

CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA FREÁTICA EM ÁREAS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA, ES

Elene Zavoudakis¹ & Miriam Costa²; Leonardo Siqueira³; João Eduardo Addad⁴

RESUMO – A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Vitória, ES. Foi realizada a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do lençol freático em 26 pontos, em duas campanhas distintas. Foram analisados os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade elétrica) e os íons principais (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{-2} e HCO_3^-). Foi aplicada análise estatística aos dados obtidos no estudo de qualidade da água usando os softwares SPSS versão 8.0 e Statistica versão 6.0, por meio dos seguintes métodos: Análise Estatística Descritiva e Correlações de Pearson, respectivamente. Também foi feita classificação hidroquímica de Piper utilizando o software Qualigraf. Os resultados demonstraram que além dos ambientes e fatores naturais, como dissolução de rochas e intrusão salina, as áreas de estudo refletiram também o impacto da ação humana na água subterrânea por meio dos parâmetros de água freática.

ABSTRACT - The present research was developed in the city of Vitoria, Espirito Santo, Brazil. the Hydrochemical characterization of shallow groundwater was sampled for 26 points, in two distinct periods. It was analyzed the physicochemical parameters (temperature, pH, electrical conductivity) and the main ions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{-2} and HCO_3^-). Statistical analysis was applied to the obtained data of the water quality study using the softwares SPSS version 8.0 and Statistica version 6.0 by means of the following methods, respectively: Descriptive Statistical Analysis and Pearson Correlations. Also, was done a hydrochemical classification according to Piper, using the software Qualigraf. The results showed that beyond environments and natural factors, like rocks dissolution and saline intrusion, the studied areas also reflected the impact of the anthropogenic action and influence on shallow groundwater quality by means of the analyzed parameters of phreatic water.

Palavras-chave: água subterrânea, hidroquímica, Vitória.

¹ Mestre em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Ambiental, PPGEA, Av. Fernando Ferrari, s/n, Campus Goiabeiras, tel. (27)3335-2677, elene.z@gmail.com.

² Geóloga, Instituto de Ciências da Terra e do Mar (ICTM), Rua Carijós, 135/301, Jardim da Penha, tel. (27) 3314-2140, miriam@terraemar.org.br

³ Graduando em Engenharia Ambiental. FAESA, Departamento de Engenharia Ambiental, Rod. Serafim Derenzi, s/n, São Pedro, tel. (27) 3335-2119, lsiqueira@click21.com.br

⁴ Prof. Dr. UFES, Departamento de Oceanografia.. Av. Fernando Ferrari, s/n, Goiabeiras, tel. (27) 3335-2677, joao@terraemar.org.br

1. Introdução

Os elementos considerados importantes e suficientes pela hidrogeoquímica para o estudo dos processos químicos na maioria dos aquíferos e suas relações com os sistemas hidrogeológicos são os constituintes principais (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- e CO_3^-), por serem quase sempre e majoritariamente presentes nas águas subterrâneas (DEUSTCH, 1997).

Quando se analisa quimicamente uma amostra de água, a tomamos como representativa do meio amostrado e a determinação das concentrações de diversos íons ou substâncias presentes na solução geram um conjunto de resultados que, interpretados, passam a caracterizar a água daquele meio. Assim, as relações iônicas podem ser utilizadas para descrever as interações desta água com o meio (MESTRINHO, 2005), como a variação da mineralização das águas, isto é, da salinidade.

A salinidade nos meios porosos advém, principalmente, da constituição mineralógica dos meios litológicos percolados, do tempo de residência das águas, da interação com águas salinas, como com a cunha salina em aquíferos litorâneos, das águas residuárias magmáticas e de interferências externas, como as antrópicas.

A intrusão salina é uma das formas mais comuns de contaminação de águas subterrâneas, pois aproximadamente 70% da população mundial vivem em áreas costeiras (BEAR et al., 1999). Do ponto de vista catiônico, o sódio é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais e em aquíferos litorâneos e sua presença na água poderá estar relacionada à intrusão marinha.

Em áreas urbanizadas, com altas concentrações populacionais, as águas, tanto superficiais como subterrâneas, podem sofrer alterações físicas, químicas e biológicas das suas características naturais, em função do aporte de diversas substâncias provenientes das atividades humanas, acarretando a contaminação e a salinização destas. No que diz respeito às águas subterrâneas, o aquífero livre é o que se encontra mais suscetível às contaminações, devido a sua exposição direta às possíveis fontes contaminantes.

A caracterização de aquíferos é de fundamental importância, principalmente para áreas como Vitória, que apresentam histórico de ocupação degradador do ponto de vista sócio-ambiental e vêm apresentando uma densidade demográfica crescente. Desta caracterização é que depende o planejamento criterioso e a gestão adequada dos recursos hídricos disponíveis, visando o direcionamento de ações adequadas para sua preservação, utilização e recuperação.

Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar as águas subterrâneas do lençol freático de algumas áreas de Vitória, ES, por meio de análises de parâmetros hidroquímicos e físicos, além da medição piezométrica dos níveis de água freática, tendo em vista a sua classificação hidroquímica e a análise das variações dos parâmetros em duas campanhas, ao longo de um ano.

2. A Área de Estudo

2.1. Localização da área, aspectos climáticos e ocupacionais

Vitória, cidade de clima tropical úmido, com temperatura média mensal de 34 graus, centro urbano e capital do Espírito Santo, é um município-arquipélago situado na porção leste do Estado, às coordenadas 20°10'09"S e 40°20'50"W (Figura 1). Com taxas de urbanização de 100% e média de crescimento geométrico anual da população residente igual a 1,4 até o ano de 2005, o município distribui em seu território uma população de 313.312 habitantes, com densidade de 3.290 hab/km². (IPES, 2005; IBGE, 2000).

Atualmente composta de uma parte insular e uma parte continental, a ocupação inicial desta cidade se deu a partir da maior ilha (89 km²) do arquipélago, sede do município que concentra a maioria da população, e posteriormente incorporou ilhas e uma faixa continental, o que resultou em 95 km² de área totalmente urbana (IPES, 2005). Mais de 70% do território da ilha de Vitória corresponde à ocupação das áreas de morro que, juntamente com as áreas de baixada, antes ocupadas por manguezais, revelam com intensidade as contradições sociais e econômicas: regiões de pobreza co-habitam com áreas ocupadas por moradores com níveis elevados de qualidade de vida.

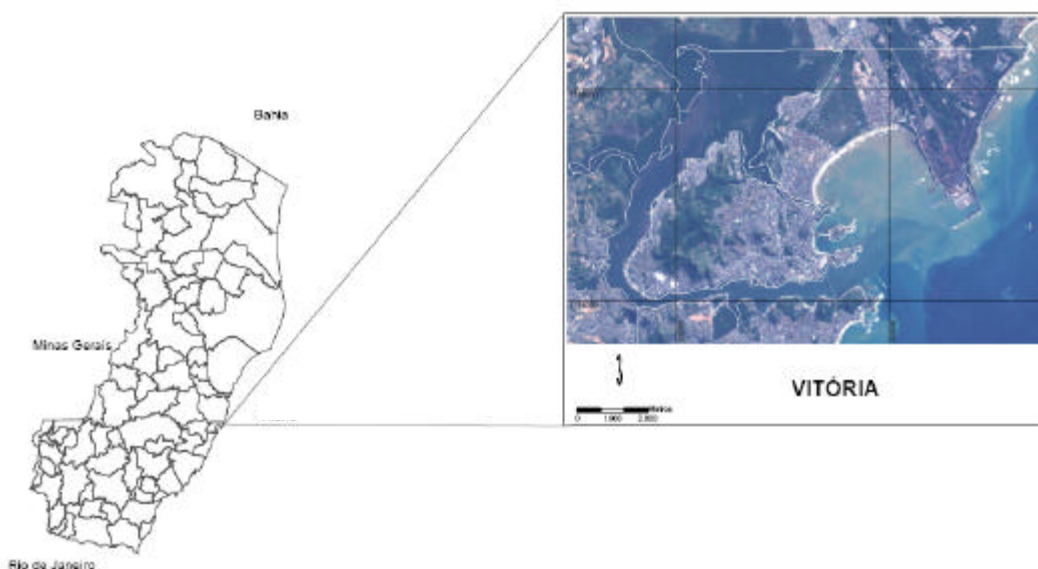


Figura 1. Localização da região de estudo: Vitória, ES

2.2. Geologia regional, local e geomorfologia

A geologia da Grande Vitória apresenta ocorrências estratigráficas com idades pré-cambrianas, terciárias e quaternárias, correspondendo às três unidades principais que compõem o Espírito Santo, inseridas no mapa na escala de 1: 1.000.000 da folha de Vitória (SF.24), conforme

figura 2.

