

HIDROGEOQUÍMICA DE AQUÍFERO FRATURADO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL

Matheus Serri¹, Mirna Neves², Salomão Calegari³, Reginaldo Bertolo⁴, Ricardo Hirata⁵

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia/UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627. Belo Horizonte (MG).
matheusserri@hotmail.com

² Departamento de Geologia/CCENS/UFES. Alto Universitário, s/n°. Alegre (ES). mirna.neves@ufes.br

³ Programa de Pós-graduação em Geologia/UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627. Belo Horizonte (MG).
salomaocalegari@hotmail.com

⁴ CEPAS/USP. Rua do Lago, 562. São Paulo (SP). bertolo@usp.br

⁵ CEPAS/USP. Rua do Lago, 562. São Paulo (SP). rhirata@usp.br

Palavras-Chave: Aquífero fraturado, hidrogeologia de rochas cristalinas, hidrogeoquímica.

INTRODUÇÃO

Localizada no sul do estado do Espírito Santo, a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) tem 88% de seu substrato geológico composto por rochas cristalinas (como gnaisses, granitos, mármore, calciossilicáticas, charnoquitos e milonitos) (Vieira, 2014). Nesta região, a retirada da água para abastecimento público, residencial ou industrial, tradicionalmente ocorria em canais de água superficial ou por meio de poços tubulares rasos, que exploram água do manto de intemperismo (ou rocha alterada). Contudo, a escassez e os prolongados períodos de estiagem dos últimos anos vêm acelerando a perfuração de poços tubulares profundos, que penetram a rocha sã para explorar o sistema fraturado. O quase completo desconhecimento das características hidrogeológicas regionais torna grande as chances de erro, aumentando os riscos de perfuração de poços secos, de baixa produção ou com água de má qualidade.

O objetivo deste trabalho foi descrever as variações e os condicionantes da qualidade da água subterrânea captada em poços tubulares profundos que exploram o Sistema Aquífero Cristalino na área de abrangência da BHRI e de seu entorno (Figura 1). O trabalho foi realizado como parte integrante do projeto HIDROFRAT – Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados, desenvolvido na parceria firmada entre USP, UFES, UFRGS e UnB, sob financiamento da FINEP- Financiadora de Estudos e Projetos.

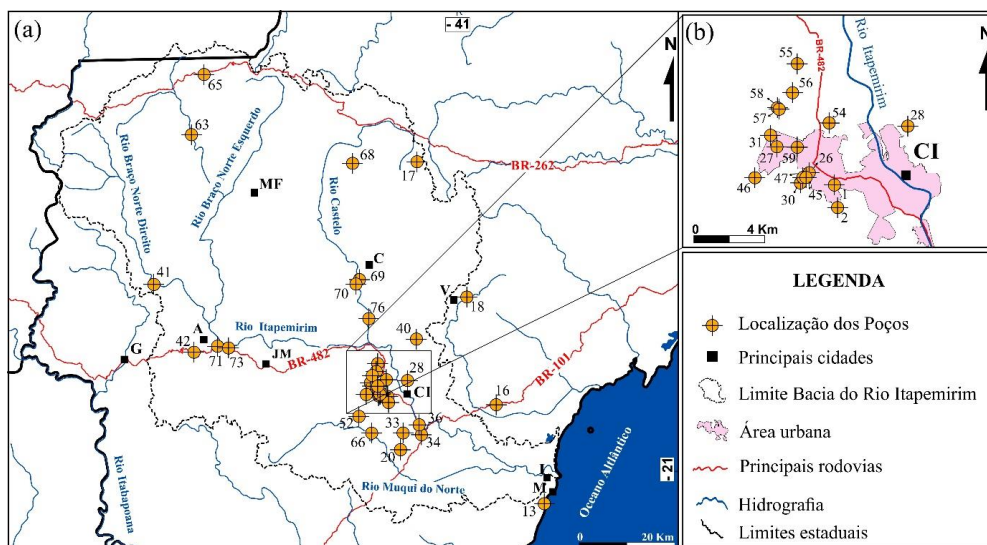


Figura 1. (a) Localização dos poços tubulares profundos que constituiriam os pontos de coleta de amostras representativas do SAC na BHRI e (b) detalhe no município de Cachoeiro de Itapemirim, onde há maior número de poços (Fonte da base cartográfica: Banco de Dados Vetoriais do GEOBASES, 2002).

