



Percursos Pedagógicos Geológicos para divulgação e proteção do patrimônio geológico do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo

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

Autores(as):

LARISSA CARDOSO VIEIRA, Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. CELSO DAL RÉ CARNEIRO (orientador), Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Este projeto de pesquisa avaliou criticamente os resultados de uma iniciativa de divulgação científica denominada “Divulgação, Valorização e Preservação do Sistema Aquífero Guarani (Pro-SAG) no Estado de São Paulo”, que vem sendo conduzida há mais de dez anos por um grupo de pesquisadores vinculados a diversas instituições, juntamente com alunos de graduação e pós-graduação. As águas são captadas em poços rasos a profundos para abastecer muitas cidades das regiões Centro-Sul, Sudeste e Sul do Brasil, assim como de regiões da Argentina, Paraguai e Uruguai. Há risco crescente de que atividades agrícolas, industriais, urbanas e de disposição de resíduos possam comprometer a qualidade das águas. Um resultado potencial do projeto é a proposição de novos Percursos Pedagógicos Geológicos, que incluem painéis educativos em áreas de acesso gratuito à margem de rodovias, dando destaque à importância, aos atrativos, à história geológica e à necessidade urgente de preservação. A equipe se dispõe a elaborar outros recursos didáticos, a serem divulgados de forma adequada.

INTRODUÇÃO

Conhecem-se atualmente diversas ameaças de contaminação das reservas de água subterrânea do gigantesco reservatório natural subterrâneo transfronteiriço designado Sistema Aquífero Guarani (SAG). As ameaças estão ligadas a atividades agrícolas, industriais, urbanas e de disposição de resíduos. Com a finalidade de proteger e preservar esse patrimônio geológico, vem sendo conduzida há mais de dez anos uma iniciativa de divulgação, valorização e preservação do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo, conhecida pela sigla Pro-SAG. O grupo é formado por pesquisadores vinculados a diversas instituições, com a participação de estudantes de graduação e pós-graduação da Universidade Estadual de Campinas. Os participantes da iniciativa Pro-SAG pretendem que o projeto cresça, nacional e internacionalmente, sempre sob um enfoque transdisciplinar. A participação é aberta a quaisquer interessados, pessoas físicas ou instituições. As ações dessa iniciativa concentram-se nas regiões de Botucatu e Ribeirão Preto, Estado de São Paulo.

É bem conhecido o papel central da divulgação científica “para aproximar a sociedade do conhecimento das Geociências e assim auxiliar a população a compreender melhor o entorno de onde vive” (Vilela & Carneiro, 2016). A avaliação crítica possibilitará reunir subsídios e traçar novas diretrizes para ampliar a divulgação científica na área de afloramento das camadas rochosas que hospedam as águas subterrâneas. Uma alternativa é a produção de painéis educativos em áreas de acesso gratuito à margem de rodovias, para dar destaque à importância, aos atrativos, à história geológica e à necessidade urgente de preservação do SAG. Os painéis, os roteiros e outros materiais de divulgação compõem o que se denominou “Percursos Pedagógicos Geológicos”.

OBJETIVOS

Este projeto avaliou criticamente os resultados e produtos, publicados e inéditos, de um projeto de divulgação, valorização e preservação do SAG no Estado de São Paulo, que vem sendo conduzido há mais de dez anos. A pesquisa reuniu subsídios e novas diretrizes para expandir a estratégia de divulgação científica dos Percursos Pedagógicos Geológicos (PPG), que reúnem painéis educativos em áreas de acesso gratuito à margem de rodovias (Carneiro, 2016). Os PPG deverão descrever alguns geossítios; destacar sua importância; chamar a atenção para os atrativos da região; ilustrar sua história geológica e, sobretudo, acentuar a necessidade urgente de preservação do SAG. Um segundo objetivo do projeto envolveria a organização de dados de centenas de relatórios de poços artesianos cadastrados nos municípios situados nos limites do SAG. Apesar de ser bastante relevante, nesta etapa não foi possível avançar nessa linha de investigação.

