar, interagir e aprender sobre informações geoespaciais. Ao permitir que esses estudantes manipulem e interajam diretamente com as maquetes, a aprendizagem se torna menos dependente de descrições verbais ou fotografias em *slides*. Esse tipo de abordagem prática também estimula o desenvolvimento de habilidades motoras finas e a capacidade de interpretar informações táteis.

Verificou-se que o uso dos modelos físicos 3D proporciona maior materialidade aos conceitos da geomorfologia/geociência, promovendo a transformação de ideias abstratas em representações concretas. Quos e Figueró (2021) aplicaram esta técnica para fins educativos em unidades de conservação. Isso apresenta potencial para uma adaptabilidade inclusiva. Nesse sentido, Koehler, Wild e Tikun (2018) realizaram uma análise comparativa focada em alunos com deficiência visual, investigando as concepções errôneas relacionadas à tectônica de placas e a conceitos de geociências. Os resultados indicaram que os alunos que utilizaram modelos impressos em 3D apresentaram uma compreensão conceitual significativamente superior em relação àqueles que se basearam apenas em gráficos táteis tradicionais. Essas evidências destacam o potencial dos modelos digitais em promover uma aprendizagem mais eficaz e acessível, especialmente em disciplinas que demandam a visualização de conceitos complexos.

De acordo com a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), a nova geração de alunos cresce em um cenário amplamente digital e tecnológico, imerso em dispositivos móveis, redes sociais e uma infinidade de recursos digitais. Nesse sentido, torna-se cada vez mais urgente repensar e inovar as estratégias e metodologias de ensino, adotando abordagens que sejam não apenas dinâmicas e interessantes, mas também relevantes para a realidade dos alunos. É essencial integrar experiências práticas que estimulem a curiosidade e a criatividade, tornando o processo de aprendizagem mais eficiente e inclusivo (BRASIL, 2018).

Nesse sentido, é previsto em seu currículo de Ensino Fundamental unidades temáticas relativas a formas de representação e pensamento espacial (BRASIL, 2018). Essas formas de representação incluem aquilo que os permite aproximar e decodificar a paisagem em suas diversas formas. Considerando que as formas de relevo e paisagem são tridimensionais, o raciocínio geográfico que deriva do contato com maquetes físicas do relevo, e o contato com texturas de materiais diversos da terra fornecem conteúdo para o pensar espacial dos alunos.

A partir das atividades realizadas pode-se afirmar que a inovação que impressão 3D confere no ensino vai além do fornecimento de mais tecnologia em recursos educacionais, mas detém grande potencial na inclusão de alunos com diversas necessidades educacionais no contexto escolar, sobretudo quando se trata de temas como Geociências. Tal perspectiva é prevista no Inciso V, Art. 3º da PNE (Lei nº14.533/2023), ressaltando a aplicação de tecnologias assistivas, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade e a aprendizagem, com foco na inclusão de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida (BRASIL, 2023).

O uso de maquetes táteis tem uma tendência a se democratizar a partir do crescente uso de Sistema de Informação Geográfica, incluindo dados de elevação digital para a construção de modelos 3D, agora disponíveis gratuitamente (FISHER et al., 2019) e a crescente aquisição de impressoras 3D por parte das escolas (incluindo a escola visitada neste estudo). O aspecto acessível dessa tecnologia de impressão 3D permite que muitos alunos possam, daqui para frente, experimentar a materialidade de conceitos teóricos, transformando o que é abstrato em algo mais concreto e acessível. Isso proporciona uma compreensão mais assertiva das características e processos da natureza, pois os alunos podem interagir e visualizar os elementos dos terrenos de maneira mais efetiva e significativa (HAYAKAWA et al., 2024).

É evidente que, através dessas práticas pedagógicas, o uso de maquetes do relevo constitui uma abordagem que não apenas integra os alunos, mas os torna protagonistas do processo de aprendizagem. Dessa forma, a impressão 3D se alinha às novas exigências educacionais, promovendo um ambiente de aprendizado adaptado às demandas contemporâneas de inclusão tecnológica, uma vez que modelos digitais são tornados físicos.

A impressão 3D avança no tocante ao que comumente se usa na educação inclusiva, como os mapas táteis que, apesar de sua grande importância no aprendizado, restringe-se como recursos 2D da compreensão de conceitos geográficos. As maquetes 3D táteis permitem, com alto grau de detalhe, uma experiência sensorial e até que controle sobre o objeto estudado (ex. uma falésia), aumentando o contato do aluno com a forma de relevo, que está no espaço tridimensionalmente.

