

APLICAÇÃO DE MAQUETES FÍSICAS TRIDIMENSIONAIS DA BACIA DO PARANÁ NO ENSINO DE GEOCIÊNCIAS

Celso Dal Ré Carneiro ¹; Thassia Pine Gondek ²; Danilo Polly ³; Laureana Stelmastchuk Benassi Fontolan ⁴; Marcelo Fernandes de Oliveira ⁵; Pedro Yoshito Noritomi ⁶

Resumo – O ensino de Geociências é precário ou até ignorado na educação básica brasileira, embora tais conhecimentos sejam essenciais para reduzir o impacto ambiental de ações humanas e a progressiva destruição de habitats. Esta pesquisa desenvolve um conjunto de modelos físicos da bacia do Paraná, selecionada devido à sua importância e grande extensão. A criação de modelos e maquetes didáticas replicáveis por professores de educação básica ajudará a expandir os conhecimentos sobre Geociências e história geológica da Terra nas escolas. Além de difundir conhecimentos sobre evolução geológica regional, a pesquisa estimula o reconhecimento de formas particulares de relevo ou estruturas geológicas típicas mediante técnicas de visualização 3D. O estudo avalia criticamente métodos e ferramentas de modelagem computacional 3D para produzir modelos físicos, ao mesmo tempo em que procura elaborar guias metodológicos para ajudar os professores a explorar o potencial do desenvolvimento de novas habilidades de interpretação do meio natural.

Abstract – Geosciences teaching is precarious or even ignored in Brazilian basic education, although such knowledge is essential to reduce the environmental impact of human actions and the progressive destruction of habitats. This research develops a set of physical models of the Paraná basin, selected due to its importance and great extension. The creation of didactic models replicable by basic education teachers will help to expand the knowledge on Geosciences and the Earth's geological history in schools. In addition to disseminating knowledge about regional geological evolution, the research encourages the recognition of particular landforms or typical geological structures applying 3D visualization techniques. The study critically evaluates 3D computational modeling methods and tools to produce physical models, while seeking to develop methodological guides to help teachers explore the potential for developing new skills for interpreting the natural environment.

Palavras-Chave – Impressão 3D; modelagem computacional; educação básica; Geologia.

1. INTRODUÇÃO

Habilidades de visualização 3D são essenciais em várias áreas do conhecimento. Em cursos superiores de Geologia, o desenvolvimento dessa competência é crítico para identificar estruturas geológicas no interior de corpos rochosos (Kastens et al., 2009, 2014).

Diversos autores apontam que na educação básica brasileira o ensino de temas geológicos é precário, ou até mesmo praticamente ignorado. Há razões epistemológicas, sociológicas e psicopedagógicas que justificam a inclusão de temas de Geologia na educação básica (Gondek &

¹ Geól., Livre Docente, Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp), (19) 3521-4564, cedrec@unicamp.br

² Grad. em Geologia, Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp), (19) 3521-4564, t206156@dac.unicamp.br

³ Grad. em Engenharia, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), (19) 3746-6142, daniло.polly@cti.gov.br

⁴ Eng., PhD, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), (19) 3746-6142, laureana.fontolan@cti.gov.br

⁵ Eng., M.Sc., Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), (19) 3746-6142, marcelo.oliveira@cti.gov.br

⁶ Eng., PhD, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), (19) 3746-6142, pedro.noritomi@cti.gov.br

Carneiro, 2022), integrando, assim, um corpo de conhecimentos básicos que são essenciais na vida adulta de todo cidadão (Carneiro et al., 2004) porque ajudam a conscientizar as sociedades sobre o impacto ambiental das ações humanas e, conseqüentemente, a reduzir a destruição de habitats. Diante da necessidade de expandir os recursos e favorecer a penetração dos tópicos no ensino fundamental e médio, que contam com métodos apropriados para atingir um ensino eficaz, é preciso planejar e oferecer recursos novos e atraentes.

Esta pesquisa pretende gerar modelos físicos de seções representativas das sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná, selecionada em função da grande extensão e diversificada história geológica (Almeida, 1980, Milani, 2007). Com aproximadamente 1.500.000 km², a bacia abrange vasta porção territorial do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (Milani, 2007) (Fig. 1). O modelo a ser produzido compreenderá apenas a parte brasileira da Bacia, onde um maior volume de dados está disponível. Foram reunidos dados de campo, cartas, mapas, imagens, fotografias e outras representações geointerpretadas, como perfis geológico-estruturais. Será ainda elaborado um roteiro/manual sintetizando os métodos de elaboração de modelos de corpos rochosos, baseados nos produtos 3D gerados pelo sistema.