MÉTODOS

O método de trabalho iniciou-se pelo estudo bibliográfico da geologia e formações litoestratigráficas regionais e estudo bibliográfico sobre exploração e exploração de água subterrânea. A seguir, a aluna passou para uma etapa prática, envolvendo coleta de todo o acervo acumulado em sucessivos projetos de pesquisa de divulgação, valorização e preservação do SAG no Estado de São Paulo e estados vizinhos. Não foi possível desta vez organizar a base de dados e implantá-la em ambiente de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG), como inicialmente planejado.

O principal volume de atividades consistiu na avaliação crítica dos resultados obtidos, devendo subsidiar a elaboração de novos painéis didáticos e, posteriormente, caso sejam obtidas as necessárias licenças das autoridades, sua colocação em áreas de acesso gratuito à margem de rodovias. Há exemplos disponíveis, como as ações da Mineropar (PR), do Instituto Geológico/SMA (SP), e do projeto *Caminhos Geológicos* do DRM/RJ (site <http://www.drm.rj.gov.br/caminhosgeológicos>). Os trabalhos foram complementados por obtenção de imagens das unidades geológicas, bem como das ameaças existentes do ponto de vista ambiental.

As etapas da pesquisa foram:

- Levantamento bibliográfico sobre a geologia, as formações litoestratigráficas regionais e sobre tecnologias de prospecção e exploração de água subterrânea.
- Avaliação crítica dos resultados obtidos nos projetos de divulgação, valorização e preservação do SAG no Estado de São Paulo.
- Esboço de painéis educativos sobre o Aquífero e seleção de locais para colocação em áreas de acesso gratuito junto a rodovias.
- Elaboração de artigos de divulgação.

RESULTADOS OBTIDOS

A pesquisa objetivou avaliar criticamente os resultados práticos da iniciativa Pro-SAG no Estado de São Paulo, desenvolvida por um grupo de geólogos e pesquisadores dentro de um Programa de divulgação, valorização e preservação do Sistema Aquífero Guarani.

Textos e materiais didáticos

O estudo avaliou criticamente os roteiros de campo, palestras, materiais didáticos, painéis de divulgação, websites, artigos, teses, dissertações, livros e outros trabalhos produzidos por pesquisadores que participam do Pro-SAG, vinculados a diversas instituições.

A compilação de fontes bibliográficas e materiais inéditos reuniu 21 contribuições. Cada uma delas destina-se a um público-alvo específico. Da lista, duas cadernetas de campo chamam a atenção (Carneiro, 2006, 2008), pelo formato pequeno e fácil de levar ao campo. As cadernetas descrevem as

características especiais de um número pequeno, porém representativo, de locais que podem ser visitados por participantes de expedições científicas e/ou viagens de turismo ecológico. A escolha dos pontos levou em conta aspectos como a beleza cênica, a localização próxima a estradas e rodovias e a facilidade de acesso. O elemento mais relevante, contudo, é a qualidade das observações geológicas diretas que podem ser feitas nos locais selecionados. Recomenda-se que novas cadernetas de campo sejam elaboradas e produzidas, para destacar outros locais que merecem ser divulgados à população em geral.

É plenamente justificável atualizar e republicar a síntese de conhecimentos que consta do livro de 2018 (Gonçales et al. 2018). A primeira edição rapidamente se esgotou. Recomenda-se fazer uma segunda edição, enriquecida com trabalhos disponíveis nos últimos cinco anos, além de novos mapas e ilustrações.

Na linha de produção de materiais didáticos, mencionam-se as primeiras versões da linha denominada “Geoideias”, que corresponde à tradução das atividades *Earthlearningidea* em Português (Carneiro, Hoffman, & Teramatsu, 2011, Carneiro et al. 2012).

Dois relatórios finais de pesquisa de IC foram apresentados por Vilela & Carneiro (2015, 2016), em conjunto com os respectivos resumos publicados no 23º e 24º Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp. Os trabalhos resultaram na produção de sete painéis, que poderão servir de modelo para futuros trabalhos. Recobrem os seguintes temas a respeito do Sistema Aquífero Guarani:

- Aquífero Guarani: um patrimônio geológico mundial. O painel discorre sobre o que é um aquífero, características e imensidão do SAG.
- Aquífero Guarani: como surgiu? O painel relata a formação do aquífero e sua história geológica.
- Aquífero Guarani: usos da água. O painel relata o uso atual das águas no Estado de São Paulo.
- Aquífero Guarani: áreas de recarga. O painel discorre sobre o que são as áreas de recarga.
- Aquífero Guarani: quando, como e por que utilizar? O painel relata como fazer uso mais adequado das águas do aquífero.
- Aquífero Guarani: ameaças. O painel descreve riscos potenciais para as águas, especialmente nas zonas de recarga (áreas de afloramento).
- A Fauna e a flora das formações geológicas que compõem o aquífero. O painel descreve por intermédio de fósseis como era a vida na época de formação do aquífero.