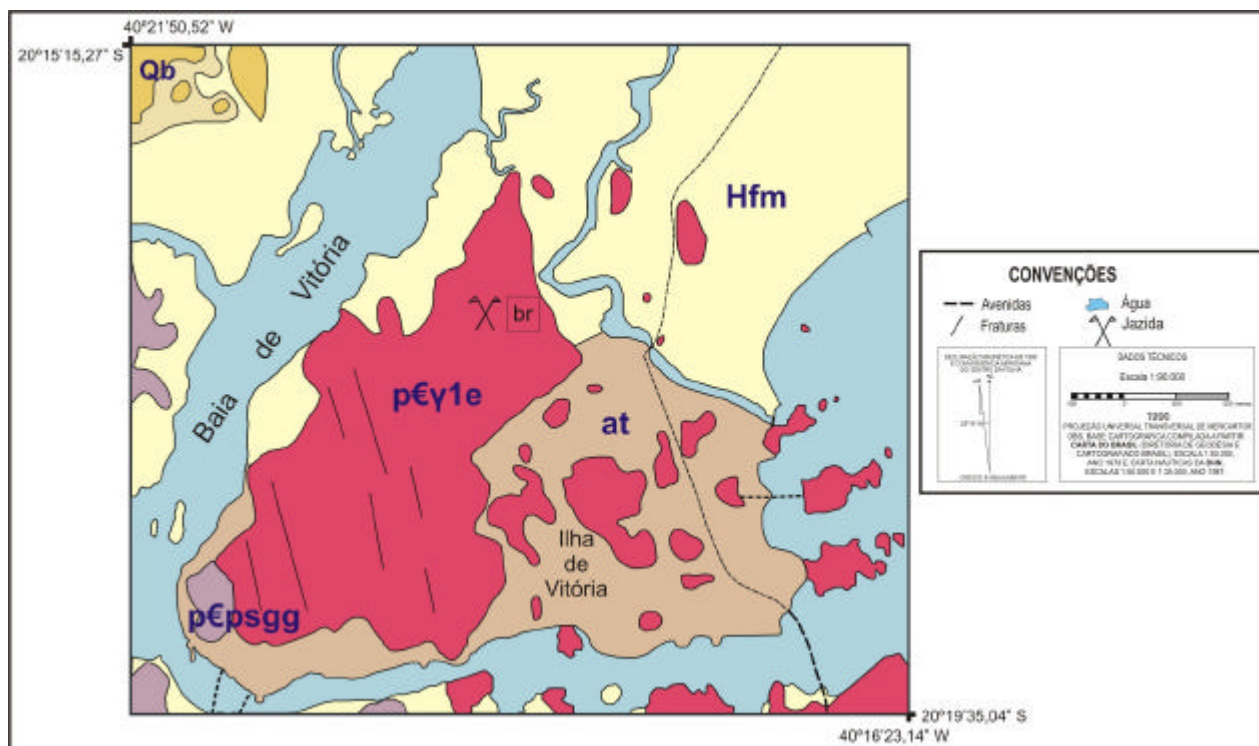


Figura 2. Mapa geológico da ilha de Vitória e entorno, com as respectivas unidades litológicas

As unidades pré-cambrianas correspondem ao Complexo Paraíba do Sul (pEpsgg), de idade pré-cambriana inferior, e à Suíte Intrusiva do Espírito Santo (pE?1e), de idade pré-cambriano superior.

A unidade de idade terciária corresponde à Formação Barreiras (Qb) onde se distribui (Folha SF.24-V-B) na região de Vitória-Cariacica-Nova Almeida e a nordeste de Guarapari, até próximo a Ponta do Jucu. Porém, tal unidade não aflora na ilha de Vitória.

A unidade de idade quaternária (Hfm) correspondente à formação da planície de Vitória está relacionada a uma sucessão de eventos geológicos que afetou a região e culminou na sua atual configuração. Segundo Martin et al. (1988) *apud* D'Agostini (2005), três episódios transgressivos podem ser reconhecidos para a costa leste do Brasil durante o Quaternário, denominados, do mais antigo para o mais recente, como Transgressão Mais Antiga, Penúltima Transgressão e Última Transgressão.

A planície de Vitória iniciou sua formação na penúltima transgressão, há aproximadamente 123.000 anos antes do presente (A.P.), quando o nível relativo do mar se posicionou cerca de 130 metros acima do nível do mar atual (MARTIN et al., 1982 *apud* D'AGOSTINI, 2005), provocando o afogamento dos vales seguido da deposição de sedimentos marinhos, originando um terraço marinho Pleistocênico, característico da região norte da baía de Vitória. Posteriormente a este evento interglacial, houve um novo período glacial, que teve início há 74.000 anos A.P. e

apresentou seu ponto máximo no Pleistoceno, mais precisamente entre 18.000 e 13.000 anos, quando o nível do mar chegou a atingir 100 m abaixo do atual. Como consequência, houve o avanço da linha de costa e o desenvolvimento de ambientes continentais e transicionais sobre a atual plataforma continental. Durante a última fase transgressiva, o nível relativo do mar teria atingido cerca de 3 a 5 metros acima do atual, há aproximadamente 5.100 anos A.P., resultando no afogamento daqueles antigos leitos, ou desembocaduras, dando origem a baías como a da Guanabara e a de Todos os Santos, respectivamente, ao Sul, no Estado do Rio de Janeiro, e ao Norte, no Estado da Bahia, e a própria Baía de Vitória.

A geologia da região do município de Vitória está localizada na porção leste do Complexo Paraíba do Sul, na Suíte Intrusiva do Espírito Santo. As áreas de estudo estão inseridas no mapa na escala de 1:1.000.000 da folha de Vitória (SF.24). Nesta região, dominam rochas graníticas de idade pré-cambriana relacionadas com a evolução de um ambiente colisional durante o final do Ciclo Brasileiro e aos seus estágios posteriores.

A geologia da área de influência dos furos de amostragem é representada por dois domínios distintos: as rochas graníticas sin-tectônicas da Suíte Intrusiva do Espírito Santo, a qual congrega os granodioritos, e pelos sedimentos dos depósitos quaternários, que correspondem a paleocordões litorâneos amplos e afogamentos flúvio-marinhos, relacionáveis ao Pleistoceno-Holoceno.

O granodiorito é uma rocha de tonalidade cinza, de granulação média, o qual se apresenta localmente cortado por veios pegmatíticos em várias direções. Microscopicamente, tem textura hipidiomórfica granular, com granulação média a grossa, e cataclástica. Compõe-se essencialmente de plagioclásio, quartzo, biotita, piroxênio e ortoclásio. Os minerais acessórios são a titanita, o opaco e a apatita. Os minerais de alteração são o carbonato, a sericita, a clorita e o anfibólio (CPRM, 1976).

Os depósitos quaternários são constituídos de sedimentos argilo-arenosos predominantes. Os sedimentos quaternários regionais correspondem a paleocordões litorâneos amplos e afogamentos flúvio-marinhos, relacionáveis ao Pleistoceno-Holoceno. As feições características dos paleocordões são observáveis através de fotografias aéreas na região de restinga do Aeroporto.

A geomorfologia regional de Vitória se apresenta controlada pela distribuição das unidades estratigráficas descritas: Região das Colinas e Maciços Costeiros; Tabuleiros Costeiros e Planícies Litorâneas (GATTO et al, 1983 *apud* BRASIL, 1983).

