

NOVA VERSÃO DA MAQUETE 3D DA BACIA DO PARANÁ PARA ENSINO E DIFUSÃO DAS GEOCIÊNCIAS

Palavras-Chave: ENSINO, PALEOZOICO-MESOZOICO, RELEVO.

Autores(as):

Myatã Cardoso da Silveira, IG - DGRN - UNICAMP

Prof. Dr. Celso Dal Ré Carneiro (orientador), IG - DGRN - UNICAMP

RESUMO

O projeto retrabalhou os modelos digitais 3D da Bacia do Paraná, que resultaram de projetos anteriores do grupo de pesquisa, para ensino de Geociências. A finalidade é gerar novos modelos físicos tridimensionais da bacia. Para produzir tais materiais didáticos, é necessário superar o risco de empenamento durante a fabricação da base do modelo (embasamento da bacia) e das camadas a ela superpostas, que não podem ser compactas (sólidas). Este artigo descreve os procedimentos e as etapas de desenvolvimento, bem como alguns pormenores de funcionamento de softwares como *Meshmixer*, *3D Builder* e *Blender*. A metodologia consistiu na criação de moldes ocos, adição de estruturas internas e suavização de superfícies para garantir qualidade e precisão nos modelos finais. A impressão foi realizada na máquina *Selective Laser Sintering* (SLS), a qual trabalha com pó de nylon sinterizado, resultando em modelos que oferecem um recurso visual e tátil eficaz para a educação. Na continuidade do projeto, será realizado um planejamento didático para inserir os modelos em escolas, mediante produção de cópias para uso em sala de aula. Espera-se que o projeto revele o enorme potencial das tecnologias de impressão 3D na criação de materiais didáticos, sublinhando assim o seu papel fundamental no ensino das Geociências.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná se estende por aproximadamente 1.500.000 km², abrangendo porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, NE da Argentina e Uruguai setentrional (Milani, 2007). Esta pesquisa visa refazer um conjunto de modelos geológicos das sequências sedimentares e vulcânicas da parte brasileira da bacia gerados por manufatura aditiva, empregando novos *softwares* e ferramentas. Foram retrabalhadas as maquetes digitais 3D geradas por Gondek & Carneiro (2022), com a finalidade de produzir um novo modelo físico das partes: Paleozoico, Aquífero, Serra Geral e Embasamento. Havia uma grave limitação nos modelos prévios, porque os blocos de maior espessura não podem ser compactos (sólidos), devido ao risco de empenamento durante a fabricação. A restrição se aplica à base do modelo (embasamento) e à camada sobreposta

correspondente às camadas paleozoicas. Um modelo empenado é inutilizável, devido à deformação e à perda do encaixe com as demais partes.

O objetivo central da pesquisa é atualizar os arquivos de digitalização e representação 3D da Bacia do Paraná e solucionar eventuais problemas de modelagem e impressão 3D. A maquete utilizada na pesquisa foi criada em 2022 pela aluna Thassia P. Gondek do Instituto de Geociências da Unicamp (Santos & Carneiro, 2019, Gondek & Carneiro, 2022, Carneiro et al., 2022), com apoio do Centro de Tecnologia de Informação Renato Archer (CTI-Renato Archer). A impressão foi realizada no CTI por sinterização seletiva a laser (SLS), com o equipamento 3D *Systems modelo Sinterstation HiQ*. O foco das atividades foi identificar soluções para o possível empenamento do modelo 3D, devido a aquecimento gerado por feixes de laser no processo de manufatura. Se houver empenamento, a maquete ficará inutilizável como material educacional. Outro objetivo das atividades foi capacitar o aluno no uso dos softwares *Blender* e *Autodesk Meshmixer* para modelagem 3D.

A principal motivação da pesquisa é a contínua expansão e aprimoramento dos recursos de impressoras 3D, cujos produtos são aplicados em diversas áreas do conhecimento. A pesquisa privilegia a utilização de *softwares* de acesso aberto, ou seja, que independem da aquisição de licenças para utilização (Colusso, 2023). Há um interesse direto no campo da educação geocientífica, pois os modelos físicos serão aplicados no ensino de Geociências. Na educação básica, o aproveitamento educacional desse tipo de material didático ainda é incipiente. A produção de modelos físicos é conduzida pelo Instituto de Geociências da Unicamp com o apoio do CTI (Carneiro et al., 2018). Cada modelo físico para ensino de Geociências será acompanhado por um roteiro de utilização didática para aulas práticas, contendo as principais informações sobre a bacia selecionada, sua estrutura e evolução.