METODOLOGIA

Amostras de água subterrânea foram coletadas de 37 poços tubulares profundos que explotam a rocha fraturada do SAC, em campanhas de campo realizadas nas estações de chuva e de estiagem dos anos 2014, 2015 e 2016, utilizando-se das próprias eletrobombas submersas instaladas em cada poço. O lote total de amostras envolveu 76 unidades. Em campo, foram medidos os parâmetros físicos e químicos da água subterrânea: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), por meio de um medidor multiparâmetro portátil, e turbidez, utilizando-se um turbidímetro. A análise de alcalinidade total foi realizada por titulação. As análises dos cátions maiores (sódio, potássio, cálcio e magnésio) e dos ânions maiores (sulfato, fosfato, cloreto, nitrato e fluoreto) foram realizadas por cromatografia iônica de alta resolução (método SMEWW 4110C).

O cálculo do desvio analítico foi realizado por meio de balanço iônico, sendo considerados apenas os resultados com erro menor do que 10%. O programa AquaChem 2011.1/Schlumberger foi utilizado para construção dos diagramas de Piper e Stiff e todos os layouts de mapas foram confeccionados por meio do software ArcGIS® 10.2.

RESULTADOS

Os parâmetros hidrogeoquímicos foram medidos nas estações de chuvas (verão) e de estiagem (inverno), mas não apresentaram variações significativas entre as etapas de coleta (Figura 2).

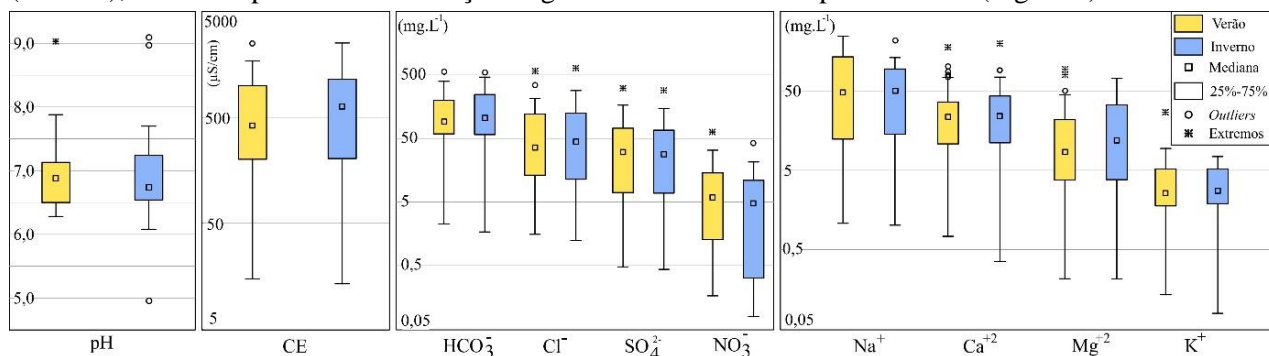


Figura 2 – Distribuição de valores dos parâmetros de qualidade da água no verão e no inverno.

A compatibilidade entre os parâmetros hidroquímicos foi verificada por meio da matriz de correlação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de correlação dos parâmetros hidrogeoquímicos analisados

	pH	CE	Turb.	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HPO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
pH	1,0												
CE	0,2	1,0											
Turb.	0,4	0,4	1,0										
HCO₃⁻	0,2	0,7	0,3	1,0									
SO₄⁻²	0,1	0,7	0,1	0,7	1,0								
HPO₄⁻²	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	1,0							
Cl⁻	0,1	0,9	0,3	0,3	0,3	-0,1	1,0						
NO₃⁻	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	-0,2	1,0					
F⁻	0,3	0,5	0,1	0,7	0,6	0,1	0,2	-0,2	1,0				
Na⁺	0,2	1,0	0,3	0,7	0,7	-0,1	0,8	-0,2	0,6	1,0			
K⁺	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,0	0,4	-0,2	0,3	0,5	1,0		
Ca⁺²	0,0	0,9	0,3	0,5	0,4	-0,2	0,9	-0,2	0,3	0,8	0,3	1,0	
Mg⁺²	0,1	0,8	0,3	0,9	0,7	-0,2	0,5	-0,3	0,6	0,7	0,1	0,7	1,0

Associam-se com forte correlação positiva o HCO₃⁻, Ca⁺², Mg⁺² e Na⁺, os quais provavelmente estão sendo providos pelas rochas ígneas e metamórficas que compõem o meio fraturado. Também mostram forte correlação positiva, os parâmetros: HCO₃⁻, SO₄⁻², F⁻, Na⁺ e Mg⁺², que podem ser provenientes de fontes

naturais, embora atividades de mineração ou lançamento de esgotos permitam maiores concentrações de SO_4^{2-} (Hem, 1985). A origem do Cl^- na água subterrânea em terrenos cristalinos só é possível pelo enriquecimento por evaporação ou por influência humana (Negrel, 1999). Contudo, o Cl^- apresenta baixa correlação com o NO_3^- , que é originalmente resultante de atividades antrópicas. Por outro lado, observa-se forte correlação do Cl^- com o Na^+ e o Ca^{+2} , denotando origem e enriquecimento natural.