A unidade Região das Colinas e Maciços Costeiros caracteriza-se pela presença de um conjunto morfológico constituído pelo Maciço Central (Parque da Fonte Grande) e morros isolados periféricos. Corresponde às feições de relevo associadas ao embasamento pré-cambriano, com evolução por processos de erosão diferencial. Devido ao intenso intemperismo, em diversas ocorrências, os flancos ou o topo das formações são desprovidos de recobrimento pedológico.

A unidade Planície Litorânea corresponde a depósitos de cordões litorâneos de paleopraias, com altitude média de 3-4 metros acima do nível médio do mar. Na área da Infraero (Aeroporto Eurico Salles – Vitória), ainda é possível a observação dos alinhamentos dos cordões, entretanto, nos trechos urbanizados estas feições foram completamente obliteradas.

Como a área estudada está incluída em região urbana, é importante ressaltar que a dinâmica morfogênica atual foi profundamente influenciada pela ação antrópica e, conseqüentemente, muitas das formas de relevo resultaram de terraplanagem, cortes de taludes, aterros e outras obras de engenharia (at).

3. Objetivo

Classificar, segundo os constituintes iônicos principais, a água freática em algumas áreas do município de Vitória, ES e analisar as variações de salinidade nestas áreas.

4. Materiais e Métodos

Este trabalho teve como base duas abordagens distintas: o levantamento de dados históricos de ocupação urbana em Vitória para identificação dos pontos de amostragem e a coleta e análise físico-química de amostras de água freática. As atividades foram desenvolvidas obedecendo a métodos de campo e de laboratório, seqüenciadas em três fases interrelacionadas.

Na primeira fase foi realizado o levantamento bibliográfico, a aquisição de base cartográfica e de fotografias aéreas, com identificação e levantamento de informações sobre a urbanização de Vitória-ES. Nesta fase também foram selecionadas as áreas de estudo para a locação dos furos de amostragem, levando em consideração os litotipos existentes, como os maciços graníticos e os sedimentos quaternários estuarinos que compõem a Baía de Vitória, atualmente sob aterros antrópicos, em quase a sua totalidade.

A locação dos furos considerou os critérios limitantes de facilidades de acesso e de perfuração, além das orientações da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) – dadas por meio da carta de autorização da PMV – indicando a forma com que os furos pudessem ser executados. Os furos de amostragem foram feitos de forma provisória, ou seja, após a realização da coleta da amostra, foram fechados com o material da escavação retirado dos mesmos.

Todos os pontos de amostragem foram revisitados e georreferenciados com GPS (*Global Positioning System*) Garmim 12, no Datum SAD 69, e identificados nas bases cartográficas do município de Vitória, na escala 1:1.000, para evitar possíveis erros de precisão do aparelho.

Na segunda fase, amostraram-se as águas subterrâneas em 26 pontos distribuídos em: 5 pontos aleatórios, próximos aos corpos graníticos do município e outros 21 pontos distribuídos em sete áreas (3 pontos por área), A1 a A7, conforme mostrados na figura 3.

Os pontos 1 a 5 correspondem às amostras coletadas próximas aos granitos, sendo os pontos 1 e 3 correspondentes a poços tubulares, os 2 e 4 às nascentes e o ponto 5 a um furo de amostragem.

Os demais pontos foram subdivididos por áreas, sendo que a área 1 corresponde aos pontos 6 a 8, a área 2 aos pontos 9 a 11, a área 3 aos pontos 12 a 14, a área 4 aos pontos 15 a 17, a área 5 aos pontos 18 a 20, a área 6 aos pontos 21 a 23 e a área 7 aos pontos 24 a 26. cabe ressaltar que, exceto o ponto 11, que se trata de poço tubular, todos os outros pontos correspondem a furos de amostragem.

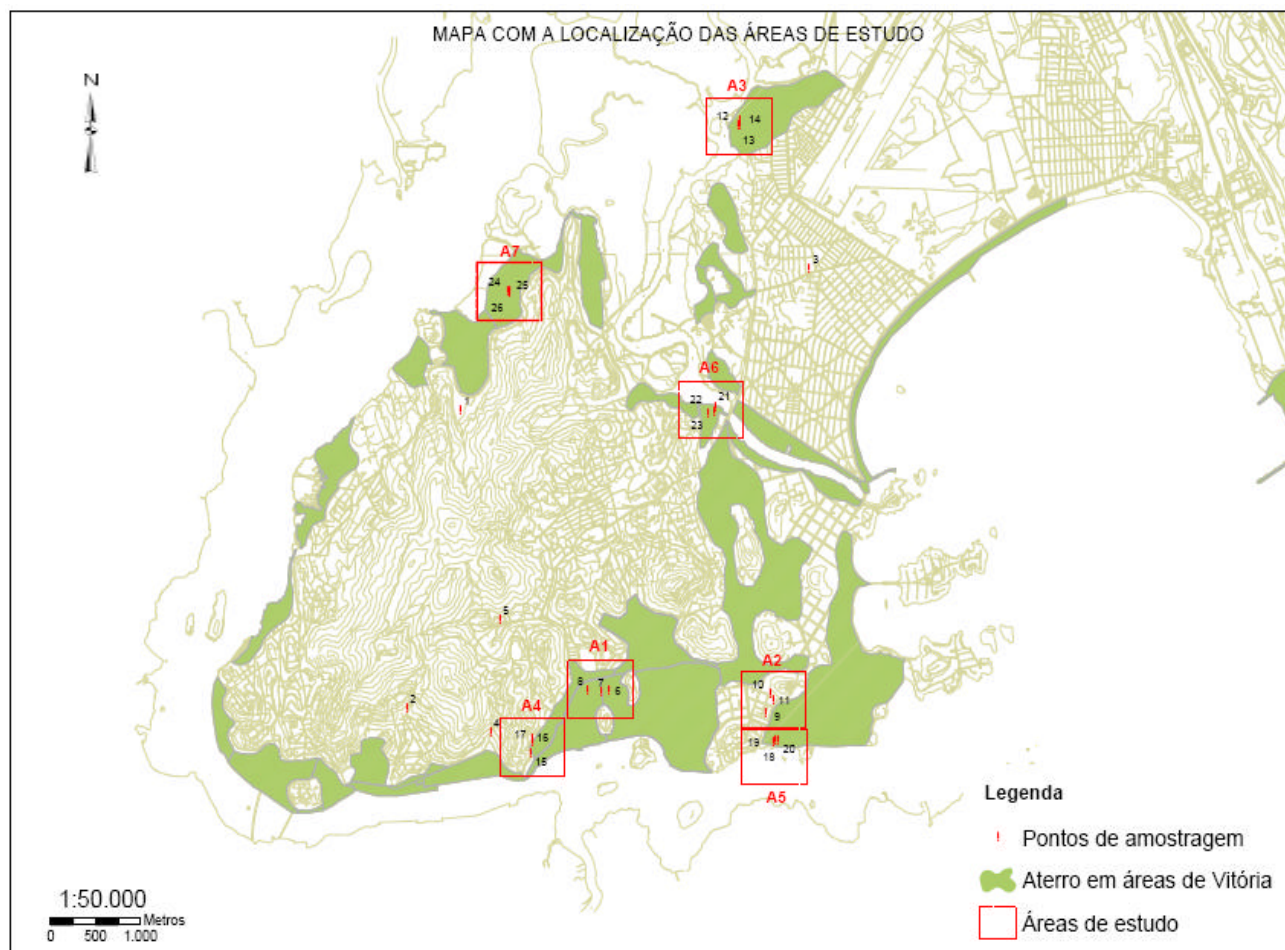


Figura 3. Localização das áreas e pontos de amostragem em Vitória, ES.

Fonte: Adaptado de Marinato (2004).

