

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Bernardo Vieira Pinto¹; José Marcus Godoy^{1,2} & Monique Clemente de Almeida¹

Resumo – Com base no banco de dados existente no Laboratório de Caracterização de Águas da PUC-Rio, selecionou-se os resultados referentes aos municípios do Estado do Rio de Janeiro. Foram identificados 440 laudos correspondentes a 61 municípios. Cada laudo contém as seguintes variáveis: cor, turbidez, pH, condutividade, alcalinidade, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, fosfato, sílica, cálcio, magnésio potássio e sódio, além de metais-traço determinados por ICP-MS. Deste banco de dados, foram selecionados dez municípios, por sua importância como municípios produtores de água mineral, bem como em função do número de laudos existentes. Os municípios selecionados foram: Cachoeiras de Macacú, Casimiro de Abreu, Guapimirim, Itaperuna, Nova Friburgo, Petrópolis, Rio de Janeiro, Silva Jardim, Teresópolis e Três Rios. Para cada município realizou-se uma avaliação estatística, a partir da normalização dos dados, envolvendo a análise de agrupamentos e a análise fatorial relacionada à análise de componentes principais, com a finalidade de definir grupos com características semelhantes e explicar os principais processos responsáveis pela composição química das águas subterrâneas em cada município estudado. Segundo o Código de Águas Minerais de 1945, as águas demonstraram características tais como: fluoretadas, litinadas e, eventualmente, fracamente radioativa na fonte. Adicionalmente, foram desenvolvidos mapas temáticos tomando por base a divisão político administrativa do Estado do Rio de Janeiro e a análise das águas subterrâneas.

Abstract: On the basis of the existing database in the Water Characterization Laboratory of PUC-Rio, it was selected referring results to the Rio de Janeiro State counties. The 440 reports corresponding to 61 counties had been identified. Each report contains the following variables: color, turbidity, pH, conductivity, alkalinity, chloride, fluoride, nitrate, sulfate, phosphate, silica, calcium, magnesium potassium and sodium, beyond trace elements determined by ICP-MS. From this database, ten counties had been selected, due to its importance as mineral water producers, as well as in function of the number of existing reports. The selected counties were: Cachoeiras de Macacú, Casimiro de Abreu, Guapimirim, Itaperuna, Nova Friburgo, Petrópolis, Rio de Janeiro,

1-Departamento de Química, PUC-Rio

Rua Marquês de São Vicente, 225. Gávea, Rio de Janeiro, RJ. CEP 22453-900, (21)3527-1814, e-mail bernardo_pinto@bol.com.br

2- Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão de Energia Nuclear, Caixa Postal 37750, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, CEP 22643-970, jmgodoy@ird.gov.br

Silva Jardim, Teresópolis and Três Rios. For each county, a statistical evaluation was performed, involving cluster analysis and factorial analysis related to the principal component analysis, with the purpose to define groups with similar characteristics and to explain the main processes responsible for the chemical composition of the groundwater. According to Mineral Water Code of 1945, the waters could be classified as: fluoretadas, litinadas and, eventually, weakly radioactive at the source. Additionally, thematic maps had been developed taking into account the politico-administrative division of the Rio de Janeiro State and the results of groundwater analysis.

Palavras chave: águas minerais, Estado do Rio de Janeiro, caracterização.

INTRODUÇÃO

A constituição geológica de um aquífero determinará a qualidade da água, a capacidade de armazenagem e a velocidade da água no seu meio. No Estado do Rio de Janeiro, cerca de 80 % do seu território ocorre em rochas metamórficas e magmáticas (gnaisses, migmatitos, granitos, rochas alcalinas, entre outras). Isto implica em que o principal aquífero é do tipo fissural. No restante do Estado, cerca de 20 % de sua área, ocorrem rochas sedimentares e sedimentos variados relacionados à porção continental da Bacia Sedimentar de Campos (municípios de Campos dos Goytacazes, São João de Barra, São Francisco de Itabapoana, Quissamã e Carapebus) e bacias sedimentares menores como a de Resende (municípios de Resende, Quatis, Porto Real e Itatiaia), a de Volta Redonda, a de Itaboraí, nos municípios de mesmo nome, além das Formações Macacu e Caceribu, nos municípios de Itaboraí, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Duque de Caxias e Rio de Janeiro. Os sedimentos aluvionares de grandes rios, como o Guandu, Guapiaçu, o Macaé, o Iguazu e o Macacu, são importantes por sua extensão e espessura. Nestas rochas e sedimentos, os aquíferos são de tipo poroso, com diferentes potencialidades, dependendo normalmente da permeabilidade e espessura dos pacotes sedimentares (Martins *et al.*, 2002).