O que é Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani é possivelmente o quarto maior reservatório natural subterrâneo de água doce do mundo, e o segundo maior transfronteiriço. A expressão substituiu o termo “Aquífero Botucatu”, para homenagear os povos indígenas que habitaram a região. Em vastas áreas, é a única fonte de água adequada a consumo humano ou, pelo menos, aquela mais facilmente acessível, por meio de poços de profundidade variada, para abastecimento de centenas de cidades de quatro países. A qualidade das águas corre risco de ser irremediavelmente comprometida pela falta de planejamento e falta de controle das crescentes atividades agrícolas, industriais, urbanas e de disposição de resíduos (Gonçales et al., 2016, 2018, Barbosa et al., 2019). O fato de ser confinado aumenta a fragilidade do aquífero à poluição, sobretudo em zonas aflorantes. O Brasil ocupa 71% da área total do aquífero; cerca de 6% da área de ocorrência acham-se em território paraguaio (Formação Misiones), 19% na Argentina e 4% no Uruguai (Formação Tacuarembó). Além do lado utilitário, o Sistema Aquífero Guarani integra o patrimônio geológico mundial.

O acelerado crescimento urbano e a intensa atividade agrícola e industrial exercem acentuada pressão sobre o uso de recursos naturais da área. Muitas cidades e propriedades rurais acham-se dispersos pela vasta região de interesse ao SAG, ocasionando uma situação complexa de risco difuso às águas. Como

risco adicional, existe a possibilidade de que, no futuro, a extração de gás de xisto (Rocha et al., 2013) introduza risco adicional, devido à injeção de gases e fraturamento das rochas, cujo potencial de provocar desastres ambientais não é pequeno. Assim, no caso da Bacia do Paraná, o risco é iminente e real, caso sejam implementados os projetos que a Agência Nacional do Petróleo (ANP) tem anunciado, após divulgar a decisão de incluir o chamado gás de xisto nas licitações de campos de gás natural em bacias sedimentares brasileiras.

As águas subterrâneas são, portanto, um fator de extrema atenção para a sociedade e os governos. Para sua extração são construídos poços, que são obras complexas executadas abaixo da superfície. Existe uma legislação até certo ponto rigorosa para aprovação de novos projetos de abertura de perfurações, porém os mecanismos de proteção dos aquíferos são menos exigentes, ou, pelo menos, pouco conhecidos e apoiados pela sociedade. Em área tão vasta como a ocupada pelo Aquífero Guarani, quaisquer projetos de aproveitamento de recursos energéticos em profundidade ou de utilização de pesticidas (“defensivos agrícolas”) em superfície por meio de produção agrícola-pastoril, atividades industriais e/ou de disposição de resíduos devem levar em conta a geologia da área, visando minimizar problemas e propiciar um bom planejamento urbano e ambiental (Carneiro & Souza-Fernandes, 2020).

Munidos de tais preocupações, um grupo de geólogos e pesquisadores concebeu projeto de divulgação, valorização e preservação do Sistema Aquífero Guarani que começa no Estado de São Paulo, mas que se pretende expandir a outras regiões. Painéis educativos sobre o Aquífero, em áreas de acesso gratuito à margem de rodovias, – os chamados Percursos Pedagógicos Geológicos – destacarão a importância, a história geológica os atrativos e a necessidade de preservá-lo.