As amostras de água foram coletadas, preservadas e transportadas ao laboratório conforme o “Guia de coleta e preservação de amostras de água” (CETESB, 1987). A coleta foi executada em 2 fontes naturais, 3 poços tubulares ativos, sem a necessidade de bombeamento prévio, e 21 furos de amostragem. Todos estes pontos foram amostrados em duas campanhas distintas e os furos de amostragem foram perfurados no momento da coleta. Na segunda campanha, os furos foram locados adjacentes aos da primeira campanha.

Os furos de amostragem foram executados manualmente, utilizando-se um trado manual de 4” (100 mm) de diâmetro, acoplado a uma haste que variou entre 1 até 3 metros de comprimento,

dependendo do nível de água encontrado nestes. Após encontrado o nível freático, a perfuração foi continuada até que a água no interior do poço fosse suficiente para ser coletada, sem a utilização de fluido de perfuração. O furo foi revestido por um tubo geomecânico de 2” e a coleta de água foi efetuada com o uso de bailer descartável.

Na terceira fase, iniciou-se a fase de caracterização da água freática nos pontos escolhidos, em dois períodos distintos: o primeiro, compreendido entre junho e outubro de 2005, com precipitação pluviométrica mensal total variando, aproximadamente, de 30 a 150 mm e, o segundo, compreendido entre maio e junho de 2006, com precipitação pluviométrica mensal total variando, aproximadamente, de 0 a 90 mm. Os totais mensais de precipitação nas épocas de coleta e nas que a antecede podem ser visualizados na figura 4.

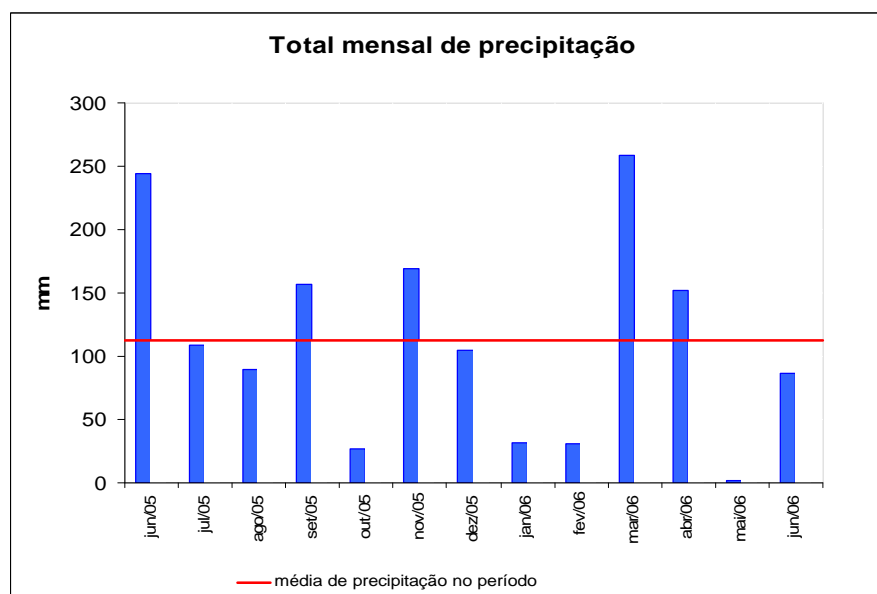


Figura 4. Totais mensais de precipitação entre junho de 2005 e junho de 2006 em Vitória, ES
Fonte: Adaptado de IEMA, 2006.

As técnicas de análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 19ª Edição (APHA *et al.*, 1995).

A caracterização físico-química das amostras de água subterrânea foi avaliada pelos seguintes parâmetros e métodos: cloretos, método argentométrico; alcalinidade, método titulométrico com indicador misto, sulfatos, método turbidimétrico; os cátions K^+ , Mg^{++} , Na^+ , Ca^{++} , método ICP-MS; condutividade elétrica, método do condutivímetro; pH, método potenciométrico; temperatura, com termômetro digital “*in situ*”. Os parâmetros de condutividade elétrica e pH foram medidos imediatamente após as amostras chegarem ao laboratório. Todos os parâmetros tiveram suas análises realizadas em duplicata, exceto as medidas diretas com uso de aparelhos (condutividade elétrica, pH e temperatura).

4. Resultados

4.1. Características físicas dos poços

As características físicas dos dispositivos utilizados para a amostragem para avaliação da qualidade da água freática, tais como profundidade e nível estático, são apresentadas na Tabela 1. Neste trabalho, para efeito de referência sobre as campanhas, denominou-se C-1 para a primeira campanha e C-2 para a segunda, representados nos gráficos pelas cores azul e amarela, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros físicos dos pontos de amostragem, medidos no campo.

Área	Ponto	Data da coleta		Profundidade (m)		Nível de água (m)	
		C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2
-	1	23/06/05	03/06/06	-	-	-	-
-	2	23/06/05	11/05/06	-	-	-	-
-	3	23/06/05	30/05/06	-	-	-	-
-	4	29/06/05	11/05/06	-	-	-	-
-	5	06/07/05	26/05/06	1.80	1.50	1.20	0.80
A1	6	15/07/05	10/06/06	1.30	2.20	0.80	1.90
	7	15/07/05	26/06/06	2.20	3.20	1.80	2.90
	8	16/07/05	10/06/06	1.40	2.30	0.90	2.00
A2	9	21/07/05	20/05/06	1.30	1.00	1.00	0.80
	10	30/07/05	20/05/06	1.40	1.10	1.00	0.80
	11	30/07/05	20/05/06	-	-	-	-
A3	12	14/08/05	16/05/06	1.70	1.90	1.00	1.40
	13	14/08/05	16/05/06	1.50	1.10	0.80	0.90
	14	20/08/05	03/06/06	1.60	1.40	1.30	1.20
A4	15	20/08/05	15/06/06	1.70	1.70	1.20	1.50
	16	27/08/05	15/06/06	2.30	2.00	1.70	1.40
	17	27/08/05	15/06/06	1.90	1.80	1.40	1.50
A5	18	24/09/05	07/05/06	1.20	1.00	1.00	0.70
	19	24/09/05	07/05/06	1.20	1.10	1.00	0.80
	20	24/09/05	07/05/06	1.70	1.35	1.20	1.00
A6	21	15/10/05	30/05/06	1.70	1.20	1.00	0.90
	22	15/10/05	30/06/06	2.00	1.90	1.50	1.40
	23	15/10/05	30/05/06	2.00	2.00	1.20	1.30
A7	24	21/10/05	03/06/06	1.80	1.80	1.20	1.60
	25	21/10/05	01/06/06	2.00	1.30	1.60	1.00
	26	21/10/05	01/06/06	2.30	1.70	1.90	1.40

NOTA: Os valores de profundidade e nível de água foram estabelecidos apenas para os furos de amostragem, não abrangendo as nascentes e poços existentes.

Observa-se que as profundidades dos furos a trado variaram entre 1.20 e 2.30 m na primeira campanha (C-1), na qual os níveis freáticos encontravam-se entre 0.80 e 1.90 m, enquanto que na segunda campanha (C-2) as profundidades variaram entre 1.00 e 3.20 m, com níveis freáticos entre 0.80 e 2.90 m, de acordo com as características geológicas e climáticas dos locais perfurados.

O nível da água (NA) no lençol freático oscilou em todos os furos de amostragem durante as duas campanhas. As oscilações do NA entre os pontos da mesma área não ocorreram homogeneamente, com exceção das áreas 1, 2 e 5, inferindo que as outras áreas possuem

hidrodinâmica local diferenciada devido à interferência pontual externa ou intrínseca como, por exemplo, aporte de esgotos domésticos e ou influência de marés (figura 5).

