



INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO NA QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA, AQÚIFERO PIRANEMA – BACIA DE SEPETIBA, RJ

Eduardo D. Marques^{1,2,3}, Décio Tubbs² & Emmanoel V. Silva-Filho¹

¹ Instituto de Química, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Centro, CEP: 24.020-007, Niterói, RJ, Brasil

² Instituto de Agronomia, Depto. de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP: 23.890-000, Seropédica, RJ, Brazil

³ Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte CEP: 30.140-002, Belo Horizonte, MG, Brasil

Recebido em 05/07, aceito para publicação em 11/08

ABSTRACT

The groundwater in the Piranema region, Seropédica town - Rio de Janeiro State, was monitored by eight wells between July and December 2003, in order to describe the influence of freatic surface variations on the water chemistry of the Piranema sedimentary aquifer. During the dry season, the wells showed its lowest average values for electrical conductivity, probably due the low water mineralization, while the dry residue and pH presented its highest values due the major water residence time in the sediments. At wet season, with the water table rising, there is a major groundwater dilution by rainwater and, consequently, decreasing the dry residue. On the other hand, the water table rising allows the groundwater to be in contact to contamination plume from septic graves, increasing electrical conductivity and decreasing pH by organic matter oxidation. Therefore, the electrical conductivity showed to be a good tool for waste water contamination monitoring in groundwater. Beyond this fact, the sand pits, located in NE of the area, make the drawdown of water table, interrupting the well pumping by the population of Piranema region.

RESUMO

A água subterrânea na região do bairro Piranema, município de Seropédica – RJ, foi monitorada em oito poços entre julho e dezembro de 2003, (final do período de estiagem até meados do período de chuvas), com a finalidade de caracterizar a influência das variações do lençol freático na química dessas águas. Durante o período de estiagem, a condutividade elétrica apresenta seus menores valores médios provavelmente devido à baixa mineralização das águas, enquanto que o pH e o resíduo seco total mostraram seus mais altos valores, refletindo maior tempo de residência da água. No período chuvoso, com a ascensão da superfície freática, ocorre diluição dessas águas com conseqüente diminuição do resíduo seco. Por outro lado, essa elevação coloca em contato as águas com a pluma de contaminação oriunda de fossas sépticas, aumentando a condutividade elétrica e diminuindo o pH provavelmente pela oxidação de matéria orgânica. Portanto, a condutividade elétrica se mostrou uma

ferramenta adequada para o monitoramento de efluentes domésticos nessas águas subterrâneas. Além disso, as cavas de extração de areia influenciam artificialmente as variações do lençol freático, prejudicando o abastecimento para a população local.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a humanidade vem se defrontando com uma série de problemas ambientais, financeiros, econômicos e sociais. Neste quadro, as preocupações ambientais e em particular com a água, adquirem especial importância, pois as demandas estão se tornando cada vez maiores, não só devido ao crescimento acelerado da população, mas, sobretudo por seu maior consumo, imposto pelos padrões de conforto e bem-estar da vida moderna (Rebouças et al., 2002). Por outro lado, a qualidade das águas vem sendo degradada de maneira alarmante, e esse processo pode logo ser irreversível, sobretudo, nas áreas mais densamente povoadas do planeta (Falkenmark, 1986).

No atual contexto, as águas subterrâneas desempenham um importante papel no abastecimento para a população, principalmente com relação à qualidade da água a ser consumida se comparada à situação de grandes rios e lagos naturais (Hirata, 2000).

A qualidade da água subterrânea é definida por sua composição química que, por sua vez, depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao aquífero (Feitosa, 2000). Os fatores intrínsecos dizem respeito à própria geologia do aquífero, principal fonte de íons para as águas subterrâneas, dependendo claro da composição litológica do mesmo. Já os fatores extrínsecos são aqueles que contribuem com a composição das águas, relativo a outras fontes, tais como águas pluviais, atividades antrópicas (contaminação por vários meios), além da zona de misturas com outros corpos d'água (interface rio-aquífero, lago-aquífero ou contato entre aquíferos de

características diferentes).

A qualidade da água pode ser avaliada por uma série de métodos, dentre os quais se destaca a análise de cátions e ânions presentes na água, e como complemento para tal análise, tem-se as medidas de resíduo seco da água (ou resíduo de evaporação) e medidas em campo de parâmetros físico-químicos, tais como condutividade elétrica e pH. Estes parâmetros se mostram eficientes para uma rápida avaliação da qualidade de água subterrânea, ou seja, boas ferramentas para indicar variações na composição química da mesma. Neste sentido, a condutividade elétrica está diretamente associada à concentração total de sais dissolvidos na água, medida pela intensidade da corrente elétrica (expressa em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). O resíduo seco, por sua vez, é uma medida da quantidade dos sais resultantes da evaporação em um dado volume de água e, em última análise, uma confirmação da medida de condutividade elétrica, pois quanto maior a condutividade da água maior seria a quantidade de sais nela dissolvidos; o pH, por outro lado, é uma medida do potencial de íons hidrogênios da água, indicando a acidez ou basicidade da mesma, o que pode fornecer informações sobre solubilidade de certos componentes, tais como sílica, Fe, Mn, Al e outros metais-traços, através de reações de hidrólise e/ou adsorção pelo material geológico presente, além de ser indicativo de troca de bases (Hem, 1985; Stumm & Morgan, 1996).

A região de estudo está geologicamente localizada na Bacia Sedimentar de Sepetiba, com boas condições de armazenamento e transmissão de água subterrânea (boa porosidade e permeabilidade), consti-

tuindo-se, então, no sistema aquífero denominado “Aquífero Piranema” (Figura 1). Este aquífero pode ser caracterizado por grandes flutuações de nível da superfície freática ao longo dos períodos sazonais (diferentes regimes de chuva), já que se trata de um aquífero essencialmente livre. Porém, tal região é afetada por atividades humanas, o que também interfere na dinâmica física e

química da água no aquífero.

Assim, o objetivo deste estudo é, a partir do conhecimento do comportamento de parâmetros físico-químicos da água (condutividade elétrica, pH e resíduo seco), discutir como as variações do lençol freático influenciam na química das águas do aquífero Piranema e suas implicações no(s) uso(s) da água.



Figura 1: Limites do aquífero Piranema e localização da área de estudo (área circundada na parte inferior da ilustração). Note, também na parte inferior da ilustração, o grande número de cavas de extração de areia ao longo da área.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA EM ESTUDO

A Bacia Sedimentar de Sepetiba

ocupa uma área correspondente a cerca de 4% da área do Estado do Rio de Janeiro, estando delimitada pela linha cumeada da Serra do Mar, onde nascem

os rios que deságuam na Baía de Sepetiba e formadores da bacia hidrográfica do Rio Guandu, a saber, rios da Guarda e Guandu-Mirim (SEMA, 1996). Esta bacia ocupa uma área de cerca de 2.000 km², sendo que 70% de sua área total correspondem a uma planície aluvionar (Figura 1), onde se localiza o município de Seropédica, região do estudo, inserida entre as coordenadas UTM horizontais (7.470.000 e 7.478.000 Norte) e verticais (630.000 e 638.000 Leste).