Além de modelos físicos em várias escalas, gerados por impressoras 3D de última geração (Carneiro et al., 2018), será elaborada uma síntese da evolução geológica, de modo a recompor a sucessão de unidades dentro dos grandes intervalos de tempo envolvidos. Os modelos didáticos ajudarão a familiarizar alunos da escola básica com diversos conceitos elementares de Geologia:

A pesquisa prossegue no inventário de conceitos requeridos para interpretar cada uma das representações, tais como: erosão, taxas de sedimentação, soerguimento tectônico e subsidência. Enquanto os conceitos devem fazer parte de guias didáticos para professores, o material didático que será desenvolvido poderá ser utilizado em cursos de Geologia e, dependendo da complexidade, em determinadas disciplinas e atividades da escola básica (Carneiro et al., 2020, p. 160).

2. MÉTODOS DE MODELAGEM 3D

Distinguem-se quatro categorias principais de métodos e técnicas para representação de um objeto ou ambiente em três dimensões: o primeiro é o modelo físico em 3D, que pode ser gerado em diversas escalas (Carneiro et al., 2018) a partir de uma modelagem digital. Esta última ganhou grande impulso e tornou-se predominante na indústria de petróleo e mineração, graças a programas específicos como, por exemplo, Vulcan, Datamine, GeoCAD, AutoCAD (Chiozza, 2017) e Blender. Os métodos de Estereologia pertencem à segunda classe de recursos educacionais para aquisição de visão estereoscópica com pares de imagens geradas em computador (Wells, 2002, Uzkeda et al., 2022). A terceira categoria é a realidade virtual, que recria o mundo real em ambiente digital; a quarta é a realidade aumentada, que reconstrói virtualmente as visualizações do mundo real por meio de uma câmera e, com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerômetro, possibilita que o usuário passeie e interaja com a realidade criada. As duas últimas são largamente empregadas na indústria de petróleo e mineração.

3. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

A pesquisa envolve revisão de vasta bibliografia recuperada a respeito de Educação em Geociências e sobre representação 3D, Geologia Estrutural, Estratigrafia e Sedimentação.

No princípio foram atualizados os mapas de contorno estrutural do topo do embasamento, da base do Sistema Aquífero Guarani (Figs. 1A, 1B) e da base da Formação Serra Geral gerados por Oliveira & Carneiro (2008). A partir dos novos mapas de contorno estrutural foram produzidas em ArcGIS imagens raster das camadas (Figs. 2A, 2B), alterando-se e adaptando-se o método descrito no relatório de 2018 "Pesquisa e produção de modelos geológicos tridimensionais para

ensino de Geociências: maquete da Bacia do Paraná” (Santos & Carneiro, 2018). O ambiente Blender foi empregado intensivamente na produção de cada modelo tridimensional.

