



REALIDADE VIRTUAL E ENSINO DE GEOMORFOLOGIA

Hudson Silva Rocha¹
Anna Sabrina Vidal de Souza²
Rubson Pinheiro Maia³
Antonia Beatriz Ferreira Andrade⁴
Kaio Victor Nunes de Macedo⁵
Mariana Barros de Araújo⁶
Caio Cavalcante de Souza Mota⁷
Pedro Edson Face Moura⁸

RESUMO:

A inserção da realidade virtual na geomorfologia é recente, mas já se mostra como uma ferramenta promissora nas geociências, dada a possibilidade de obter dados de campo em ambiente computacional. Na educação escolar, o uso da realidade virtual oferece novas oportunidades no ensino de geomorfologia, visto que as aulas práticas de geociências se baseiam em excursões, que não abrangem todos os objetos do conhecimento trabalhados em sala, devido a limitações de logística, e podem ser restritivas para alunos com deficiências motoras. Nessas circunstâncias, o presente trabalho se propõe a mostrar a realidade virtual como uma ferramenta tecnológica para o ensino de Geociências, em especial a Geomorfologia, com potencial na construção de práticas pedagógicas interativas e inclusivas, tanto na educação básica quanto no ensino superior. A metodologia se baseou em duas etapas, sendo a primeira a aquisição de dados visuais por meio da (aero)fotogrametria, utilizando câmeras digitais e drones que fornecem fotos de alta resolução e a segunda sendo a adição dessas fotos e definição de sistema de coordenadas geográficas nos *softwares* Agisoft Metashape Photoscan, Cloud Compare e Unreal Engine, onde os dados foram processados e otimizados graficamente, gerando modelos tridimensionais interativos, incorporando elementos de gamificação, acessados através de óculos de realidade virtual. Foram realizadas aulas interativas com estudantes do Ensino Médio e do curso de Engenharia Ambiental (IFCE), onde eles puderam experimentar o ambiente virtual e manipular os modelos digitais 3D do relevo, potencializando o engajamento desses alunos. A imersão virtual em ambientes remotos, como cavernas e cânions, utilizando óculos de realidade virtual tornou os conceitos complexos mais acessíveis e lúdicos, atingindo o objetivo inicial de utilizar a realidade virtual como ferramenta pedagógica. Em suma, a integração da realidade virtual representa um caminho promissor para a inovação pedagógica no ensino das geociências em múltiplos níveis, transcendendo as limitações geográficas e de acessibilidade das práticas tradicionais. Ao proporcionar experiências imersivas e multissensoriais, essas ferramentas também fomentam uma educação mais inclusiva, atendendo às necessidades de diversos estudantes e democratizando o acesso ao conhecimento sobre a dinâmica e a diversidade da superfície terrestre. Desse modo, a presente proposta dialoga diretamente com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e com a Política Nacional de Educação Digital (PNED).

Palavras-chave: Realidade Virtual, Educação Inclusiva, Geomorfologia

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Geociências enfrenta obstáculos na representação de processos e formas da superfície terrestre, muitas vezes limitado a abordagens expositivas e bidimensionais, apesar da crescente digitalização das salas de aula (Schuchardt; Bowman, 2007; Bedair; Sayed; Almetwaly, 2022). Há um distanciamento entre a pesquisa científica, que utiliza tecnologias avançadas de imageamento 3D como drones e scanners (Moura, 2022; Souza et al., 2023; Maia; Souza, 2024), e a educação básica, onde tais recursos são pouco acessíveis.

¹ Doutorando em Geografia - Universidade Federal do Ceará, HUDSONSROCHA@ALU.UFC.BR

² Doutoranda em Geografia - Universidade Federal do Ceará, ANNASABRINAVIDAL@GMAIL.COM

³ Prof. Dr. do Departamento de Geografia - Universidade Federal do Ceará, RUBSONPINHEIRO@YAHOO.COM.BR

⁴ Graduada em Geografia - Universidade Federal do Ceará, BEATRIZADRADO501@GMAIL.COM

⁵ Graduando em Geografia - Universidade Federal do Ceará, VICTORNUNES1015@GMAIL.COM

⁶ Graduada em Geografia - Universidade Estadual do Ceará, MARIANAARAJO2306@GMAIL.COM

⁷ Graduando em Sistemas e Mídias Digitais - Universidade Federal do Ceará, CAIOCVLMOTA@GMAIL.COM