O Rio Guandu, o principal fornecedor de água para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), se originou na década de 1950, através da transposição das águas dos rios Ribeirão das Lages, Piraí e Paraíba do Sul, para inicialmente gerar energia e posteriormente suprir a crescente demanda de água na Região Metropolitana da Cidade do Rio de Janeiro. As águas deste rio são captadas

e tratadas pela maior estação de tratamento de água da América Latina, a Estação de Tratamento (ETA) do Guandu, e distribuídas para aproximadamente 8,5 milhões de pessoas (Rios & Berger, 2002).

A região de estudo, no bairro Piranema (Figura 2), está localizada no município de Seropédica (a oeste da cidade do Rio de Janeiro). Apesar da relativa proximidade da ETA do Guandu, a água subterrânea é a única fonte de abastecimento para a população local. Por outro lado, o uso da água subterrânea nesta região é comprometido pela atividade de mineração de areia, que localmente altera o fluxo subterrâneo da região. Além disso, a falta de saneamento básico na região propicia a contaminação das águas subterrâneas, através da infiltração de efluentes domésticos provenientes de fossas sépticas e valas abertas acima do aquífero (Barbosa, 2005).

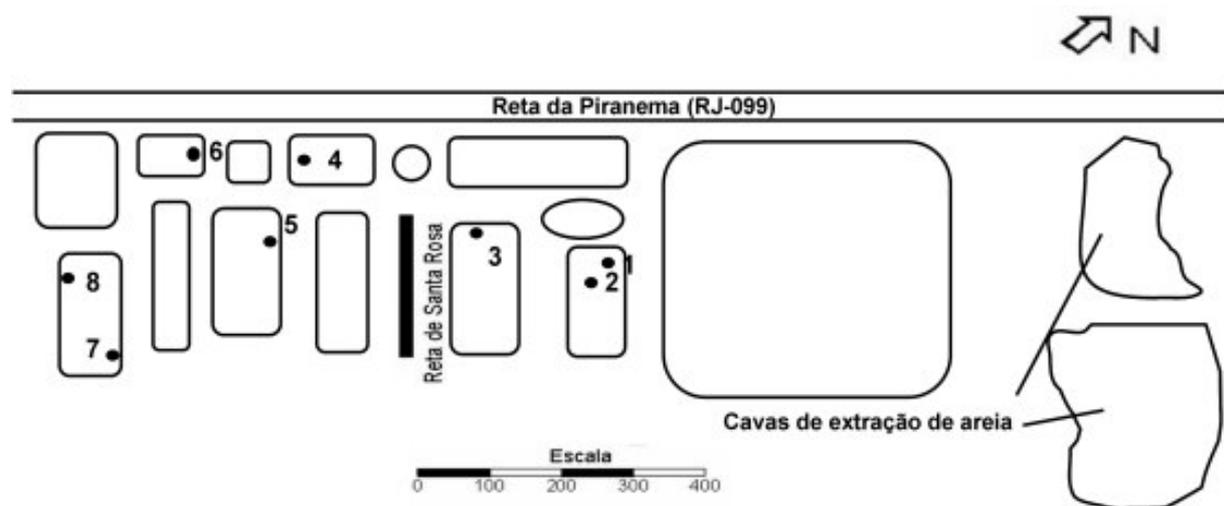


Figura 2: Área de estudo ampliada (área circundada na Figura 1), mostrando a disposição dos poços monitorados e das cavas de extração de areia mais próximas.

Em resumo, a geração de energia, o bombeamento de água pela ETA do Guandu, a exposição do lençol freático pela mineração de areia aliado à alta evapotranspiração na região, provocam significativas oscilações do nível d'água, com reflexos diretos não só na quantidade, mas também nas características químicas da água, podendo

inclusive comprometer seu uso para fins domésticos.

Devido a sua posição litorânea, a topografia exerce uma forte influência na delimitação de áreas mais chuvosas e menos chuvosas na área de estudo. Os ventos são do quadrante Sul, de onde são provenientes os principais sistemas

produtores de chuva na região, ou seja, os sistemas frontais (Nimer, 1977). Essa região possui clima úmido, com temperaturas médias elevadas (acima de 18°C) o ano inteiro e precipitação média anual em torno de 800 mm (SEMA, 1996). As chuvas são distribuídas em dois períodos bem marcados (Estação Pluviométrica de Santa Cruz – GEORIO – Figura 3), com menores intensidades registradas entre abril e outubro e as maiores entre novembro e março.

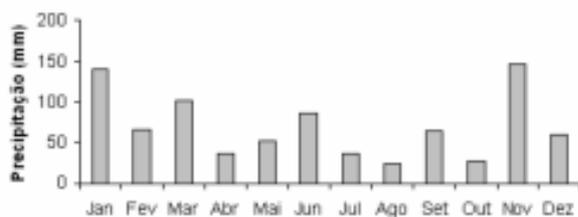


Figura 3: Média histórica de precipitação pluviométrica entre os anos de 1976 e 2004 (GEORIO, Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro – Estação pluviométrica de Santa Cruz).

A geologia local é formada por depósitos sedimentares quaternários de ambiente aluvionar (fluvial, flúvio-marinho e flúvio-lacustre), sobrepostos ao arcabouço pré-cambriano. Os sedimentos integram a Formação Piranema (Góes, 1994), sendo representados por duas unidades. A inferior apresenta fácies arenosa pleistocênica, constituída por areias de granulometria média a muito grossa com cascalho, geralmente basal, principalmente de quartzo e feldspato. A unidade superior, denominada aluvionar é formada por fácies siltico-argilosa holocênica. Perfurações na região indicam espessuras que variam entre 16 e 25 m. Sondagens geofísicas registram profundidades do embasamento entre 50 a 60 m para a área do Piranema. Todavia, existem registros bibliográficos acusando espessura de 75 m (Eletrobolt, 2003). A mineralogia do aquífero Piranema foi caracterizada superficialmente por Berbert (2003), através de sondagens. Tal estudo revelou porcentagens de

82,09% para quartzo, 14,22% para feldspatos (não especificando a predominância de k-feldspato ou plagioclásio) e 1,65% para minerais micáceos e fragmentos de rocha, classificando, então, a fração areia em sub-arcoseana. O mesmo autor apontou a presença de sedimentos reduzidos, com odor característico do gás sulfídrico, indicando possivelmente ambiente pretérito de deposição sedimentar pantanosa, com presença de matéria orgânica.