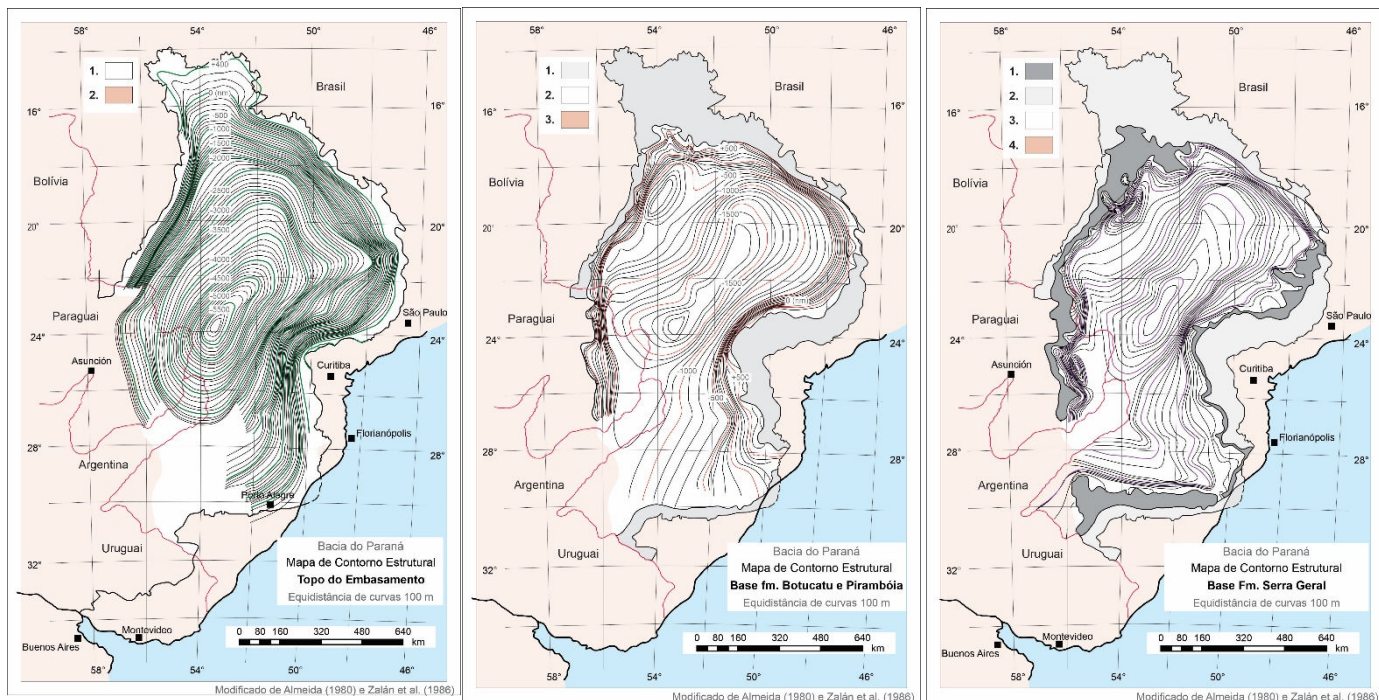


Figura 1. Mapa estrutural do topo do embasamento (A). Mapa estrutural da base do Sistema Aquífero Guarani (B). Mapa estrutural do contorno Estrutural Serra Geral (C). Modif. de Oliveira & Carneiro (2008), Almeida (1980), Milani et al. (2007) e Zalán et al. (1986)

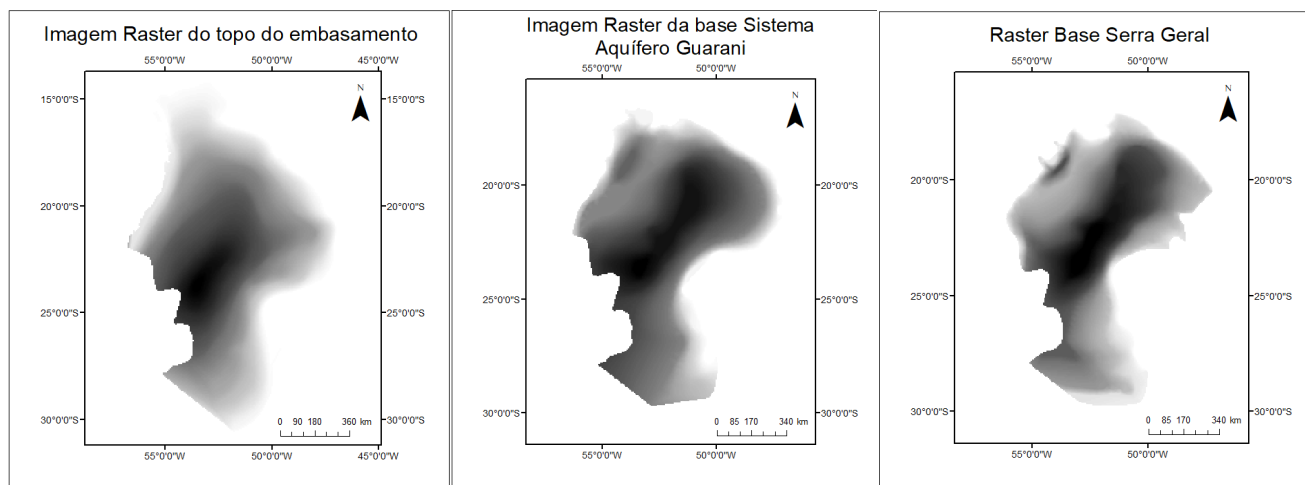


Figura 2. Imagem raster do topo do embasamento (A). Imagem raster da base Sistema Aquífero Guarani (B). Imagem raster da Serra Geral (C) Fonte: os autores

4. RESULTADOS

A Figura 1 ilustra os mapas produzidos nesta etapa da pesquisa, correspondentes às curvas de contorno estrutural, com equidistância de 100 m, do topo do embasamento (A), da base do Sistema Aquífero Guarani (B) e da base da Fm. Serra Geral (C). A Figura 2 reproduz as imagens raster das unidades geradas em ArcGIS (Figs. 2A, 2B, 2C) a partir dos mapas de contorno estrutural.

