

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE AQUÍFERO FRATURADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS – NW DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Juliana Magalhães Menezes<sup>1</sup>; Gerson Cardoso da Silva Jr.<sup>1</sup>; Luana Alves de Lima<sup>1</sup>.

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização hidrogeoquímica da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Essa região vem sofrendo com a escassez dos recursos hídricos superficiais e a água subterrânea se tornou uma alternativa tanto para o abastecimento doméstico como para a agricultura. Os aquíferos da BHRSD são de dois tipos: 1) aquífero raso, aluvionar, constituído predominantemente por materiais arenosos inconsolidados; e 2) aquífero fraturado profundo em geral de caráter semiconfinado, composto predominantemente por granulitos e migmatitos heterogêneos e brechas alternadas a materiais mais básicos, anfíbolitos e ígneas com caráter intermediário. Realizou-se amostragem de água em 65 pontos da bacia, incluindo nascentes, poços rasos, poços profundos e pontos superficiais. Os resultados indicam que as águas são, predominantemente, bicarbonatadas-mistas com tendência a bicarbonatadas-sódicas. As águas do aquífero raso apresentaram a maior variedade de tipos hidroquímicos, por conta da influência do tipo de solo e de processos que dependem da vegetação, clima e influência antrópica. Nas águas profundas, no entanto, há em maior quantidade os íons  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , o que deve refletir o maior tempo de contato da água subterrânea percolante com os materiais mais básicos e calciossilicatados.

## Abstract

The objective of this work is to show the characteristics of groundwater and surface water in the São Domingos River Basin (BHRSD), located in the northwest region of Rio de Janeiro State, Brazil. The area has experienced a shortage of surface water supply, and deep and shallow wells have become an alternative to domestic and agriculture use. Aquifers of BHRSD are of two types: 1) shallow alluvial aquifer, constituted predominantly by unconsolidated sandy materials; and 2) deep semiconfined fractured aquifer, composed predominantly by granulites and heterogeneous migmatites and also by breccias and basic materials, such as amphibolites and igneous rocks with intermediate character. Field water sampling was executed in 65 points of the basin, including samples of springs, deep and shallow wells. Results indicate that the water is basically bicarbonate-mixed with a tendency to bicarbonate-sodium. Shallow aquifer water presented the largest variety

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, I. Geociências, Laboratório de Hidrogeologia, sala J0-05, CEP21949-900, RJ. Fone (21) 2598-9481. e-mail :menezesgeo@yahoo.com.br.

of hydrochemical classes, due to the influence of soil type and of processes that depend on the vegetation, climate and man influence. In the deep aquifer, however, there is a larger amount of  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  ions, reflecting probably a longer contact of percolating groundwater with basic materials and calciumsilicate rocks.

**Palavras-chave:** hidrogeoquímica, rochas cristalinas, noroeste fluminense.

## 1 - INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro está assentada sobre os terrenos cristalinos. Muitas vezes é no interior desses maciços que se encontram os únicos recursos hídricos possíveis de serem utilizados, já que os rigorosos períodos de seca, a grande densidade populacional ou ainda a utilização inadequada do solo para agricultura ao longo de séculos, tornam insuficientes as águas superficiais [1].

Até o início da década de 80 do século XX, só havia estudos sobre a ocorrência de água subterrânea nos terrenos cristalinos no semi-árido do Nordeste brasileiro, embora a perfuração de poços no cristalino seja muito anterior a essa época em todo o país [2]. Desse período em diante, muitos estudos vêm sendo realizados, inclusive no Sudeste do país, mas, ainda hoje, há muito para ser compreendido nesse sentido. Tal situação também ocorre em nível mundial, já que apenas muito recentemente estudos hidrogeológicos aprofundados dos aquíferos cristalinos fraturados vêm sendo realizados [3, 4, 5, 6].

O presente estudo foi desenvolvido na área da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD). Este rio é afluente do Rio Muriaé pertencente ao Complexo Hidrográfico do Rio Paraíba do Sul, e compreende a totalidade do município de São José de Ubá e parte do município de Itaperuna, no noroeste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). A BHRSD é uma área predominantemente agrícola, sendo o município de São José de Ubá o terceiro maior produtor de tomates do estado do RJ. Essa cultura tem grande necessidade de água, sendo utilizada irrigação para seu desenvolvimento, boa parte desta com água subterrânea.

O estudo integra o projeto “Planejamento Conservacionista das Terras Visando a Recarga do Sistema Hídrico em Bacias Hidrográficas sobre o Embasamento Cristalino”, que tem como objetivo proporcionar diretrizes para a otimização da recarga do sistema hídrico da BHRSD, através do planejamento integrado do uso e melhor manejo dos recursos naturais. Faz parte do Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologias Agropecuárias para o Brasil – PRODETAB/EMBRAPA e está sendo desenvolvido em parceria com diversas instituições, a saber: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisas em Solos), Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/Instituto de Geociências), Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Instituto Nacional de

Tecnologia (INT), Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA-Campos), Observatório Nacional (ON) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

O estudo teve como objetivo principal a realização de uma caracterização hidrogeoquímica na BHRSD, no contexto da ocorrência de materiais cristalinos como substrato geológico, de forma a fornecer informações referentes necessárias ao gerenciamento desse recurso, para a mitigação dos problemas associados. Por ser a área de estudo constituída por rochas cristalinas, esse estudo se torna importante para as vastas regiões do Brasil que são constituídas por essas rochas.