METODOLOGIA

As etapas do projeto envolveram a montagem física de modelos vazados (sólidos ocos com apoios internos) para posterior aplicação didática. O processo teve início com o preparo de modelos individuais das unidades Serra Geral e Paleozoico por meio do *software Meshmixer* para produção de modelos ocos (Formlabs, 2024). A espessura média das paredes do modelo foi ajustada em 2 mm (Figs. 1 e 2), empregando-se a ferramenta *hollow*. A etapa foi fundamental para reduzir o peso dos modelos finais e evitar problemas como empenamento durante a impressão.

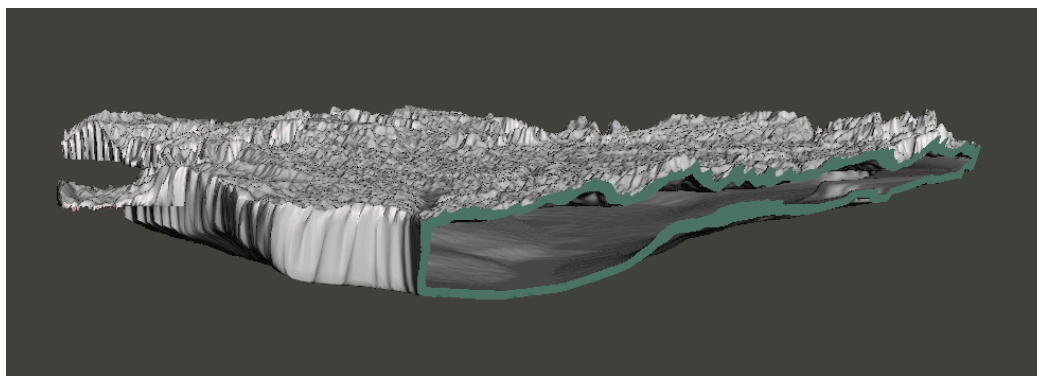


Figura 1. Modelo oco 3D (vazado) da unidade Serra Geral

Subseqüentemente, os modelos Serra Geral, Paleozóico e Embasamento foram importados em outro aplicativo chamado *3D Builder* para que as estruturas internas fossem adicionadas. Utilizando a ferramenta *Booleana* em outro arquivo previamente adicionado, este chamado *Honeycomb*, cujo formato se assemelha a um favo de mel, resultou em sua modelagem no mesmo formato do interior dos demais modelos. Posteriormente, a ferramenta *Booleana* foi utilizada novamente para unir os modelos da Bacia com o modelo *Honeycomb*, que configurou as estruturas internas não apenas para fornecer suporte interno aos modelos durante o processo de impressão, mas também para auxiliar na dissipação eficiente de calor, e criar pequenos buracos posicionados nas superfícies inferiores dos modelos para assegurar a remoção eficiente do material em pó residual após a impressão. Os moldes acham-se identificados nas Figuras 3 e 4, retiradas do *3D Builder*. Os buracos foram projetados para permitir que o pó remanescente do processo de impressão da máquina *Selective Laser Sintering* (SLS) fosse completamente removido, garantindo a integridade e funcionalidade dos modelos finais.

