



HIDROQUÍMICA DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS EM ANALÂNDIA-SP: ÁREA DE AFLORAMENTO DO AQUÍFERO GUARANI.

Palavras-Chave: gestão de água subterrânea, abastecimento público, interação água-rocha.

Autores:

Polliana Cristo de Oliveira Roberto – Instituto de Geociências, UNICAMP.

Prof.^a Dr.^a Ana Elisa Silva de Abreu (orientadora) – Instituto de Geociências, UNICAMP.

Me. Rafael Bassetto Ferreira (coorientador) – Instituto de Geociências, UNICAMP.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos hídricos e a necessidade de garantir o abastecimento de água potável têm impulsionado a pesquisa e o estudo das águas subterrâneas. As reservas subterrâneas assumem um papel de extrema importância para suprir o consumo da população, assim como a dessedentação animal, a irrigação agrícolas, as atividades industriais e recreativas, e fins comerciais.

Nesse contexto de preocupação e valorização dos recursos hídricos subterrâneos, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) se destaca como um estratégico reservatório de água doce subterrânea CETESB [s.d]. Em São Paulo, o SAG desempenha um papel crucial no fornecimento de água para mais de 100 municípios, tomando-se indispensável para a distribuição de água a população (Albuquerque et al, 2010.)

Diante da relevância de compreender o comportamento do SAG e monitorar suas áreas mais vulneráveis (OEA, 2009), este estudo concentra-se na área de afloramento do aquífero, na porção centro-leste do estado de São Paulo, em Analândia (SP). Nesta região, afloram os arenitos da Formação Botucatu e Piramboia, os basaltos e diabásios da Formação Serra Geral, além dos conglomerados e arenitos da Formação Itaqueri.

METODOLOGIA

ÁGUA SUBTERRÂNEA

Entre os dias 8 e 12 de agosto de 2022 foram coletas cinco amostras de água subterrânea dos poços tubulares profundos pertencentes ao sistema de abastecimento público de água de Analândia-SP (Poço 01, 02, 03, 06 e 07), incluindo uma coleta em um poço tubular profundo particular, denominado Poço LS.

A amostragem seguiu o protocolo da CETESB e ANA (2011), começando com a desestagnação da água da tubulação do poço por meio da bomba e descartada por 5 minutos. Em seguida, as amostras foram coletadas diretamente da torneira da boca do poço, após a higienização. Uma alíquota foi separada para a determinação dos parâmetros físico-químicos

in situ, como temperatura da água (T), pH, condutividade elétrica (C.E), potencial de oxirredução (ORP), turbidez e totais de sólidos dissolvidos (TDS), medidos com uma sonda multiparâmetros. Outras alíquotas foram coletadas para análise de metais (Ca, Mg, Na, K), ânions (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) e alcalinidade (HCO₃⁻ e CO₃²⁻).

Durante a amostragem, todos os frascos foram previamente ambientados, e as amostras destinadas à análise de ânions e cátions foram filtradas usando membranas filtrantes (0,22 µm) e seringas. Ao final de cada dia de coleta, a alcalinidade foi determinada por titulação com ácido clorídrico 0,01M. As amostras destinadas à análise de cátions foram acidificadas (1% v/v) com ácido nítrico concentrado. Todas as amostras foram armazenadas em geladeira.

Com os resultados obtidos, confeccionou-se o diagrama de Piper, através do software *Diagrammes*, para a classificação do tipo de água subterrânea presente nestes poços.

SOLO E ROCHA

As 10 amostras de solo e 14 amostras de rocha utilizadas pertencem a pesquisa de doutorado do co-orientador Rafael Bassetto Ferreira (em andamento). As amostras de solo foram homogeneizadas, quarteadas e secas em estufa à 50 °C, por 24h. As amostras de rochas fragmentadas foram britadas e quarteadas. Todas as amostras foram moídas (< 75 mesh).

A mineralogia foi determinada por Difração de Raios-X (DRX), pelo método pó total, com o difratômetro Bruker 2D Phaser com ângulo (2θ) de varredura variando no intervalo de 4° a 75°, e amostrador em rotação, as medidas foram realizadas a cada 1 segundo com variação de 0,2°. Os difratogramas resultantes foram interpretados para a determinação das composições mineralógica das amostras, com o auxílio do banco de dados internacional (International Center for Diffraction Data – ICDD), disponível no software X' Pert HighScore Plus.