Quanto à hidrogeologia local, observações preliminares sugerem níveis aquíferos múltiplos ou superpostos, constituindo o “Aquífero Piranema”, geralmente de ocorrência livre, localmente confinado, constituído por matriz grosseira arcossiana, separados eventualmente por argilas de ocorrência e espessura variável. O nível da água subterrânea varia entre poucos centímetros a 7,5 m, com média de 2,5 m, conforme a estação climática. A água subterrânea é pouco mineralizada, apresentando baixos valores de condutividade elétrica e pH, contudo, localmente podem ocorrer concentrações elevadas de ferro, manganês, bário e sulfato (Tubbs, 1999). Estes aquíferos são representados pelas camadas superficiais da bacia, que por sua vez são caracterizadas por pacotes arenosos com espessuras médias em torno de 3,0 m, não apresentando padrões constantes e tampouco grandes continuidades laterais (Berbert, 2003). Além dos depósitos sedimentares, as coberturas do solo oriundas das alterações das rochas cristalinas podem gerar um sistema com características superficiais de aquífero poroso e gradualmente, à medida que a profundidade aumenta, revertendo para características de sistemas fraturados (Eletrobolt, 2003).

A química dessas águas é influenciada por certas características do aquífero, como a natureza livre do mesmo (maior influência de águas pluviais) e a

matriz sedimentar K-feldspática de difícil dissolução (baixa concentração de K⁺). O predomínio do íon cloreto dentre as espécies aniônicas pode ser explicado pela proximidade do mar. Valores reduzidos do íon bicarbonato podem ser explicados pelos baixos valores do pH. A baixa concentração de sulfato pode estar condicionada à ausência de níveis orgânicos significativos (Tubbs, 1999). Quanto aos cátions, considerando o ambiente geológico da área, a predominância do íon sódio é considerada normal, proveniente da dissolução dos plagioclásios sódicos e, subordinadamente, dos aerossóis marinhos (Marques, 2006). A ausência de minerais contendo cálcio e magnésio e a alta mobilidade desses elementos podem explicar a baixa ocorrência de ambos nas águas analisadas. A água subterrânea da região foi classificada pelo diagrama trilinear de Piper-Hill, como cloretada-sódica (Barbosa, 2005).

Ao final da década de 1960, com o aumento significativo da construção civil na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, a atividade extrativa-mineira, principalmente agregados para construção civil, fora atraída para a região da Piranema pela ocorrência de areia, argila, caulim e rochas com potencial para o manufaturamento de brita (BERBERT, 2003). Com isso, a mineração se tornou a principal atividade econômica da região entre os municípios de Itaguaí e Seropédica, com ênfase na mineração de areia, tornando-se um dos principais distritos areeiros do Brasil. O Distrito Areeiro de Seropédica-Itaguaí supre, hoje, cerca de 70% da areia para a construção civil na região metropolitana, atualmente com mais de 80 empresas de extração de areia em atividade, sendo 71 delas legalmente habilitadas à lavra, obtendo o Termo de Compromisso de Ajuste de Conduta Ambiental Preliminar, enquanto que destas, 66 obtêm Termo de Compromisso de Ajuste de Conduta Ambiental

Definitivo. Segundo dados obtidos pelo Relatório Anual de Lavra, somente 38 dessas 71 empresas, no ano de 2002, produziram cerca de 720.000,00 m³ de areia, com arrecadação de R\$ 7.000.000,00.

O processo de extração de areia se dá através da retirada das camadas sedimentares superficiais, caracterizadas por depósitos de areia, fazendo com que a superfície freática do Aquífero Piranema aflore, preenchendo as cavas resultantes. O afloramento da superfície freática, de certa forma, contribui para a maior facilidade da retirada da areia das cavas produzidas, pois auxilia no desmonte dos depósitos de areia, dependendo somente da draga para a extração.

Apesar de sua importância para a região metropolitana do Rio de Janeiro, a mineração de areia causa impactos que comprometem a qualidade da água para o consumo da população local, como, por exemplo, o rebaixamento do lençol freático e a contaminação por óleo combustível provindo das dragas de extração. Além disso, a formação destas cavas, no que diz respeito à segurança de trabalho, é de extrema periculosidade, pois não se trata de uma simples lagoa, formada por uma depressão geográfica, e sim de uma cava com bordas instáveis pela falta de sustentação em sua base.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a amostragem das águas subterrâneas, foram escolhidos oito poços utilizados por moradores na região (Figura 2). Estes poços estão distribuídos na parte mais populosa do bairro Piranema e, conseqüentemente, estão sujeitos à maior influência de atividades antrópicas, com destaque para a infiltração no terreno de efluentes domésticos. Esta amostragem foi realizada nos meses de julho e setembro (que representam o período de baixa

intensidade de chuvas) e novembro e dezembro de 2003 (maior pluviosidade). Ressalta-se que foi feita apenas uma amostragem em cada poço nos quatro meses supracitados, sempre ao final de cada mês, com o intuito de contabilizar a pluviosidade mensal. Todos os poços são revestidos com tubos de PVC e acoplados a uma bomba de sucção, com profundidade variando entre 7 a 12 m. Condutividade elétrica, pH e temperatura, foram medidos com auxílio de um equipamento de campo da marca WTW-LF, modelo 330. Nas medidas de pH foram utilizadas soluções tampão de calibração 4 e 7, enquanto que para a determinação da condutividade foi utilizada solução de calibração de $1.431 \mu\text{S cm}^{-1}$.

O nível da água nos poços foi medido com o auxílio de uma trena elétrica. O resíduo seco total foi determinado através do peso do resíduo obtido da evaporação de um 1 litro d'água, a 110°C .

Mapas de isolinhas foram construídos utilizando-se o programa *Surfer 7.0* através do método de interpolação por crigagem. Este programa possui o recurso de produzir blocodiagramas, o que facilita a visualização em profundidade dos dados.

Considerou-se a própria superfície do terreno como *datum* para nivelamento dos poços devido ao alto grau de aplainamento do terreno (declividade < 20%).

RESULTADOS

Na tabela 1 estão apresentados os valores médios e desvios-padrão dos parâmetros analisados durante as amostragens. Os altos desvios-padrão para condutividade e resíduo seco refletem, provavelmente, a elevada variabilidade na composição química

dessas águas. A condutividade elétrica variou de 99 a $464 \mu\text{S/cm}$; a concentração de resíduo seco total variou de 300 a 8100 mg/l ; o valor de pH variou de 4,2 a 5,6 enquanto que a profundidade do nível d'água variou de 1 a 8,3 m.

Na figura 4 é apresentada a distribuição da pluviosidade no período estudado correlacionada à profundidade média dos poços. Os valores de pluviosidade mensais, durante o período de amostragem, mostram-se atípicos quando comparados aos valores históricos apresentados na figura 3. Os meses de julho e setembro apresentaram os maiores valores de profundidade média do nível d'água (5,8 e 5,3 m, respectivamente) e menor precipitação pluviométrica (14 e 67 mm, respectivamente). Durante os meses de novembro e dezembro (estação chuvosa) foram obtidos os menores níveis médios (1,9 e 2,3 m, respectivamente) e maior pluviosidade (96,8 e 161,8 mm, respectivamente). Esses dados sugerem que o aquífero responde rapidamente às variações de pluviosidade na região.

A tabela 1 mostra os resultados obtidos para a condutividade elétrica (CE). Esses resultados mostram que o menor valor médio de CE foi obtido no mês de julho e o maior valor médio no mês de dezembro (estação chuvosa). O resíduo seco total e o pH, ao contrário da condutividade elétrica, seguem um padrão inverso ao da pluviosidade, com valores médios maiores em julho e menores em dezembro.