A análise multivariada foi aplicada com o objetivo de determinar grupos de amostras com as mesmas características dentro da base de dados existentes para cada município do Estado do Rio de Janeiro em estudo. A análise estatística foi feita usando o programa STATISTICA 6.0 através dos seguintes métodos: análise de agrupamentos (Clusters) e análise fatorial relacionada utilizando como método de extração a análise de componentes principais.

A análise multivariada é uma ferramenta que permite a interpretação de uma base de dados com um número grande de variáveis por meio de um tratamento estatístico. Os métodos que usam este tipo de análise levam a resultados como:

- redução do número de variáveis da base de dados;
- identificação de grupos de variáveis ou amostras similares;
- identificação das relações entre as variáveis.

A análise de componentes principais procura interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados, tanto entre indivíduos (modo Q) como entre variáveis (modo R), a partir da matriz de variância-covariância ou de correlações, pela obtenção de autovalores e autovetores. Consiste numa transformação linear das “n” variáveis originais correlacionadas entre si em “n” novas variáveis ortogonais e não deve ser confundida com a análise fatorial, segundo a qual se supõe que as relações existentes dentro de um conjunto de “n” variáveis seja reflexo das correlações de cada uma dessas variáveis com “p” fatores, mutuamente não correlacionados entre si, sendo “p” menor que “n” (Landim, 2000).

A análise de agrupamento é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R) definindo-os em grupos, considerando simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis observadas em cada indivíduo e, no segundo caso, todos os indivíduos nos quais foram feitas as mesmas medidas. Segundo esse método, procura-se por agrupamentos nítidos de itens representados por pontos num espaço n dimensional em um número conveniente de grupos relacionados através de similaridades ou de distância (Landim, 2000).

O diagrama de Piper é, freqüentemente, utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions dominantes. Os diagramas de Piper, também chamados de *diagramas trilineares* (Piper, 1944; Back, 1966), são extraídos plotando-se as proporções dos cátions principais (Ca^{2+} , Mg^{+2} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) e dos ânions principais (HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$) em dois diagramas triangulares respectivos, e combinando as informações dos dois triângulos em um losango situado entre os mesmos (Lucena et al., 2004). As proporções são traçadas nos gráficos triangulares e suas escalas, para a proporção das variáveis, correspondem a 100 por cento. Os gráficos mostram, assim, as proporções relativas dos íons principais, mas não suas concentrações absolutas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Duas situações distintas ocorrem no que tange à amostragem. Na primeira, a amostragem é realizada pelo requerente utilizando metodologia própria e empregando garrafas do tipo PET. Na segunda, é solicitado um kit de amostragem, desenvolvido no departamento, contendo instruções quanto ao procedimento para a coleta das amostras. Em cada amostra recebida pelo laboratório são determinados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, resíduo total, turbidez,

alcalinidade, radioatividade, quando solicitada, ânions por cromatografia de íons e metais e sílica por ICP-MS.

Para a determinação do pH, foi utilizado o pHmetro Gehaka Digital PG 2000, usando soluções tampão de pH igual a $4,00 \pm 0,02$ e $7,00 \pm 0,02$ da Vetec Química Ltda. O procedimento de calibração de pHmetro e de medição segue a Norma da ABNT NBR 9251:1986 (Água - Determinação do pH - Método eletrométrico).

Para a realização da condutividade, utilizou-se o condutivímetro ALFAKIT AT 230. A solução padrão de condutividade elétrica para a calibração do instrumento foi preparada de acordo com a Norma da ABNT NBR 14340:1999 (Determinação da condutividade e da resistividade elétrica), utilizando cloreto de potássio, p.a, KCl, anidro, seco em estufa a 105 °C por duas horas. O resíduo total foi obtido segundo a Norma da ABNT 10214:1988 (Águas minerais e de mesa - Determinação do resíduo de evaporação, seco a 180° C), a partir do resultado da condutividade elétrica.