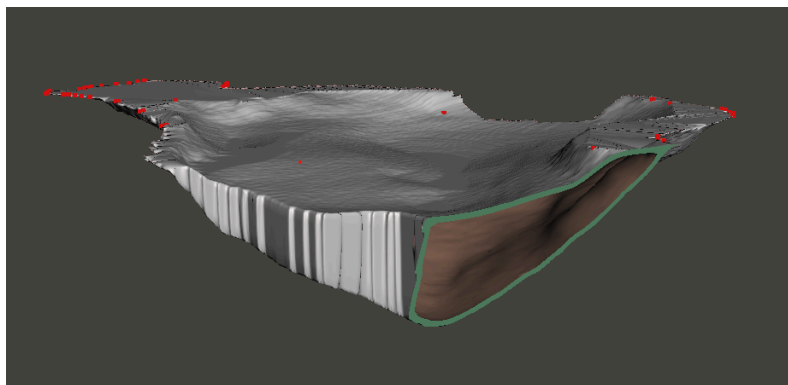


Figura 2. Modelo 3D (vazado) da unidade Paleozoico

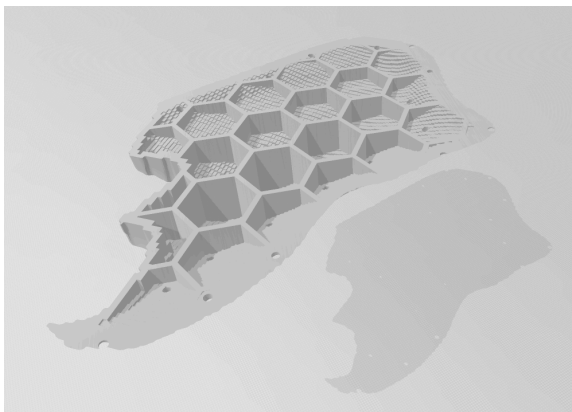


Figura 3. Interior do Modelo 3D Paleozoico

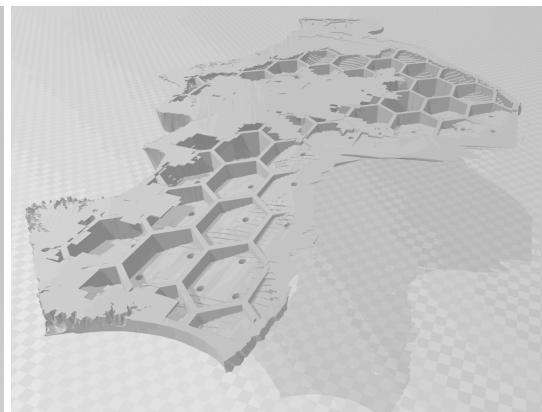


Figura 4. Interior do Modelo 3D Serra Geral

Após a adição das estruturas internas no *3D Builder*, os modelos foram exportados para o ambiente *Blender* no qual a preparação final foi realizada. Utilizando a ferramenta *Smooth Tools* (Blender 4.2 Manual, 2024), as superfícies dos modelos foram suavizadas para melhorar sua estética e reduzir o tamanho dos arquivos, uma vez que a impressora apresenta limite de memória nos arquivos (80 Mb). Além disso, ajustes manuais foram realizados mediante edição de vértices (Bullo, 2020), modelamento de relevo (The Cg Essentials, (2021), conversão de formas geométricas em triângulos (Mikulec, 2006) e aplicação de booleanas (Cygnus 3D, 2023), para corrigir quaisquer erros de triangulação que pudessem comprometer a qualidade final da impressão. Por fim, os modelos foram enviados para impressão na máquina SLS, onde camadas de pó de nylon (PA12) são

sinterizadas por raios laser e endurecidas para construir os modelos físicos finais da Bacia do Paraná. Essa abordagem metodológica facilitou a produção de modelos detalhados que poderão contribuir para o desenvolvimento de materiais didáticos inovadores com grande potencial educacional em diversos níveis de ensino.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção dos modelos tridimensionais da Bacia do Paraná foi bem sucedida, culminando em uma série de modelos físicos que atendem aos requisitos didáticos para o ensino de Geociências. A utilização de diferentes softwares, como *Meshmixer*, *3D Builder* e *Blender*, permitiu o refinamento contínuo dos modelos, resultando em peças detalhadas e funcionais. A aplicação inicial da ferramenta *hollow* no *Meshmixer* para criar moldes ocos com uma espessura média de 2 mm foi essencial para evitar problemas de deformação e reduzir o peso dos modelos. Este passo revelou-se eficaz, uma vez que os modelos ocos apresentaram menor deformação durante a impressão, em comparação com tentativas anteriores com modelos sólidos. A adição de estruturas internas no formato *Honeycomb* utilizando o *3D Builder* se mostrou eficaz. As estruturas fornecem o suporte interno necessário e ajudam a controlar o calor durante a impressão na máquina *Selective Laser Sintering* (SLS). Além disso, os buracos criados na parte inferior das superfícies garantem a remoção de partículas de pó, preservando-se, assim, a integridade e a funcionalidade dos modelos impressos.

No entanto, tanto o processo de suavização das superfícies quanto a redução do tamanho dos arquivos no Blender apresentam desafios significativos. Foi necessário muito tempo e esforço para corrigir manualmente parte dos erros de triangulação. Sempre que eram feitas alterações, novos vértices e superfícies indesejadas apareciam, o que significava que era necessário adotar um ciclo iterativo de ajustes para alcançar a compatibilidade com a máquina de impressão. Esta questão demonstra a complexidade do *software* de modelagem 3D e realça a importância de modificações manuais. As últimas impressões produzidas pela máquina SLS têm alta qualidade e detalhes por conta da técnica de fusão de camadas de material por laser empregada. Os modelos impressos da Bacia do Paraná estão prontos para serem utilizados em atividades de ensino, proporcionando uma ferramenta visual e tátil que facilita a compreensão das estruturas geológicas. Além das questões puramente técnicas, a produção dos modelos também tem contribuído muito para o desenvolvimento de materiais didáticos. Os modelos físicos detalhados para uso em sala de aula são, portanto, um grande auxílio no ensino de Geociências, possibilitando aos alunos a visualização concreta e a compreensão das formações geológicas da Bacia do Paraná. Harknett et al. (2023) assinalam que o aprendizado 3D proporciona melhores resultados de aprendizagem em relação a métodos similares oferecidos em 2D, “ajudando os alunos a contextualizar o espaço e a desenvolver ainda mais as habilidades espaciais” (Bond & Cawood, 2021).