## **2 - ÁREA DE ESTUDO**

De acordo com o mapa de favorabilidade hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro [7], as informações existentes sobre as captações dos poços na região são predominantemente sobre o aquífero fraturado. Isto não exclui a importância de alguns aquíferos superficiais, principalmente pelo fato de que em algumas regiões, apesar do alto potencial, as águas contidas no aquífero fraturado podem apresentar altos teores de ferro [8], por exemplo, fato que compromete bastante o seu uso. Conforme informações no CIDE [9], no Rio de Janeiro, é possível observar a predominância de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas (Arqueozóico e Proterozóico) e de acordo com o trabalhos realizados [10], 84,5% da área cristalina do Estado do Rio de Janeiro está classificada como de favorabilidade boa, acima da média que geralmente é encontrada em áreas de cristalino. Isso se deve provavelmente à intensa deformação rúptil que grande parte do território fluminense sofreu ao longo do tempo geológico, em vários episódios deformacionais ao longo, principalmente, da chamada Faixa Paraíba do Sul, onde se localiza a área de estudo.

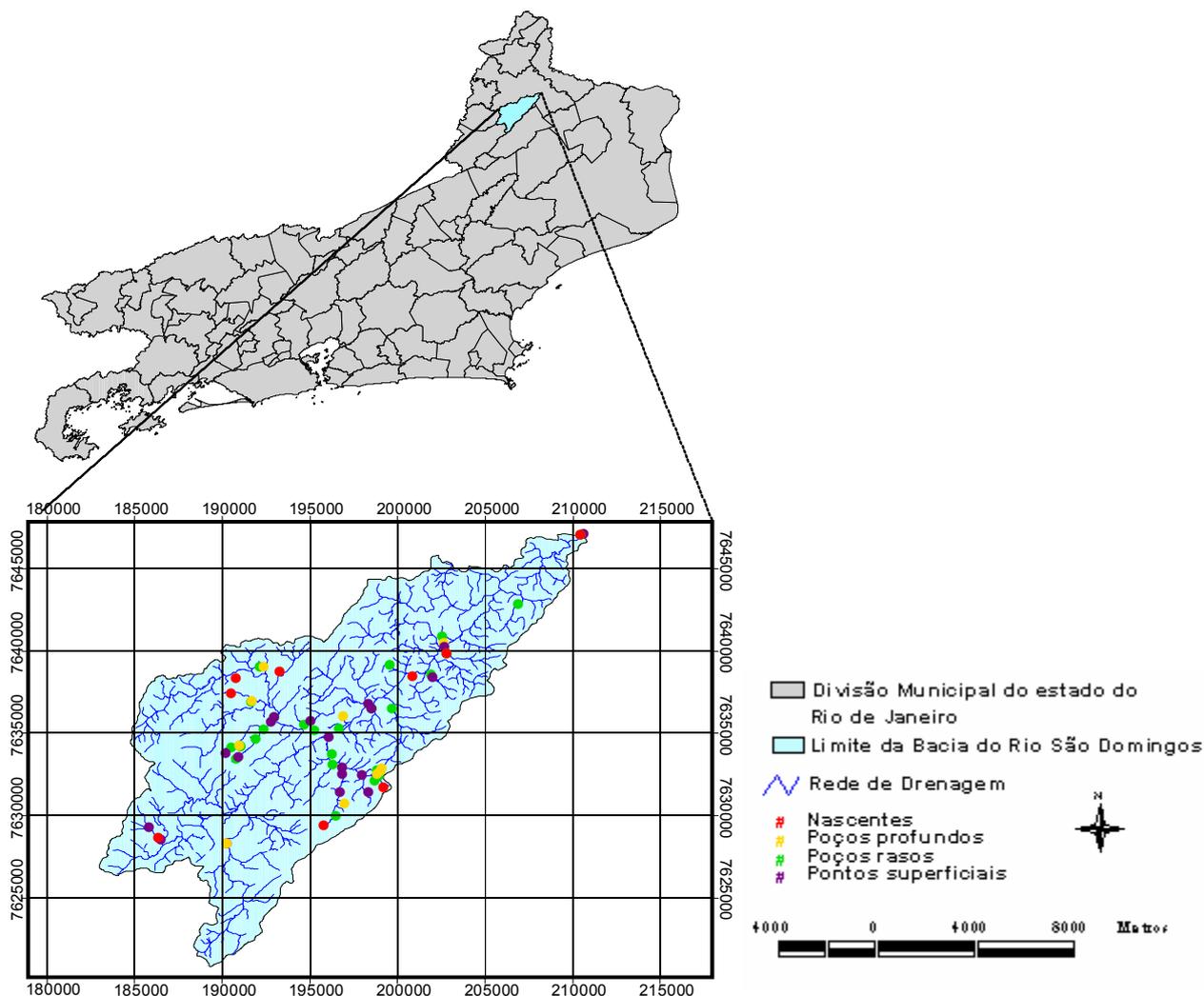


Figura 1. Localização da BHRSD no Estado do Rio de Janeiro e dos pontos de amostragem de água, classificados pelo tipo de corpo d'água [8].

