



# Pesquisa e produção de modelos tridimensionais para ensino de Geociências: Bacia Sedimentar de São Paulo

**Palavras-Chave:** Ensino, Visualização 3D, Cenozoico, Relevo, Obras subterrâneas.

**Autores(as):**

**RICARDO FERREIRA, Universidade Estadual de Campinas**  
**Prof. Dr. CELSO DAL RÉ CARNEIRO (orientador), Universidade Estadual de Campinas**

## RESUMO

A área de Geociências é um ramo complexo da ciência, cujo aprendizado depende do desenvolvimento de diversas habilidades. Este projeto de pesquisa objetiva criar representações tridimensionais da Bacia de São Paulo, associando-se a outras pesquisas sobre uso educacional de modelos físicos e virtuais de bacias sedimentares brasileiras. A pesquisa envolveu revisão bibliográfica, elaboração de modelos em computador, produção de maquetes físicas e redação de textos de suporte. Os produtos são várias versões de maquetes da Bacia de São Paulo, a serem testadas e empregadas como objetos de estudo e aprendizado. Não foi possível realizar a aplicação didática nesta etapa, devido a descompasso com o calendário escolar. O levantamento bibliográfico revela que a modelagem 3D é explorada intensivamente tanto em pesquisas científicas básicas, como em pesquisas aplicadas. Além do uso como recurso didático, os modelos tridimensionais da Bacia de São Paulo podem contribuir para aproveitamento de água subterrânea, planejamento e execução de projetos de infraestrutura, como as obras de metrô. Ferramentas baseadas na interpretação de objetos geológicos tridimensionais motivam o estudante, porque aproveitam o realismo dos modelos 3D em comparação com imagens bidimensionais (2D).

## INTRODUÇÃO

As Geociências abrangem uma extensa gama de áreas de estudo, constituindo um ramo complexo da ciência, cujo aprendizado requer – e proporciona – o desenvolvimento de diversas habilidades. Este projeto de iniciação científica faz parte de uma linha de pesquisas que desenvolve modelos físicos e virtuais de bacias sedimentares. O projeto objetiva produzir ferramentas educacionais que possibilitem a interpretação de modelos geológicos tridimensionais (3D), diante da enorme vantagem destes objetos sobre as imagens bidimensionais (2D). Os pesquisadores criaram recursos de visualização, utilizando a representação tridimensional da Bacia de São Paulo como objeto de estudo e aprendizado. É pequena a quantidade de pesquisas sobre materiais didáticos que conciliem o estudo de bacias sedimentares e a visualização tridimensional sob a ótica da divulgação cartográfica, apesar de essa ser uma solução palpável, interativa e intuitiva para o estudante das Geociências.

O projeto faz parte de uma linha de pesquisa que utiliza ferramentas de modelagem 3D para gerar novos recursos educacionais. Pretende-se avaliar o potencial de uso didático de modelos físicos e virtuais de bacias sedimentares brasileiras, envolvendo o uso de impressoras 3D em laboratórios da Unicamp e de entidades externas. A pesquisa recebeu apoio e mantém excelente intercâmbio técnico-científico com o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), do governo federal.

## METODOLOGIA

As etapas de criação das representações 3D da Bacia de São Paulo foram: revisão bibliográfica, seleção de dados, modelagem em computador, produção de maquetes físicas e elaboração de textos de suporte. O método de trabalho inicia-se pela pesquisa bibliográfica e estudo de livros, artigos técnico-científicos e educacionais e produtos de outros projetos desenvolvidos ao longo dos últimos anos pela equipe. Para tanto, foram estudados trabalhos produzidos em etapas anteriores do projeto (Carneiro et al., 2018a, 2018b), com participação de docentes da Unicamp e pesquisadores do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI-Renato Archer). O levantamento bibliográfico revelou que a modelagem 3D é explorada intensivamente tanto em pesquisas científicas básicas como em pesquisas aplicadas.

Com o apoio do orientador e estudo da bibliografia apresentada, o orientado sanou algumas dúvidas, tanto em relação à Bacia de São Paulo quanto em relação às técnicas de modelagem. Uma vez que existem outros projetos de iniciação científica na mesma linha, referentes a outras bacias sedimentares, os relatórios emitidos pelos demais bolsistas podem repetir algumas informações, diante das trajetórias similares dos projetos. Obtiveram-se diferentes versões de maquetes, a serem testadas e empregadas como objetos de estudo e aprendizado. Não foi possível realizar nesta etapa a aplicação didática, devido a atrasos de cronograma em descompasso com o calendário escolar.

## RESULTADOS

Na primeira etapa do projeto foram estudados os mapas de contorno estrutural do embasamento da Bacia de São Paulo publicados por Carneiro, Hasui & Giancursi (1976), Hasui & Carneiro (1980), Takiya et al. (1989) e Takiya (1991). Estudou-se ainda o artigo produzido por Polly (2022): *Elaboração de técnicas de modelagem 3D de estruturas geológicas e produção de modelo por manufatura aditiva*. Aproveitando o projeto de modelagem física 3D do relevo produzido por Polly (2022), desenhou-se um mapa com o *addon* do *software* Blender, (Fig. 1) empregando-se os limites indicados por Hasui & Carneiro (1980) e Santos & Carneiro (2018), onde podemos observar a área física de uma parte da Grande São Paulo, onde se localiza a Bacia de São Paulo, sendo possível observar na imagem o traçado mais escuro dos canais fluviais dos rios Pinheiros e Tietê e algumas pequenas manchas irregulares, que correspondem ao afloramento de rochas do embasamento no interior da bacia.