⁸ Doutor em Geografia - Universidade Federal do Ceará, PEDROEDSON18@GMAIL.COM



Apesar de estratégias como saídas de campo serem importantes, a incorporação de recursos digitais é fundamental para desenvolver competências essenciais (Brasil, 2018) e promover a inclusão de alunos com deficiência, para quem a compreensão do relevo é mais desafiadora (Cakir; Korkmaz, 2019). Iniciativas com Realidade Virtual (RV) existem, mas são pontuais (Verges et al., 2024), mesmo com o incentivo de políticas como a BNCC (Brasil, 2018) e a Política Nacional de Educação Digital (Brasil, 2023).

Tecnologias imersivas como a RV podem transformar a aprendizagem, tornando-a mais interativa, criativa e eficaz na assimilação de conteúdos complexos (Concannon; Esmail; Roberts, 2019; Švedová; Kubíček, 2021; Azzuri et al., 2024; Carolan, 2007; Fisher et al., 2019; Lampropoulos; Kinshuk, 2024). Pesquisas indicam que essas ferramentas aumentam a retenção de conhecimento, a motivação e a inclusão (Parsons, 2016; Subhash; Cudney, 2018; Hruby, 2019; Shakirova; Said; Konyushenko, 2020; Carruba; Calcagno; Covarrubias, 2023).

Nesse sentido, o presente trabalho busca apresentar e avaliar qualitativamente o uso da Realidade Virtual como estratégia didática para o ensino de conceitos de Geomorfologia no Ensino Fundamental e Médio. Utilizando modelos digitais de relevos brasileiros (falésias, inselbergs, cavernas), o objetivo é explorar o potencial, as limitações e as contribuições dessas ferramentas para práticas pedagógicas mais inovadoras, interativas e inclusivas (Akçayir; Akçayir, 2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aquisição de dados, processamento digital e elaboração dos modelos imersivos

A aquisição de dados foi realizada por meio da fotogrametria, técnica que cria modelos 3D a partir de fotografias (Aber; Marzolf; Ries, 2019). Em áreas extensas e de difícil acesso, como inselbergs no semiárido e falésias no litoral, utilizou-se a fotogrametria aérea com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) (Bertacchini *et al.*, 2014; Barcelo; Danelon; Rodrigues, 2022; Grohmann *et al.*, 2023), capturando imagens com alta sobreposição para garantir a acurácia do modelo (Fig. 1A). Em cavernas, aplicou-se a fotogrametria terrestre com uma câmera digital, usando iluminação artificial e pontos de controle para superar a baixa luminosidade e gerar dados precisos (Fig. 1B).

O processamento das imagens ocorreu no software Agisoft Metashape, com o algoritmo *Structure from Motion* (SfM), que transforma as fotos em uma nuvem de pontos e, posteriormente, em um modelo 3D texturizado e realista (Mesh), gerando

também um Modelo Digital de Terreno (MDT) e um ortomosaico. Esses modelos virtuais foram criados com três finalidades: análise quantitativa em softwares como o Cloud Compare, impressão 3D e, principalmente, a criação de cenários para Realidade Virtual (RV). Para a aplicação em RV, os modelos foram otimizados para se adequarem às limitações gráficas dos óculos Meta Quest 2 (Fig. 1C). Em seguida, foram importados para o software Unreal Engine, onde técnicas de otimização gráfica, como a tecnologia Nanite, e recursos de gamificação foram aplicados para garantir uma manipulação fluida e uma experiência imersiva e interativa aos usuários (Costa, 2020) (Fig. 1D).