## 2.1 - Geologia Local

O Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM/ RJ) elaborou um mapa 1:50.000 para a BHRSD, apresentado na figura 2. A este mapa, foram acrescentados os pontos, separados por origem, que foram usados para a amostragem de água na BHRSD. A área da BHRSD geologicamente pode ser dividida em dois domínios principais: a área de ocorrência do Complexo Juiz de Fora (rochas ortoderivadas) e o Complexo Paraíba do Sul (rochas metassedimentares marinhas) [11]. O Complexo Juiz de Fora compreende as rochas discriminadas no mapa como unidades São José de Ubá, São João do Paraíso e Vista Alegre, descritas a seguir, pela ordem de predominância territorial:

- **p*e*Iju** - Unidade São José de Ubá: granulitos noríticos de coloração marrom acinzentada escura, de granulação fina a grosseira. Trata-se de uma brecha magmática de matriz afanítica de *chert*, envolvendo fragmentos angulosos de quartzo, calcedônia e de rocha;

• **p<sub>IIIjp</sub>** - Unidade São João do Paraíso: migmatitos de coloração cinza-azulada, constituídos de biotita-plagioclásio-microclina gnaisses, geralmente porfiroblásticos, e de leptinitos. Englobam corpos de rochas da "suíte charnockítica" e núcleos de calciossilicatadas (*granofels*).

• **p<sub>IIIva</sub>** - Unidade Vista Alegre: complexa associação de migmatitos e metamorfitos extremamente heterogêneos, constituídos por biotita-plagioclásio gnaisses, leptinitos, com intercalações em proporções e dimensões variadas de granulitos enderbíticos e noríticos, enderbitos e charnockitos homogêneos e restritamente *hornfelses*, cataclasitos e milonitos enderbíticos.

O Complexo Paraíba do Sul compreende as rochas paraderivadas das unidades Santo Eduardo e Catalunha, compreendendo as seguintes unidades:

• **p<sub>Icl</sub>** - Unidade Catalunha: migmatitos metatexíticos heterogêneos de coloração cinza arroxeadada a amarelada, bem foliados ou mesmo laminados, constituídos por silimanita e granada-biotita-plagioclásio-quartzo gnaisses (гнаisses kinzigíticos), com granulação fina a média, equigranulares a porfiroblásticos. Incluem lentes de rocha calciossilicatada e corpos de mármore dolomítico (diopsídio mármore, forsterita mármore, etc), geralmente sob a forma de lentes alongadas.

• **p<sub>IIse</sub>** - Santo Eduardo: milonito gnaisse e blastomilonito predominantes, geralmente bandeados, porfiroblásticos e porfiroblásticos, portando intercalações de variada litologia além de intercalações de anfibólio - (biotita) gnaisse migmatizado interestratificado com quartzo xisto.

A BHRSD é composta ainda por sedimentos fluviais recentes, do Quaternário:

• **Qa** - Sedimentos Fluviais: Depósitos de planície de inundação, canais fluviais, leques aluviais e tálus.