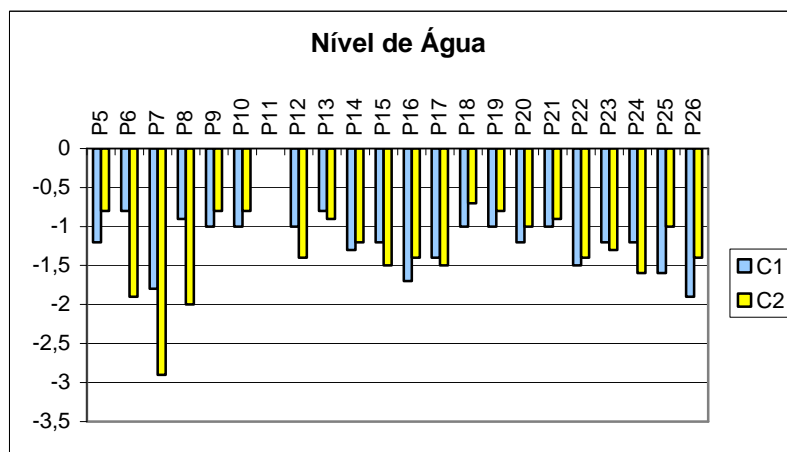


Figura 5. Gráfico da variação do nível d'água (NA) no lençol freático entre C-1 e C-2.

4.2. Descrição dos parâmetros analisados das amostras de água

Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos e analisados para cada um dos vinte e seis pontos de amostragem de água freática encontram-se dispostos nas Tabelas 2 e 3.

Os valores de temperatura das amostras oscilaram aproximadamente entre 22 e 28 °C, com valores de média e de mediana em torno de 25 °C, sendo que na segunda campanha os valores de temperatura das amostras foram pouco superiores aos da primeira.

O pH afeta os processos químicos da água, pois dependendo do seu valor, o potencial Redox do ambiente é modificado, causando ou não efeito de tamponamento, liberação de substâncias, etc. Para os 26 pontos amostrados, os valores de pH oscilaram bem próximo da neutralidade, com média e mediana próximos a 7 nas duas campanhas, valor este também correspondente ao terceiro quartil das amostras. Os menores valores de pH encontrados foram pouco menores do que 6,0 e, portanto, ácidos, ambos correspondendo ao ponto 10 nas duas campanhas, na A2, próximo à encosta de um morro.

A condutividade elétrica é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions e corresponde ao seu grau de mineralização. Para as amostras analisadas, os menores valores de condutividade, nas duas campanhas, ocorreram nos pontos 01, 02 e 04, que correspondem, respectivamente, ao poço em uso próximo à encosta e às duas nascentes do Maciço Central, confirmando a pouca mineralização destas águas, com valores inferiores 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As maiores condutividades foram encontradas nas áreas que receberam aterro sanitário ou lixo a céu aberto, A1, A3, A6, A7, as quais as três últimas também recebem provavelmente influência das águas salinas estuarinas por suas proximidades com o mar, indicando forte mineralização destas águas, em ambas as campanhas (figura 6).

Segundo a CONAMA 357/2005 e o cálculo de salinidade conforme descrito, considerando ambas as campanhas, as águas classificadas como doces (salinidade inferior a 5‰) corresponderam aos pontos das nascentes e próximos aos corpos graníticos (1 a 5, 15 a 17, 10 e 18); as salobras ocorreram nos pontos 9 (A2), 13 e 14 (A3), 20 (A5), 21 e 23 (A6), e as salinas, com mais de 3.000 mg/L de sais dissolvidos, corresponderam às águas analisadas nos pontos 6 a 8 (A1), 12 (A3), 24 e 26 (A7). Os demais pontos (11, 19, 22 e 25) apresentaram diferentes classificações, considerando C-1 e C-2, e isto pode ser devido à localização destes sofrerem influência das marés, exceto no ponto 11, provavelmente decorrente de fonte antrópica, que provocou variação quanto ao aporte iônico nas águas.

Tabela 2. Valores de temperatura, pH e condutividade elétrica das amostras de água analisadas

Ponto	T		pH		CE		Ponto	T		pH		CE	
	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2		C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2
1	24.3	24.8	7.0	6.7	115	126	14	26.6	27.9	6.9	7.2	1127	950
2	23.8	24.5	7.3	6.7	182	171	15	23.9	27.6	6.7	6.7	285	377
3	26.2	26.8	6.9	6.5	268	474	16	24.6	25.4	6.5	6.6	318	432
4	23.0	26.1	6.7	6.8	130	100	17	23.5	24.7	6.4	6.5	602	529
5	24.5	27.5	6.4	6.4	350	241	18	27.2	25.9	7.3	7.0	693	973
6	22.2	25.0	6.9	6.6	5430	17000	19	26.8	25.9	7.0	7.2	2900	754
7	23.8	26.9	6.6	7.0	11230	52300	20	27.1	26.2	7.3	7.1	978	1910
8	25.9	26.2	6.5	6.6	11900	22000	21	26.0	25.7	7.5	7.3	1100	1360
9	23.9	26.6	7.0	7.1	786	1035	22	26.7	25.0	6.6	6.9	4960	3400
10	23.7	26.7	5.7	5.8	321	343	23	26.4	26.4	7.3	7.3	1210	1454
11	23.8	26.5	6.9	6.7	678	1028	24	27.0	24.6	6.8	7.3	11500	13530
12	24.1	27.0	7.2	7.0	15040	12550	25	27.5	24.5	6.8	7.0	9800	3000
13	24.3	27.2	7.0	7.0	2100	1820	26	23.4	25.1	6.9	7.3	42200	8700

*Valores de temperatura, em °C, pH, em -log[H⁺] e CE, em μS/cm.

Os valores de sódio variaram muito em valores absolutos entre as campanhas e isto representou um crescimento médio nas suas concentrações de aproximadamente 50%, de C-1 para C-2, indicando um aporte maior destes sais no aquífero freático em período inferior a um ano. O sódio pode ser proveniente de esgotos domésticos, efluentes industriais ou ainda fontes naturais, como a intrusão salina.

Quanto aos menores valores de sódio, estes foram encontrados nas águas coletadas nos pontos 1 a 5, além do ponto 15, todos situados em encostas de morros, cujos valores foram inferiores a 23 mg/L nas duas campanhas. Tal fato corrobora a baixa mineralização destas águas em relação à presença de cloreto de sódio, pois a composição química natural das mesmas é influenciada apenas pelas águas da chuva, embora em decorrência da ocupação dos morros, elas atualmente possuam interferência antrópica.

As águas analisadas em A1 e A7 apresentaram altos valores de sódio, além dos pontos 12 (A3) e 22 (A6) (figura 6). Nas regiões litorâneas, cujos aquíferos livres sofrem influência pelo

avanço da cunha salina, os níveis de sódio costumam ser altos, sendo que nas águas do Oceano Atlântico, a concentração de sódio pode atingir 11.100 mg/L (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000), quase trinta vezes maior que a concentração de potássio. Porém, deve-se atentar para o fato de que os maiores valores deste elemento foram encontrados nas áreas que receberam aterro com lixo (A1, A3, A6 e A7), e que alguns destes pontos se situam mais afastados da costa do que outros, os quais apresentaram valores de sódio inferiores.

Tabela 3. Teores dos cátions e ânions principais e dureza das amostras de água analisadas.

Ponto	Na ⁺		K ⁺		Ca ⁺²		Mg ⁺²		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻	
	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2
1	15	13	1	1	6	4	2	2	7	4	24	22	18	17
2	18	18	2	2	7	6	3	3	8	14	32	27	16	28
3	8	15	1	2	39	77	7	9	26	56	23	34	104	204
4	13	13	1	1	2	2	1	1	6	9	21	17	10	12
5	23	20	2	3	25	16	6	5	10	8	36	28	118	110
6	942	2825	49	116	228	396	118	353	69	46	2150	4574	675	900
7	2585	8163	127	349	319	388	436	1297	100	169	5118	12987	1160	2410
8	1434	3490	128	218	192	396	202	509	78	100	2839	5567	984	1545
9	29	27	11	14	112	137	9	16	71	65	60	74	355	423
10	29	33	2	2	12	7	7	7	46	38	30	28	70	65
11	42	62	5	5	76	80	15	16	84	42	110	107	153	175
12	1023	1509	197	311	109	120	96	124	28	23	1767	1894	1470	1391
13	82	79	73	81	178	147	41	38	10	3	205	121	945	915
14	29	17	26	19	113	156	30	22	43	32	53	48	598	475
15	7	14	5	7	41	54	5	5	25	33	41	46	62	84
16	19	29	8	8	30	49	7	4	37	52	30	45	80	100
17	25	29	12	11	70	57	12	9	82	73	59	58	113	93
18	23	25	10	10	103	145	16	37	24	46	190	174	168	236
19	14	12	11	5	124	147	31	19	36	34	237	207	226	293
20	41	174	6	13	128	167	31	44	66	74	279	360	193	355
21	9	136	18	25	63	67	29	26	120	96	31	397	133	46
22	410	283	22	15	522	348	136	70	85	65	1849	1326	258	142
23	100	126	20	30	35	61	52	75	74	68	397	501	50	47
24	1141	1692	101	189	531	316	179	317	271	183	2266	2724	1620	1550
25	1318	386	144	52	297	119	227	67	162	125	2576	941	1035	415
26	4165	1315	679	173	244	221	642	231	61	58	8717	3247	3538	1150

* Todos os valores dos parâmetros em mg/L do íon relacionado, exceto HCO₃⁻ e dureza, em mg/L de CaCO₃.

