



## Resumo

A pesquisa foi motivada pela contínua expansão e aprimoramento dos recursos de impressoras 3D, cujos produtos são aplicados em diversas áreas do conhecimento. Na escola básica o aproveitamento educacional desses materiais ainda não recebeu qualquer impulso; tampouco existe a preocupação dos pesquisadores da comunidade técnico-científica nacional de Geociências de gerar materiais interativos de divulgação científica para serem aproveitados na escola. A produção de modelos físicos de bacias vem sendo conduzida pelo IG-Unicamp em colaboração estreita com a FEC-Unicamp e o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). Os primeiros resultados concretos da pesquisa foram publicados por Carneiro et al. (2018).

O projeto dedica-se a fomentar o uso didático de modelos gerados por impressoras 3D. O contato de estudantes com modelos físicos ajuda o desenvolvimento da visualização 3D. Qualquer aluno de Geociências deve ser capaz de identificar feições tridimensionais, como por exemplo: estruturas geológicas dentro de um corpo rochoso, pacotes sedimentares dentro de uma bacia, ou até intrusões basálticas em uma formação, entre outros. São processos mentais que envolvem a visualização 3D, habilidade essencial não só nas Geociências, mas em diversas áreas do conhecimento. A pesquisa foca na modelagem 3D da bacia sedimentar de São Paulo. Para gerar o modelo foi desenvolvido um método computacional, acessível a estudantes e professores, que possibilitara a impressão em três dimensões. O modelo será usado como ferramenta de ensino e aprendizagem.

## Objetivos

A modelagem tridimensional é apontada como sendo o futuro de diversas áreas do conhecimento. Pesquisas sobre aplicações da visualização 3D são abundantes na literatura internacional, mas as pesquisas acerca dos recursos disponíveis, no campo das Geociências, são ainda escassas no Brasil (Andrade et al., 2018).

Podem-se distinguir quatro categorias principais de técnicas para representar um objeto ou ambiente em três dimensões: o primeiro, que corresponde ao que é proposto no projeto, é o modelo físico em 3D, que pode ser gerado nas mais diversas escalas (Carneiro et al., 2018). A segunda técnica é a modelagem digital, que conta com diferentes tipos de recursos, tais como programas especializados da indústria de petróleo e mineração (por exemplo, Vulcan, Datamine, GeoCAD e AutoCAD). Textos para tratamento de dados em ambiente AutoCAD na Geologia são escassos, mas publicações como Jacobson (2001) e Carvalho & Carneiro (2008) oferecem exemplos de uso da ferramenta para solucionar problemas de Geologia Estrutural de maneira didática e compreensível. No caso dos métodos baseados exclusivamente em técnicas de Estereologia, existem exemplos educacionais que empregam recursos simples como visão estereoscópica de pares de imagens geradas em computador (Wells, 2002). A terceira técnica é a realidade virtual, que tenta recriar o mundo real em ambiente virtual; a quarta e última técnica 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, o usuário pode passear e interagir com a realidade criada.

Blenkinsop (1999) alerta que a falta desses recursos pode desmotivar alunos na área das Geociências, pois muitos estudantes simplesmente aplicam regras para resolver exercícios usando projeção estereográfica sem entender as operações ou os princípios fundamentais. Essa atitude gera dificuldades de visualização e,

consequentemente, certa frustração. O projeto se propõe a avançar nessa área ainda frágil da pesquisa nacional, abordando as camadas da bacia onde a mais populosa megalópole do país se edificou.

## Resultados

O método de trabalho foi criado visando a aplicação em outras bacias e situações geológicas. Inicialmente foi necessário tratamento computacional de dados da bacia com a finalidade de modelá-la e criar arquivos para impressão 3D. As contribuições científicas existentes sobre a bacia sedimentar de São Paulo são principalmente baseadas em dados de perfurações para água subterrânea na cidade de São Paulo e municípios vizinhos. Foi escolhido como o mais adequado para elaboração de um modelo digital, o mapa de contorno estrutural da Bacia de São Paulo publicado por Hasui & Carneiro (1980) (Fig. 1).

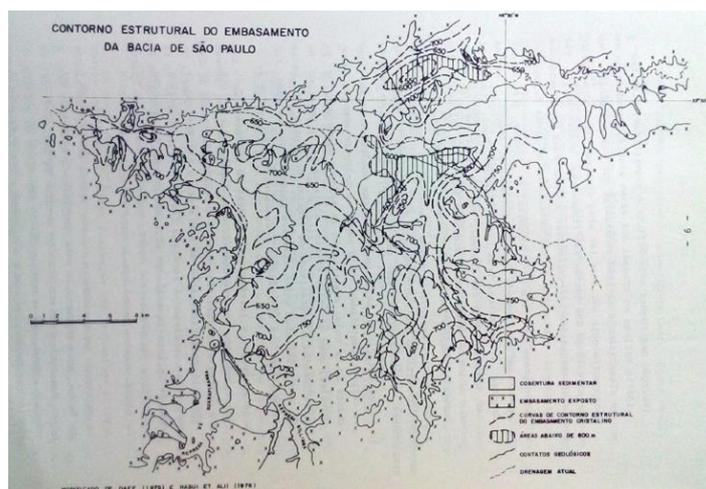


Figura 1: Mapa de Contorno Estrutural do Embasamento da Bacia de São Paulo (Hasui & Carneiro, 1980)