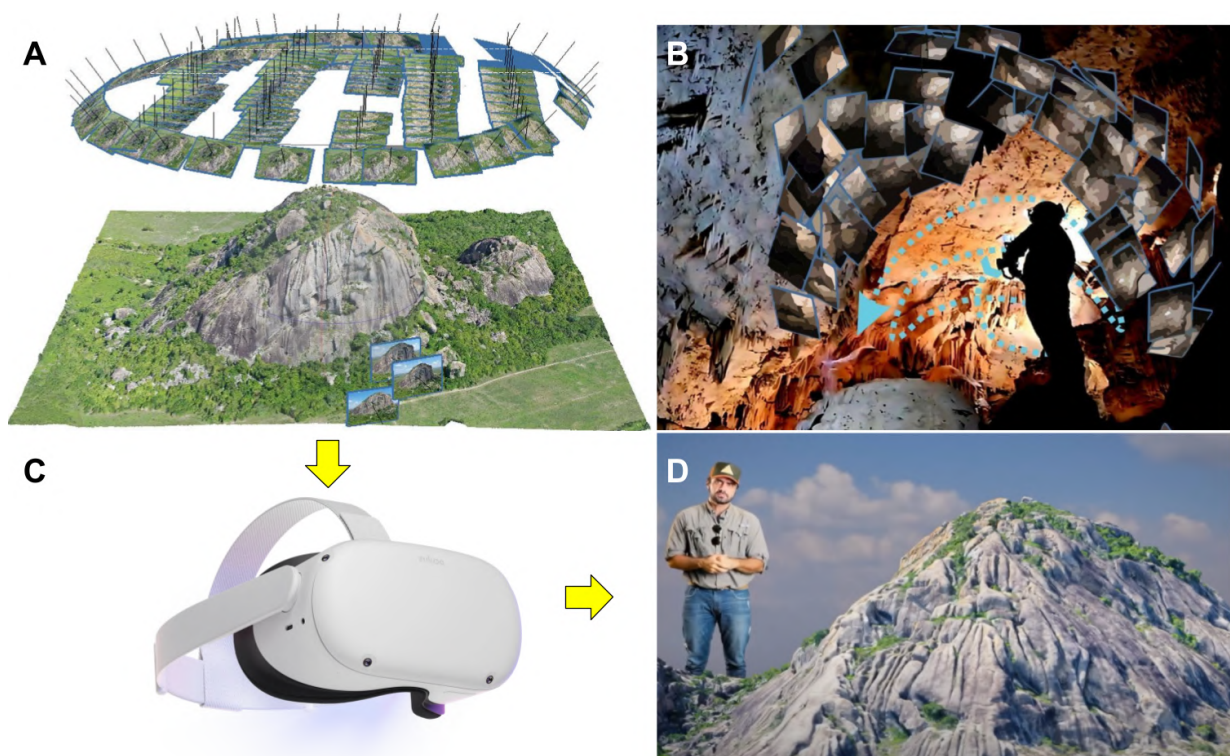


Figura 1. Representação da aquisição de dados e geração de produtos educacionais da técnica de (aero)fotogrametria e RV. (A) Aerofotogrametria em inselbergs utilizando drones e geração do modelo digital do inselberg no software Agisoft; (B) Fotogrametria em ambiente de caverna a partir obtenção de fotografias em globo de aquisição 360°; (C) Óculo de RV (Meta Quest 2); (D) Exemplo de modelo gamificado com avatar humano em realidade virtual.

2.2. Aplicação de recursos tecnológicos na educação: atividade “Relevo Virtual”

Foram realizadas atividades de ensino com Realidade Virtual (RV) para alunos do Ensino Médio e Superior (Engenharia Ambiental) no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal do Ceará. O trabalho utilizou a RV, que imerge o usuário em um ambiente totalmente digital, distinguindo-se da Realidade Aumentada (RA), que sobrepõe informações digitais ao mundo real (Çoltekin et al., 2020; Rauschsnabel et al., 2022; Al-Ansi et al., 2023).



A metodologia, adaptada a cada turma, envolveu a participação ativa dos alunos e foi dividida em duas partes. Primeiramente, os estudantes manipularam em computadores modelos digitais 3D de relevos (inselbergs e cavernas), gerados por fotogrametria, e também interagiram com suas versões físicas impressas em 3D. Essa abordagem permitiu um contato direto com formas e processos geomorfológicos geralmente estudados apenas de forma teórica.

Tabela 1. Plano de aula seguido na atividade “Relevo virtual”.

Plano de aula “Relevo Virtual”	
Disciplina: Geografia / Turma: Ensino Fundamental (Anos Iniciais) - alunos cegos e baixa visão	
Objetivo geral	Compreender conceitos de geomorfologia a partir de modelos virtuais do relevo de diferentes ambientes.
Objetivos específicos	• 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	• 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	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	Roda de conversa com perguntas subjetivas: • 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?

Na segunda parte, os alunos realizaram uma imersão em "campos virtuais" com óculos de RV, explorando modelos de uma caverna na Bahia e um inselberg em Quixadá. A experiência incluía uma videoaula com um avatar do professor e a possibilidade de o próprio aluno percorrer o interior da caverna como um avatar.