A figura 5 apresenta a distribuição espacial dos parâmetros estudados em função da localização dos poços, nas quatro campanhas realizadas. A condutividade elétrica (Figura 5A) apresentou comportamento semelhante nos poços durante as amostragens de setembro, novembro e dezembro, com os maiores valores obtidos para o poço 5. A amostragem realizada em julho, com os

Tabela 1: Valor médio, desvio-padrão, máximo, mínimo e n amostral 8 para os parâmetros analisados para a água subterrânea em cada amostragem.

Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)				
	Média	Desv. Pad.	Máximo	Mínimo
Julho	142,8	37,9	224,5	99,1
Setembro	250,2	100,3	464,5	167,4
Novembro	249,1	96,2	410,3	175,5
Dezembro	255,4	73,2	373,7	179,0
Resíduo Seco (mg/l)				
	Média	Desv. Pad.	Máximo	Mínimo
Julho	4403,2	2826,1	8107,4	1101,0
Setembro	2270,6	2092,9	7704,5	1000,2
Novembro	4201,7	2391,0	8000,7	1708,6
Dezembro	2549,2	2003,5	5609,8	300,3
H				
	Média	Desv. Pad.	Máximo	Mínimo
Julho	n.d.*	-	-	-
Setembro	5,3	0,2	5,6	5,1
Novembro	5,0	0,1	5,3	4,8
Dezembro	4,5	0,3	4,9	4,2
Profundidade (metros)				
	Média	Desv. Pad.	Máximo	Mínimo
Julho	5,8	1,2	8,3	5,0
Setembro	5,3	0,5	6,0	4,1
Novembro	1,9	0,8	2,9	1,0
Dezembro	2,3	0,4	2,8	1,5

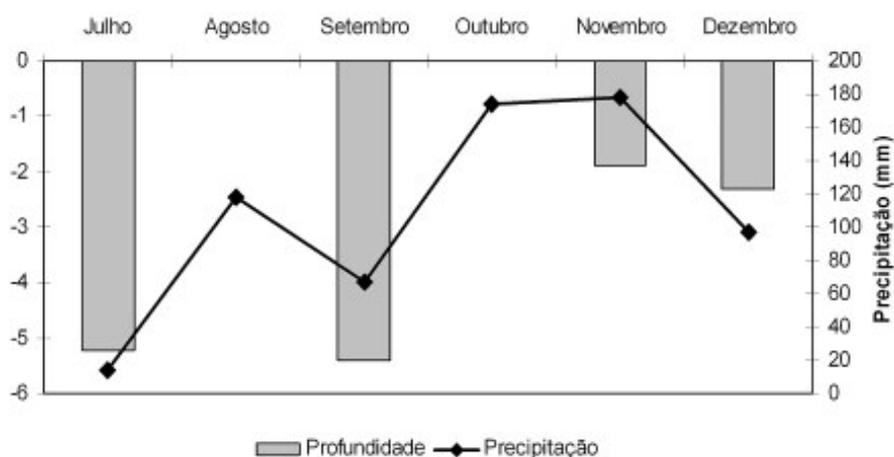


Figura 4: Distribuição da pluviosidade (GEORIO, Prefeitura do Rio de Janeiro, estação pluviométrica do município de Santa Cruz) e valores médios de profundidade no período amostrado.

menores valores de condutividade, mostrou comportamento diferenciado das demais, com o poço 4 apresentando

o maior valor de condutividade elétrica.

Ao contrário da condutividade

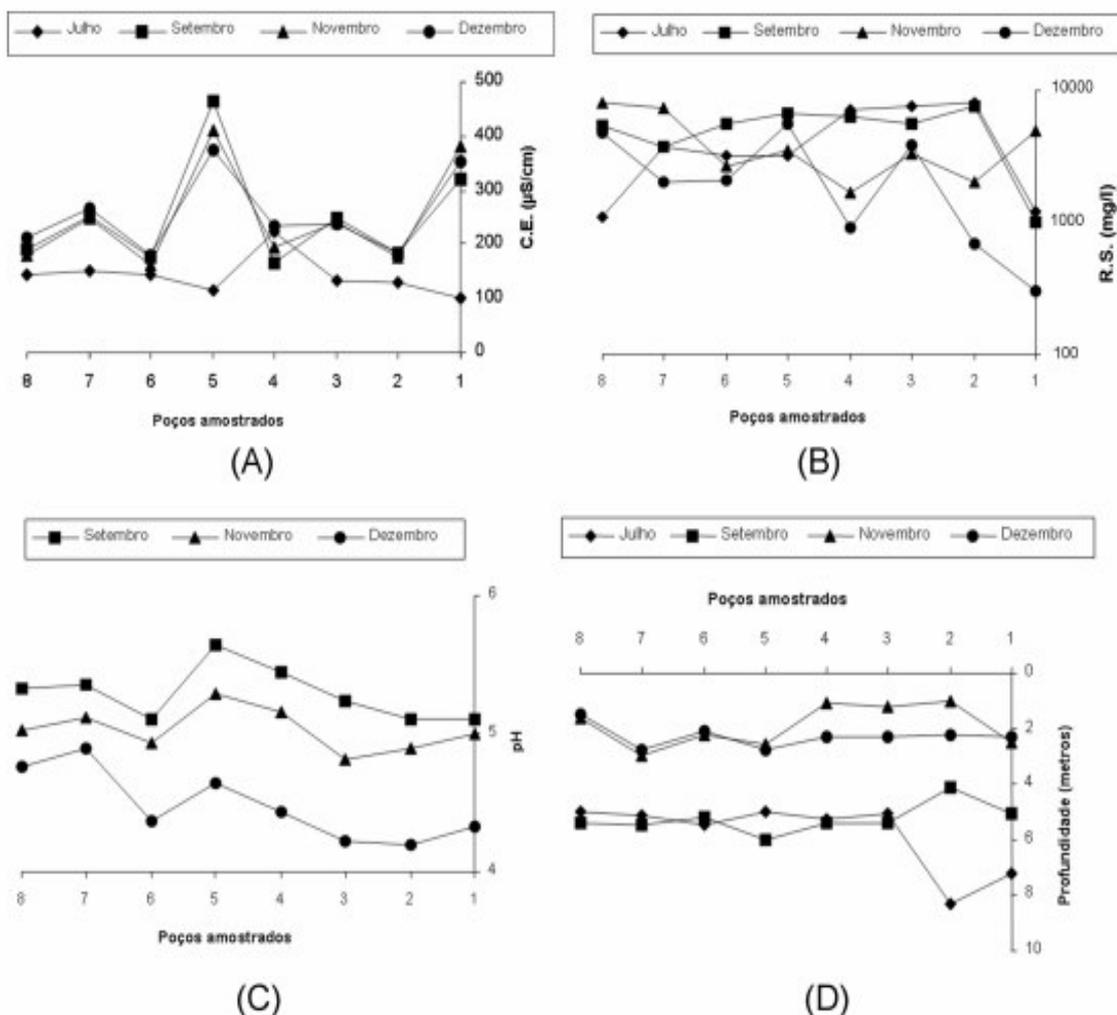


Figura 5: Variação temporal e espacial dos parâmetros nos poços amostrados: condutividade elétrica (gráfico A), resíduo seco total (gráfico B), pH (gráfico C) e profundidade da superfície freática (gráfico D). A amostragem de julho para pH, não foi efetuada devido a problemas com o eletrodo.