Quanto aos valores de potássio, observa-se que houve uma grande variação nos valores absolutos das amostras, embora, de um modo geral, não apresentasse variações significativas nos seus teores entre as campanhas, cujos valores médios foram 64 mg/L nas duas campanhas, e de mediana iguais a 12 e 14 mg/L, em C-1 e C-2, respectivamente.

As menores concentrações de potássio nas águas subterrâneas ocorreram nos pontos 1 a 5, além do ponto 10 (A2), cujos valores inferiores a 5 mg/L, tanto em C-1 como em C-2, provavelmente correspondam à sua ocorrência natural nas águas.

Dentre os valores mais altos, destacam-se os que ocorreram nas áreas A1 e A7, além dos

pontos 12 e 13 (A3), cujos valores nas duas campanhas foram superiores a 50 mg/L de potássio (figura 6). Cabe ressaltar que os maiores valores de potássio corresponderam às áreas que receberam aterro de lixo urbano no passado. Os pontos 7, 12 e 26, onde ocorreram as maiores concentrações de potássio, são também os que apresentaram maiores variações entre campanhas, os quais provavelmente receberam influência tanto da intrusão salina quanto de fonte antrópica, visto que no ponto 26, o valor de potássio em C-1 (> 650 mg/L) ultrapassa o valor médio de referência para concentrações de potássio no Oceano Atlântico, igual a 400 mg/L (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Os valores de cálcio encontrados nas amostras analisadas não apresentaram significativas variações entre as campanhas, e as médias foram aproximadamente iguais a 140 mg/L, com medianas iguais a 100 e 120 mg/L, em C-1 e C-2, respectivamente. Os valores mais baixos encontrados corresponderam às águas coletadas nas nascentes (pontos 2 e 4) e às áreas junto às encostas (pontos 1, 5 e 10).

Nas águas subterrâneas os teores de cálcio variam, em geral, de 10 a 100 mg/L, e nas águas do Oceano Atlântico, estes valores oscilam em torno dos 480 mg/L. Como na presença de sais de sódio e potássio a solubilidade do bicarbonato de cálcio aumenta (CUSTODIO; LLAMAS, 1983), foram encontrados teores bastante elevados (acima de 200 mg/L) nas mesmas áreas que apresentaram altos teores daqueles sais: áreas A1 e A7, além do ponto 22 (A6), como pode ser verificado na figura 6. Estes valores muito elevados de cálcio denotam contaminação das águas, por fonte antrópica ou natural, e são responsáveis por altos valores de dureza nestas.

Os valores de magnésio apresentaram forte discrepância considerando o conjunto de amostras analisadas. A maior variabilidade de dados entre campanhas ocorreu na área A1 (pontos 6 a 8), cujos valores praticamente triplicaram de C-1 para C-2, e na área A7 (pontos 25 e 26) onde ocorreu o inverso, cujos valores foram reduzidos, em média, a sua terça parte (figura 6).

No geral, as concentrações de magnésio encontradas foram pequenas, com 60% das amostras inferiores a 40 mg/L e os valores mais baixos foram encontrados nos pontos 1 a 5 e nas áreas A2 e A4, com valores inferiores a 20 mg/L, sendo que as águas subterrâneas apresentam teores mais frequentes de magnésio no intervalo de 1 a 40 mg/L. Comparando-se com as águas do Oceano Atlântico, que têm valor médio de aproximadamente 1410 mg/L, as maiores concentrações de magnésio foram encontradas nas mesmas áreas onde ocorreram as maiores concentrações dos outros cátions principais (Na^+ , K^+ e Ca^{++}): A1, A7, além dos pontos 12 (A3) e 22 (A6), com concentrações bastante variáveis, entre 67 e 1297 mg/L, considerando ambas as campanhas.

As amostras analisadas, em C-1 e em C-2, nos pontos 1 a 5, além do ponto 10 (A2), na área de influência dos maciços rochosos, apresentaram baixos valores de cloretos, inferiores a 40 mg/L, os quais corresponderam também a baixos valores de condutividade elétrica, sódio, potássio,

corroborando a pouca salinidade destas águas.

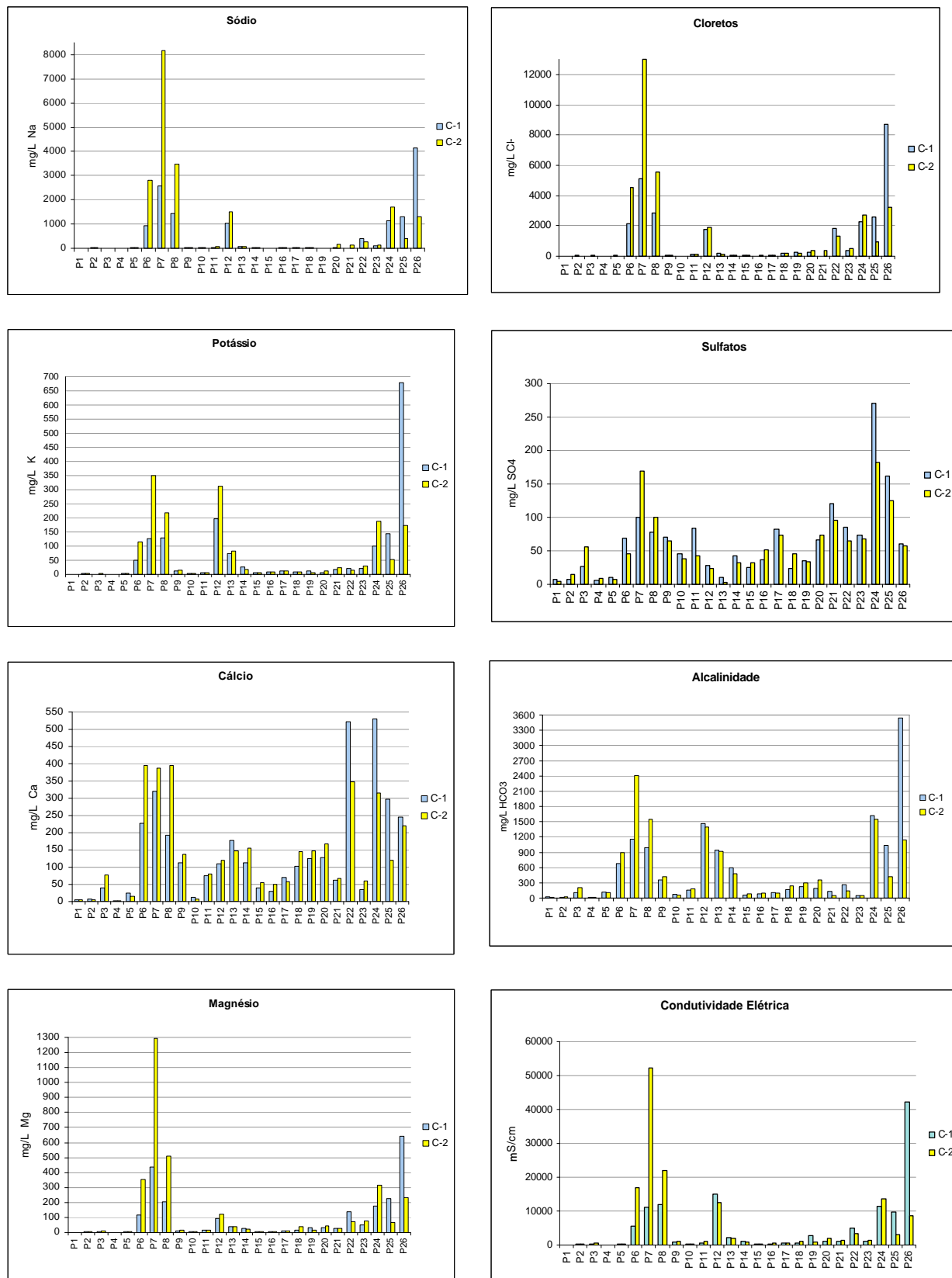


Figura 6. Valores dos constituintes iônicos principais (Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO₃, SO₄), além da Condutividade Elétrica, dos pontos amostrados nas duas campanhas, em um ano (2005 a 2006).