Em seguida foi necessário vetorizar o mapa, ou seja, converter os pixels (pontos) em linhas, para que se pudesse transferir para o AutoCAD e dar continuidade ao projeto. Para a vetorização utilizamos o *software* de design gráfico CorelDRAW X19, seguindo os seguintes passos:

- Inserir o arquivo no *software*.
- Selecionar a ferramenta “mão livre”.
- Desenhar linhas com o mouse como se estivéssemos desenhando em um papel, até cobrir todas as faixas de pixels que sejam limitantes de estruturas.

Após alguma edição necessária no mapa o resultado deve ficar parecido com a figura 2:

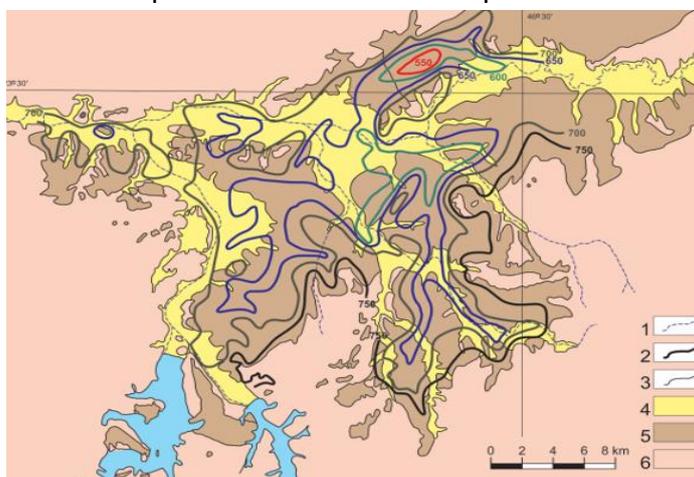


Figura 2: Mapa da figura 1, vetorizado e editado em CorelDRAW X19. Convenções: (1) rede de drenagem principal; (2) curva de contorno estrutural; (3) limite da área sedimentar; (4) cobertura de sedimentos; (5) embasamento cristalino

O próximo passo foi passar o arquivo vetorizado para o software AutoCAD 2020 (Fig.3), quando foi adicionado o eixo Z, para diferenciar as altitudes das curvas de contorno estrutural, trazendo finalmente a componente tridimensional para o mapa. Porém antes de aplicar o eixo Z no mapa foi necessário primeiro ajustar a escala da bacia vetorizada ao AutoCAD, que sem informações prévias não sabe diferenciar se uma unidade vale, por exemplo, 1 centímetro ou 1 metro. Para configurar a escala foi utilizado o seguinte método:

- Digitar e selecionar o comando “Scale”.
- Selecionar o mapa todo.
- Selecionar o “ponto de base” como sendo a origem da sua referência; no caso de um mapa, o ponto base pode ficar na origem da escala gráfica, que tinha no nosso caso de 0 a 8 km.
- Digitar “r” de “referência” e determinar uma reta entre a origem da escala gráfica e o final dela, no nosso caso, uma reta de “8 km”.

Por fim, informar ao AutoCAD quanto vale essa reta em unidades de medida, no nosso caso vale “8000” unidades, e a escala estará configurada.

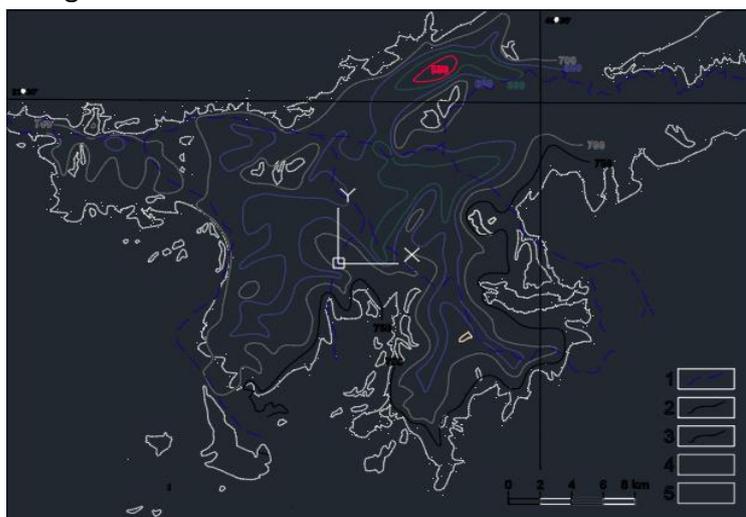


Figura 3: Mapa da bacia sedimentar de São Paulo no software AutoCAD 2020

Feitos esses passos para trabalharmos em uma unidade lógica, quanto a escala, podemos prosseguir com o objetivo de inserir o eixo Z no mapa. Para tanto, foi seguido o conjunto de passos:

- Selecionar o comando “move”.
- Selecionar o eixo Z.
- Selecionar um conjunto de pontos, que representa um de nossos pacotes sedimentares ou o embasamento.
- “Subir” a camada selecionada até a altura desejada. A Figura 4 constitui o produto.



Figura 4: visualização do eixo Z, da figura 3.

O arquivo nesse momento está pronto para ser enviado ao *software* de Sistema de Informações Geográficas (GIS) ArcMap 10.5, no qual ele será georreferenciado e acoplado ao relevo SRTM. Após executar o *software*, define-se o sistema de coordenadas mais adequado para o mapa base utilizado. Para isto, clica-se com o

botão direito do mouse em “Layers”, localizado em “Table of Contents” e, em seguida, “Properties” e por fim “Coordinating System” definindo o sistema. A próxima etapa é conectar a pasta que será utilizada para salvar os arquivos do trabalho ao ArcMap 10.5. Para isto, clica-se em “Catalog” e em seguida em “Connect to Folder” e então selecione a pasta desejada. Adicionado o mapa digitalizado à pasta recém criada e, com a mesma aberta em “Catalog”, arrasta-se a imagem para a área de trabalho do ArcMap 10.5. O mapa aparecerá na área de trabalho. Agora precisamos georreferenciar-lo para dar continuidade ao processo, para isso clique em “Go to XY”, será aberta uma nova janela na qual serão preenchidos os valores de latitude e longitude já conhecidos do mapa, como cruzamentos de rios por exemplo. Ao término da seleção da nuvem de pontos georreferenciados, inicia-se o processo de georreferenciamento do próprio mapa. Para aproximar a imagem dos pontos, clica-se em “Georeferencing”, na barra de ferramentas do programa, e, em seguida “Fit to Display” e, na mesma aba, a opção “Auto Adjust”.

Com a imagem próxima aos pontos, clica-se em “Add Control Points”, com o intuito de posicionar os cruzamentos do grid com os pontos georreferenciados. A seguir, clica-se no local da imagem cujas coordenadas geográficas correspondem com as do ponto e, em seguida, um click no ponto condizente fará com que o programa compreenda que aquele ponto na imagem equivale à sua posição no espaço. Ao repetir esta operação para todos os pontos, clique em “Update Display” para que os cruzamentos do grid no mapa se desloquem para seu ponto correspondente, então a imagem estará georreferenciada e o mapa estará na escala correta (Fig. 5).

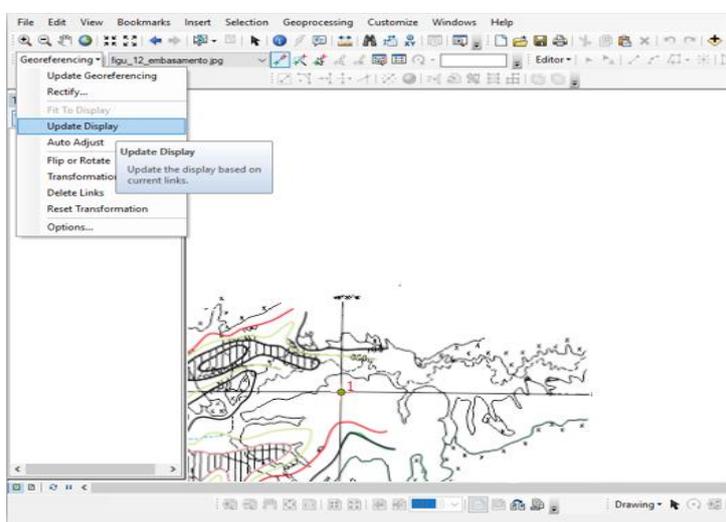


Figura 5: “Update Display”, no software ArcMap 10.5

Saber a coordenada de 4 a 6 pontos deve ser o suficiente, pois o nosso objetivo final não requer extrema precisão espacial. O último procedimento, em cooperação com a bolsista IC Caroline Bueno, que desenvolve estudos sobre a Bacia de Taubaté, foi a elaboração do relevo tridimensional que se encaixaria com o restante do modelo da bacia, como uma “tampa”. Foi adquirido um modelo do relevo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) do Estado de São Paulo na plataforma virtual da Embrapa. Os arquivos foram previamente unidos por intermédio da ferramenta “mosaico” do software já apresentado ArcMap 10.5 e o contorno do estado foi corrigido usando um shape de polígono do estado georreferenciado (Fig. 6). Infelizmente nosso último passo e resultado desta pesquisa foi a renderização do relevo SRTM do Estado de São Paulo, pois a partir deste passo fomos impedidos de dar continuidade ao processo, por conta da pandemia da covid-19. Os últimos passos planejados eram:

- Usar um polígono de contorno da Bacia sedimentar de São Paulo, então seriam criadas curvas de nível com a ferramenta contorno e a partir das curvas de nível gerar um arquivo TIN para realçar as nuances do relevo.
- Juntar a bacia sedimentar de São Paulo já modelada, georreferenciada, escalada e tridimensionalizada com o relevo a ela correspondente no estado de São Paulo, formando um sólido, por meio dos processadores da FEC-Unicamp e de softwares como o Revit 2018.

- Com o sólido pronto para impressão levaríamos o arquivo até o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, onde teríamos a licença para imprimir o sólido digital em um modelo 3D, aplicável em sala de aula para o ensino das Geociências.

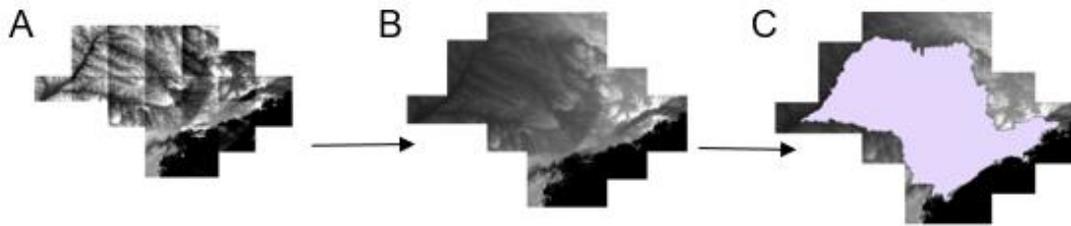


Figura 6. A) Imagens SRTM adquiridas na Base de dados da Embrapa, B) união das imagens SRTM usando a ferramenta mosaico, C) correção dos limites do estado de São Paulo usando um polígono georreferenciado e a ferramenta de extração por meio de "máscara". Ferramentas do software ArcMap 10.5

## Conclusões

A realização da pesquisa possibilitou que o bolsista obtivesse entendimento da geologia e estrutura da Bacia de São Paulo e aprimorasse técnicas de visualização e imaginação 3D, na medida em que o ato de modelar é uma ferramenta para ensino, mas gera muita aprendizagem. Devido a dificuldades de acesso às instalações da Unicamp e do CTI Renato Archer, devidas à pandemia, infelizmente não foi possível atingir a etapa de impressão final dos modelos.

Os modelos da bacia de São Paulo, quando gerados, proporcionarão novos alcances na visualização, e serão capazes de gerar também novos métodos educacionais que explorem a impressão 3D. O modelo físico da bacia considerada deverá ser replicado em resina ou outro material de baixo custo, facilitando a utilização por docentes e discentes em sala de aula. Cada modelo poderá ser acompanhado por um roteiro, sintetizando a estrutura, o preenchimento e a evolução da bacia.

## Referencias Bibliográficas

- 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-. URL: <http://www.ige.unicamp.br/geoscied2018/en/papers/>. [Proc. VIII GeoSci-Ed 2018, 8<sup>th</sup> Quadr. Conf. Intern. Geosc. Educ. Org. (IGEO): Geoscience for everyone. Campinas, SBGeo, 2018]. (ISBN 978-85-479-0067-0).
- BLENKINSOP T. 1999. Pedagogy of stereographic projection. J. African Earth Sciences, 28(4):897902. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089536299000664>.
- CARNEIRO C.D.R., CARVALHO A.M.A.de. 2008. CAD resources for resolving Structural Geology problems. In: INTERN. GEOL. CONGR., 33, Oslo, 2008. Abstract CD-ROM... Oslo: IUGS. (Symp. IEI-01 General contributions to geoscience information). URL: <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1344380.html>.
- 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.
- HASUI, Y. & CARNEIRO, C.D.R. - 1980 - Origem e evolução da bacia sedimentar de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLOGICOS E GEOTÉCNICOS d a BACIA SED IMENTAR de SÃO PAULO, São Paulo, 1980, p. 5-14. (Publicação Especial SBG)
- JACOBSON C.E. 2001. Using AutoCAD for descriptive geometry exercises in undergraduate structural geology. Computers & Geosciences, 27(1):9-15.
- WELLS N. 2002. Study of earthquakes, while also learning about data and visualization. J. Geosc. Educ., 50(3):271-286. DOI: <https://doi.org/10.5408/1089-9995-50.3.271>.