elétrica, o resíduo seco (Figura 5B) não mostrou padrão definido de comportamento. Nos meses de julho e setembro (períodos menos chuvosos), os poços 1, 2, 3 e 4, localizados a nordeste da área, apresentaram comportamento semelhante e com valores aproximados de resíduo seco. No entanto, os poços localizados a sudoeste da área (poços 7 e 8) não mostraram tal comportamento. Nos meses de novembro e dezembro, os poços 2, 3, 4 e 5 também apresentaram comportamento similar, diferindo dos demais poços mais a sudoeste que não mostraram tal semelhança.

Assim, considerando-se o conjunto de amostragem, os poços a nordeste possuem maior variação nos valores de

resíduo seco quando comparados aos localizados a sudoeste. Esta distribuição espacial provavelmente está associada à exploração de areia que se concentra mais a nordeste do bairro Piranema.

Os valores de pH (Figura 5C) mostram um comportamento semelhante ao longo de todo o período estudado, com tendência de elevação da área nordeste (poço 1) para a sudoeste (poço 8). Os menores valores de pH obtidos a nordeste da área, a exemplo do resíduo seco, provavelmente estão associados à grande exposição de níveis orgânicos antigos resultantes da exploração de areia (Berbert, 2003; Marques, 2006).

Com exceção aos poços 1 e 2

(nordeste), o nível de profundidade da água nos poços (Figura 5D e Figura 6) apresentou valores similares nos meses de julho e setembro. O mesmo ocorreu nos meses de novembro e dezembro, exceto para os poços 2, 3 e 4 (com diferença de aproximadamente 1 m). O mês de julho, que corresponde ao período de estiagem, foi o que apresentou as maiores profundidades, com destaque para os poços 1 e 2, localizados a nordeste da área. Nas amostragens seguintes, as maiores profundidades (principalmente no poço 5) se concentraram na parte central e sudoeste da área em estudo.

Desta forma, e contrariamente ao esperado, a condutividade elétrica não apresentou relação direta com o resíduo seco. Isto provavelmente está associado a diferenças na litologia, a mineração de areia no lado nordeste da área e a contaminação da água subterrânea por efluentes domésticos, que se refletem nos altos valores dos desvios-padrão para



A sílica presente nesta reação encontra-se no estado coloidal, segundo as faixas de pH observadas (Marques, 2006; Dixit & Van Cappellen, 2002; Carvalho, 1995; Yariv & Cross, 1979), levando ao incremento nos valores de resíduo seco, porém, apresentando baixos valores de condutividade elétrica.

No período chuvoso, com a ascensão do lençol freático, a condutividade elétrica aumenta, enquanto a quantidade de resíduo seco e o pH diminuem. Isto significa que há maior lavagem dos sedimentos do aquífero, ou seja, a água subterrânea sofre diluição. O comportamento antagônico entre a condutividade elétrica e o pH provavelmente esteja relacionado a mistura da água subterrânea com a pluma de contaminação por efluentes domésticos, encontrada nas camadas aquíferas

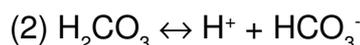
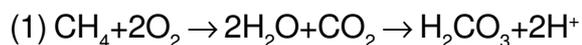
os oito poços (Tabela 1) e, por conseguinte, na variabilidade espacial observada.

DISCUSSÃO

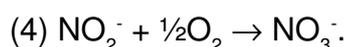
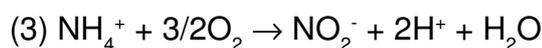
Em períodos de estiagem, de acordo com os valores médios apresentados na tabela 1, a água subterrânea possui baixa condutividade elétrica e altos valores de resíduo seco e de pH. Os valores de resíduo seco podem ser explicados pelo maior tempo de residência da água neste período, permitindo maior contribuição do material geológico, apesar de mineralogicamente pobre. Este material, de composição essencialmente quartzo-feldspática, possui baixa solubilidade em água (altamente refratário) e, portanto, fornece poucos componentes iônicos ao meio. O intemperismo destes sedimentos, a exemplo da reação sobre o k-feldspato (Equação 3), pode fornecer argilo-minerais e sílica, ou seja, maior quantidade de material insolúvel.

menos profundas, provenientes de fossas sépticas e valas negras presentes na região de estudo (Barbosa, 2005).

Nesta mistura destacam-se os processos de oxidação da matéria orgânica (decomposição – Deutsch, 1997 – Equação 1 e 2), que resultará na formação do ácido carbônico



e de oxidação do íon amônio mediado por bactérias (*Nitrossomonas* para a transformação do amônio em nitrito e *Nitrobacter* de nitrito em nitrato – Esteves, 1998 – respectivamente Equações 3 e 4).