A sequência didática buscou inovar no ensino de Geociências, utilizando tecnologias do cotidiano dos jovens. Para os alunos de engenharia, a atividade proporcionou contato direto com o objeto de estudo da Geomorfologia e com geotecnologias aplicáveis em sua futura profissão, expandindo o que é oferecido no curso regular.

3. RESULTADOS

Na prática, os alunos do ensino médio e do ensino superior envolvidos foram introduzidos às técnicas atuais de imageamento de paisagens que a geomorfologia emprega, com destaque para a fotogrametria e a aerofotogrametria, que são as técnicas que possibilitam a geração de modelos tridimensionais do relevo. A experiência centrou-se no contato direto com os modelos computacionais gerados a partir de levantamentos do Laboratório de Geomorfologia (UFC), utilizando o Agisoft Photoscan. (Fig. 2).

Como muitos estudantes já possuíam familiaridade com softwares de visualização e modelagem de outros contextos, foi possível aprofundar a explanação sobre os diversos usos que a tecnologia permite. Foram demonstradas aplicações práticas como a extração de dados geológicos e a realização de mediações diretamente nos modelos 3D, exemplificando o uso de ferramentas específicas, como a bússola virtual (compass) no software *Cloud Compare*.



Figura 2. 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.

A experiência de aprendizagem foi multifacetada, combinando o tangível e o virtual. Inicialmente, os alunos manusearam modelos físicos (maquetes 3D), o que lhes permitiu compreender todo o passo a passo da geração dos modelos, do processamento

de dados de campo até a impressão. Essas maquetes foram exploradas para discutir a diversidade morfológica de relevos no Brasil. A discussão partiu de formas que alguns já conheciam, como os *inselbergs*, e avançou para informações novas, como os fatores de formação e feições de detalhe como os *tafoni* (cavidades em escarpas), superando a abordagem tradicional de planaltos, planícies e depressões.

Para superar a limitação de acesso a locais remotos ou perigosos, a etapa seguinte consistiu em aulas de campo virtuais. Em parceria com o Laboratório de Visualização Interativas e Simulações (LabVIS - UFC), os alunos, em grupos, utilizaram óculos de RV para uma imersão em uma caverna (Furna Nova, RN) e em um cânion (Cânion Coqueirinhos, PB). A experiência foi altamente interativa: os alunos caminharam como avatares e observaram com atenção feições de detalhe, como sedimentos no chão, características de camadas sedimentares nas paredes, espeleotemas no teto e escarpas íngremes (Fig. 3).



Figura 3. 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).

4. DISCUSSÃO

As consequências dessa imersão foram extremamente positivas. O engajamento dos alunos foi visível, gerando uma onda de perguntas sobre a formação das cavidades e a morfologia das paredes, o que conduziu a uma rica interpretação geomorfológica. A tecnologia tornou a abordagem de temas complexos, como o controle de fraturas na formação de cavernas, mais lúdica e inteligível (Fig. 4). A literatura científica valida essa percepção, apontando que a RV auxilia os estudantes a desenvolverem modelos mentais dos ambientes (Atchison; Feig, 2011; Jitmahantakul; Cherai, 2019). Ambientes de Aprendizagem em Realidade Virtual (Bricken, 1991) são eficazes por promoverem

imersão, interatividade e imaginação (Huang; Rauch; Liaw, 2010; Concannon; Esmail; Roberts, 2019), o que resulta na habilidade de formular interpretações a partir de um “conhecimento novo” (Atchison; Feig, 2011).



Figura 4. 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.

O potencial da RV no ensino de Geociências é, portanto, imenso, especialmente para visualizar processos dinâmicos e objetos tridimensionais complexos (Schuchardt; Bowman, 2007) de uma forma que métodos tradicionais não conseguem (Bower *et al.*, 2014; Tibaldi *et al.*, 2020; Grisel; Halim; Katja, 2024). Um de seus maiores trunfos é a promoção de uma educação mais inclusiva. Alunos com dificuldades de mobilidade, por exemplo, podem superar barreiras físicas e ter acesso a experiências que seriam inacessíveis, como aulas de campo em terrenos irregulares (Atchison; Feig, 2011).