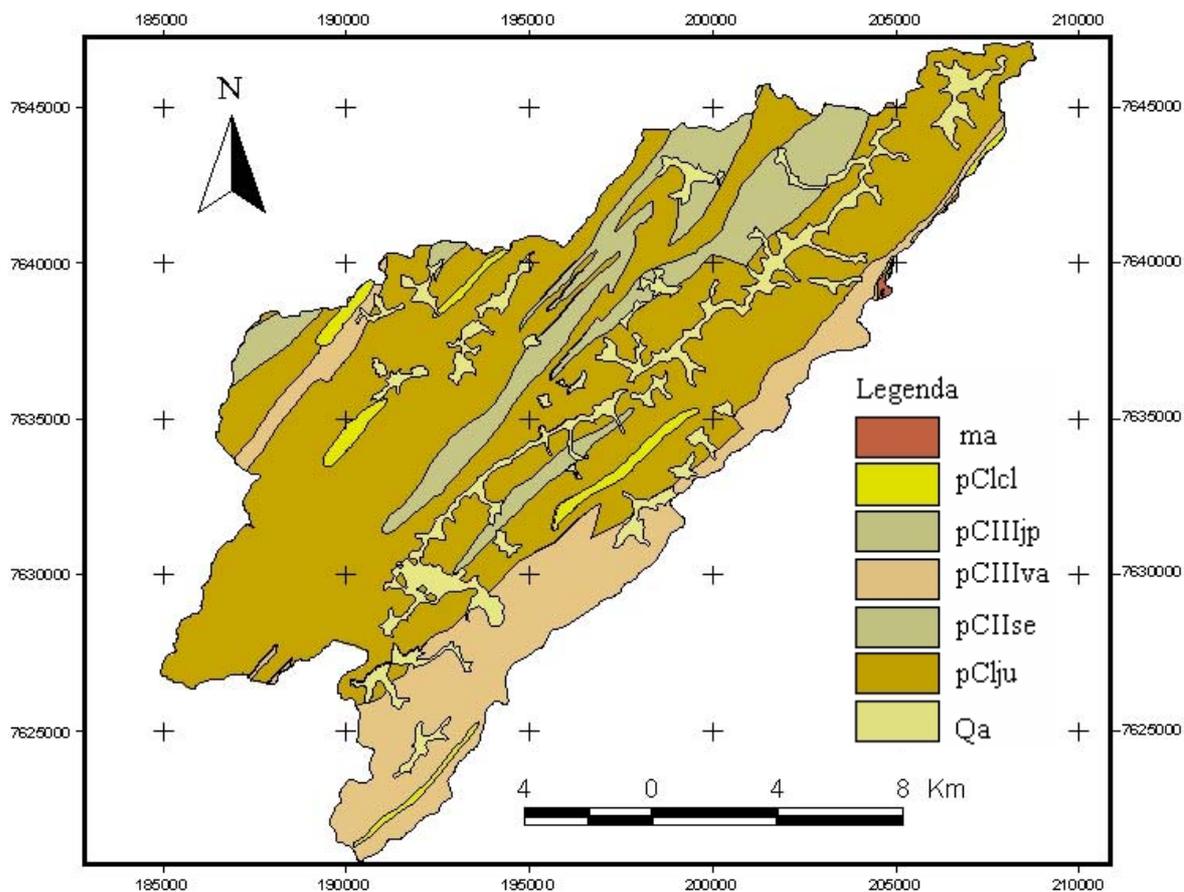


Figura 2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos [11].

As rochas pré-cambrianas da bacia apresentam-se dobradas e milonitizadas. As zonas de cisalhamento possuem direção geral NE-SW.

### 3 - METODOLOGIA

A partir da sobreposição dos mapas de classes de declividade, geologia, hidrografia, localização das culturas de tomate e estradas no *software Arcview*<sup>®</sup> (versão 3.2 da *ESRI*), identificaram-se locais onde os pontos de amostragem deveriam ser alocados, de forma que toda a área da bacia fosse contemplada, assim como todas as unidades geológicas. Dessa forma foram identificados e georreferenciados 65 pontos de amostragem bem distribuídos ao longo da BHRSD, sendo 28 poços rasos, 8 nascentes, 10 poços profundos e 19 pontos superficiais (Figura 2). A coleta ocorreu em outubro de 2004 e foram obtidos *in situ* valores de temperatura, o pH, a condutividade elétrica, e alcalinidade total (método volumétrico com ampolas *Titrets*<sup>®</sup> da *Chemetrics*). No Laboratório da Embrapa Solos foram analisados a alcalinidade total e o bicarbonato pelo método Titulométrico [12], os cátions foram obtidos pela técnica de análise elementar por espectroscopia de emissão por plasma – ICP e os ânions foram obtidos utilizando-se um Cromatógrafo de íons Dionex- DX120. As análises de materiais sólidos na água foram realizadas no Laboratório de

Hidrogeologia da UFRJ, pelo método gravimétrico [12]. Todos os dados foram inseridos em Banco de Dados Georreferenciado.

Para a análise dos dados, estes foram agrupados por tipo de água: superficial, nascente, poço raso e poço profundo. Em um segundo momento, os dados das análises químicas foram exportados para o software *AquaChem*<sup>®</sup> (*Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting*, versão 3.7, da *Waterloo Hydrogeologic*) para elaboração de gráficos e diagramas para fins de caracterização hidrogeoquímica da BHRSD. Na terceira parte, os dados foram exportados para o *software Arcview*<sup>®</sup> (versão 3.2 da *ESRI*), para que os resultados pudessem ser visualizados espacialmente e com temas sobrepostos. Dessa forma, criou-se uma base de dados geográficos com as informações do cadastro dos pontos d'água e das análises físico-químicas. Em seguida a essa etapa foram realizadas as representações gráficas, processamento e elaboração dos resultados e interpretações conseqüentes, que deram origem às discussões e conclusões apresentadas ao fim do trabalho.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram delineadas as principais características das águas da BHRSD e estas foram classificadas segundo suas características químicas, conforme descrito a seguir.

### 4.1 - Comportamento Hidrogeoquímico Geral

O erro analítico para os íons maiores foi estimado a partir da Eletroneutralidade (E.N.). A média obtida foi de -2,96% e o desvio padrão de 0,16. Esses valores estão dentro do aceitável, já que um erro em torno de 2% é praticamente inevitável [13].

A partir da análise das informações da tabela 2 e do diagrama de *Piper* da figura 3, verificou-se que, de maneira geral, as águas da BHRSD apresentaram características bicarbonatadas-mistas com tendência a bicarbonatadas-sódicas. Ocorreram, ainda, os tipos cloretadas-sódicas, bicarbonatadas-cálcicas, e também uma mescla dos tipos dominantes.