História geológica e aspectos hidrogeológicos

As rochas sedimentares de idade paleozoica e mesozoica da Bacia Sedimentar do Paraná que compõem o Sistema Aquífero Guarani pertencem à porção inferior do Grupo São Bento, que se divide nas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A Formação Botucatu originou-se em ambiente desértico, que se supõe ter sido o deserto com mais extensa cobertura arenosa da história da Terra. A unidade contém belos icnofósseis de vertebrados e invertebrados, além de raros fósseis vegetais. Feições de grande impacto visual são comuns, algumas verdadeiramente espetaculares, como morros testemunhos, extensas cuevas e paredões com estratificações cruzadas nítidas.

As águas do Sistema Aquífero Guarani impregnam rochas que podem situar-se até 1.800 m abaixo da superfície atual, e que integram formações da coluna sedimentar: na base, a Formação Pirambóia, possivelmente triássica, composta de arenitos eólicos, siltsos em algumas zonas e subordinadamente fluviais; ocorre em subsuperfície em grande parte da bacia, com espessura desde alguns metros na faixa aflorante até mais de 400 m sob os estados de SP e MS; no topo, a Formação Botucatu, unidade tardi-jurássica a eocretácea, aflora com espessura de 50 a 150 m a leste da bacia e atinge 200 m ou mais em subsuperfície. Nos estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a Formação Botucatu aflora, constitui substrato, interdigita-se ou intercala-se com a Formação Serra Geral, composta por derrames de basaltos, que são cronocorrelatos a soleiras de diabásio e, minoritariamente, diques. A Formação Botucatu é composta essencialmente por arenitos eólicos, vermelhos até tons de bege, com graus variados de diagênese, tanto devido ao sepultamento, quanto ao calor e à silicificação provocada (ou induzida) por derrames e intrusões hipoabissais. Os arenitos possuem porosidade de até 30% e excelente permeabilidade, exceto em zonas silicificadas, onde ocorrem rochas compactas.

CONCLUSÕES

Medidas de proteção efetiva e eficaz do Sistema Aquífero Guarani demandam esforços permanentes da comunidade técnico-científica nacional e internacional de Geociências. O presente trabalho objetivou montar um acervo dos frutos da iniciativa Pro-SAG, que desenvolve ações de difusão sistemática das Geociências no Estado de São Paulo para mostrar à sociedade contemporânea a necessidade de

adoção de medidas efetivas de proteção. Ao mesmo tempo buscou-se aprimorar propostas capazes de contribuir para valorizar e preservar o recurso água.

Deve ser incentivada a produção de novas cadernetas de campo e painéis educativos para ampliar o alcance e a penetração dos Percursos Pedagógicos Geológicos (PPG). A vertente PPG da iniciativa Pro-SAG tem grande potencial para estreitar o acesso da população local ao conhecimento das Geociências. Uma vez que só protegemos aquilo que efetivamente conhecemos, o Pro-SAG é um excelente caminho para que a população compreenda melhor a história da região onde vive e de cujos recursos desfruta.