A determinação da alcalinidade foi baseada nas Normas da ABNT NBR 5762:1977 e NBR 10230:1988 (Águas minerais e de mesa - Determinação de alcalinidade em água por titulação direta). Os demais anions foram determinados por cromatografia de íons seguindo, em linhas gerais, o método EPA-300.1. Foi utilizado o cromatógrafo de íons DIONEX DX-120 nas condições abaixo (Tabela 1):

Tabela 1: Condições de operação do cromatógrafo de íons DIONEX DX-120

Coluna cromatográfica	DIONEX AS-14
Coluna de guarda	DIONEX AG-14
Coluna supressora	DIONEX ASRS-ULTRA 4 mm
Volume loop de amostragem (μL)	500
Detector	Condutividade
Solução eluente	Carbonato de sódio (Na_2CO_3) 4,8 mM + Bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 0,6 mM.
Solução regenerante	H_2SO_4 5mM

A turbidez das amostras foi determinada usando o Fotocolorímetro ALFAKIT AT2K, empregando-se o procedimento descrito na Norma da ABNT MB-3227:1990 (Águas minerais e de mesa - Determinação da Turbidez).

Os elementos metálicos e semi-metais foram determinados por espectrometria de massa do tipo quádruplo Perkin-Elmer ELAN-6000. O equipamento possui um conjunto de nebulizador do tipo “cross flow” e de uma câmara de nebulização. Este é o conjunto nebulizador/câmara de

nebulização padrão da Perkin-Elmer. Entretanto, foi utilizado neste trabalho, um nebulizador ultrassônico U-6000 AT Plus para obter uma maior sensibilidade. O instrumento foi otimizado de acordo com as recomendações do fabricante, com algumas modificações nas soluções de calibração. A modificação introduzida na solução padrão de calibração da massa foi o uso de uma mistura de 4 soluções multielementar, resultando em um total de 49 elementos químicos. Os parâmetros instrumentais utilizados estão na Tabela 2. No entanto, a metodologia segue, em linhas gerais, a sugerida pela Environmental Protection Agency (US-EPA) (EPA-200.8, EPA-1638, EPA-6020-A).

Tabela 2: Condições de operação do ICP-MS Perkin-Elmer ELAN 6000

Condições do plasma	
Potência da radiofrequência	1050 W
Vazão de argônio para o plasma	15,0 L min ⁻¹
Vazão de argônio auxiliar	1,0 L min ⁻¹
Vazão de argônio para o nebulizador	0,9 L min ⁻¹
Taxa de aspiração para da amostra	1,0 L min ⁻¹
Parâmetros de medida	
Modo de varredura	Peak Hopping
Varredura da lente	Habilitada
Modo de detecção	Pulso e Analógico
Tempo de permanência	80 ms
Número de varreduras por leitura	1
Número de leituras por réplica	6
Número de réplicas	3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas 440 amostras de águas subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro analisadas, compreendendo 61 municípios. Destes, foram selecionados 10 municípios, totalizando 205 amostras (Tabela 3), por possuírem um número de casos (amostras) maior ou igual ao número de variáveis (14) utilizadas nas análises estatísticas, ou devido à sua importância no mercado produtor de água envasada, como o município de Petrópolis (Martins et al., 2002).

Tabela 3: Municípios do Estado do Rio de Janeiro estudados e número de amostras analisadas (N)

Município	N
Cachoeiras de Macacú	31
Casimiro de Abreu	15
Guapimirim	16
Itaperuna	28
Nova Friburgo	30
Petrópolis	12
Rio de Janeiro	14
Silva Jardim	18
Teresópolis	20
Três Rios	21

Cerca de 16% das amostras apresentaram um balanço iônico fora do limite estabelecido ($\pm 20\%$), provavelmente, por causa da baixa mineralização das águas. A figura 2 mostra a correlação entre o somatório de ânions e cátions das análises de água para os 10 municípios relacionados, tendo sido observado um coeficiente angular próximo a um e um coeficiente de correlação (R^2) de 0,916.

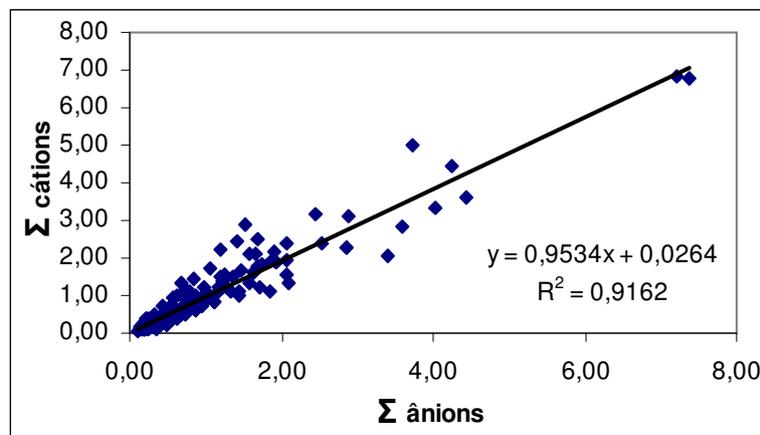


Figura 13: Correlação entre o somatório de ânions e cátions nas amostras de águas analisadas dos 10 municípios relacionados.