A comparação dos ânions indicou que as águas se comportam de maneira homogênea, e se constatou a predominância do íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) sobre o íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e desses sobre o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Esta característica é considerada muito comum para ambientes cristalinos, já que o conteúdo de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  nas rochas ígneas é, em geral, muito baixo [14]. A massa de  $\text{HCO}_3^-$  é devida ao  $\text{CO}_2$  dissolvido, originário do ar atmosférico e do solo, da dissolução de calcitas e dolomitas – que pode ocorrer em alguns trechos da BHRSD - e da hidrólise de silicatos em presença do  $\text{CO}_2$ , sendo também função do pH.

No caso da BHRSD nenhuma amostra apresentou pH acima de 8,3, o que sugere que tratam-se de águas de circulação rápida tamponadas pela alcalinidade do solo. Já no caso dos cátions, observou-se que o íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) predominou sobre os demais íons. E esses apresentaram

concentrações com uma variação menos regular, ora predominando o magnésio ( $Mg^{+2}$ ), ora o cálcio ( $Ca^{+2}$ ), mas nunca o potássio ( $K^{+2}$ ). Esse fato deve ser relacionado, principalmente, ao problema do intercâmbio catiônico que ocorre nos solos, como é explicado mais adiante.

Em águas que percolam rochas cristalinas ácidas, os íons alcalinos são, em geral, predominantes. O  $Na^{+}$  quase sempre é o cátion mais abundante, porque é liberado, principalmente, pelos plagioclásios e hornblendas, minerais que são presentes na região. De forma geral, o  $Ca^{+2}$  aparece em menores quantidades nessas rochas, tendo valor significativo nos dioritos e nos anfibólitos, também presentes na área. A presença de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  em maior quantidade ocorre de modo bastante evidente nas amostras de água dos poços profundos, o que reflete o maior tempo de contato da água subterrânea percolante com materiais mais básicos (anfíbolitos, ígneas com caráter intermediário) como observado na figura 3.

O íon  $Mg^{+2}$  tem a sua distribuição na área ocorrendo de modo menos regular, com grande dispersão de resultados, provavelmente devido à heterogeneidade dos materiais percolados.

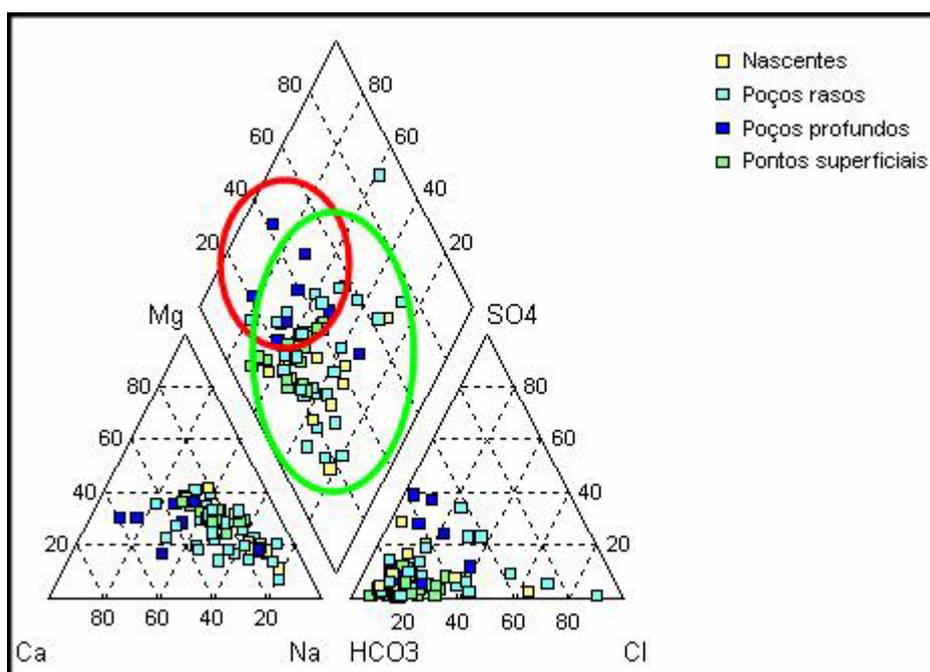


Figura 3: Diagrama de Piper ilustrando as composições químicas entre as águas subterrâneas provenientes dos poços rasos (escavados) e dos poços profundos, das nascentes e dos pontos superficiais da BHRSD. O círculo verde mostra a concentração da maioria das amostras e o círculo vermelho aponta a concentração dos poços profundos.

É possível fazer algumas considerações a partir do diagrama de *Piper* (Figura 3). Esse mostra que em 60% das amostras, os alcalinos terrosos excederam os alcalinos. E que em 89%, os ácidos

fracos ( $\text{HCO}_3^-$ ) excederam os ácidos fortes ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e em 28% das amostras analisadas, nenhum par de cátion-ânion excedeu 50%, principalmente, nas águas das nascentes, onde metade das amostras foi encontrada nessa situação. Tal situação reflete um ambiente de percolação das águas subterrâneas bastante heterogêneo, com fenômenos de dissolução em sub-superfície dominados pela ação do ácido carbônico em porções rasas do perfil do subsolo.