No projeto de modelagem física 3D do relevo foram utilizadas imagens de satélite fornecidas pelo *Earth Data Center* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), obtidas pelo satélite *ASTER Global Digital Elevation Model V003*. Foi empregada a plataforma ArcGIS com a extensão ArcMap para unir as imagens de satélite e produzir imagens raster de relevo. A equipe do projeto utiliza os laboratórios e equipamentos do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI Renato Archer). Para integrar dados de relevo, foram unidas as imagens de satélite do satélite *Aster Global Digital Elevation Model V003* e produzida uma nova imagem raster (Fig. 3). O modelo do embasamento ainda está em processo de modelagem, porém já foram efetuados testes de impressão de relevo (Fig. 4) no CTI com a impressora de Tecnologia de Impressão 3D por sinterização seletiva a Laser (SLS) 3D Systems modelo Sinterstation HiQ.

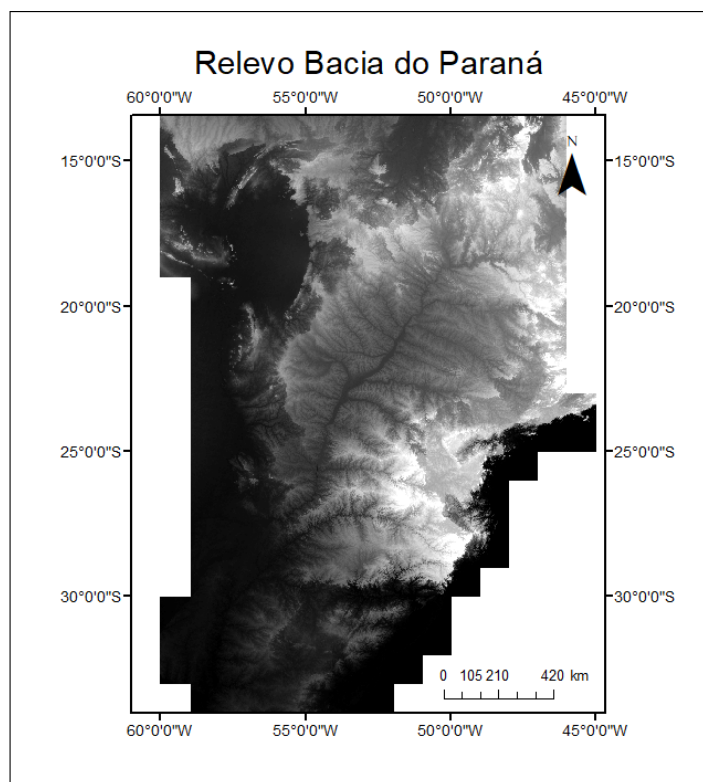


Figura 3. Imagem raster do relevo da Bacia do Paraná. Fonte: os autores