A seguir será apresentada a avaliação estatística referente a cada um dos municípios selecionados. Nesta avaliação, foram consideradas as seguintes variáveis: condutividade elétrica, Na, K, Ca, Mg, Li, Fe, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , F, Br^- e SiO_2 .

Cachoeiras de Macacú

As águas subterrâneas do município de Cachoeiras de Macacu apresentam-se pouco mineralizadas (média do resíduo seco esperado = 53 mg L^{-1}), provavelmente, associadas à rápida circulação da água nos meios percolados. Com base nos resultados do diagrama de Piper (Figura 1), águas são de faces bicarbonatadas sódica e cálcica, nas quais essas duas faces indicariam um enriquecimento gradativo de sódio a partir das zonas de recarga, e cloretada sódica.

A análise por componentes principais evidenciou a existência de 3 componentes responsáveis por 73% da variabilidade total. O primeiro componente (41,7% da variabilidade total) engloba Li, Ca, Mg, HCO_3^- e SiO_2 e representa, em particular, a dissolução de fases minerais carbonáticas. O fator 2 (SO_4^- e F) contribui com 15,5% da variância total e pode estar relacionado com a presença de minerais como gipsita (CaSO_4), distribuído nas rochas sedimentares, e fluorita (CaF_2), pois o íon Ca^{2+} está moderadamente correlacionado com os íons SO_4^- (0,57) e F^- (0,63). O fator 3 (Cl^- e NO_3^-) corresponde a 15,4% da variância total e pode ser indicativo da presença de alguma contribuição de origem marinha, dada a presença, também, de Na e Br neste componente além fertilizantes agrícolas através da presença de nitrato.

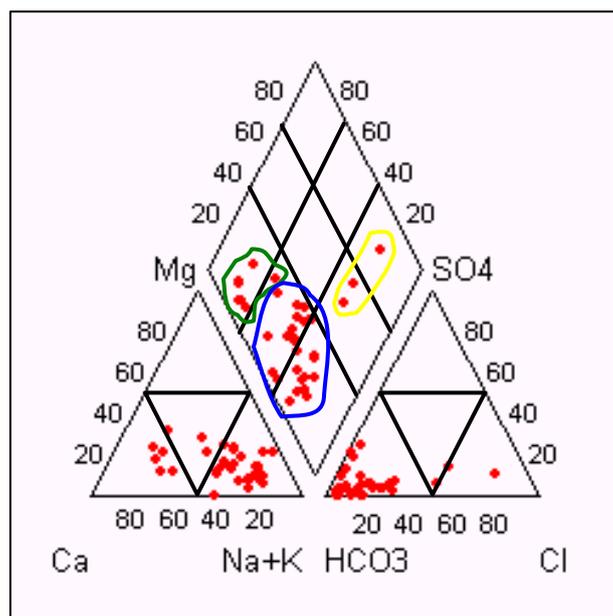


Figura 1: Diagrama de Piper das amostras de água analisadas referentes ao município de Cachoeiras de Macacu (Azul - bicarbonatada sódica; verde - bicarbonatada cálcica; amarela - cloretada sódica).

Conforme a definição da ANVISA (2005), as águas subterrâneas desse município são consideradas como águas minerais naturais, e pelo Código de Águas Minerais (1945), estas são caracterizadas em fluoretada e, casualmente, fracamente radioativa na fonte e radioativa na fonte. A radioatividade pode estar relacionada a águas que percolam fraturas de rochas graníticas.

Casimiro de Abreu

As amostras analisadas mostram que as águas subterrâneas do município de Casimiro de Abreu são de baixa mineralização (média do resíduo seco esperado = 47 mg L^{-1}). De acordo com o resultado do diagrama de Piper, as águas são, em geral, bicarbonatadas e foram classificadas em bicarbonatadas sódicas, podendo estar relacionadas à troca catiônica entre Ca e Na na zona de recarga, e cloretada sódica e cálcica. O município de Casimiro de Abreu apresenta águas subterrâneas definidas como sendo águas naturais (66,7%) e águas minerais naturais (33,3%), em particular fluoretadas.