#### 4.2 - Dureza

A classificação das águas em relação à **dureza** [15] encontra-se na tabela 1. As águas mais duras são as de origem profunda, mostrando maior predominância dos íons cálcio e magnésio. Todos os usuários dos poços profundos entrevistados reclamaram sobre a dureza das águas subterrâneas, já que essas são incrustantes e produzem grande consumo de sabão. Alguns poços da prefeitura de São José de Ubá contam com sistemas de abrandamento da dureza, aparentemente pouco efetivos. Esse problema, portanto, é um importante elemento na avaliação das águas subterrâneas profundas dos aquíferos cristalinos da região, já que 80% das águas analisadas em poços profundos apresentam esse tipo de problema.

Tabela 1. Classificação das águas da BHRSD segundo a dureza em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Tipos de Dureza	Teor de $\text{CaCO}_3$ (mg/L)	Nascentes (%)	Poços rasos (%)	Poços profundos (%)	Pontos superficiais (%)
Branda	0 – 50	70	38	0	35
Pouco Dura	50 -100	30	31	20	53
Dura	100 - 200	0	20%	40	12
Muito Dura	> 200	0	11	40	0

Tabela 2. Principais ânions e cátions em meq/L das amostras da BHRSD.

ID	Na	Ca	Mg	K	Fe	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
1N	0.505	0.225	0.362	0.012	0.00551	0.872	0.106	0.110
2N	0.483	0.487	0.589	0.042	0.00011	3.399	0.303	0.142
7N	0.744	0.414	0.831	0.015	0.00004	1.712	0.165	0.093
25N	0.735	0.137	0.228	0.011	0.01221	0.748	0.214	0.246
33N	0.424	0.112	0.142	0.012	0.00025	0.600	0.081	0.068
34N	0.425	0.071	0.109	0.029	0.00029	0.176	0.334	0.014
35R	0.870	0.206	0.238	0.005	0.05765	1.040	0.183	0.252
38N	1.440	0.438	0.880	0.017	0.00043	1.836	0.109	0.801
43N	1.344	0.182	0.192	0.003	0.00168	1.400	0.186	0.105
52N	0.840	0.224	0.244	0.095	0.00011	0.800	0.476	0.105
8R	1.997	0.351	0.770	0.010	0.00021	0.000	0.404	0.278
11R	0.822	0.519	0.709	0.017	0.00007	1.760	0.225	0.268
12R	1.657	0.274	0.391	0.026	0.00011	3.763	0.367	0.250
13R	1.218	0.483	0.348	0.009	0.00082	1.092	0.710	0.155
14R	3.380	0.749	1.012	0.023	0.00072	1.600	0.568	0.383
15R	1.140	0.908	1.415	0.016	0.00007	2.451	0.510	0.386
16R	2.210	0.554	1.160	0.210	0.00007	1.668	1.489	0.955
18R	1.866	0.402	0.680	0.010	0.00154	1.948	0.616	0.231
19R	1.744	0.484	0.781	0.008	0.00093	2.399	0.564	0.258
20R	2.519	1.856	1.842	0.050	0.00025	0.588	5.683	0.056
21R	0.395	0.788	0.656	0.054	0.00079	1.636	0.300	0.023
23R	2.601	3.164	2.188	1.146	0.00158	6.179	2.272	0.458
24R	3.254	1.876	1.480	0.062	0.00766	2.803	1.537	2.277
25R	0.336	0.151	0.111	0.016	9.38222	0.492	0.120	0.053
26R	0.935	0.501	0.938	0.014	0.00025	1.256	0.958	0.060
27R	1.018	1.507	0.756	0.115	0.00018	2.531	0.582	0.290
28R	0.744	0.118	0.067	0.018	0.00029	0.740	0.198	0.037
29R	0.879	0.501	0.227	0.029	0.00208	1.376	0.305	0.069
31R	0.535	0.045	0.151	0.035	0.00018	0.228	0.631	0.052
36R	2.097	0.933	1.209	0.022	0.00007	2.751	1.719	0.217
39R	1.131	0.304	0.713	0.018	0.00050	1.628	0.147	0.304
41R	0.503	0.154	0.112	0.012	0.00376	1.200	0.134	0.039
43R	3.854	2.280	2.023	0.035	0.00014	5.427	3.785	2.785
44R	3.732	2.315	2.796	0.041	0.00093	6.575	1.808	1.349
48R	0.957	0.145	0.180	0.008	0.00240	1.124	0.157	0.082
52P	1.509	0.297	0.427	0.012	0.00007	0.856	1.257	0.216
53R	0.970	0.803	0.438	0.038	0.00029	1.152	0.834	0.133
2P	0.835	0.694	0.888	0.035	0.33411	1.776	0.587	0.135
4P	3.115	4.800	1.587	0.074	0.00050	6.315	1.143	2.925
7P	2.488	2.011	1.012	0.048	0.00014	3.827	0.852	0.528
8P	2.523	0.763	0.822	0.029	0.02002	2.559	0.730	0.775
12P	2.014	10.978	5.683	0.128	0.00090	10.808	0.660	7.380
17P	0.557	1.742	0.995	0.056	0.00229	2.799	0.508	0.258
19P	1.849	2.360	2.360	0.069	0.07807	3.399	0.737	2.460
20P	1.531	1.632	1.266	0.049	0.00025	3.467	0.541	0.462
21P	3.202	1.886	1.595	0.054	0.00021	3.599	1.498	1.650
60P	2.171	0.456	0.594	0.035	0.00072	1.564	1.168	0.374
1S	0.474	0.424	0.487	0.049	0.01038	1.264	0.190	0.019
6S	1.440	0.749	0.929	0.156	0.00347	2.224	0.987	0.029
7S	1.427	0.803	0.905	0.139	0.00938	2.703	0.577	0.012
9S	0.996	0.554	0.786	0.373	0.00448	2.599	0.574	0.034
12S	1.105	0.539	0.675	0.188	0.02843	1.400	0.899	0.123
17S	0.744	0.449	0.519	0.149	0.01357	1.200	0.562	0.059
19S	0.657	0.421	0.491	0.149	0.02754	1.212	0.486	0.069
20S	0.427	0.210	0.314	0.031	0.01078	0.800	0.138	0.134
21S	0.770	0.803	0.979	0.060	0.00924	2.399	0.177	0.032
22S	0.661	0.472	0.557	0.112	0.01894	1.324	0.425	0.022
23S	0.679	0.398	0.447	0.172	0.04512	1.200	0.530	0.083
24S	1.231	0.604	0.752	0.147	0.01189	2.152	0.431	0.011
27S	1.383	0.664	0.872	0.214	0.00308	2.399	0.778	0.101
29S	2.384	1.048	1.135	0.178	0.00319	3.639	0.813	0.283
30S	1.479	0.933	1.069	0.142	0.01508	2.927	0.618	0.023
32S	1.266	0.361	0.673	0.103	0.01132	1.844	0.524	0.046
36S	0.374	0.405	0.446	0.034	0.01049	1.200	0.130	0.030
37S	0.635	0.328	0.391	0.202	0.05443	0.924	0.473	0.122