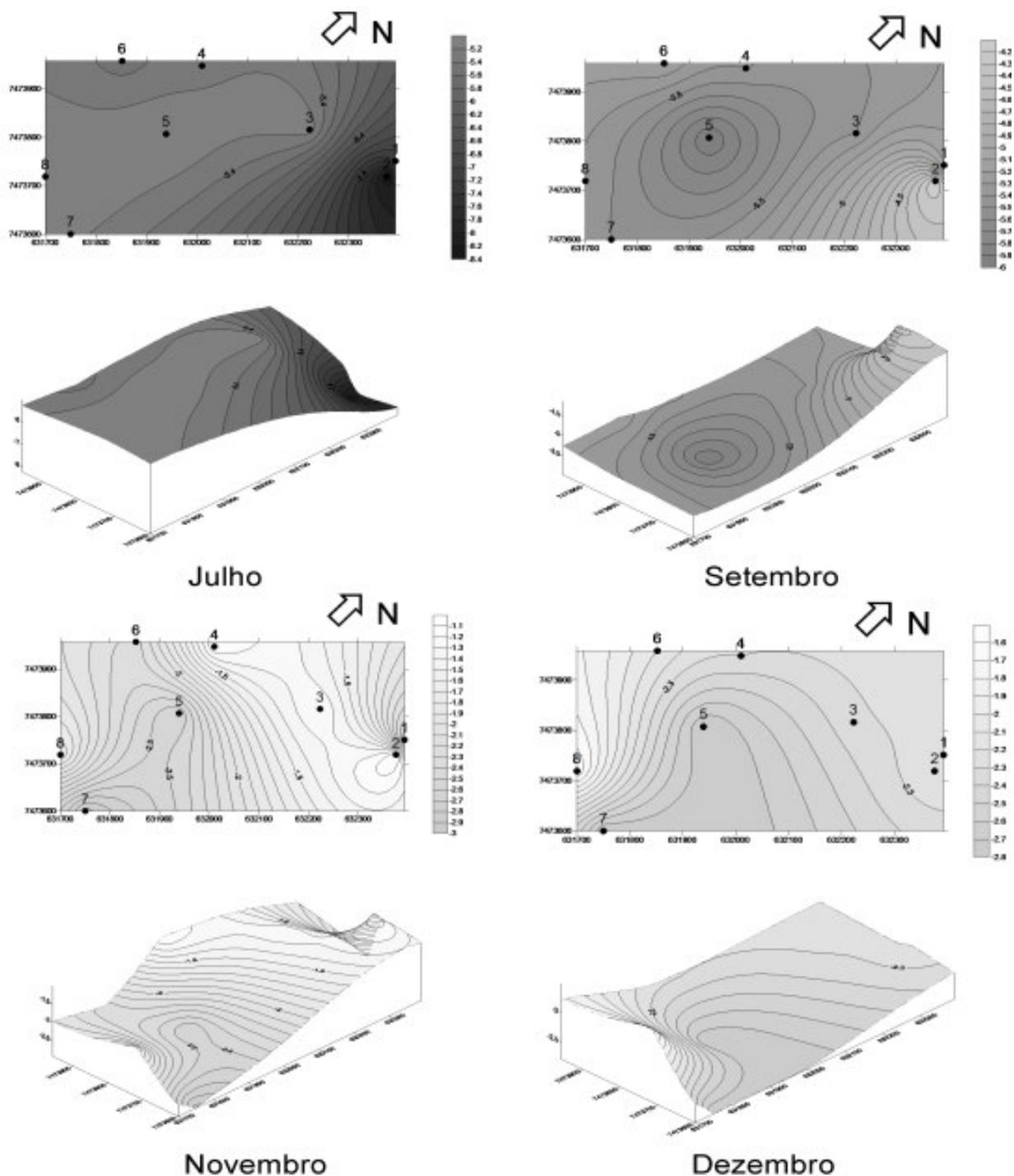


Figura 6: Mapa de isovalores de profundidade da superfície freática configurada a partir dos 8 poços durante o período estudado. Setas indicam o sentido de fluxo da água subterrânea devido à diferença de carga hidráulica. Escala: 1:10.000.

As reações de oxidação da matéria orgânica e do íon amônio contribuem tanto para os baixos valores de pH quanto para o aumento da condutividade elétrica, associada ao incremento da concentração do íon nitrato na área de estudo, sobretudo durante o período chuvoso. Barbosa (2005) em estudo realizado nos mesmos

poços aqui analisados observa aumento dos valores médios de condutividade elétrica, concomitante ao incremento nas concentrações de nitrato (média de 29,8 mg/L e máxima em torno de 60 mg/L), do período seco para o período chuvoso. Rulkens *et al.* (1998) e Vervoort *et al.* (1998), observaram resultados semelhantes em estudos sobre contaminação

por efluentes agrícolas em corpos d'água de superfície e subsuperfície.

A fim de dar subsídios a hipótese de que a condutividade elétrica possa ser um indicador da contaminação por nitrato e, conseqüentemente, indicador de efluentes domésticos, foi feita uma comparação entre os valores observados em poços do bairro Piranema (impactada por efluentes domésticos) com aqueles obtidos de uma cava de extração de areia abandonada estudada por Marques (2006). Dois aspectos podem atestar que esta cava estaria livre de contaminação: i) localização e direção de fluxo da água subterrânea para sul em direção à Baía de Sepetiba e ii) concentrações de nitrato sempre abaixo do limite de detecção (<0,01 mg/l).

Para comparação dos dados, foi

aplicado o teste de variância para pequenas amostras, teste-t de *Student*. Os resultados obtidos (Tabela 2) mostram que a água da cava possui valor médio de condutividade elétrica (128 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) comparável ao obtido no mês de julho (142 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), no qual se supõe que o nível freático ainda não tenha atingido a pluma de contaminação existente na área, em níveis mais rasos. Portanto, a hipótese de igualdade (H_0) das médias é aceita, a um nível de significância de 95%. Entretanto, ao se comparar os valores médios de condutividade elétrica da cava com os valores das demais amostragens (250, 249 e 255 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, para os meses de setembro, novembro e dezembro, respectivamente) a hipótese inicial é rejeitada, sugerindo mistura da água com a pluma de contaminação a menores profundidades neste período.

Tabela 2: Valores médios de nitrato e condutividade elétrica e valores de pluviosidade no período amostrado por Barbosa (2005).

Teste-t para Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)						
Média a ser comparada = 128 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (MARQUES, 2006)						
Mês	Médias	D.P.	G.L.	t-índice	$t_{(0,05)}$	H_0
Julho	142	37	3	0,76	2,35	Aceita
Setembro	250	100	3	2,48	2,35	Rejeitada
Novembro	249,1	96,2	3	2,52	2,35	Rejeitada
Dezembro	255	73	3	3,48	2,35	Rejeitada

D.P.= Desvio-padrão da média obtida na amostragem; G.L.= Grau de liberdade (número de observações - 1); t-índice= Valor t obtido da análise; $t_{(0,05)}$ = Valor obtido para 95% de confiança e determinado grau de liberdade.

Utilizando-se da condutividade elétrica para traçar espacialmente a contaminação no bairro Piranema, foram produzidos mapas de isolinhas para condutividade elétrica (Figura 7), semelhante aos de profundidade. Verifica-se que, a partir da amostragem do mês de setembro, os maiores valores obtidos estão concentrados na parte central da área de estudo, mais precisamente no poço 5. Isto, provavelmente esta relacionado ao aumento na descarga de efluentes (o que influencia na carga e profundidade da pluma na zona vadosa),

assim como ao aumento no bombeamento de poços pela população, criando "cones de rebaixamento" que facilitam recarga por águas servidas de valas e fossas sobre o aquífero. Além disso, não se pode descartar a influência da litologia, já que os poços na porção central da área, de granulometria mais fina (camada argilosa), possuem recuperação do nível freática, comparativamente mais lenta que os demais. Isto faz com que o tempo de residência da água seja maior, resultando na maior acumulação de contaminantes.