PERFIL GEOLÓGICO

A partir dos dados disponíveis no sistema SIAGAS¹ e relatórios cedidos pelos proprietários dos poços particulares (Poço MV e Poço F), foi confeccionado um perfil geológico (Figura 2) da área urbana do município de Analândia (SP), abrangendo os poços privados e os poços 01, 06 e 07. Para a confecção foi utilizado o programa *Inkscape*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores de alcalinidade total obtidos durante a titulação acidimétrica, podemos observar que as águas dos poços tubulares profundos analisados apresentaram alta alcalinidade total (maior valor obtido foi de 77,7 mg de CaCO₃/L no Poço 1). Esses resultados são coerentes com o pH das águas avaliadas, que em sua maioria é superior a 8. Por outro lado, o poço mais raso (60 m de profundidade), Poço LS, cujo pH é levemente ácido (5,8), apresentou baixo teor de alcalinidade, com 2,3 mg de CaCO₃/L. Essa dinâmica é coerente com o esperado, visto que o poços 1, 2, F, 6 e 7 extraem água de aquífero mais profundo, localizado

¹

https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/?_gl=1*17at90r*_ga*Mjg3NjMxNjE2LjE2NTg4Nzg4NzQ.*_ga_HYCRRWGXHJ*MTY5MDC0ODI4MC4zLjAuMTY5MDC0ODI4MC4wLjAuMA.

acima da soleira de diabásio, enquanto o Poço MV extrai água de um aquífero mais raso, localizado sobre a soleira de diabásio.

A hidroquímica dos poços estudados está apresentada no diagrama de Piper (Figura 1). Podemos notar que as águas de 5 dos 6 poços em estudo são classificadas como bicabornatadas sódicas e uma (Poço LS) como cloro-nitrada sódica, conforme característica geral do Aquífero Guarani. Os resultados estão em concordância com os modelos hidroquímicos desenvolvidos por Gesicki (2007) e Invernizzi (2001), que estabelecem que as águas subterrâneas que tiveram intenso contato com os sedimentos da Formação Pirambóia apresentam maiores concentração de Na^+ , SO_4^{2-} e CO_3^{2-} , assim como condutividades elevadas (de 173,9 a 318,0 uS/cm) e pH alcalino (entre 8,2 e 9,4).