A variabilidade total de 85,0% está relacionada aos dois primeiros fatores. O fator 1 (condutividade elétrica, Na, Mg, K, Ca, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , F, Fe e SiO_2) explica 73,9% da variância total e pode representar a dissolução de feldspatos (Na, K e SiO_2), de minerais ferromagnesianos (Fe e Mg), fluorita (Ca e F), gipsita (Ca e SO_4^{2-}) e de rochas carbonáticas (Ca, Mg e HCO_3^-) e, também, pode estar associado ao aerossol marinho (Na, Cl e SO_4^{2-}), já que se trata de uma região com limites costeiros. O fator 2 (NO_3^-) pode ser um indicativo de contaminação por fertilizantes decorrentes das atividades agropecuárias praticadas nesse município.

Guapimirim

Assim com os outros municípios já discutidos, as águas analisadas provenientes do município de Guapimirim apresentam uma baixa mineralização (média do resíduo seco esperado = 43 mg L^{-1}). As águas apresentaram como ânion dominante o bicarbonato, sendo classificadas em bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, sendo que estas duas faces podem indicar um enriquecimento gradativo de sódio a partir das zonas de recarga, e cloretadas sódicas, pela possível existência de depósitos subterrâneos formados pela evaporação de mares antigos. As águas subterrâneas do município de Guapimirim são definidas como águas naturais e, eventualmente, águas minerais naturais, sendo caracterizadas em fluoretadas, litinadas, fracamente radioativa na fonte e radioativa na fonte. A presença de radônio dissolvido nestas águas, podendo estar associada às rochas graníticas, mais ricas em urânio do que as outras rochas (Cothorn e Rebers, 1990).

Os quatros primeiros fatores explicam 86,7% da variabilidade total dos dados. O fator 1 (condutividade elétrica, Na, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e F) corresponde a 34,7% da variância total e deve explicar a existência de depósitos subterrâneos formados pela evaporação de mares antigos e ainda de calcita, sendo este último devido à correlação do íon F com Ca (0,63). O fator 2 (Mg, K, Ca, Br^- , HCO_3^-), responsável por 27,8% da variância total, pode ser oriundo da dissolução de carbonatos devido a presença de Mg, Ca e HCO_3^- , a presença de potássio e brometo neste componente podem ser indicativos da dissolução de alguma rocha sedimentar. O fator 3 (Li) representa 12,3% da variância total e pode ser proveniente do feldspato associado ao quartzo. O fator 4 (SiO_2) indica

da variância total, podendo ser o resultado da troca catiônica entre Ca e Na a partir da dissolução de gipsita. O fator 3 (Li e SiO₂) responde por 13,0% da variabilidade dos dados e pode ser proveniente da dissolução de minerais silicatados. O fator 4 (Fe) obtém 9,4% da variância total, e reflete a existência de águas com até 0,9 mg Fe L⁻¹ neste município. O fator 5 (K e NO₃⁻), relacionado com 8,4% da variância total, pode ser indicativo de contaminação por uso de fertilizantes agrícolas.

As águas desse município são definidas como águas minerais naturais e são caracterizadas, de acordo com o Código de Águas Minerais, em fluoretada e, eventualmente, litinada, alcalino-terrosa cálcica, bicarbonatada e sulfatada. Segundo Capucci et al. (2001) e Martins et al. (2002), pode-se destacar a ocorrência de águas carbogasosas, captadas a pequenas profundidades, devido à dissolução dos carbonatos, em que o gás carbônico (CO₂) é liberado. É importante notar a existência de dois casos cuja concentração de nitrato se encontra na faixa limite do padrão de potabilidade (10 mg L⁻¹) bem como acima do valor limite para ferro de 0,3 mg L⁻¹ (ANVISA, 2004).

Nova Friburgo

Assim como outros municípios da região serrana do Estado do Rio de Janeiro, as águas da região de Nova Friburgo apresentam uma baixa mineralização (média do resíduo seco esperado = 27 mg L⁻¹), definidas como águas naturais e águas minerais naturais, e, segundo o Código de Águas Minerais, são, em geral, caracterizadas em fluoretada e, eventualmente, fracamente radioativa na fonte.

Embora prejudicada pelas baixas concentrações encontradas nas amostras oriundas de Nova Friburgo, pode-se dizer que os principais fatores responsáveis pela composição química destas águas coincidem com os fatores apontados para os demais municípios da região serrana do Estado, em particular carbonatos e a presença de aerossóis marinhos. Conforme mostrado no diagrama de Piper (Figura 3) as águas deste município apresentam, principalmente, faces bicarbonatadas sódicas e cálcicas, ocorrendo, ainda, águas cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas.