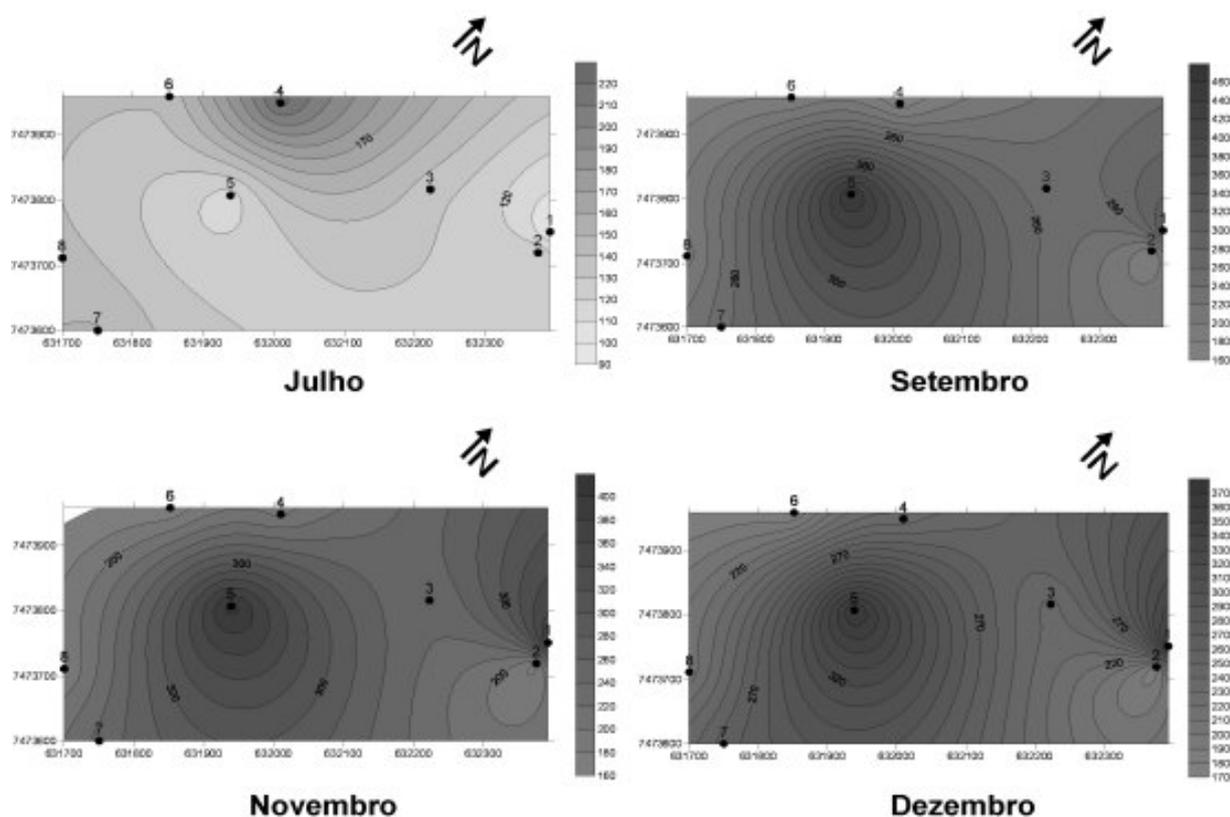


Figura 7: Distribuição da condutividade elétrica na área de estudo durante o período de estudo.

A figura 8 apresenta a distribuição da condutividade elétrica, resíduo seco e pH de todos os poços em função da profundidade do lençol freático, em períodos de chuva e estiagem. A partir do comportamento dos três parâmetros destacam-se dois comportamentos distintos, em função da pluviosidade da região. Esses dados evidenciam que, a variabilidade observada no comportamento dos parâmetros físico-químicos das águas dessa área, é controlada por variações no nível do lençol freático. Fica evidente também uma maior dispersão dos valores no período chuvoso em relação ao período de estiagem que, provavelmente, está associado à mistura da água do aquífero com águas servidas oriundas de despejos domésticos (pluma de contaminação), contribuindo, em parte, com os altos valores dos desvios-padrão para resíduo seco e condutividade elétrica como mostrado na Tabela 1. Contribui também para esta alta variabilidade, principalmente em períodos chuvosos, diferenças litológicas entre

os poços.

Na figura 9 é apresentado à evolução da superfície freática ao longo do período estudado. Cada mês estudado é representado por uma configuração em três dimensões da profundidade do lençol freático. Os poços a nordeste da área possuem rápida recuperação em relação aos demais, tendo o mês de julho as maiores profundidades (representativo do período de menor precipitação), apresentando comportamento inverso em setembro, o que reflete os mais de 100 mm de pluviosidade ocorrida em agosto (Figura 4).

Portanto, as significativas variações verificadas nos poços localizados a nordeste da área no período de menor pluviosidade (julho), parecem ser controladas pela atividade de extração de areia, que fazem com que as linhas de fluxo de água subterrânea sejam dirigidas para as grandes cavas localizadas nesta

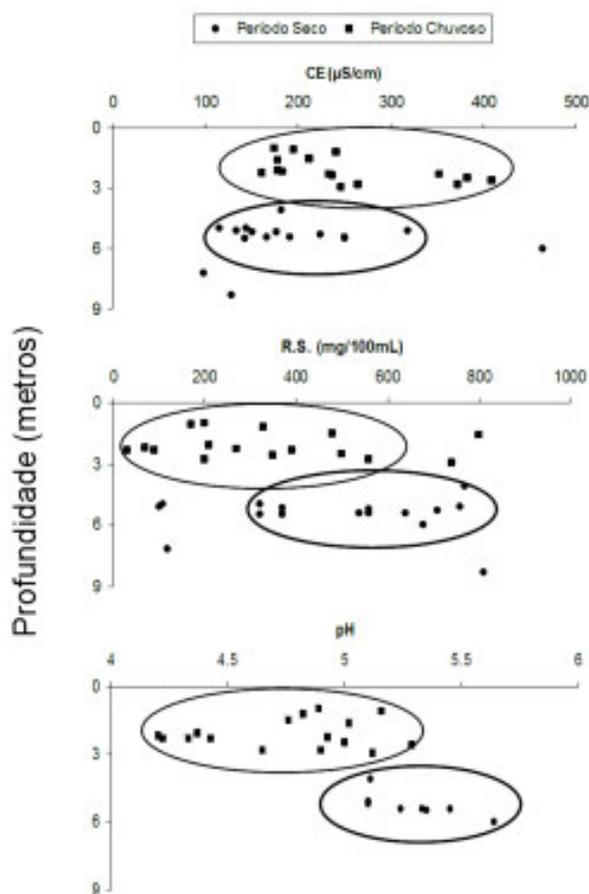


Figura 8: Gráficos de condutividade elétrica, resíduo seco e pH em função da profundidade da superfície freática. Maior variação nos valores dos parâmetros durante períodos chuvosos (elipse de maior tamanho) do que em períodos secos (elipse de menor tamanho).

área, devido à diferença de carga hidráulica (Custódio & Llamas, 1983). Com o início do período de chuvas, as cavas de mineração recebem água mais rapidamente (maior área de captação) gerando um desnível hidráulico na direção contrária, entre os poços a nordeste (próximos às cavas) com níveis mais elevados e aqueles na parte central da área (poços 5 e 7) com níveis mais profundos. Com a diminuição da atividade das cavas de extração em períodos de chuva (difícil acesso para transporte da areia) essas diferenças tenderiam a diminuir com o equilíbrio e estabilização do lençol freático.

CONCLUSÃO

As águas subterrâneas na região do bairro Piranema possuem baixos valores de condutividade elétrica e de pH, e alto conteúdo de resíduo seco, refletindo, então, a geologia que compõe este aquífero. Variações de tais características são condicionadas por flutuações de nível na superfície freática, e do regime sazonal de chuvas da região.