Tendo em vista que as Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica enfatizam a importância que os sistemas de ensino e as instituições educacionais têm na construção coletiva de condições que atendam adequadamente à diversidade de seus alunos, o uso de impressões 3D é uma ferramenta didática de grande potencial. Não apenas pelo que foi apontado, mas pela sua relação com o desenvolvimento tecnológico da ciência. Setores de pesquisa e universidades estão continuamente utilizando esses recursos e os aprimorando, e levar essas inovações à escola constitui uma colaboração fundamental e necessária para o progresso nas práticas pedagógicas (BRASIL, 2001).

O esforço para integração de maquetes táteis no currículo escolar inclusivo, portanto, não só potencializa a promoção do acesso ao conhecimento de Geociências para alunos com deficiência visual, mas também pode contribuir para um ambiente educacional mais equitativo e adaptado às diversas necessidades dos estudantes. No entanto, há necessidade da atualização e incorporação dessas novas metodologias de ensino e aprendizagem em cursos de licenciatura, sobretudo no tocante ao desenvolvimento de habilidades que capacitem os professores a produzirem materiais didáticos adequados e inclusivos para seus alunos utilizando geotecnologias. Além do suporte na formação de professores, é fundamental garantir outras condições, como tempo adequado para o planejamento e execução das atividades, investimentos em infraestrutura tecnológica na universidade e nas escolas. Nesse sentido, o apoio de políticas públicas direcionadas que subsidiem tal prática, é fundamental.

Finalmente, e no tocante aos recursos tecnológicos envolvendo maquetes 3D, verifica-se que, apesar da existência no mercado de impressoras 3D com preços mais acessíveis e melhor custo-benefício, o uso dessa tecnologia ainda não é considerado uma prioridade em muitas escolas, devido a outras demandas internas que são frequentemente vistas como mais urgentes. No entanto, é preciso reconhecer as potencialidades pedagógicas que o uso dessas tecnologias pode oferecer, mesmo com o acesso não igualitário a esses bens (HAYAKAWA et al., 2024). Logo, sua implementação deve ser feita de maneira inclusiva e acessível, garantindo que todos os alunos tenham a oportunidade de se beneficiar igualmente.

3.2. Aulas de campo virtuais e visualização do relevo em realidade virtual

Os alunos do Ensino Médio e Superior foram introduzidos nas técnicas atuais que a Geomorfologia emprega no imageamento de paisagens, sobretudo a fotogrametria e aerofotogrametria, responsáveis pela geração de modelos tridimensionais do relevo. Nessa etapa, os alunos puderam ter contato com os modelos computacionais gerados a partir dos levantamentos realizados pelo Laboratório de Geomorfologia – UFC no *software* Agisoft Photoscan (Figura 5). Devido a familiaridade de muitos com softwares de visualização de dados e modelagem utilizada em outros contextos, foi possível explicar aos alunos os diversos usos que o software permite, tais como extração de dados geológicos nos modelos e mensurações nos modelos 3D. Demonstrou-se, por exemplo, o uso de ferramentas, como a bússola virtual (Compass) no *software* Cloud Compare.