Figura 1. Modelagem física 3D do relevo local. As linhas na cor laranja indicam os limites da cobertura sedimentar da Bacia de São Paulo. Modif. de Polly (2022)

Para melhor visualização, tanto do relevo quanto da própria bacia, foi feito um exagero da ordem de 7 vezes a escala normal do desenho. Na Figura 2, a área da bacia acha-se delimitada na cor laranja. A Figura 3 apresenta um recorte, separado do relevo-base, dos limites da Bacia de São Paulo. Na Figura 4 podemos visualizar em perspectiva, com grande exagero vertical, a área representada na Figura 3.



Figura 2. Relevo da Bacia de São Paulo, com o exagero vertical e a delimitação da área do relevo



Figura 3. Área da Bacia de São Paulo vista de cima, com o exagero vertical

Na figura 5, nota-se claramente, com o uso de exagero vertical, os elementos do relevo descritos por Ab'Sáber (1957a), tais como altas colinas de topo aplainado ao norte e planícies de inundação ao longo dos Rio Pinheiros e Tietê. A maioria das feições pode ser observada no “relevo intensamente modificado da metrópole paulista, à exceção das planícies de inundação, atualmente aterradas, com canais retificados” (Takiya, 1997, p.22). Hasui & Carneiro (1980) reconheceram a existência de pelo menos três depressões alongadas no fundo da bacia, e que podem corresponder a paleovales fluviais.

Mecanismos associados à formação de soleiras locais podem ter controlado a formação de depressões, devido à movimentação sin-sedimentar de blocos de falha em zonas reativadas.



Figura 4. Área da Bacia de São Paulo vista em perspectiva, com exagero vertical

A existência de compartimentação em blocos tectônicos é reconhecida desde os primeiros mapas de contorno estrutural do embasamento da bacia (Carneiro et al., 1976, Hasui & Carneiro, 1980). Almeida (1976) registra que a sismicidade regional, embora seja fraca, parece indicar que o sistema de riftes adjacente à Bacia de Santos ainda não está inteiramente inativo. A movimentação vertical de blocos durante o Neógeno deu origem a zonas deprimidas, que se concentram na porção setentrional da bacia. A depressão em que se depositaram os sedimentos paleogênico-eogênicos da Bacia de São Paulo expõe uma geometria na qual pode se identificar um paleo-relevo “tão ou mais acentuado do que o existente nos terrenos pré-cambrianos adjacentes” (Hasui & Carneiro, 1980, p.6), que influenciou decisivamente nas variações de espessura e no formato geométrico da área sedimentar. Almeida (1955) admitira que a geometria da rede de drenagem pretérita teria sido bastante semelhante à rede atual; com efeito, Hasui & Carneiro (1980) identificam paleovales que aproximadamente seguem o traçado dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e Baquirivu-Guaçu, havendo neles certa concentração de sedimentos arenosos. As variações de espessura do pacote sedimentar resultam do paleo-relevo e do jogo de blocos e cunhas triangulares associados às falhas. Hasui & Carneiro (1980) assinalam ainda a existência, ao redor da bacia, de elevações serranas sustentadas por granitos e granodioritos, como Pirucaia, Cantareira, Itaqui, Taxaquara, Caucaia, Taquaxiara e Itapeti. Tais corpos granitoides parecem ter exercido influência desde as etapas primitivas de evolução da bacia.

## DISCUSSÃO

A modelagem tridimensional tem modificado profundamente o escopo, as aplicações e os horizontes de desenvolvimento de várias áreas da ciência e da tecnologia. O estudo de estruturas geológicas naturais a partir da aplicação de técnicas digitais pode contribuir enormemente para o aprendizado (Uzkeda et al., 2022) de disciplinas curriculares, como Geologia Estrutural, Estratigrafia e outras. O projeto confirma o potencial da modelagem física 3D no ensino das Geociências para cursos superiores de geologia, engenharia ou ciências ambientais. A literatura internacional reúne abundantes resultados de pesquisas sobre usos da visualização 3D, mas os estudos nacionais acerca da aplicação em Geociências são escassos (Andrade, 2015, Andrade et al., 2018, Carneiro et al. 2022). Para expandir os recursos e favorecer a penetração desses tópicos na educação básica, é preciso planejar e oferecer meios para a introdução de temas de Geologia na educação básica (Carneiro et al., 2022):

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. (Carneiro et al. 2022, p.5).

Ferramentas baseadas na interpretação de objetos geológicos tridimensionais são motivadoras para o estudante, porque aproveitam o realismo dos modelos 3D em comparação com imagens bidimensionais (2D).