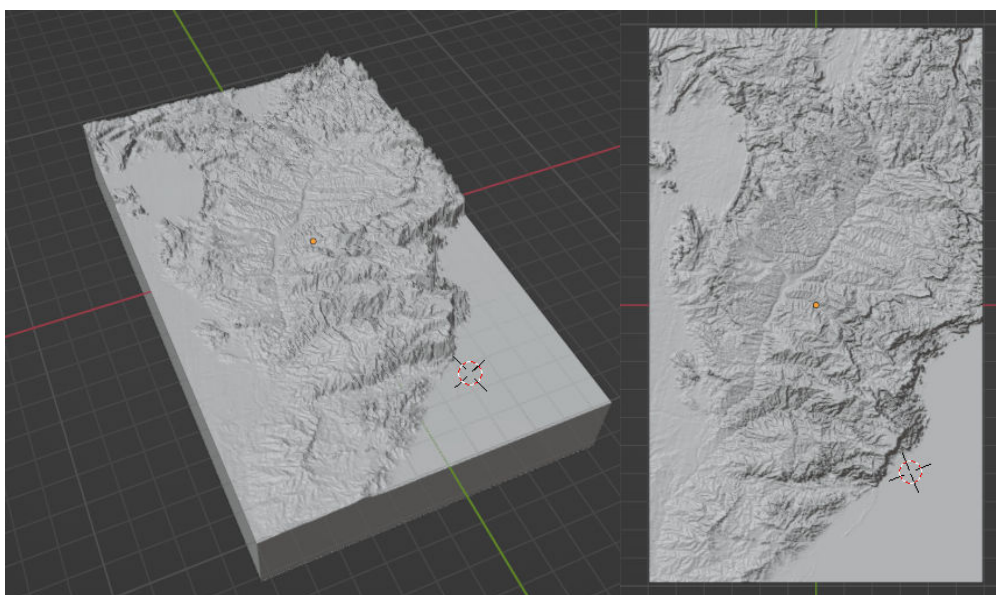


Figura 4. Relevo em 3D em ambiente Blender. Fonte: os autores

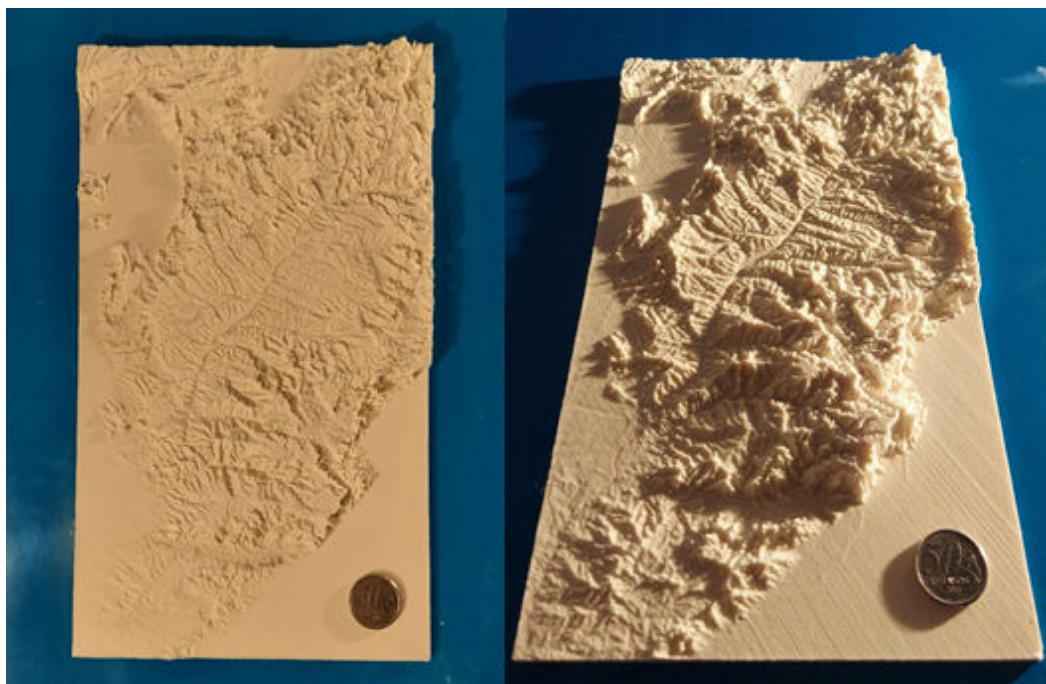


Figura 5. Maquete impressa do relevo. Fonte: os autores

5. DISCUSSÃO

Devido à complexidade dos processos atuantes na crosta terrestre e à multiplicidade dos produtos que compõem o registro geológico, principalmente no campo das estruturas, uma habilidade de pensamento tridimensional de alto nível é considerada qualidade essencial para os geólogos (KING, 2008).

A aplicação de técnicas digitais no estudo de estruturas geológicas naturais representa um enorme avanço em Geologia Estrutural (Uzkeda et al., 2022).

A modelagem tridimensional é apontada como o futuro de diversas áreas do conhecimento, devido ao amplo leque de aplicações. Pesquisas sobre usos da visualização 3D são abundantes na literatura internacional, mas os estudos acerca dos recursos disponíveis em Geociências são ainda escassos no Brasil (Andrade, 2015, Andrade et al., 2018).