Referências

- Barbosa, I. N. B. C., Carvalho, A., Carneiro, C. D. R., Lessi, L. (2019). Educational dissemination of geoscientific knowledge for geoconservation of the Brazilian groundwater: the Guarani Aquifer System case. In: 46th IAH Congress held from 22-27 September, 2019 in Málaga, Spain. *Proc...* Málaga, Spain: Intern. Assoc. Hydrogeologists. p. 221. URL: <http://www.iah2019.org/>.
- Carneiro, C. D. R. (2007). Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. *Terræ Didática*, 3(1):50-73. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v3i1.8637476>.
- Carneiro, C. D. R. (2016). *Palestra Protegendo água de pedra: programa educativo de divulgação, valorização e geoconservação do Aquífero Guarani*. In: Fórum “Geoparque: modelo de sustentabilidade territorial”, Fac. Ciências Aplicadas, Unicamp, 07.04.2016.
- Carneiro, C. D. R., & Souza-Fernandes, L. C. de. (2020). An initiative for protection of the transnational Guarani Aquifer System based on Geoethics. In: Abrunhosa, M., Chambel, A., Peppoloni, S., Chaminé, H. I. (2020). *Advances in Geoethics and Groundwater Management: Theory and Practice for a Sustainable Development*. Geoethics & Groundwater Management Congress 2020, Porto, Portugal, IAH. *Book of Abstracts...*, Porto, Portugal 2020. p. 25. URL: <https://geoeth-gwm2019.wixsite.com/porto/book-of-abstracts>.
- Carneiro, C. D. R., Balsalobre, B., Gonçalves, V.G., Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Anelli, L.E. (2016). Programa Aquífero Guarani: Hidrogeologia nas praças públicas e escolas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2016, Porto Alegre, RS. *Anais...*São Paulo, SP: Soc. Bras. Geol. p. 1929. (ST24 “Educação e Ensino de Geociências”). URL: <http://cbg2017anais.siteoficial.ws/>. Acesso 07.03.2018.
- Gonçalves, V. G., Carneiro, C. D. R., Balsalobre, B., Pereira, S. Y., Fernandes, L. C. S., Gastmans, D., Bartorelli, A., Vilela, R.C.C.L., Mantesso Neto, V., Anelli, L.E., Piranha, J.M. (2018). *Programa Aquífero Guarani: unindo água subterrânea e história da Terra à consciência ambiental*. Campinas: Programa de Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra (PEHCT) do Instituto de Geociências, Unicamp. Curitiba: Ed. CRV. 108p. (Livro, Série Ensino e História de Ciências da Terra, 2). (ISBN 978-85-444-2556-5).
- Gonçalves, V.G., Carneiro, C. D. R., Balsalobre B., Pereira, S.Y., Fernandes, L.C.S., Vilela, R.C.C.L., Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Simonato, M.D., Anelli, L.E. 2016. *Programa Aquífero Guarani: difusão de hidrogeologia nas praças públicas e escolas*. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19, Campinas, 2016. *Anais...* Campinas, ABAS. URL: <http://docplayer.com.br/29736375-Xix-congresso-brasileiro-de-aguas-subterraneas-programa-aquifero-guarani-difusao-de-hidrogeologia-nas-pracas-publicas-e-escolas.html>. Acesso 04.01.2018.
- Carneiro, C. D. R., Hoffman, N.C.M., Teramatsu, G.H.B. 2011. *Geoideias: as atividades Earthlearningidea em Português*. In: Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra, 5, Simpósio de Geologia do Sudeste, 12, Nova Friburgo, 8-12.11.2011. *Anais...* Nova Friburgo, SBGeo. p. 39-44. (CD-ROM).
- Carneiro, C. D. R., King, C., Hoffman, N. C. M., Teramatsu, G. H. B., Kennett, P., & Devon, E. (2012). *Geo-Ideias: the Earthlearningidea activities in Portuguese*. In: intern. Geol. Congr., 34, Brisbane, (2012). *Abstract CD-ROM...* Brisbane: IUGS. p. 1170. (Symposium 1.2 Geoscience education).
- Rocha, G. A., Hirata, R. C. A., & Scheibe, L. F. (2013). Licitação do “GÁS DE XISTO”: Carta aberta à Excelentíssima Senhora Presidenta Dilma Rousseff. *Terræ Didática*, 9(1), 50-62. URL: <https://doi.org/10.20396/td.v9i1.8637411>.
- Vilela, R. C. C. L., & Carneiro, C. D. R. (2016). *Divulgação científica e proteção de um patrimônio geológico mundial, o Aquífero Guarani: Aplicação inicial no Estado de São Paulo*. In: CONGR. INTERNO INIC. CIENT., 24, Campinas, 2016. *Resumos...* Campinas: Unicamp. URL: <https://proceedings.galoa.com.br/unicamp-pibic/pibic-2016/trabalhos/divulgacao-cientifica-e-protecao-de-um-patrimonio-geologico-mundial-o-aquifero-guarani-aplicacao>. [Resumo E51652]
- Vilela, R.C.C.L., Carneiro, C. D. R. (2016). Divulgação científica e proteção de um patrimônio geológico mundial, o Aquífero Guarani: Aplicação inicial no Estado de São Paulo. In: CONGR. INTERNO INIC. CIENT., 24, Campinas, 2016. *Resumos...* Campinas: Unicamp. URL: <https://proceedings.galoa.com.br/unicamp-pibic/pibic-2016/trabalhos/divulgacao-cientifica-e-protecao-de-um-patrimonio-geologico-mundial-o-aquifero-guarani-aplicacao>. [Resumo E51652]