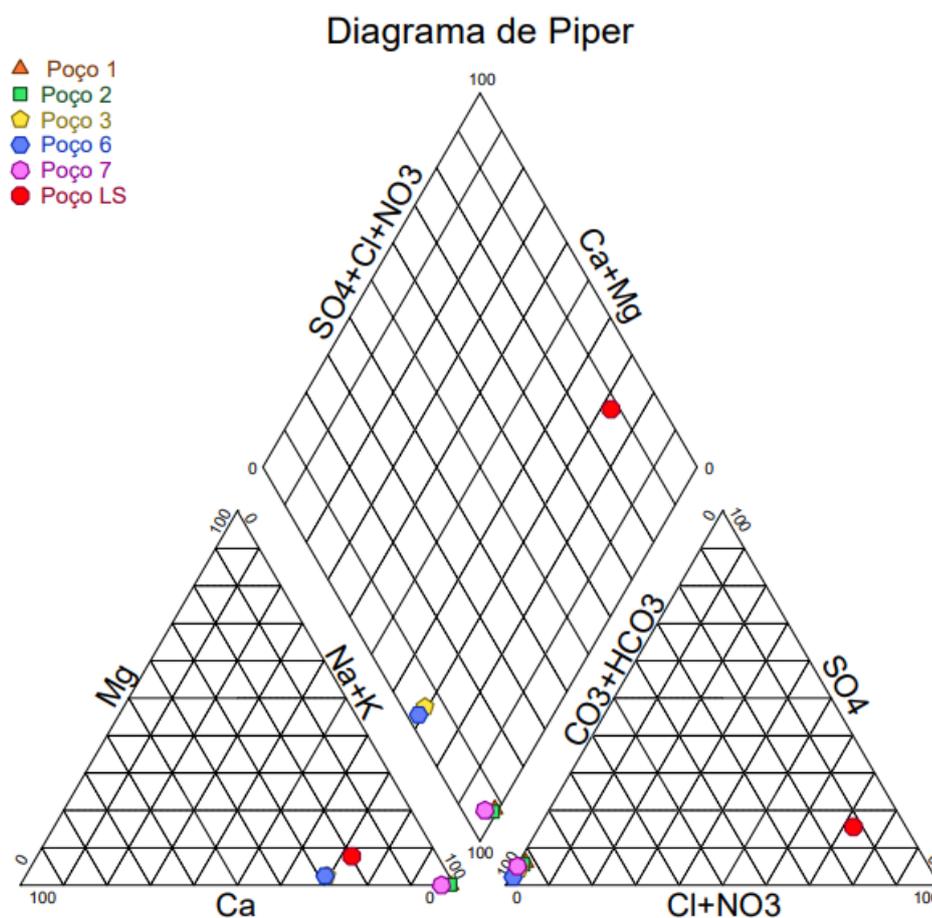


Figura 1. Diagrama de Piper

As concentrações de Ca, K e Mg são baixas, em geral <10mg/L. Por outro lado, nota-se uma alta concentração de Na nos poços 1 e poços 2 com cerca de 78 mg/ L, destacando-se das médias dos demais poços, que apresentam concentrações >10 mg/L.

As análises mineralógicas por difração de raios-X (DRX) indicam que as amostras de arenitos da Formação Botucatu são caracterizadas, principalmente, por quartzo e feldspato potássico (microclínio). Contudo, na parte silicificada, também foram encontrados plagioclásio sódico (Albita) e mica (Moscovita). Nas amostras de solo da Formação Itaqueri foram identificados quartzo, hidróxido de alumínio (gibbsita), argilominerais 1:1 (caulinita – nacrita - haloisita) e 2:1 (montmorillonita).

Nas amostras de diabásio da Formação Serra Geral, foram identificados plagioclásios (labradorita – anortita), piroxênios (augita – pigeonita), saponita, argilominerais 1:1 (caulinita) e 2:1 (montmorillonita). Por outro lado, algumas amostras de basalto apresentaram minerais de piroxênio (augita), plagioclásio (anortita), feldspato alcalino (anortoclásio) e magnetita. Desta forma, como resultado da interação água-rocha ao longo do aquífero, ocorrem processos de dissolução que promovem o enriquecimento salino das águas subterrâneas. A água (ácida e carregada de CO₂) ao percolar por essas rochas, causam a dissolução incongruente dos silicatos, como os plagioclásios e piroxênios, que por sua vez fornecem íons de cálcio, magnésio, sódio e potássio para a água. (Gesicki, 2007)

No geral, a mineralogia obtida está em conformidade com os dados da literatura, porém também foram encontrados argilominerais e hidróxidos, como a gibbsita, que podem ser justificados pela alteração das micas e feldspatos presentes, ou até mesmo um estágio mais avançado de intemperismo.

O perfil geológico da área urbana do município de Analândia (SP) é apresentado na Figura 2. Nele estão representados os poços 1, MV, F, 6 e 7, destes apenas os poços particulares MV e F não foram amostrados. Deste perfil não constam os poços 2, 3 e LS, pois seus dados cadastrais não estavam disponíveis. Sabe-se que o poço LS é semelhante ao poço MV do perfil, pois têm a mesma profundidade e estão distantes cerca de 60 metros. A partir da confecção da seção geológica, foi possível mapear as litologias por onde as rochas percolam, contribuindo para a investigação da relação entre a composição das águas e a natureza das rochas percoladas.