Os altos valores de cloretos foram encontrados nos pontos das áreas A1 e A7, além dos pontos 12 (A3), 20 (A5) e A6 (pontos 21 a 23), sendo que o ponto 21 somente em C-2, conforme figura 6. Os valores mais discrepantes, responsáveis pelas elevadas taxas de desvio padrão do parâmetro considerado, foram encontrados no ponto 7, em C-2, e no ponto 26, em C-1, e suas elevadas salinidades são confirmadas pelos altos valores de condutividade, sódio, magnésio e potássio, pontos estes pertencentes às áreas que receberam aterro com lixo urbano.

Para o parâmetro de sulfato, as concentrações encontradas foram as menores dentre os ânions principais analisados. Os valores não apresentaram significativas variações entre campanhas, sendo as maiores diferenças observadas nos pontos 3, 7, 11 e 26 (figura 6). Os valores mais baixos encontrados corresponderam às águas coletadas nas nascentes (pontos 2 e 4), nas áreas junto às encostas (pontos 1, 5) e no ponto 13 (A3), com concentrações inferiores a 15 mg/L, em C-1 e C-2.

Os valores de alcalinidade de todas as amostras foram devidos somente à presença de bicarbonatos (HCO_3^-), caracterizando a não alcalinidade das águas, pelos valores de $\text{pH} < 8$, e apresentaram significativas variações entre as campanhas somente nos pontos 6, 7, 8, 25 e 26 (Figura 5-21). Os valores muito altos de bicarbonatos, encontrados nas áreas A1, A3 e A7, denotam provável contaminação destas águas, pois esgotos e efluentes usualmente têm alcalinidades altas devido à presença de silicatos e fosfatos.

4.3. Correlação entre os parâmetros analisados das amostras de água

Matrizes de correlação de Pearson entre os parâmetros analisados (modo R) para as amostras de água foram realizadas individualmente, para ambas as campanhas, respectivamente, C-1 e C-2.

Cabe ressaltar, que somente constam nas tabelas, os parâmetros que apresentaram correlações entre si maiores do que 0,7, limite mínimo adotado nesta metodologia como correlação a ser considerada.

Foram analisadas as correlações de CE com diferentes constituintes químicos de 52 amostras de água, tanto freática como de nascentes (pontos 2 e 4). Pôde-se observar que as maiores correlações (acima de 0,90) foram encontradas entre CE, Na^+ , Mg^{++} e Cl^- , considerando ambas as campanhas, o que confirma a forte mineralização destas águas pela presença de cloreto de sódio (NaCl) e de magnésio (MgCl_2), visto que na reserva salina da água do mar estão contidos, em valores médios, aproximados, 77,7% de NaCl , 10,9% de MgCl_2 , 4,7% de sulfato de magnésio e 3,5% de sulfato de cálcio, sendo que os restantes 3,2% correspondem a diversos outros sais, entre os quais sulfato e cloreto de potássio, carbonato de cálcio, brometo de magnésio, iodeto de potássio (CARVALHO, 2003).

Foram encontradas correlações muito significativas entre cátions (Na^+ e K^+ , Na^+ e Mg^{++} , K^+ e Mg^{++}), entre cátions e ânions (Na^+ e Cl^- , Na^+ e HCO_3^- , K^+ e HCO_3^- , K^+ e Cl^- , Mg^{++} e Cl^- e Mg^{++} e

HCO₃⁻) e entre os ânions Cl⁻ e HCO₃⁻. Estas altas correlações entre a maioria dos íons principais e destes com a condutividade elétrica sugere existir uma causa que concorre com a contaminação urbana, e provavelmente trata-se da influência marinha sobre as águas coletadas.

Em relação aos maiores teores dos cátions Na⁺, K⁺ e Mg⁺⁺, cabe ressaltar que foi encontrada uma notória correlação entre as concentrações destes e as oscilações na profundidade do nível do lençol freático, pois nos pontos onde ocorreu o rebaixamento ou subida do nível do lençol freático, de uma campanha à outra, encontravam-se as maiores ou as menores concentrações destes cátions, respectivamente, principalmente nas áreas 1, 7, 3 e 6.

Também foram efetuadas correlações de Pearson entre os parâmetros analisados, considerando as campanhas unificadas e os valores de mediana dos parâmetros dos pontos de cada área (A1 a A7), conforme a Tabela 4. Comparando-se estes valores com os valores de correlações apresentados na Tabela 5.7, observa-se que, para a maioria dos parâmetros, as correlações se mantêm, embora possa haver uma alteração na intensidade destas.

Tabela 4. Correlações de Pearson entre os parâmetros analisados, para as amostras de água, considerando C-1 e C-2 unificadas e os valores de mediana dos pontos de cada área.

	CE	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
CE	1						
Na ⁺	0,98						
K ⁺	0,89	1,00					
Ca ⁺²	0,97	0,88	1,00				
Mg ⁺²	0,99	0,83	0,95	1,00			
SO ₄ ⁻²	0,72	0,72	0,61	0,66	1,00		
Cl ⁻	0,98	0,81	0,95	1,00	0,65	1,00	
HCO ₃ ⁻	0,82	0,97	0,85	0,74	0,58	0,72	1,00
	CE	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻

4.4. Classificação hidroquímica segundo Piper

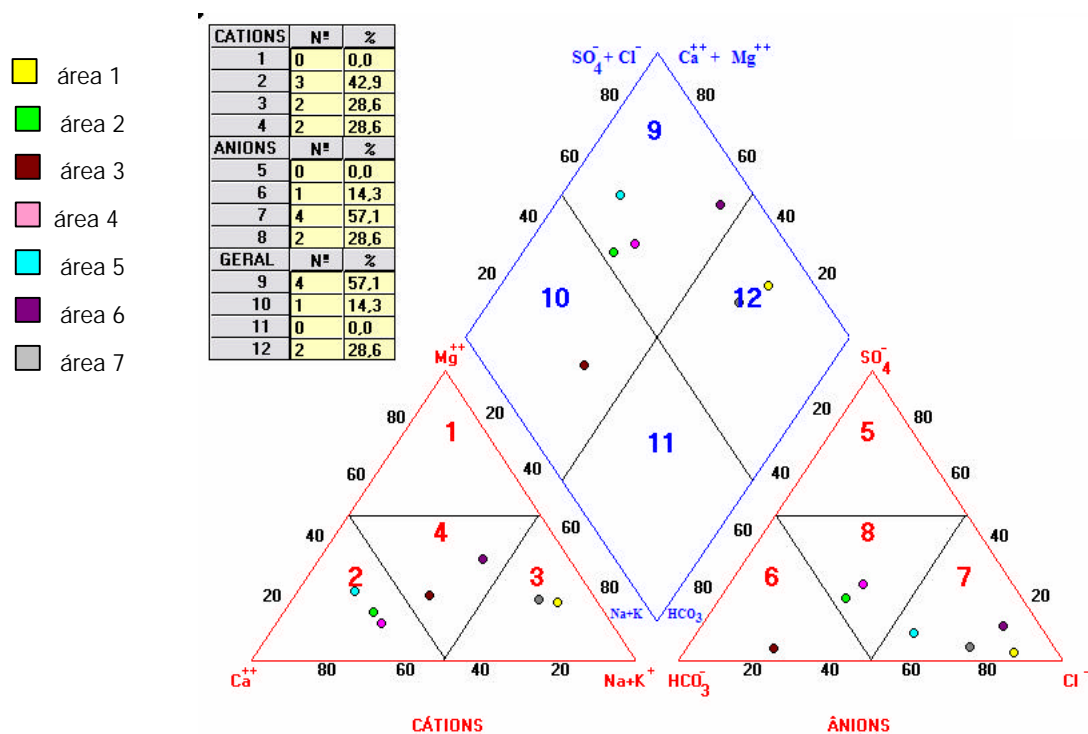
Foram realizadas as classificações de Piper para as amostras, em C-1 e C-2. Também foi plotado o Diagrama de Piper levando em consideração os valores das medianas das concentrações iônicas dos pontos amostrados, dentro de cada uma das áreas estudadas (A1 a A7), conforme apresentado na figura 7. Cabe ressaltar que, para os cálculos das concentrações iônicas utilizadas para a classificação hidroquímica, bem como para as relações ou razões iônicas entre os elementos analisados, foi utilizado o cálculo do balanço iônico em cada uma das amostras, em C-1 e em C-2, sendo que este trabalho admitiu um erro percentual de até 10%, totalizando 98 % de amostras enquadradas neste requisito, exceto para a amostra do ponto 23 em C-1, com 10,84% de erro percentual.