N= Nascentes, R= Poços rasos, P= Poços profundos, S= Pontos superficiais.

### 4.3 - Índice de troca de bases

O sentido da troca de bases ocorre em direção a um equilíbrio das bases presentes na água e nos materiais mais finos do aquífero, como já exposto. Três tipos de índices de troca de bases (*itb*) foram calculados, tendo como referência os trabalhos consagrados [15,16, 17], sendo eles:

$$itb_1 = r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - rHCO_3^- \quad (1)$$

$$itb_2 = \frac{rCl^- - (Na^+ + K^+)}{rCl^-} \quad (2)$$

$$itb_3 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{r(SO_4^{-2} + HCO_3^- + NO_3^-)} \quad (3)$$

Na maioria das amostras os índices *itb* calculados a partir das expressões supracitadas foram negativos. Esses resultados indicam, de acordo com as equações 1 e 2, uma deficiência de íons de  $Ca^{+2}$ , que provém, em geral, da troca do  $Ca^{+2}$  por  $Na^+$ . Por isso a predominância do tipo hidroquímico bicarbonatado-sódico sobre o bicarbonatado-cálcico.

Quanto à equação 3, os resultados negativos sugerem uma água que inicialmente teve uma composição iônica equilibrada, do tipo alcalino-terroso ( $Ca^{+2}+Mg^{+2}=SO_4^{-2}+NO_3^{-}$ ) e que sofreu uma troca com íons alcalinos do aquífero. Os índices de troca de base analisados indicam uma troca do  $Ca^{+2}$  pelo  $Na^+$  e a ocorrência de um processo de salinização do solo. Considerou-se, porém, o fato da água estar circulando em rochas cristalinas que, quase sempre, possuem os índices negativos pela simples dissolução das rochas, que liberam mais íons alcalinos do que íons de cloreto.

Um pequeno número de amostras, 17%, obteve o *itb* positivo. De forma geral, o *itb* da água subterrânea é próximo a zero. Mas em algumas dessas amostras os índices foram bem maiores, indicando a ocorrência de um processo de endurecimento da água. Essas amostras estão concentradas nas localidades de Barro Branco e Santa Maria/Cambiocó, possivelmente o mapa geológico mais detalhado, em elaboração [18], indicaria diferenças nas características litológicas, o que explicaria melhor esses resultados.

## 5. CONCLUSÕES

A composição química das águas da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos foi definida, predominantemente, como bicarbonatada-mista com tendência à bicarbonatada-sódica.

Entre as águas das nascentes, o tipo hidroquímico bicarbonatado-sódico prevaleceu sobre os demais; as águas do aquífero raso foram as que apresentaram a maior variedade de tipos hidroquímicos,

por conta da influência do tipo de solo e de processos que dependem da vegetação, clima e influência antrópica, mas a maioria das amostras classificou-se como bicarbonatada-sódica ou bicarbonatada-mista.