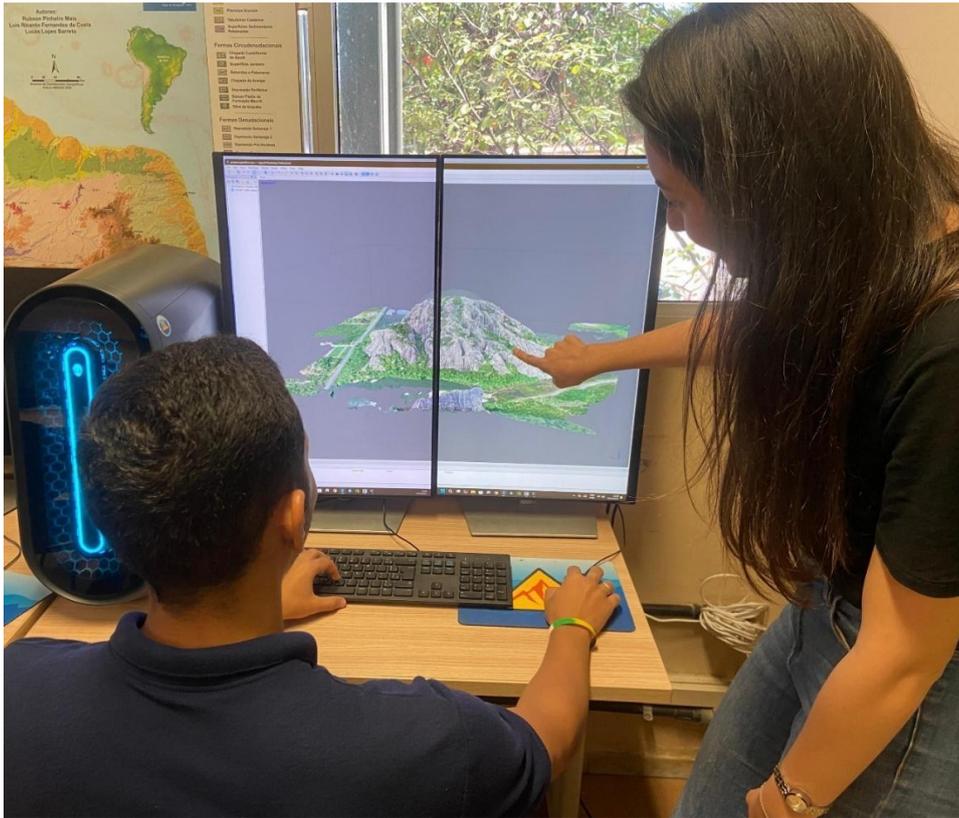


Figura 5. Atividade de manipulação digital de modelos 3D de inselbergs no software *Agisoft Photoscan* sob tutoria de membros do Laboratório de Geomorfologia. Nessa ocasião, aspectos relativos à metodologia de processamento de modelos digitais como características do relevo que foi imageado foram trazidas aos alunos.

Paralelamente a essa manipulação com os modelos computacionais, os alunos tiveram acesso aos modelos físicos (maquetes 3D), geradas a partir do processamento dos dados de campo. Essa visualização os permitiu ter noção do passo a passo da geração dos modelos até sua impressão. Ademais, os modelos impressos foram explorados do ponto de vista da diversidade morfológica de relevos no Brasil, os quais são estudados a partir dos fatores de sua evolução geomorfológica. Alguns alunos tinham noção de relevos comuns no semiárido do Brasil, tais como *inselbergs*. Contudo, a discussão sobre fatores de formação, processos envolvendo geração de feições de detalhe (observadas nos modelos) e formas curiosas do relevo, como tafoni (cavidades em escarpas), foram informações novas fornecidas a eles. Esse contato com formas de relevo diferentes da tradicional abordagem geomorfológica de planaltos, planícies e depressões possibilita contribuir para o raciocínio geomorfológico quanto às formas de relevo existentes e o que leva à sua diversidade.

Com esse objetivo, as aulas de campo virtuais também foram realizadas na etapa final da aula. Considerando que existe uma limitação natural de que os alunos tenham acesso a lugares remotos, tais como cavernas, cujo acesso é difícil e perigoso. Foi realizada a imersão virtual em dois ambientes mapeados: uma caverna (Caverna Fumaça, RN) e em um cânion (Cânion Coqueirinhos, PB), gerados através da parceria do Laboratório de Geomorfologia com o Laboratório de Visualização Interativas e Simulações (LabVIS - UFC). Grupos de três em três alunos recebiam os óculos de RV e, paralelamente, puderam caminhar virtualmente nos modelos (como avatar) e observar feições de detalhe, tais como sedimentos no chão, variações e características de camadas sedimentares nas paredes, espeleotemas no teto, e escarpas íngremes. (Figura 6).



Figura 6. Cenário em ambiente virtual com avatar manipulável em Realidade Virtual, produzido a partir da gamificação do modelo digital gerado por fotogrametria. No cenário, a visão do usuário com óculos MetaQuest 2; na imersão, é dada pelo avatar (homem de macacão azul e capacete amarelo inserido artificialmente no modelo digital para gamificação). O avatar pode se movimentar pelo modelo virtual através de comandos no controle dos óculos de RV. A - Modelo em Realidade Virtual de uma caverna (Caverna Furna Nova, RN). B - Modelo em Realidade Virtual de um cânion (Cânion Coqueirinhos, PB).

Essa imersão no campo virtual contribuiu na interação dos alunos, que tendiam a perguntar sobre a formação daquela cavidade, os motivos que levavam à morfologia variada nas paredes, dentre outras perguntas que conduziam à interpretação geomorfológica. Essa atividade permitiu que assuntos complexos do ponto de vista da geomorfologia de áreas cársticas (e.g. como fraturas controlam a formação de caverna) fossem abordados, e que, mediado pela tecnologia, se tornou mais lúdico e inteligível (Figura 7).