Embora existam desafios como a necessidade de suporte financeiro para laboratórios e a capacitação de educadores (Concannon; Esmail; Roberts, 2019; Hayakawa *et al.*, 2024), a disseminação de recursos como o Google Earth (Bosch, 2021), o baixo custo de alguns óculos de VR e a disponibilidade de softwares livres e modelos online facilitam sua adoção. Essa tendência é apoiada por políticas como a Política Nacional de Educação Digital (PNED) (BRASIL, 2023). Em suma, a literatura converge na visão de que a integração de diferentes tecnologias é promissora para aprimorar os resultados de aprendizagem (Bower *et al.*, 2014; Cakir; Korkmaz, 2019; Wang *et al.*, 2023; Verges *et al.*, 2024).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Realidade Virtual (RV) é um recurso de aprendizagem dinâmico com grande potencial no ensino, especialmente em Geociências. Sua principal importância reside na



promoção de uma prática pedagógica mais inclusiva, permitindo que alunos com mobilidade reduzida participem de experiências de campo imersivas em um ambiente virtual. Através dela, os estudantes conseguem compreender conceitos complexos e desenvolver o raciocínio geográfico. Além disso, a tecnologia torna acessível o estudo de temas e ambientes distantes da realidade dos alunos, como a geomorfologia de áreas cársticas e semiáridas, que são cruciais para a aprendizagem em Geografia e Geociências.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFC e Laboratório de Geomorfologia - UFC.

REFERÊNCIAS

- ABER, J. S.; MARZOLFE, I.; RIES, J. B. Photogrammetry. In: ABER, J. S.; MARZOLFF, I.; RIES, J. B.; ABER, S. E. W. **Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications**. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 23-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03506-4>
- 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: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- 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: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- ATCHISON, C. L.; FEIG, A. D. Theoretical perspectives on constructing experience through alternative field-based learning environments for students with mobility impairments. **Special Paper of the Geological Society of America**, v. 474, p. 11–21, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1130/2011.2474\(02\)](https://doi.org/10.1130/2011.2474(02))
- AZZURI, F.; DARFIANSAL, 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, 2024. p. 538-544. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICICoS62600.2024.10636826>
- 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: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.07.003>
- 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: <https://doi.org/10.1117/12.2067406>
- 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>
- BOWER, M.; HOWE, C.; MCCREDIE, N.; ROBINSON, A.; GROVER, D. Augmented Reality in education - cases, places and potentials. **Educational Media International**, v. 51, Issue 1, p. 1–15, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- BRASIL. **Lei Nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023**. Institui a Política Nacional de Educação Digital e [...]. Brasília: Rep. Fed. do Brasil, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114533.htm. Acesso: Jan. 2025.



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: Jan. 2025.

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: Out. 2024.

BRICKEN, M. Virtual Reality Learning Environments: Potentials and Challenges. **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, v. 25, n. 3, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1145/126640.126657>

CAKIR, R.; KORKMAZ, O.. The effectiveness of augmented reality environments on individuals with special education needs. **Education and Information Technologies**, 24(2), p. 1631–1659, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9848-6>

CAROLAN, M. S. Introducing the concept of tactile space: Creating lasting social and environmental commitments. **Geoforum**, 38(6), p. 1264–1275, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2007.03.013>

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, v. 14219, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-43404-4_1

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: <https://doi.org/10.3390/ijgi9070439>

CONCANNON, B. J.; ESMAIL, S.; ROBERTS, M. R. Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. **Frontiers in Education**, 4(80), 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00080>

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. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/10864>. Acesso em: Jun. 2024.

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: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102095>

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: <https://doi.org/10.3389/esss.2024.10118>

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: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101982>

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. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/RPGeo/article/view/7785/1686>. Acesso em: Dez. 2024.

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>

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: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>



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: <https://doi.org/10.33403/rigeo.592771>

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: <https://doi.org/10.14448/jsesd.10.0004>

LAMPROPOULOS, G.; KINSHUK. Virtual reality and gamification in education: a systematic review. **Educational Technology Research and Development**, 72(3), p. 1691–1785, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10351-3>

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: <https://doi.org/10.20502/rbg.v25i2.2412>

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.

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: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.08.001>

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: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>

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: <https://doi.org/10.1145/1315184.1315205>

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: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i20.15433>

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: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108865>

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: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.028>

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. 2021. p. 1–3. DOI: <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-281-2021>

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: <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01376-6>

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.

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: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104815>