Quanto aos valores das razões iônicas calculados, também denominados índice hidrogeoquímicos, pôde-se observar que a razão Mg/Ca apresentou uma gama de resultados muito

variável. A média dos resultados obtidos, para as águas analisadas, foi de 0,96, porém, valores bem mais altos foram encontrados nos pontos 7, 8, 23 e 26 (valores entre 2 e 5) e, embora em águas continentais esta razão normalmente se situe entre 0,3 – 1,5, deve-se levar em conta a influência da água do mar ($Mg/Ca \sim 5$ em águas oceânicas).

Quanto à razão iônica K/Na, a média encontrada para as águas analisadas foi igual a 0,18, sendo que valores comuns para águas doces se situam entre 0,004 e 0,3 (SCHOELLER, 1955 *apud* SANTOS, 2000).

A relação Na/Ca apresentou média, entre as amostras analisadas, igual a 2,8, sendo os valores se mostraram bastante variáveis, com amplitude entre 0,07 (ponto 19) e 17,92 (ponto 7). Os maiores valores remetem aos pontos os quais apresentaram as maiores concentrações de NaCl, ou seja, mais salinizados.



Classificação hidroquímica das águas			
No.	Tipo de água	No.	Tipo de água
1	magnesiana	7	cloretada
2	cálcica	8	mista para ânions
3	sódica	9	sulfatada ou cloretada, cálcica ou magnesiana
4	mista para cátions	10	bicarbonatada cálcica ou magnesiana
5	sulfatada	11	bicarbonatada sódica
6	bicarbonatada	12	sulfatada ou cloretada sódica

Figura 7. Diagrama de Piper das amostras analisadas, considerando C-1 e C-2 unificadas e as medianas das concentrações dos íons maiores dos pontos de cada uma das áreas A1 a A7.

Na área A1, os altos teores de sais dissolvidos nas águas subterrâneas, caracterizando-a como a área mais mineralizada neste estudo, podem ser correlacionados às atividades antropogênicas, devido à sua localização mais central na Ilha de Vitória.

Na área A5, apesar de ser área mais próxima da Baía de Vitória, suas águas foram classificadas como cloretadas cálcicas, demonstrando que a intrusão salina, caracterizada por águas cloretadas sódicas, não foi o principal ator para caracterização hidroquímica destas águas, ou seja, nas áreas costeiras classificadas como cloretadas sódicas ou que recebem grandes aportes de cloreto de sódio (A7, A3 e A6) mais afastadas do mar aberto do que esta, devem estar recebendo aporte extra que justifique esta salinização, provavelmente o lixo urbano dos aterros.

Os aportes de potássio podem ser relacionados à presença de solos oriundos da Formação Barreiras, em que a alteração de feldspatos para caulinitas, pode haver liberado íons de potássio para o meio. As maiores concentrações de potássio encontradas ocorreram nas áreas A1, A3 e A7 que receberam este tipo de aterro pela municipalidade, posteriormente aos aterros com lixo urbano.

5. Conclusões

As análises dos íons maiores das águas subterrâneas na área estudada indicaram que as mesmas pertencem a dois tipos químicos dominantes: águas cloretadas cálcicas e cloretadas sódicas, sendo que as águas bicarbonatadas cálcicas, classificação esperada para as águas subterrâneas naturais desta região pela composição granodiorítica das rochas do Maciço Central, corresponderam a apenas 20% das amostras analisadas, aproximadamente.

A mineralização das águas estudadas foi controlada principalmente pelas espécies iônicas Na^+ , Cl^- e Mg^{++} , mineralização característica das águas subterrâneas em ambiente costeiro, acentuada pelas interferências antrópicas na urbe, confirmando os resultados obtidos pelas correlações de Pearson e pelos diagramas de Piper.

As áreas mais mineralizadas corresponderam às áreas que receberam aterro com lixo urbano (A1, A3, A6 e A7) e que também se encontram ou encontravam em contato direto ou indireto com as águas do mar.

As águas menos mineralizadas corresponderam às áreas mais próximas dos corpos graníticos e, conseqüentemente, mais distantes do mar. Portanto, as contaminações por metais nestas áreas são devidas, provavelmente, às atividades antropogênicas locais.

Quanto aos maiores teores dos cátions Na^+ , K^+ e Mg^{++} encontrados nas águas analisadas, cabe ressaltar que foi encontrada uma notória correlação entre as concentrações destes e as oscilações na profundidade do nível do lençol freático, pois as águas encontraram-se menos concentradas em relação a estes íons quando da subida do nível do lençol freático e mais concentradas quando da descida do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Ao LABSAN, ARCHEA, FACITEC, CVRD e IEMA.

BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 19 ed. Washington – DC : APHA, 1995.

BEAR, J., A.H.-D. CHENG, S. SOREK, D. OUAZAR, AND I. HERRERA. *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts, Methods and Practices*. In: *Theory and Application of Transport in Porous Media*, edited by J. Bear, pp. 625, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**. MME/SG. Volume 32: Levantamento de recursos naturais. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: 1983.

CARVALHO, A. M. **O sal na história da Terra e do homem**. Conferência pronunciada na abertura da Feira dos Minerais, Gemas e Fósseis. Lisboa: 2003. Disponível em: www.triplov.com/galopim/sal.htm

CETESB.. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo. CETESB, 150 p.,1987.

CONAMA Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: **dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília: MMA, 23p. 2005.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Espírito Santo: Relatório Final**. MME/DNPM: Convênio DNPM-CPRM, 1976. 408 p.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. *Hidrologia Subterránea*. Barcelona: Ed. Omega, v. 2, 1983.

D'AGOSTINI, D. P. **Fácies sedimentares associadas ao sistema estuarino da Baía de Vitória (ES)**. Monografia de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

DEUSTCH, W. *Groundwater geochemistry fundamentals and applications to contamination*. USA: CRC, 1997.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

IBGE. **Censo demográfico 2000**. Disponível em: www.ibge.gov.br

IEMA. **Dados pluviométricos da rede automática de qualidade do ar**: Estação Vitória, dos anos de 2005 e 2006, fornecidos pelo Centro Supervisório da Rede, IEMA, 2006.

IPES. **Perfil municipal**: Vitória, 2005. Disponível em: www.ipes.es.gov.br

MESTRINHO, S. S. P. **A Qualidade das Águas Subterrâneas e sua Proteção**. 2005. Curso disponível em Cd-Rom.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica**. In: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A. C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391p.