Nos próximos meses, serão elaborados planos de ensino para a realização de apresentações com maquetes e cópias das maquetes para serem utilizadas nas escolas. O planejamento também inclui a elaboração de roteiros sobre o uso das maquetes em aulas práticas nas escolas, destacando as principais informações sobre a Bacia do Paraná, sua estrutura e sua evolução geológica. O material didático inovador possibilitará que muitas outras escolas possam captar o impacto educacional desse projeto.

CONCLUSÕES

A pesquisa de IC objetivo a construção de modelos tridimensionais detalhados e funcionais da Bacia do Paraná para serem utilizados no ensino de Geociências. A integração dos *softwares Meshmixer, 3D Builder e Blender* foi fundamental para superar obstáculos técnicos e criar modelos de qualidade. A criação de moldes ocultos no *Meshmixer* e a adição da estrutura interna no *3D Builder* impediram a deformação do modelo durante a impressão. A suavização de superfícies e a correção de triangulação no Blender garantiram a compatibilidade dos modelos com a máquina de impressão *Selective Laser Sintering (SLS)*. Os modelos, detalhados e precisos em relação aos dados fornecidos, tornam-se uma ferramenta visual e tátil muito eficaz para o ensino, porém pela falta de conhecimento da equipe em relação à modelagem 3D, os modelos não são perfeitos e ainda apresentam diversos problemas de triangulação e conseqüentemente superfícies indesejadas que dificultam o encaixe das peças. Nos próximos meses, será desenvolvido um planejamento didático com vista à inserção dos modelos nas escolas, e serão produzidas cópias adicionais para evitar quaisquer riscos.

REFERÊNCIAS

- Blender 4.2 Manual. (2024). *Smooth Modifier*. Blender 4.2 Manual. Últ. Atualiz. 05.08.2024. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/deform/smooth.html>. Acesso 05.08.2024.
- Carneiro, C. D. R., Carvalho, R. S. de, Padovani, S. G., Ferreira, R., Pinto, A. V. F., & Vieira, L. C. (2023). Conclusão do Modelo Geológico 3D da Bacia de Taubaté e aplicação na pesquisa educacional em Geociências. *Terræ Didactica*, 19(Publ. Contínua), 1-8, e023038. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8675136>.
- 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: Congr. Bras. Geol. Eng. 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. Acesso 20.04.2023.
- 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 Didactica*, 14(4), 379-384. DOI: <https://doi.org/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. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4), 553-560. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2004344553560>.
- Cygnus 3D. (2023). *Boolean Modifier*. *Blender Tutorial for Beginners*. Cygnus 3D. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ixTFoXtEyal>. Acesso 05.08.2024.
- Formlabs. (2024). *How to hollow out 3D models with Meshmixer to save material and time*. Formlabs Guides. URL: <https://formlabs.com/blog/how-to-hollow-out-3d-models/>. Acesso 05.08.2024.
- 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. 9p. (PIBIC/CNPq, Rel. Final).
- Harknett, J., Whitworth, M., Rust, D., Krokos, M., Kearl, M., Tibaldi, A., Bonali, F.L., ..., & Becciani, U. (2022). The use of immersive virtual reality for teaching fieldwork skills in complex structural terrains. *Journal of Structural Geology*, 163 (2022), 104681. Online 13 August 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104681>.
- Mikulec, A. (2006). *How do I convert squares to triangles polygons?* blenderartists.org. URL: <https://blenderartists.org/t/how-do-i-convert-squares-to-triangles-polygons/355929>. Acesso 05.08.2024.
- Milani, E. J., Melo, J. H. G. de, Souza, P. A., Fernandes, L. A., & França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. Rio de Janeiro: *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 265-287. URL: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/310>. Acesso 05.08.2024.
- Santos, F. C. dos, & Carneiro, C. D. R. (2019). Pesquisa e produção de modelos tridimensionais para ensino de Geociências. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, (26). DOI: <https://doi.org/10.20396/revpibic262018448>. Acesso 05.08.2024.
- The Cg Essentials. (2021). *Modeling terrain in blender. How to Flatten Terrain!* The CG Essentials, 29.09.2021. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=dJIwM7-2tk>. Acesso 05.08.2024.
- Vieira, T. C., Velloso, A., Rodrigues, A. P. C. (2016). Estudo de caso sobre ensino de Geociências em uma turma de ensino fundamental da rede privada de Duque de Caxias - RJ. *Terræ Didactica*, 12(3), 153-162. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v12i3.8647892>.