Rio de Janeiro

São encontradas, no município do Rio de Janeiro, águas de alta (256 mg L^{-1}) e baixa (24 mg L^{-1}) mineralização, com um valor médio de 94 mg L^{-1} . Apresenta como íon principal o cloreto, sendo de face cloretada sódica, podendo essa estar relacionada à intrusão salina ou ao aerossol marinho e, também, faces bicarbonatadas sódica e cálcica, sugerindo uma troca iônica entre Ca e Na nas áreas de recarga. As águas subterrâneas do município do Rio de Janeiro são definidas como águas minerais naturais e caracterizadas como fluoretada. Das amostras analisadas (14), duas apresentaram concentrações de fluoreto superiores ao limite de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$. Adicionalmente, foram observados três concentrações de nitrato próximas ou superiores ao limite de 10 mg L^{-1} , indicando a necessidade de um controle rígido quanto a água subterrânea neste município.

A variabilidade total dos dados de 85,5% é explicada pelos quatro primeiros fatores. O fator 1 (condutividade elétrica, Na, K, Ca, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e F⁻), responsável por 42,5% da variância total, tende a explicar processos diferentes para essas variáveis. A presença de Na, Cl^- e SO_4^{2-} podem ser proveniente da intrusão salina ou do aerossol marinho, influenciando na condutividade. Pode representar a passagem da água por rochas carbonáticas e gnaisses de composição cálcio-alcálica. A forte correlação entre Ca e F⁻ (0,80) sugere a ocorrência de veios de fluorita. O fator 2 inclui Li, Ca, Mg e HCO_3^- representa 18,1% da variância total e reforça a presença de rochas carbonáticas. O fator 3 (NO_3^- e Fe), compreende a 14,7% da variância total e parece ser indicativo de poços em regiões de baixada. O fator 4 (Na e SiO_2) poder ter sua origem a partir das gnaisses, a qual está relacionada aos minerais silicatados (feldspatos e quartzo).

Silva Jardim

Embora o município de Silva Jardim pertença à região das Baixadas Litorâneas do Estado, possui uma região serrana limítrofe ao município de Casimiro de Abreu. Desta forma, as amostras analisadas possuem características similares às daquele município, sendo águas de baixa mineralização (média do resíduo seco esperado = 41 mg L^{-1}). São águas cujo ânion predominante é o bicarbonato, com faces bicarbonatadas sódica e cálcica e cloretadas sódica. As águas subterrâneas do município de Silva Jardim são, em geral, águas minerais naturais, caracterizadas como fluoretadas.

Foram identificados 3 componentes principais responsáveis por 75,6% da variabilidade total dos dados. O fator 1 (condutividade elétrica, Na, Mg, Ca, SiO_2 , HCO_3^- e F⁻), indicando 36,9% da variância total, deve explicar um aumento gradativo de Na nas áreas de recarga pela dissolução das rochas carbonáticas (calcita e dolomita) e a presença de rochas graníticas contendo minerais como fluorita, visto que Ca e F⁻ apresentam uma correlação moderada (0,56). O fator 2 (Mg, Cl^- , SO_4^{2-} e Br^-), contribui com 22,8% da variância total e sugere a circulação da água por um depósito

subterrâneo formados pela evaporação de mares antigos. O fator 3 (Fe, SiO₂, K e Li), responsável por 15,9% da variância total, tende a relacionar a presença de potássio e lítio a rochas ígneas, nos quais esses elementos estão associados ao quartzo e feldspatos.

Teresópolis

As águas subterrâneas do município de Teresópolis mostram baixa mineralização (média do resíduo seco esperado = 32 mg L⁻¹) devido à pequena quantidade de sólidos dissolvidos promovidos pela rápida circulação da água pelas fraturas das rochas. As águas apresentam faces bicarbonatada sódica e cálcica, podendo indicar zonas de recarga com um enriquecimento de sódio, cloretada sódica, bicarbonatada potássica, associada aos silicatos alcalinos, e bicarbonatada magnésiana, originada a partir das rochas sedimentares. As águas subterrâneas do município de Teresópolis são definidas como águas potáveis naturais e águas minerais naturais, sendo estas caracterizadas em fluoretada e, eventualmente, litinada, fracamente radioativa e radioativa na fonte. Cabendo ressaltar que, uma das amostras apresentou concentração de fluoreto acima do limite de 1,5 mg L⁻¹ e outra concentração de ferro acima do limite de 0,3 mg L⁻¹.