O diagrama da Figura 3 mostra que o tipo hidroquímico mais comum dentre as amostras analisadas é o de água Bicarbonatada Mista (24% das amostras), seguida pelas águas Sódicas Mistas (22% das amostras), Bicarbonatadas Sódicas (16% das amostras) e Mistas Cloretadas (14%). Há tendências de agrupamento dos tipos hidroquímicos em função dos setores geomorfológicos da bacia (porções da Alta e Média/Baixa BHRI). No segmento da Alta BHRI, as proporções de cátions são mais homogêneas, sendo que poucos poços apresentam concentrações mais elevadas de Ca^{+2} e Na^+ . O ânion predominante é o HCO_3^- , o que faz as águas Bicarbonatadas Mistas serem as mais frequentes. Nas porções da Média/Baixa BHRI, a água tende a ser mais sódica e cloretada; portanto, nestes setores, além das Bicarbonatadas Mistas, ocorrem também águas Bicarbonatadas Sódicas, Sódicas Mistas e Cloretadas Mistas.

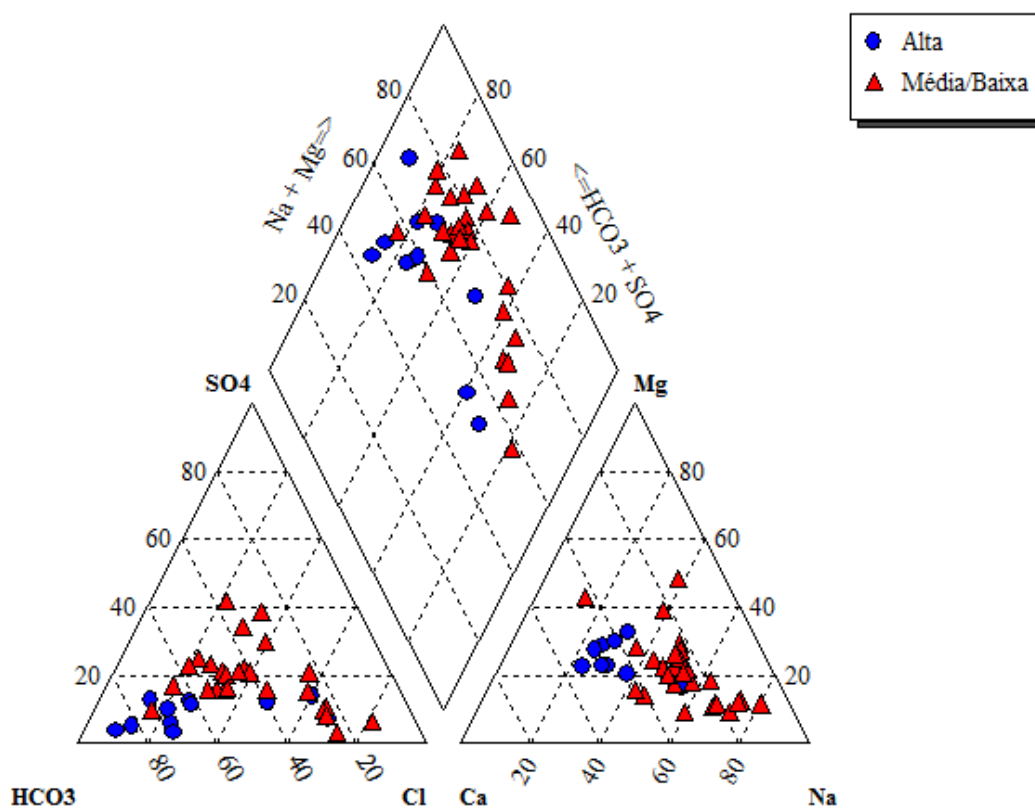


Figura 3 - Classificação hidrogeoquímica das águas subterrâneas nos terrenos cristalinos no sul do ES.

A tendência geral da água subterrânea na BHRI é o incremento em íons das regiões serranas, com cotas mais elevadas, para as porções topograficamente mais baixas, junto à calha do Rio Itapemirim e rumo ao litoral. Os diagramas de Stiff (Figura 4) evidenciam essa diferenciação hidroquímica. Na porção da Alta BHRI, as águas tendem a possuir menos íons em solução, enquanto na porção Média, há enriquecimento mineral. Junto à área urbana de Cachoeiro de Itapemirim, onde coincidentemente há a zona climática mais seca e quente de toda a bacia, os elementos possivelmente advindos das rochas, como Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , e também os concentrados possivelmente por efeito de evapotranspiração, como Cl^- , ocorrem mais concentrados que em relação às demais porções da BHRI. Com o distanciamento do centro urbano, diminuição das temperaturas e aumento da umidade relativa, a concentração de todos os elementos decresce, passando para um padrão hidrogeoquímico menos mineralizado.