## CONCLUSÕES

O projeto possibilitou ao orientado conhecer melhor a região onde se insere a Bacia de São Paulo e, ao mesmo tempo, obter domínio do *software* Blender. Para que o projeto seja concluído, é preciso percorrer ainda as seguintes etapas: (a) refinar os modelos 3D obtidos no projeto para melhorar os resultados de impressão; (b) escolher alternativas mais acessíveis para reproduzir e multiplicar os modelos, a baixo custo; (c) aplicar testes de uso didático junto a professores e alunos. O impacto da conclusão dos modelos físicos poderá favorecer o ensino das Geociências e a exploração didática das representações tridimensionais.

As ações devem aprimorar a capacidade de extração e tratamento de dados geológicos, permitir que os alunos tenham maior interação com os modelos, engajar professores de educação básica nas atividades de pesquisa e, conseqüentemente, aprofundar o estudo das Geociências nesse nível de escolaridade.

---

## REFERÊNCIAS

- Almeida F. F. M. de (1955). As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 4, 23-40.
- Almeida, F. F. M. de, & Carneiro, C. D. R. (1998). Origem e evolução da Serra do Mar. *Rev. Bras. Geoc.* 28(2):135-150. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1998135150>.
- Almeida, F. F. M. de. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. bras. Ciênc.*, 48(Supl.), 15-26.
- 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 12.11.2019.
- Andrade, W. S., Carneiro, C. D. R., Basílico, G. (2018a). 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/geoscienced2018/en/papers/>. [Proc. VIII GeoSciEd 2018, 8<sup>th</sup> Quadr. Conf. Intern. Geosc. Educ. Org. (IGEO): Geoscience for everyone. Campinas, SBGeo, 2018]. (ISBN 978-85-479-0067-0).
- 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. (2018a). Three-Dimensional physical models of sedimentary basins as a resource for teaching-learning of Geology. *Terræ Didática*, 14(4), 379-384. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v14i4.8654098>.
- Carneiro, C. D. R., Gondek, T. P., Ferreira, R., Polly, D., Fontolan, L. S. B., Oliveira, M., Noritomi, P. (2022). *Aplicação de maquetes físicas tridimensionais da Bacia do Paraná no Ensino de Geociências*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 17, Belo Horizonte, 2022. *Anais CD-ROM...*, Belo Horizonte, ABGE. (5º Simpósio de Educação e Ensino, 5º SEGEA). URL: [https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1\\_137.pdf](https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_137.pdf). Acesso 20.04.2023.
- Carneiro, C. D. R., Hasui, Y., & Giancursi, F. D. (1976). *Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, 1976. *Anais...* Belo Horizonte: SBG. v. 4, p. 247-256.
- 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., Noritomi, P. Y., Kemmoku, D. T. (2018b). *Modelos 3D de bacias sedimentares como recurso didático*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 49, 2018, Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* São Paulo, SP: Soc. Bras. Geol. (Código 7548, ST03 "Ensino e Educação em Geociências"). URL: <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/ST03/st03.htm>. URL: <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/7548.pdf>. Acesso 25.07.2023.
- Hasui, Y., & Carneiro, C. D. R. (1980). Origem e evolução da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: Mesa redonda aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, São Paulo, 1980. *Anais...* São Paulo: ABGE/SBG-NSP. p. 5-13 (Publ. Esp.).
- Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Giancursi, F. D., & Gusso, G. L. N. (1976). *Condicionamento tectônico da Bacia Sedimentar de São Paulo*. In: Congr. Bras. Geol., 29, Ouro Preto. *Anais...* Belo Horizonte: SBG. v. 4, p. 257-268.
- Polly, D. (2022). *Elaboração de técnicas de modelagem 3D de estruturas geológicas e produção de modelo por manufatura aditiva*. Campinas, XXIV Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (JICC'2022).
- Santos, F. C. dos, & Carneiro, C. D. R. (2018). *Pesquisa e produção de modelos geológicos tridimensionais para ensino de Geociências: maquete da Bacia de São Paulo*. Campinas, Inst. Geoc. Unicamp. 14p. (PIBIC/CNPq, Rel. Final).
- Takiya, H. (1991). *Aplicação de métodos estatísticos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo*. São Paulo, IGc-USP. 109p. (Dissert. Mestr.). DOI: <https://doi.org/10.11606/D.44.1991.tde-03062015-090908>.
- Takiya, H. (1997). *Estudo da sedimentação Neogênico-Quaternário no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana*. São Paulo, IGc-USP. 152p. (Tese Dout.). DOI: <https://doi.org/10.11606/T.44.1997.tde-28102015-142657>.
- Takiya, H., Peloggia, A. U. G., Tokutake, L. R., Campos, J. E., Ogawa, A. T., Koga, H., Hayashi, J. H., Misawa, W. J., & Riccomini, C. (1989). *Arcabouço estrutural da Bacia de São Paulo*. In: SBG/IGc-USP, Workshop Geologia da Bacia de São Paulo, São Paulo, 1989. *Colet. Comun...*, São Paulo, p. 16-27. URL: <https://repositorio.usp.br/item/000791682>. Acesso 25.07.2023.
- 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>.