Estudos apontam que atividades de aulas virtuais permitem que os estudantes desenvolvam conceptualizações do ambiente em que estão emergidos (JITMAHANTAKUL; CHENRAI, 2019), pois eles desenvolvem modelos mentais dos cenários ambientais em que são postos (ATCHISON; FEIG, 2011). Ademais, fora apontado que atividades que envolvem ambientes de aprendizagem em realidade virtual (VRLE – *Virtual reality Learning Environments*) (BRICKEN, 1991) possibilitam a imersão, a interatividade e a imaginação (HUANG; RAUCH; LIAW, 2010; CONCANNON; ESMAIL; ROBERTS, 2019), uma vez que aquele ambiente virtual em que ele está inserido, ou seja, ele se movimenta e interage com o ambiente criado (por meio, nesse caso, dos controles), estimula a formulação de conceitos e interpretações sobre o objeto em contato.



Figura 7. Alunos em atividade de Campo Virtual em uma caverna por meio de realidade virtual, imersos em modelo interativo. (A) Visão externa da aluna utilizando óculos de RV. (B) Imagem ilustrativa para representar a visão imersiva do usuário dos óculos RV.

A imersão e envolvimento dos alunos, as dúvidas que surgiam em temas de geomorfologia e temas adjacentes sobre a tecnologia (tais como o uso desses modelos para a indústria) indica o potencial desse tipo de metodologia no ensino das Geociências, que muitas vezes aborda assuntos que são complexos e de difícil compreensão para os alunos, sobretudo em um contexto no qual eles têm pouco acesso a ambientes remotos. Um dos produtos de aprendizagem, segundo Atchison e Feig (2011) consiste na habilidade dos alunos, dentre outras coisas, de formular interpretações e apresentar informações baseados nas observações e raciocínios do seu conhecimento “novo” construído a partir da atividade (*newly constructed knowledge*).

A realidade virtual (RV) e o uso de ambientes virtuais imersivos (*immersive virtual environments* - IVEs) têm um potencial transformador na educação ao oferecer experiências espaciais que promovem o entendimento e visualização de objetos naturais tridimensionais complexos (SCHUCHARDT; BOWMAN, 2007). Essa tecnologia tem um amplo potencial no ensino de Geociências uma vez que os alunos podem experimentar, de forma realística, a visualização prática de processos como vulcanismo, erosão etc. Ao criar ambientes virtuais tridimensionais, a RV permite que os alunos explorem e interajam com conteúdo de maneira intuitiva. Por exemplo, em uma aula de geografia, os estudantes podem "visitar" cavernas, montanhas etc., permitindo que os alunos pratiquem a aprendizagem em um ambiente seguro e controlado.

A utilização de realidade virtual com óculos de imersão 3D no ensino de Geociências tem demonstrado larga aplicação no processo de ensino, uma vez que fornece uma experiência sensorial sobre conceitos complexos, como a formação de relevo e os processos climáticos (JITMAHANTAKUL; CHENRAI, 2019; HARKNETT et al., 2022; VANDELLI et al., 2024). Estudos mostram que a realidade virtual pode fornecer um conhecimento aos estudantes de maneira mais próxima em relação ao mundo real, dada a presença do ambiente imersivo que facilita a visualização e interação com fenômenos naturais de forma que métodos tradicionais não conseguem proporcionar (BOWER et al., 2014; TIBALDI et al., 2020; GRISEL; HALIM; KATJA, 2024).

Um dos grandes potenciais no uso educacional da realidade virtual é a possibilidade de atender a diferentes estilos de aprendizagem e necessidades educacionais, promovendo uma educação mais inclusiva. Alunos com dificuldades de mobilidade, por exemplo, podem se beneficiar de experiências educacionais adaptadas à RV que superam barreiras físicas e oferecem oportunidades de aprendizado que, de outra forma, poderiam ser inacessíveis. No campo das Geociências, pessoas com mobilidade reduzida encontram grande dificuldade em progredir tanto do ponto de vista da aprendizagem em níveis de ensino básico ou graduação, quanto na pesquisa, devido às limitações de acesso a locais remotos e terrenos irregulares. A aplicação de aulas de campo virtuais em cavernas (ATCHISON; FEIG, 2011), por exemplo, tem seu potencial empiricamente provado como uma tecnologia adaptativa para visualização e interpretação geomorfológica, que pode englobar diversos níveis educacionais e alunos em diversas condições físicas.

Esse recurso de aulas de campo virtual, não apenas constituem metodologias de suporte a trabalhos de campo tradicionais, mas se tornam potenciais ferramentas de acessibilidade a estudantes, professores e pesquisadores. Além da imersão com RV, recursos tecnológicos como Google Earth e plataformas SIG têm sido utilizadas na realização de aulas de campo virtuais (BOSCH, 2021), evidenciando a diversidade de ferramentas tecnológicas que podem ser empregadas na aprendizagem de assuntos complexos em temas das Geociências.