A impressão física de modelos possibilita “dar vida” a objetos concebidos em ambiente virtual. Dependendo da disponibilidade de dados, é possível ir além da modelagem tridimensional de bacias sedimentares inteiras ou de partes dos pacotes que as compõem como, por exemplo: formas individuais particulares de relevo, trechos de encostas afetados por movimentos de massa, barragens de rejeito, grandes estruturas, fundações ou obras de engenharia etc. Sempre que estiverem disponíveis bases consistentes de dados de subsuperfície, é viável reunir diversas imagens bidimensionais de um dado objeto e efetuar a migração para um modelo 3D. Perfis de sondagens combinados no espaço 3D podem possibilitar a visualização tridimensional do arranjo geométrico de corpos ígneos e metamórficos, um recurso que oferece excelentes perspectivas para atividades de prospecção e pesquisa mineral.

5.1. Aplicações educacionais

O estudo focaliza a produção de guias de utilização de maquetes e outras representações gráficas de estruturas 3D, que possam ser utilizadas tanto no ambiente digital como em sala de aula ou laboratório. Do ponto de vista metodológico, independentemente do nível de escolaridade (fundamental, médio, técnico ou superior) é necessário formular com clareza, na etapa de planejamento, as competências que se pretende desenvolver junto ao aprendiz, pois estas são “as

referências de integração, o elemento central do planejamento”: no início, funcionam como objetivos, mas, ao final, constituem resultados concretos da aprendizagem (Miguel, 2019, p. 74).

Como a pesquisa está em andamento, cabe referir que os resultados previstos preveem a elaboração de: (1) guias de modelagem computacional 3D; (2) síntese da evolução geológica da bacia; (3) guia didático para professores de educação básica sobre a Bacia; (4) testes dinâmicos de aplicação do modelo 3D em atividades práticas, para avaliar sua utilidade didática. Assim, as próximas etapas da pesquisa envolvem:

- Conclusão da modelagem do embasamento e das demais unidades do pacote.
- Impressão de modelos 3D.
- Planejamento didático para a inserção dos modelos junto a professores, no ambiente escolar.
- Produção de cópias para serem utilizadas nas escolas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa tornou evidente o enorme potencial de aplicação dos recursos de modelagem física 3D. Além dos modelos físicos em si, na etapa final dos trabalhos serão produzidos guias para orientação de professores e estudantes na elaboração dos modelos.

O projeto obteve avanços consideráveis, porém ainda é preciso percorrer etapas que incluem decisões relativas à reprodução e multiplicação dos modelos para os testes didáticos junto a professores e alunos. O impacto proporcionado pela conclusão dos modelos físicos parece favorecer o ensino das Geociências e a exploração didática das representações tridimensionais.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC-CNPq), pelas sucessivas bolsas de IC e pelo apoio que tornou possível a realização do projeto, bem como ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp) e ao Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de. (1980). *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, IPT. 187p. (Rel. nº 14.091).

ANDRADE, W. S. (2015). *Montagem de maquetes tridimensionais com base em conceitos desenvolvidos em aulas*. In: Geosudeste 2015, 14º Simpósio de Geologia do Sudeste, 8º Simpósio do Cretáceo do Brasil e VI Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra, 2015, Campos do Jordão, SP, 26-29.10.2015. Anais... Campos do Jordão, SBGeo. p. 642-644. URL: <http://www.acquacon.com.br/geosudeste/anais.php>. Acesso 12.11.2021.

ANDRADE, W. S., CARNEIRO, C. D. R., BASILICI, G. (2018). Didactic environments for teaching and developing abilities in geological 3D visualization. In: CARNEIRO, C.D.R., GONÇALVES, P.W., IMBERNON, R.A.L., MACHADO, F.B., CERRI, C.A.D. eds. 2018. *Geosciences Teaching and History*. Campinas: Soc. Bras. Geol. p. 286-292. URL: <http://www.ige.unicamp.br/geosci2018/en/papers/>. [Proc. VIII GeoSciEd 2018, 8th Quadr. Conf. Intern. Geosc. Educ. Org. (IGEO): Geoscience for everyone. Campinas, SBGeo, 2018]. (ISBN 978-85-479-0067-0).