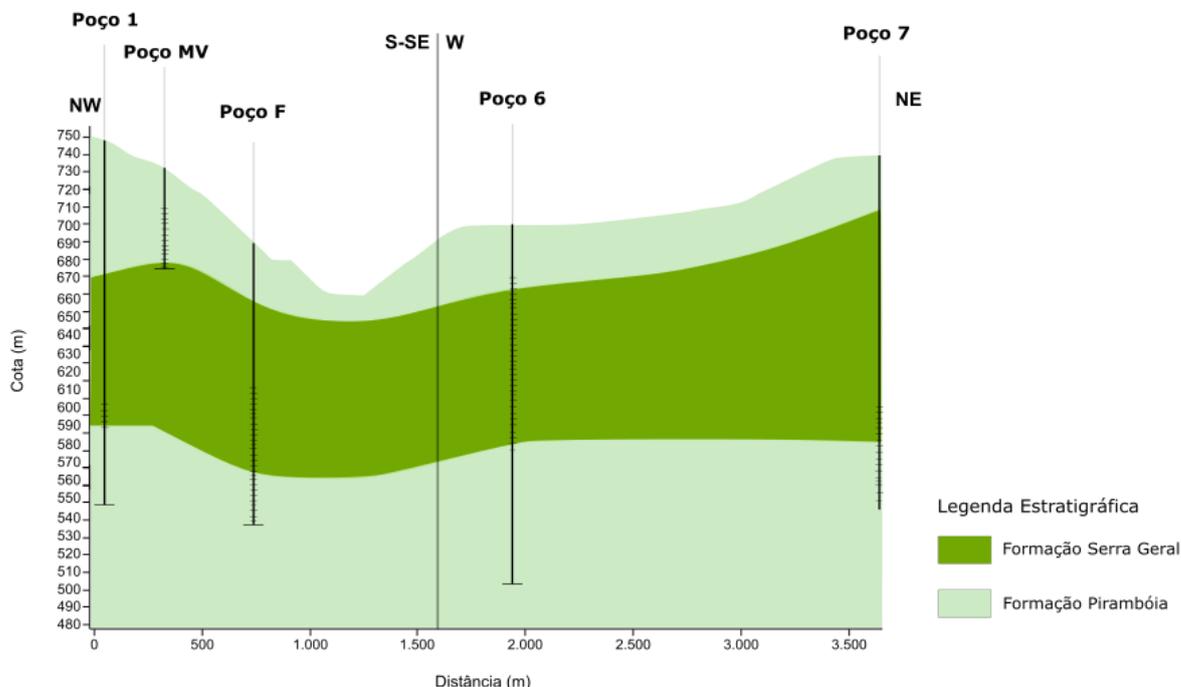


Figura 2. Perfil Geológico A-A'

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram caracterizar as águas do Aquífero Guarani em sua região de afloramento, determinando suas propriedades físico-químicas e composicionais, assim como a relação entre as águas e as rochas percoladas.

Os poços tubulares profundos da rede pública de abastecimento de Analândia e o poço F exploram o aquífero sob a soleira, enquanto o poço particular MV explora o aquífero acima da soleira. Dessa forma, as águas subterrâneas captadas acima da Formação Serra Geral, são classificadas como cloro-nitrada sódicas, enquanto as águas do aquífero profundo são bicarbonatadas sódicas, conforme característica geral do Aquífero Guarani.

A diferença na hidroquímica dos poços está diretamente ligada a interação água-rocha. As águas subterrâneas que tiveram intenso contato com os sedimentos da Formação Pirambóia apresentam maiores concentração de Na^+ , SO_4^{2-} e CO_3^{2-} , assim como condutividades elevadas (de 173,9 a 318,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pH alcalino (entre 8,2 e 9,4).

BIBLIOGRAFIA

Albuquerque Filho J.L., Carvalho A.M., Barbosa M.C., Ikematsu P., Freitas C.G.L., Monteiro A.C.M.C., Iritani M., Pressinotti M.M.N., Rocha G., Takahashi A.T., Militão da Silva M.P., Kovacs A., Camargo G.G. **Plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo: proposta preliminar**. São Luís, MA, 2010.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO; ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil). **Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011.

GESICKI, Ana Lucia Desenzi. **Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado de São Paulo**. 2007. São Paulo, 2007.

GOMES, M. A. F.; HAMADA, E.; FILIZOLA, H. F.; QUEIROZ, S. C. do N. de; FERRACINI, V. L.; PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A. **Ordenamento agroambiental das áreas de recarga do Aquífero Guarani: estudos de caso em território brasileiro**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2003.

INVERNIZZI, André Luis. **Caracterização hidrogeoquímica do aquífero Botucatu, no setor médio da bacia hidrográfica Mogi-Pardo**. 2001. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Organização dos Estados Americanos - OEA. 2009. **Aquífero Guarani: programa estratégico de ação = Acuífero Guarani: programa estratégico de acción**. Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai: Organização dos Estados Americanos (OEA), 2009.