Limitações no uso desses recursos, as quais devem também ser consideradas, incluem a necessidade de suportes financeiros às instituições na estruturação de laboratórios de estudo e treinamento e conhecimento dos educadores de como manipular as tecnologias e integrá-las aos recursos podem ser alguns desafios enfrentados (CONCANNON; ESMAIL; ROBERTS, 2019; HAYAKAWA et al., 2024). Entretanto, fatores como a disponibilidade de meios de aprendizado online e a acessibilidade desses recursos (ex. baixo custo de óculos de VR; possibilidade de uso de softwares livres de visualização; disponibilidade de modelos digitais em plataformas on-line) facilita sua disseminação e uso no contexto escolar. Para isso, o Art. 5º do PNE (Lei nº14.533/2023) visa desenvolver e promover Tecnologias da Informação e Comunicação acessíveis e inclusivas (BRASIL, 2023).

Em linhas gerais, verifica-se que a integração de diferentes tecnologias no ensino é promissora na aprimoração dos resultados de aprendizagem em diversos contextos educacionais (BOWER et al., 2014; CAKIR; KORKMAZ, 2019; WANG et al., 2023; VERGES et al., 2024).

4. Conclusões

A utilização de tecnologias interativas, tais como realidade virtual, modelos digitais da paisagem e modelos físicos gerados por impressão 3D, são recursos dinâmicos de aprendizagem com potencial para serem utilizados no ambiente de ensino em diversos níveis educacionais.

O uso de tecnologias no ensino de Geociências, tradicionalmente baseada nos trabalhos de campo e acesso a locais remotos, é promissor quanto à prática pedagógica inclusiva. Alunos com necessidades educacionais especiais e mobilidade reduzida adquirem experiências de grande imersão, proporcionando racionalização de conceitos complexos e raciocínio geográfico em ambiente virtual. Isso permite o desenvolvimento de temas como Geomorfologia de áreas cársticas e áreas semiáridas, muitas vezes distantes da realidade dos estudantes.

O uso de maquetes para a educação de deficientes visuais oferece uma abordagem tangível e inclusiva para o aprendizado, permitindo que esses alunos explorem e compreendam conceitos espaciais e estruturais de maneira sensorial, possibilitando que os alunos toquem e experimentem representações tridimensionais de ambientes como escarpas, vales, montanhas e demais formas que caracterizam a superfície terrestre.

Propõe-se que esses recursos têm grande potencial para uso didático em diversos contextos educacionais, e particularmente no ensino de Geografia e Geociências, nos quais a percepção do espaço e a relação entre diferentes elementos são cruciais na aprendizagem.

Contribuições dos Autores: Concepção, A.S.V.S. e R.P.M.; metodologia, A.S.V.S.; R.P.M.; H.S.R.; M.B.A.; P.E.F.M.; validação, R.P.M.; preparação de dados, A.S.V.S.; M.B.A.; escrita do artigo, A.S.V.S.; M.B.A.; revisão, A.S.V.S.; R.P.M.; H.S.R.; supervisão, R.P.M.; aquisição de financiamento, R.P.M. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Os autores agradecem aos recursos para pesquisa obtidos através dos projetos “Inselbergs de Quixadá - Ceará: Origem e Evolução Geomorfológica” e “Inselbergs do Brasil: Aspectos morfoestruturais e taxas de erosão associadas”, ambos financiados pelo CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico) no Brasil.

Agradecimentos: Agradecemos os comentários anônimos dos revisores, que permitiram a melhoria do presente trabalho. Agradecemos a colaboração dos membros do Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal do Ceará na execução das atividades de pesquisa.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse

Referências

1. ABER, J. S.; MARZOLFE, I.; RIES, J. B. Photogrammetry. In: ABER et al. **Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 23-39. DOI: 10.1016/B978-0-444-53260-2.10003-1
2. AL-ANSI, A. M.; JABOUB, M.; GARAD, A.; AL-ANSI, A. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. **Social Sciences & Humanities Open**, 8(1), 2023. DOI: 10.1016/j.ssaho.2023.100532
3. AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, 20, p. 1–11, 2017. DOI: 10.1016/j.edurev.2016.11.002
4. ATCHISON, C. L.; FEIG, A. D. Theoretical perspectives on constructing experience through alternative field-based learning environments for students with mobility impairments. In: **Special Paper of the Geological Society of America**: v. 474, p. 11–21, 2011. DOI: 10.1130/2011.2474(02)
5. AZZURI, F.; DARFIANSI, L. S.; BACHTIAR, F. A.; TOLLE, H. The Development of Augmented Reality to Support Geomorphology Learning In Observing Landforms. In: **7th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)**, Semarang, Indonesia, p. 538-544, 2024. DOI: 10.1109/ICICoS62600.2024.10636826
6. BARCELOS, A. C.; DANELON, J. R. B.; RODRIGUES, S. C. Uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPS) na elaboração de modelos tridimensionais para auxiliar na cartografia geomorfológica. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, 3(2), p. 1–14, 2022. Disponível em: <<https://williamorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/196>>. Acesso em: Jan. 2025.
7. BEDAIR, S.; SAYED, S. A.; ALMETWALY, W. M. Enhancing Hybrid Learning using Open Source GIS-Based Maps Archiving System. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 25(3), p. 779–793, 2022. DOI: 10.1016/j.ejrs.2022.07.003
8. BERTACCHINI, E.; CASTAGNETTI, C.; CORSINI, A.; CONO, S. Remotely piloted aircraft systems (RPAS) for high resolution topography and monitoring: civil protection purposes on hydrogeological contexts. **Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications V**, 924515, 2014. DOI: 10.1117/12.2067406
9. BOSCH, R. Development and implementation of virtual field teaching resources: Two karst geomorphology modules and three virtual capstone pathways. **Geoscience Communication**, 4(2), p. 329–349, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/gc-4-329-2021>