CARNEIRO, C.D.R.; MIGUEL, G.F.; SANTOS, L.M.; BUENO, C. (2020). Conceitos essenciais para uso de modelos geológicos tridimensionais no ensino-aprendizagem de Geologia. In: BARBOSA, P.; MA, J.B.C.; TOLEDO, C. eds. 2021. *Geologia e Sociedade: Construindo pontes para um planeta sustentável*. Brasília: Soc. Bras. Geol. p. 160. URL: <https://50cbg.com/anais/>.

[ST02 “História e Difusão das Geociências”, Anais 50CBG, Vol. 1]. (ISBN 978-65-992688-1-6).

CARNEIRO, C. D. R., SANTOS, K. M. dos, LOPES, T. R., SANTOS, F. C. dos, SILVA, J. V. L. da, HARRIS, A. L. N. C. (2018). Three-Dimensional physical models of sedimentary basins as a resource for teaching-learning of Geology. *Terræ Didática*, **14**(4):379-384. DOI: 10.20396/td.v14i4.8654098.

CARNEIRO, C. D. R., TOLEDO, M. C. M. de, & ALMEIDA, F. F. M. de. (2004). Dez motivos para a inclusão de temas de Geologia na Educação Básica. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**(4):553-560. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2004344553560>.

CHIOZZA, S. G. (2017). Computer aided geological design: AutoCAD® applications in structural geology. *Terræ Didática*, **13**(2):113-122. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v13i2.8650087>.

GONDEK, T. P., CARNEIRO, C. D. R. (2022). *Aplicação prática da maquete física 3D da Bacia do Paraná na pesquisa educacional em Geociências*. Campinas, Inst. Geoc. Unicamp. 6p. (PIBIC/CNPq, Rel. Parcial).

KASTENS, K., MANDUCA, C.A., CERVATO, C., FRODEMAN, R., GOODWIN, C., LIBEN, L. S., MOGK, D. W., & SPANGLER, T. C., STILLINGS, N. A., TITUS, S. (2009). How Geoscientists Think and Learn, *Eos Trans. AGU*, **90**(31), 265. (Unedited Preprint). URL: <http://serc.carleton.edu/serc/EOS-90-31-2009.html>.

KASTENS, K. A., PASSOW, M. J., PISTOLESI, L. (2014). Analysis of Spatial Concepts, Spatial Skills and Spatial Representations in New York State Regents Earth Science Examinations. *J. Geosc. Educ.*, **62**:278-289. DOI: <http://www.nagt-ige.org/doi/pdf/10.5408/13-104.1>.

KING, C. (2008). Geoscience education: an overview. *Studies in Science Education*, **44**(2):187-222.

MIGUEL, G. F. (2019). *Visualização 3D como condição para aprendizagem significativa em Geologia Estrutural*. Dissertação (Mestrado em Ensino e História de Ciências da Terra), Campinas, SP, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. URL: [repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/334038/1/Miguel GiseleFrancelino M.pdf](repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/334038/1/Miguel%20GiseleFrancelino%20M.pdf).

MILANI, E. J., MELO, J. H. G. de, SOUZA, P. A., FERNANDES, L. A., & FRANÇA, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, **15**(2):265-287.

OLIVEIRA, H. V. B. de, CARNEIRO, C. D. R. (2008). *Representação em 3D do Aquífero Guarani na Borda da Bacia do Paraná*. Campinas: IG-UNICAMP. 20p. (PIBIC/CNPq, Rel. Cient. Final).

SANTOS, K. M. dos, CARNEIRO, C. D. R. (2018). *Pesquisa e produção de modelos geológicos tridimensionais para ensino de Geociências: maquete da Bacia do Paraná*. Campinas, Inst. Geoc. Unicamp. 25p. (PIBIC/CNPq, Rel. Final).

UZKEDA, H., POBLET, J., MAGÁN, M. BULNES, M., MARTÍN, S., & FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, D. (2022). Virtual outcrop models: Digital techniques and an inventory of structural models from North-Northwest Iberia (Cantabrian Zone and Asturian Basin). *Journal of Structural Geology*, **157**(2022), 104568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104568>.

ZALAN, P. V., CONCEIÇÃO, J. C., WOLFF, S., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., NETO, E. V. S., CERQUEIRA, J. R., ZANOTTO, O. A., PAUMER, M. L., & MARQUES, A. (1986). *Análise da Bacia do Paraná*. PETROBRAS-DEPEX-CENPES, Rio de Janeiro, 195 p. (Rel. Int. Gt-Os-009/85).