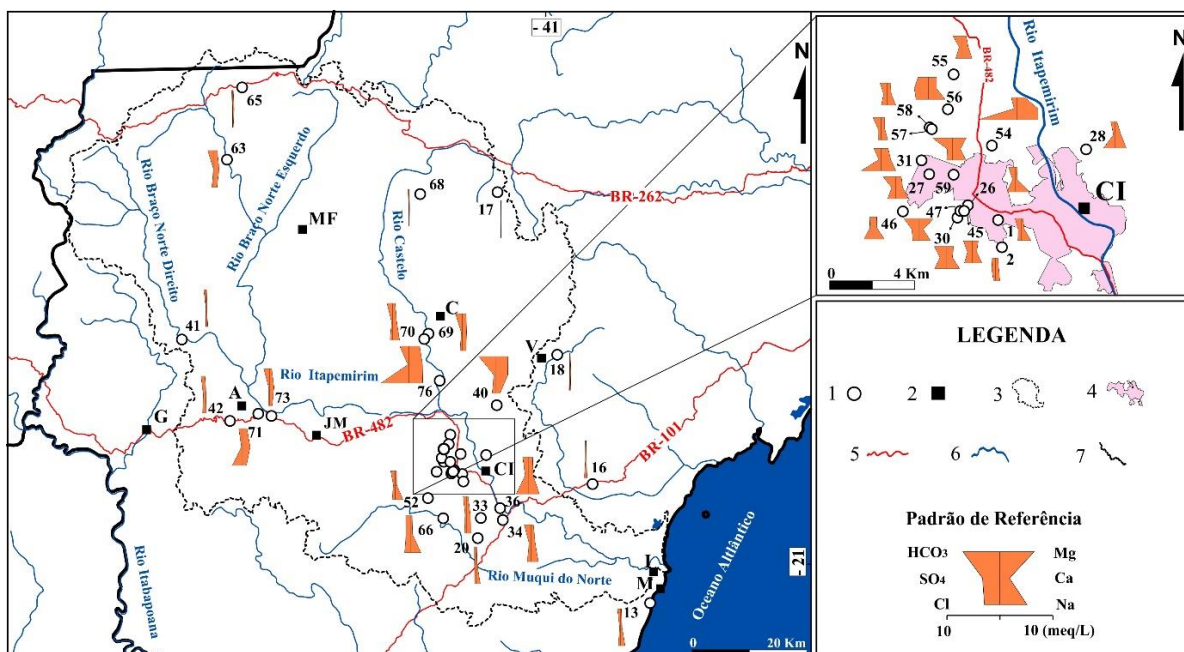


Figura 4 – Variação espacial das características hidrogeoquímicas da água subterrânea na BHRI (1 = localização dos poços; 2 = principais cidades; 3 = limite da BHRI; 4 = área urbana; 5 = principais rodovias; 6 = hidrografia; 7 = limites estaduais).

CONCLUSÕES

O tipo hidroquímico mais comum identificado nas águas subterrâneas da área estudada é o de águas Bicarbonatadas Mistas (24% das amostras), seguidas pelas águas Sódicas Mistas (22% das amostras), Bicarbonatadas Sódicas (16% das amostras) e Mistas Cloretadas (14%).

A tendência geral da água subterrânea é ser cada vez mais mineralizada das regiões topograficamente elevadas da BHRI para as porções mais baixas. A compartimentação geológica e geomorfológica regional é, em grande parte, responsável pela distribuição dos tipos hidroquímicos, que se agrupam de acordo com os diversos setores da bacia. Na Alta BHRI, o grau de mineralização da água subterrânea é menor e sua composição é governada pelo intemperismo das rochas. Na Média/Baixa BHRI, o clima quente e seco, o uso e ocupação do solo e a ocorrência de rochas de composição carbonática e calciossilicática são os fatores responsáveis pela ocorrência de água subterrânea de qualidade imprópria para vários tipos de uso, especialmente o consumo por humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GEOBASES. 2002. *Bases Cartográficas do Espírito Santo*. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br/portal/>>.
- HEM, J. D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. 3th edition. USGS – United States Geological Survey. 1985.
- NEGREL, P.; PAUWELS, H.; DEWANDEL, B.; GANDOLFI, J.M.; MASCRÉ, C.; AHMED, S. Understanding groundwater systems and their functioning through the study of stable water isotopes in a hard-rock aquifer (Maheshwaram watershed, India). *Journal of Hydrology*, 397, 55–70, 2011.
- Vieira, V.S.; Silva, M.A.; Corrêa, T.R.; Lopes, M.H.B. *Mapa Geológico do Espírito Santo em Escala 1:400.000*. 2014. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>.