10. BOWER, M.; HOWE, C.; MCCREDIE, N.; ROBINSON, A.; GROVER, D. Augmented Reality in education - cases, places and potentials. In: **Educational Media International**, v. 51, Issue 1, p. 1–15, 2014. DOI: 10.1080/09523987.2014.889400
11. BRASIL. **Lei N° 14.533, de 11 de janeiro de 2023**. Institui a Política Nacional de Educação Digital e altera as Leis [...]. Brasília: República Federativa do Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114533.htm>. Acesso em: Jan. 2025.
12. BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79611-anexo-texto-bncc-aprovado-em-15-12-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: Jun. 24.
13. BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica**. Secretaria de Educação Especial - MEC; SEESP, 2001. 79 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/diretrizes.pdf>>. Acesso em: Out. 2024.
14. BRICKEN, M. Virtual Reality Learning Environments: Potentials and Challenges. **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, v. 25, n. 3, 1991. DOI: 10.1145/126640.126657
15. CAKIR, R.; KORKMAZ, O. (2019). The effectiveness of augmented reality environments on individuals with special education needs. **Education and Information Technologies**, 24(2), p. 1631–1659, 2019. DOI: 10.1007/s10639-018-9848-6
16. CAROLAN, M. S. Introducing the concept of tactile space: Creating lasting social and environmental commitments. **Geoforum**, v. 38, n. 6, p. 1264–1275, 2007. DOI: 10.1016/j.geoforum.2007.03.013
17. CARRERA, C. C.; AVARVAREI, B. V.; CHELARIU, E. L.; DRAGHIA, L.; AVARVAREI, S. C. Map-Reading Skill Development with 3D Technologies. **Journal of Geography**, 116(5), p. 197–205, 2017. DOI: 10.1080/00221341.2016.1248857
18. CARRERA, C. C.; ASENSIO, L. A. B. Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. **Cartography and Geographic Information Science**, 44(3), p. 259–270, 2016. DOI: 10.1080/15230406.2016.1145556
19. CARRUBA, M.C.; CALCAGNO, A.; COVARRUBIAS, M. Google Earth in VR, for Students with Special Needs. In: DE PAOLIS, L.T.; ARPAIA, P.; SACCO, M. (Eds.). **Extended Reality**. XR Salento 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14219, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-43404-4_1
20. ÇÖLTEKIN, A.; LOCHHEAD, I.; MADDEN, M.; CHRISTOPHE, S.; DEVAUX, A.; PETTIT, C.; LOCK, O.; SHUKLA, S.; HERMAN, L.; STACHOŇ, Z.; KUBÍČEK, P.; SNOPOKOVÁ, D.; BERNARDES, S.; HEDLEY, N. Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 9(7), 439, 2020. DOI: 10.3390/ijgi9070439
21. CONCANNON, B. J.; ESMAIL, S.; ROBERTS, M. R. Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. **Frontiers in Education**, v. 4 (80), 2019. DOI: 10.3389/educ.2019.00080
22. COSTA, G. F. C. **Fotogrametria 3D no Design de Jogos Digitais**: estudo de caso da concepção de assets fotorrealistas em ambientes amadores. Dissertação (Mestrado em Design e Desenvolvimento de Jogos Digitais - 2º ciclo de estudos) - Faculdade de Artes e Letras, Universidade da Beira Interior, Covilhã (Portugal). 2020. 123 p.
23. FISHER, R.; HECKBERT, S.; MARIA, J.; SUTTON, S. Augmenting physical 3D models with projected information to support environmental knowledge exchange. **Applied Geography**, v. 112, 2019. DOI: 10.1016/j.apgeog.2019.102095
24. GRISEL, J.; HALIM, L. A.; KATJA, S. Subsurface Geosciences Learning in Virtual Reality: A Case Study in Central Luconia Province, Malaysia. **Earth Science, Systems and Society**, 4, 2024. DOI: 10.3389/esss.2024.10118
25. GROHMANN, C. H.; VIANA, C. D.; GARCIA, G. P. B.; ALBUQUERQUE, R. W. Remotely piloted aircraft-based automated vertical surface survey, **MethodsX**, v. 10, 2023. DOI: 10.1016/j.mex.2022.101982
26. HARKNETT, J.; WHITWORTH, M.; RUST, D.; KROKOS, M.; KEARL, M.; TIBALDI, A.; BONALI, F. L.; VAN WYK DE VRIES, B.; ANTONIOU, V.; NOMIKOU, P.; REITANO, D.; FALSAPERLA, S.; VITELLO, F.; BECCIANI, U. The use of immersive virtual reality for teaching fieldwork skills in complex structural terrains. **Journal of Structural Geology**, 163, 104681, 2022. DOI: 10.1016/j.jsg.2022.104681
27. HAYAKAWA, E.; BALTAZAR, A. A.; BALTAZAR, S. A.; PIRES, M. M. Que rio é esse? A geografia escolar e o espaço vivido: impressão 3D e dados de sensoriamento remoto para o ensino de bacias hidrográficas. *Revista Presença Geográfica*, v. 11, n. 1, esp., 2024. Acesso em: <<https://periodicos.unir.br/index.php/RPGeo/article/view/7785/1686>>. Acesso em: Dez. 2025.
28. HRUBY, F. The Sound of Being There: Audiovisual Cartography with Immersive Virtual Environments. **KN Journal of Cartography and Geographic Information**, 69, p. 19–28, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42489-019-00003-5>
29. HUANG, H. M.; RAUCH, U.; LIAW, S. S. Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. **Computers and Education**, v. 55, n.3, p. 1171–1182, 2010. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.05.014
30. JITMAHANTAKUL, S.; CHENRAI, P. Applying Virtual Reality Technology to Geoscience Classrooms. **Review of International Geographical Education Online (RIGEO)**, 9(3), p. 577-590, 2019. DOI: 10.33403/rigeo.592771
31. KOEHLER, K.; WILD, T.; TIKKUN, S. Implications of 3-D printing for teaching geoscience concepts to students with visual impairments. **Journal of Science Education for Students with Disabilities**, v. 21, n. 1, p. 49-81, 2018. DOI: 10.14448/jsesd.10.0004
32. KÖSE, H.; GÜNER-YILDIZ, N. Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education. **Education and Information Technologies**, 26, p. 1921–1936, 2021. DOI: 10.1007/s10639-020-10326-w