Nas águas profundas, no entanto, a presença de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em maior quantidade ocorre de modo bastante evidente, o que deve refletir o maior tempo de contato da água subterrânea percolante com materiais mais básicos, anfíbolitos, ígneas com caráter intermediário; já as águas superficiais foram classificadas em 90% das suas amostras como bicarbonatada-mista.

Em 28% das amostras analisadas, nenhum par de cátion-ânion excedeu 50%, refletindo um ambiente de percolação das águas subterrâneas bastante heterogêneo, com fenômenos de dissolução em sub-superfície dominados pela ação do ácido carbônico em porções rasas do perfil do subsolo.

As águas mais duras são as de origem profunda, 80% das águas dos poços profundos analisadas apresentaram dureza e mostraram maior predominância dos íons cálcio e magnésio. Suspeita-se de alguma litologia, particularmente, suscetível à dissolução, como materiais carbonáticos metamórficos ou ainda processos de evaporação em sistemas fratura-solo, comuns em ambientes mais áridos, hipótese a ser comprovada em estudos mais dirigidos.

Na maioria das amostras os índices de troca de bases calculados foram negativos. Indicando uma deficiência de íons de  $\text{Ca}^{+2}$ , que provém em geral da troca do  $\text{Ca}^{+2}$  por  $\text{Na}^{+}$ . Por isso, estaria predominando o tipo hidroquímico bicarbonatado-sódico. Considera-se, porém, o fato de a água estar circulando em rochas cristalinas que, quase sempre, possuem os índices negativos pela simples dissolução das rochas, que liberam mais íons alcalinos do que de cloreto.

## **6. AGRADECIMENTOS**

À população da BHRSD, à Embrapa Solos (Rachel Bardy Prado, Daniel Perez, Fabiano de Oliveira Araújo, Flávio Barbosa Bezerra, Viviane Escalera e Luciana Rios) e ao DRM (Kátia Mansur, Aderson Martins Marques, Thaís Salgado Pimenta, Luis Gomes de Carvalho e Francisco Dourado) pela infra-estrutura, auxílio na coleta de campo e nas análises laboratoriais.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] LADEIRA, E. A. Contribuição da Geologia Estrutural à Pesquisa de Águas Subterrâneas em Rochas Cristalinas. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, n.7. 1985. p. 7-34.

- [2] BERTACHINI, A. C. Estudo das Características Hidrogeológicas dos Terrenos Cristalinos sob Clima Úmido, na Região de Jundiaí, em São Paulo. 1987. 102f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- [3] REBOUÇAS, A. C. Groundwater resources in South America. *Episodes*, 22(3):232-237 (1999).
- [4] TAYLOR, R.G;HOWARD K.W.F. The influence of tectonic setting on the hydrological characteristics of deeply weathered terrains: evidence from Uganda, 1999. 218p.
- [5] SILVA, CCN, JARDIM DE SÁ EF. Fracture chronology and neotectonic control of water wells location in crystalline terranes: an example from the Equador region, Northeasternmost Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. 30 (2):346-349 2000.
- [6] SILVA JR., G. C.; BOCANEGRA, E. Groundwater exploitation of fractured rocks in South America. IAH Special Publications, 2005. *In press*.
- [7] BARRETO, A. B. DA C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. de S.; PIMENTEL, J. Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2001.
- [8] PRADO, R.B.; MENEZES, J. M.; MANSUR, K. L.; MARTINS, A. M.; FREITAS, P. L. DE; SILVA JUNIOR, G. C. DA; CARVALHO, L. G.; PIMENTA, T. S.; LIMA, L. A. DE. Parâmetros De Qualidade Da Água E Sua Relação Espacial Com As Fontes De Contaminação Antrópicas E Naturais: Bacia Hidrográfica Do Rio São Domingos – São José De Ubá, RJ. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 2004.
- [9] CIDE – Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro.Território do Estado do Rio de Janeiro. 1997. 80p.
- [10] BARRETO, A. B. DA C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. de S.; PIMENTEL, J. Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro – Texto explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2000. 23p.
- [11] REIS, A. P.; MANSUR, K.L. Sinopse Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Escala: 1: 400.000. Niterói: DRM, 1995.
- [12] APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19a. Washington: Ed. Byrd. Repress Springfield, 1995. 1.134 p.

- [13] APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Rotterdam, Holanda: Balkema, 1993. 536 p.
- [14] SANTOS. Noções de Hidroquímica in FEITOSA, F. A. C. & FILHO J. M. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, 2000, p. 81-102.
- [15] CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega, 2º ed., vol.1, 1983. 2350p.
- [16] SCHOELLER, H. *Les eaux souterraines*. França: Ed. Masson & Cie. 1962. 642p.
- [17] FENZL, N. *Introdução à Hidrogeoquímica*. Paraná: UFPA, 1988, i, 179p.
- [18] ALMEIDA, J. C. H. DE. *Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos*. Palestra realizada no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro em maio de 2006.