Os cinco primeiros fatores explicam 84,4% da variabilidade total. O fator 1 (condutividade elétrica, Na, Ca, Li, F, HCO₃⁻ e SiO₂), explica 33,0% da variância total, e pode ser interpretado pela circulação rápida da água em granitos e gnaisses (feldspatos e quartzo), contendo, ainda, uma contribuição de rochas sedimentares carbonáticas cálcicas e calcita. O fator 2 (K, Mg HCO₃⁻ e SO₄²⁻), contribuindo com 18,4%, pode representar a presença de rochas sedimentares associadas a minerais como epsomita (MgSO₄.7H₂O), o qual origina-se em depósitos de evaporitos ricos em Mg e pode estar depositado como uma eflorescência sobre as rochas em consequência da evaporação das águas. O fator 3 (Fe e Br⁻), representando 12,9% da variância total. O fator 4 (K e NO₃⁻) indica 10,2% da variância total e pode estar associado ao uso de fertilizantes agrícolas, uma vez que muitas destas fontes são localizadas em áreas rurais. O fator 5, inversamente associado ao Cl⁻ e responsável por 9,9% da variância total, deve representar a substituição deste ânion por outro, no entanto, tal substituição não fica explicitada uma vez que a este fator não aparece outro ânion com carregamento positivo elevado.

Três Rios

O município de Três Rios, pertencente à região Centro-Sul do Estado, faz fronteira com o Estado de Minas Gerais. Suas águas apresentam uma faixa ampla de mineralização, de 24 a 209 mg L⁻¹, com uma média do resíduo seco esperado de 98 mg L⁻¹. Apresentam faces bicarbonatas cálcicas e sódicas e bicarbonatada magnésiana (1 amostra), possivelmente, devido à presença de gnaisses e migmatitos na zona de recarga. As águas subterrâneas do município de Três Rios são definidas

como águas naturais minerais, caracterizadas em fluoretada e, eventualmente, litinadas ou ferruginosas. Em relação à presença de ferro, três amostras apresentaram valores elevados de concentração de ferro, atingido 12 mg L^{-1} .

Interessante verificar a complementaridade dos resultados da avaliação das faces das águas envolvendo o diagrama de Piper (Figura 4a) e os resultados obtidos através da avaliação dos dados pela técnica dos fatores principais (Figura 4b), onde águas de mesma face são separadas por sua maior ou menor mineralização.

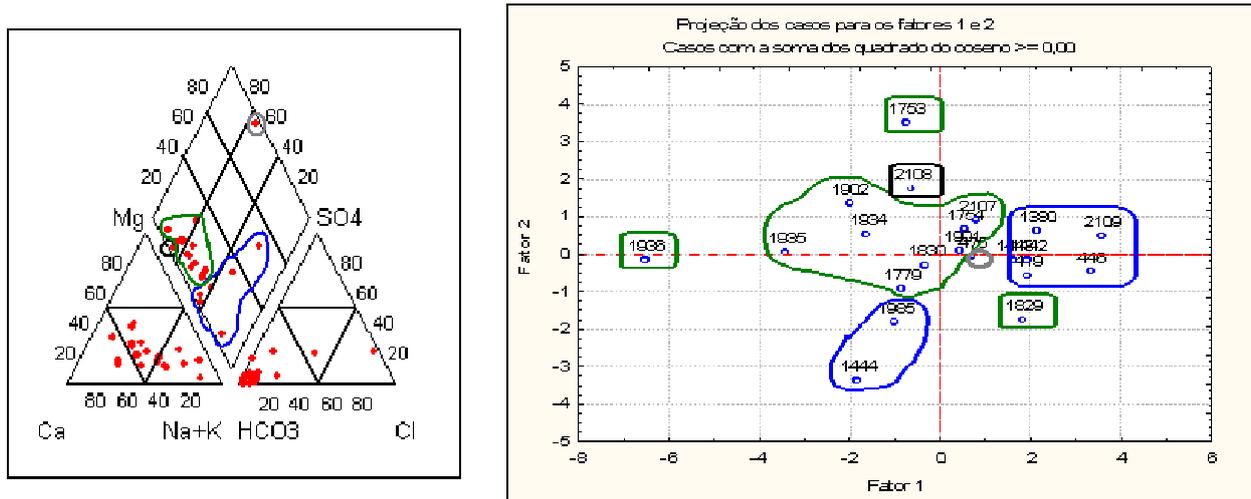


Figura 4: a) Diagrama de Piper das amostras de água analisada referentes ao município de Três Rios b) Gráfico de dispersão das componentes principais Fator 1 e Fator 2 (Azul - bicarbonatada sódica; verde - bicarbonatada cálcica; amarela - cloretada sódica; preto - bicarbonatada magnesiânica; cinza - cloretada cálcica).