33. LAMPROPOULOS, G.; KINSHUK. Virtual reality and gamification in education: a systematic review. **Educational Technology Research and Development**, 72(3), p. 1691–1785, 2024. DOI: 10.1007/s11423-024-10351-3
34. MAIA, R. P.; SOUZA, A. S. V. Inselbergs shaped by collapse: considerations on the structural control on granitic scarps. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 2, 2024. DOI: 10.20502/rbg.v25i2.2412
35. MIKROPOULOS, T. A.; NATSIS, A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). **Computers and Education**, 56(3), p. 769–780, 2011. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.10.020
36. MOTTA, M. F. **Espaço vivido/Espaço pensado: o lugar e o caminho**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2003.
37. MOURA, P. E. F. **Aplicação de dados LIDAR na caracterização geomorfológica de cavernas na porção sul da bacia de Irêce-BA**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia Universidade Federal do Ceará, 2022. 188p. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69727>>. Acesso em: Ago. 2024.
38. NIU, T.; LI, Z.; HUANG, M.; YUAN, L. The Application of Virtual Reality Technology in Geography Teaching, p. 12-20, 2023. *In: Proceedings of the 2nd International Conference on Education, Language and Art (ICELA 2022)*. 2023. Atlantis Press SARL. DOI: 10.2991/978-2-38476-004-6_3
39. PARSONS, S. Authenticity in Virtual Reality for assessment and intervention in autism: A conceptual review. **Educational Research Review**, v. 19, p. 138–157, 2016. DOI: 10.1016/j.edurev.2016.08.001
40. QUOOS, J. H.; FIGUEIRÓ, A. S. A prototipagem da paisagem: a criação de geoprodutos como mapas físicos de relevo3D nas unidades de conservação para uso na gestão e educação. **REDE - Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 1, n. 15, p. 42-51, 2021. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/712>>. Acesso em: Dez. 2024.
41. RAUSCHNABEL, P. A.; FELIX, R.; HINSCH, C.; SHAHAB, H.; ALT, F. What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality. **Computers in Human Behavior**, 133, 2022. DOI: 10.1016/j.chb.2022.107289
42. SCHUCHARDT, P.; BOWMAN, D. A. The benefits of immersion for spatial understanding of complex underground cave systems. *In: Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2007, Newport Beach, California, USA. Anais [...]*. New York: ACM, 2007. p. 121-124. DOI: 10.1145/1315184.1315205.
43. SHAKIROVA, N. D.; SAID, N. A.; KONYUSHENKO, S. M. Retracted Article: The Use of Virtual Reality in Geo-Education. **International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)**, 15(20), p. 59–70, 2020. DOI: 10.3991/ijet.v15i20.15433
44. SILVA, R. M.; MARTINS, P.; ROCHA, T. Virtual reality educational scenarios for students with ASD: Instruments validation and design of STEM programmatic contents. **Research in Autism Spectrum Disorders**, 119, 102521, 2025. DOI: 10.1016/j.rasd.2024.102521
45. SOUZA, A. S. V.; MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H.; MIGOÑ, P.; SIAME, L. L. Granitic inselberg erosion controlled by dike swarm array in semiarid Brazil. **Geomorphology**, v.440, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108865
46. SUBHASH, S.; CUDNEY, E. A. Gamified learning in higher education: A systematic review of the literature. **Computers in Human Behavior**, v. 87, p. 192–206, 2018. DOI: 10.1016/j.chb.2018.05.028
47. ŠVEDOVÁ, H.; KUBÍČEK, P. The Use of Virtual Environments in Geoscience Education. *In: International Cartographic Conference, 30, 2021, Florencia, Itália (ICC 2021) Anais [...]*. Abstracts of the International Cartographic Association, 3, p. 1–3, 2021. DOI: 10.5194/ica-abs-3-281-2021
48. TIBALDI, A.; BONALI, F. L.; VITELLO, F.; DELAGE, E.; NOMIKOU, P.; ANTONIOU, V.; BECCIANI, U.; VAN WYK DE VRIES, B.; KROKOS, M.; WHITWORTH, M. Real world-based immersive Virtual Reality for research, teaching and communication in volcanology. **Bulletin of Volcanology**, 82(38), 2020. DOI: 10.1007/s00445-020-01376-6
49. VANDELLI, V.; MIGOÑ, P.; PALMGREN, Y.; SPYROU, E.; SAITIS, G.; ANDRIKOPOULOU, M. E.; CORATZA, P.; MEDJKANE, M.; PRIETO, C.; KALOVREKTIS, K.; LISSAK, C.; PAPAPOPOULOS, A.; PAPAAMATIIOU, N.; EVELDIPOU, N.; MAQUAIRE, O.; PSYCHARIS, S.; STROEVEN, A. P.; SOLDATI, M. Towards enhanced understanding and experience of landforms, geohazards, and geoheritage through Virtual Reality Technologies in education: lessons from the GeoVT Project. **Geosciences**, 14(5), 127, 2024. DOI: 10.3390/geosciences14050127
50. VERGES, J.; COSTA, A.; MAIA, D.; VERGES, N. (2024). Os óculos de Realidade Virtual (RV) como ferramenta didática no ensino de Geografia: parâmetros a partir das percepções dos estudantes. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 18, Issue 1, 2024. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rga/article/view/7628/4024>>. Acesso em: Set. 2024.
51. VOLPATO, N. (Org.). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Edgard Blücher, 2017. ISBN: 9788521211501
52. WANG, X.; YOUNG, G. W.; PLECHATÁ, A.; MC GUCKIN, C.; MAKRANSKY, G. Utilizing virtual reality to assist social competence education and social support for children from under-represented backgrounds. **Computers and Education**, v. 201, 2023. DOI: 10.1016/j.compedu.2023.104815



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que atribuam o devido crédito pela criação original.