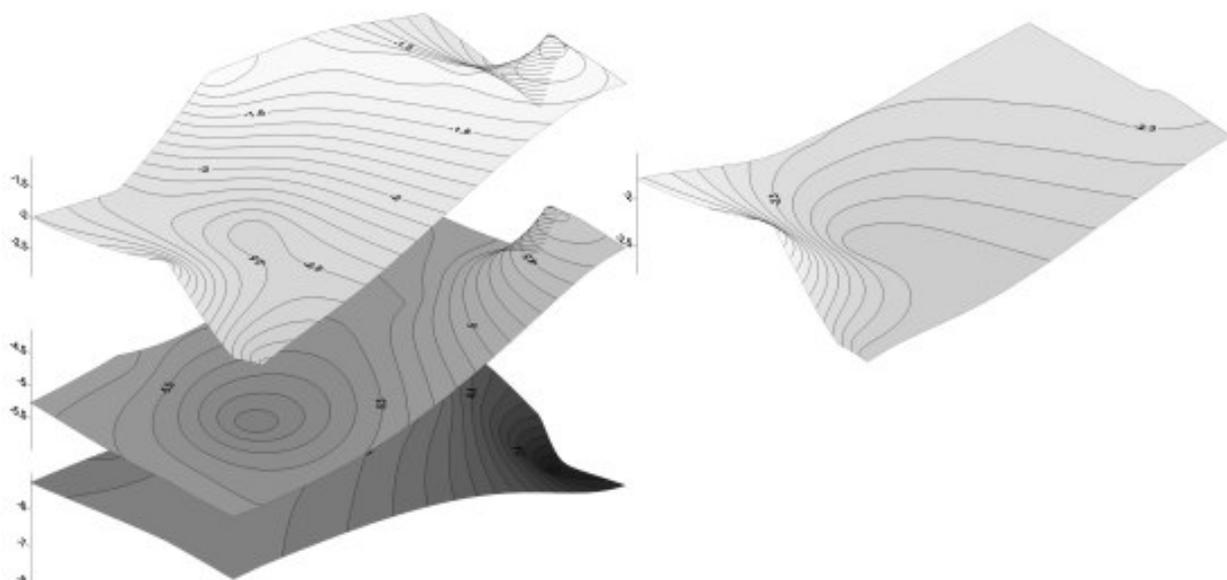


Figura 9: Disposição da superfície freática para as amostragens realizadas. A configuração na parte mais inferior da figura representa amostragem do mês de julho, onde a superfície freática se encontrava rebaixada devido ao período de estiagem. Em seqüência (de baixo para cima), as configurações do mês de setembro, novembro e dezembro (à direita), que possuem profundidades menores conforme a chegada do período chuvoso.

Os poços a nordeste da área, provavelmente perfurados em litologia essencialmente arenosa (maior condutividade hidráulica), mostram recuperação mais rápida do que os da porção central da área estudada aparentemente sobre sedimentos mais finos (argilas). Este fato, associado à proximidade destes poços sugerem a influência das cavas de extração de areia sobre o nível d'água nesta região.

A condutividade elétrica, como demonstrado no presente trabalho, se

mostrou uma boa ferramenta para avaliações expeditas de resposta rápida para problemas de contaminação por efluente doméstico nesta região, devido sua associação com o nitrato resultante da oxidação da matéria orgânica.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com apoio do Instituto do Milênio CNPq. Proc. Nº. 420.050/2005-1) e FAPERJ (E-26/170.705/2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, C.F. (2005). Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica-RJ. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 101 p.
- BERBERT, M.C. (2003). A mineração de areia no distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica/RJ: geologia dos depósitos e caracterização das atividades de lavra e dos impactos ambientais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 132 p.
- CARVALHO, I.G. (1995). Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos. Bureau Gráfica, 239 p.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (1983). Hidrologia subterrânea. Omega, 603 p.
- DEUTSCH, W.J. (1997) Groundwater Geochemistry – Fundamentals and application to contamination. CRC Press LLC, 221 p.
- DIXIT, S. & VAN CAPPELLEN, P. (2002). Surface chemistry and reactivity of biogenic silica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66: 2559-2568.
- ELETROBOLT. (2003). Estudos Hidrogeológicos dos Aqüíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ. Relatório de Consultoria Técnica, 234 p.
- ESTEVES, F.A. (1998). Fundamentos de limnologia. Editora Interciências, 602 p.
- FALKENMARK, M. (1986). Macro-scale water supply/demand comparison on the global scene. Stockholm. p. 15-40.
- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (2000). Hidrogeologia: conceitos e aplicações 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 391p.
- GÓES, M.H.B. (1994). Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí, RJ. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista.
- HEM, J.D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 256 p.
- HIRATA, R.A. (2001). Recursos Hídricos In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Texto, p 422-444.
- MARQUES, E.D. (2006). Hidrogeoquímica das cavas de extração de areia na Região

- do Bairro Piranema – Distrito Areeiro de Seropédica-Itaguaí – RJ. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 112 p.
- NIMER, E. (1977). Descrição, Análise e Interpretação Conceitual do Sistema de Classificação de Climas de C. W. Thornthwaite. *Revista Brasileira de Geografia*, **1**: 87-109.
- RIOS, J.L.P.; BERGER, S.G. (2002). Estudos sócio-econômicos e de demanda de água para a RMRJ. In: Seminário sobre a bacia hidrográfica do Rio Guandu: problemas e soluções, Seropédica, Rio de Janeiro, SERLA. Anais... **1**: 30-34.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (2002). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 703 p.
- RULKENS, W.H.; KLAPWIJK, A.; WILLERS, H.C. (1998). Recovery of available nitrogen compounds from agricultural liquid wastes: potential possibilities, bottlenecks and future technological challenges. *Environmental Pollution* **102**: 727-735.
- SEMA. (1996). Projeto I: Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba: Programa de Zoneamento Econômico-Ecológico do Estado do Rio de Janeiro – ZEE/RJ. Rio de Janeiro/RJ, CARTOGEO/NCE/UFRJ, 63 p.
- STUMM, W., MORGAN, J.J. (1996). *Aquatic Chemistry*. Willey-Interscience, 1005p.
- TUBBS, D. (1999). Ocorrência das Águas Subterrâneas – “Aquífero piranema” - no Município de Seropédica, área da Universidade Rural e Arredores, Estado do Rio de Janeiro. FAPERJ (Fundação de Amparo a Pesquisa do E. Rio Janeiro). Relatório Final de Pesquisa, 123 p.
- VERVOORT, R.W.; RADCLIFFE, D.E.; CABRERA, M.L.; LATIMORE JR., M. (1998). Nutrient losses in surface and subsurface flow pasture applied poultry litter and composted poultry litter. *Nutrient Cycling Agroecosystem*. **50**: 287-290.
- YARIV, S.; CROSS, H. (1979). *Geochemistry of Colloids Systems for Earth Scientists*. Berlin-Heidelberg-New York, 450 p.