A variabilidade total dos dados de 75,2% é explicada pelos quatro primeiros fatores. O fator 1 (Mg, K, Ca, Li e SiO_2) representa 26,2% da variância total e pode estar associado à presença de gnaisses e migmatitos, relacionados aos feldspatos, biotita, quartzito e rochas calciossilicáticas. O lítio pode ser encontrado em pegmatitos, nos quais está associado ao quartzo. O fator 2 (condutividade elétrica, Na e HCO_3^-), explicando 24,6% da variância total, deve indicar o processo de dissolução dos minerais citados no fator 1 em uma área de recarga, por águas carbonáticas, onde ocorra um possível aumento na concentração de sódio proveniente do feldspato. O fator 3 (NO_3^- e F^-), responsável por 13,1% da variância total, representa processos distintos. As concentrações de nitrato encontradas, entre $0,10$ e $6,00 \text{ mg L}^{-1}$, devem estar associadas à contaminação por fertilizantes agrícolas. E, a presença de fluoreto, correlacionado moderadamente com o Ca (0,51), pode indicar a percolação das águas pelos por regiões contendo fluorita. O fator 4 (Fe e Br), compreendendo a 12,3 % da variância total.

Mapas Temáticos

Os mapas temáticos foram desenvolvidos tomando por base a divisão político-administrativa do Estado do Rio de Janeiro e a composição química das águas subterrâneas obtidas através das médias dos valores encontrados para, por exemplo, as variáveis fluoreto e condutividade elétrica. Estes mapas têm como objetivo auxiliar a tomada de decisão quanto ao aproveitamento comercial de fontes naturais de água subterrânea existentes no estado.

Embora os mapas obtidos apresentem algumas deficiências como o fato de não haver resultados para todos os municípios e de utilizar valores médios para municípios muito extensos e com características geológicas muito diferentes em setores de sua área de abrangência, a idéia básica parece válida. Por exemplo, considerando a região central do estado, podemos esperar águas de baixa a média condutividade e, potencialmente, classificáveis como fluoretadas. Por outro lado, as águas da região Norte-Noroeste, mais alcalinas, possuem uma maior concentração de sais dissolvidos, logo, maior condutividade, sendo, também, classificáveis como fluoretada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2004. Portaria 518 de 25 de março de 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2005. Regulamento Técnico para Águas Envasadas e Gelo. Resolução RDC 274 de 23 de setembro de 2005.

BACK, W., 1966. Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geological Survey Professional Paper 498-A.

CAPUCCI, E.; Martins, A.M.; Mansur, K.L. e Monsorens, A.L.M., 2001. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientações aos usuários. Rio de Janeiro. SEMADS, p.70.

COTHERN, C.R. e Rebers, P., 1990. Radon, radium, and uranium in drinking water. Lewis Publishers, INC. p. 286.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Código de Águas Minerais, Decreto-Lei Nº 7.841 de 08 de Agosto de 1945.

GUERRA, A.T. e Guerra, A.Y.T., 1997. Novo dicionário geológico geomorfológico. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.

LANDIM, P.M.B., 2000. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro. Texto

Didático 03. 128p. www.rc.unesp.br/iqce/aplicada/textodi.html acessado em junho de 2005.

LUCENA, L.F.R.; Rosa Filho, E.F.; Bittencourt, A.V.L., 2004. Características hidroquímicas do aquífero barreiras no âmbito do setor oriental da Bacia do Rio Pirangi - RN. Revista Águas Subterrâneas. Curitiba-PR. v. 18. n. 18. p. 29-38.

MARTINS, A.M., 2002. Águas minerais do Estado do Rio de Janeiro/ Aderson Marques Martins; Kátia Leite Mansur; Flavio Luiz da Costa Erthal; Ronaldo da Costa Maurício; Lucio Carramillo Caetano. Niterói, RJ: Departamento de Recursos Minerais do Governo do Estado do Rio de Janeiro. 121 p.

MONSORES, A.T.; Silva Junior, G.C.; Nummer, A.R.; Resende, A.C.M.V., 2004. Estudos hidrogeoquímicos e hidrogeológicos em aquíferos fraturados no noroeste fluminense: bacia superior do Córrego do Açude – Distrito de Raposo – Município de Itaperuna. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004. Cuiabá. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo: Associação de Águas Subterrâneas. v1.

PIPER, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions - American Geophysical Union 25. 914-923.