

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA E DO TRANSPORTE DE MICRORGANISMOS NO AQUÍFERO FREÁTICO DO CEMITÉRIO DE VILA NOVA CACHOEIRINHA, MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Bolivar Matos¹ & Alberto Pacheco²

Resumo. O presente trabalho é parte de um projeto de doutoramento realizado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, entre 1997 e 2001, que avaliou a ocorrência e o transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. Nesta parte do projeto, são mostrados os resultados do monitoramento do aquífero freático. As amostras de água do aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha apresentaram, principalmente, bactérias heterotróficas (53×10^3 UFC/mL), bactérias proteolíticas (31 NMP/100 mL) e clostrídios sulfito-redutores (45 NMP/100 mL). Também foram encontrados enterovírus e adenovírus nas amostras. As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas no cemitério são as sepulturas com menos de um ano, localizadas nas cotas mais baixas, próximas ao nível freático. Nestes locais, é maior a ocorrência de bactérias. Há um grande consumo do oxigênio existente nas águas. As sepulturas ainda provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica destas águas. Parece haver um aumento na concentração dos íons maiores bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais ferro, alumínio, chumbo e zinco nas águas próximas de sepulturas. As bactérias são transportadas poucos metros, diminuindo em concentração com o aumento da distância à fonte de contaminação. Os vírus parecem ter uma mobilidade maior que as bactérias, podendo atingir algumas dezenas de metros no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha. Os vírus foram transportados, no mínimo, 3,2 m na zona não saturada até alcançar o aquífero.

Abstract. This work is part of a PhD project that took place at the Instituto de Geociências of the Universidade de São Paulo, between 1997 and 2001. The project assessed occurrence and transport of microorganisms in the unconfined aquifer of Vila Nova Cachoeirinha cemetery, located on pre-cambrian terrains at the northern zone of the city of São Paulo. In this part of the project, we show the results of the groundwater monitoring. The water samples of the unconfined aquifer of Vila Nova Cachoeirinha cemetery presented, mainly, heterotrophic bacteria (53×10^3 UFC/mL),

¹ Agência Nacional de Águas, Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Sala 219, 70610-200, Brasília-DF, 61-445.5346, bolivar@ana.gov.br

² Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Rua do Lago 562, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo-SP, 11-3091.4239, apacheco@usp.br

proteolytic bacteria (31 NMP/100 mL) and *clostridium perfringes* (45 NMP/100 mL). We have also found enterovirus and adenovirus in groundwater. The main sources of contamination are the within-a-year-graves located at the low elevation areas, close to the water table. At these sites, the occurrence of bacteria is greater and there is a greater consumption of oxygen in the water due to oxidation of organic matter. Moreover, the graves cause an increase in salts and electrical conductivity of the groundwater. There seems to be an increase in major ions: hydrogen carbonate, chloride, sodium, calcium; and metals: iron, aluminium, lead and zinc, next to the graves. The bacteria traveled a distance of a few meters, decreasing in concentration with increasing distance to the graves. The viruses seem to be more mobile than bacteria, they traveled distances of tens of meters at the Vila Nova Cachoeirinha cemetery. The viruses were transported at least 3.2 m through the unsaturated zone before reaching the unconfined aquifer.

Palavras-chave. Contaminação, cemitérios, águas subterrâneas, aquífero freático, São Paulo.

INTRODUÇÃO

A WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (1998) se mostrou preocupada com o impacto que os cemitérios poderiam causar ao meio ambiente, através do aumento da concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas nas águas subterrâneas e a eventual presença de microrganismos patogênicos, e enfatizou a necessidade de mais pesquisa a respeito do assunto. A contaminação em cemitérios pode atingir o aquífero através do necrochorume - neologismo que designa o líquido liberado intermitentemente pelos cadáveres em putrefação, que também pode conter microrganismos patogênicos - transportado pelas chuvas infiltradas nas covas ou pelo contato dos corpos com a água subterrânea. Trata-se de uma solução aquosa rica em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, de cor castanho-acinzentada, viscosa, polimerizável, de cheiro forte e com grau variado de patogenicidade.

O presente trabalho é resultado de um projeto de doutoramento (MATOS, 2001) realizado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, entre 1997 e 2001, que avaliou a ocorrência e o transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. A metodologia aplicada foi dividida em etapas de laboratório e de campo. No laboratório, foram montadas colunas de solo do cemitério. Traçadores químico e biológico foram injetados nas colunas e o seu fluxo monitorado no efluente. Um modelo numérico foi usado para simular o transporte dos traçadores nas colunas. Em campo, foram realizadas investigações a fim de caracterizar o aquífero freático. O monitoramento da qualidade das águas foi realizado para estudar a ocorrência e o transporte de elementos químicos, bactérias e vírus nas águas subterrâneas.

Nesta parte do projeto, são apresentados os resultados do monitoramento do aquífero freático.

ÁREA DE ESTUDOS

Em operação desde dezembro de 1968, o cemitério de Vila Nova Cachoeirinha é um dos vinte e um cemitérios públicos administrados pelo Serviço Funerário do Município de São Paulo (SFMSA). Até seis de fevereiro de 2001, foram sepultadas 190.066³ pessoas no local. O cemitério de Vila Nova Cachoeirinha está localizado sobre o manto de alteração das rochas pré-cambrianas, na Zona Norte do município de São Paulo (Figura 1). Possui uma área de 360.000 m², sendo menor apenas que o cemitério de Vila Formosa (763.000 m²), na cidade de São Paulo.

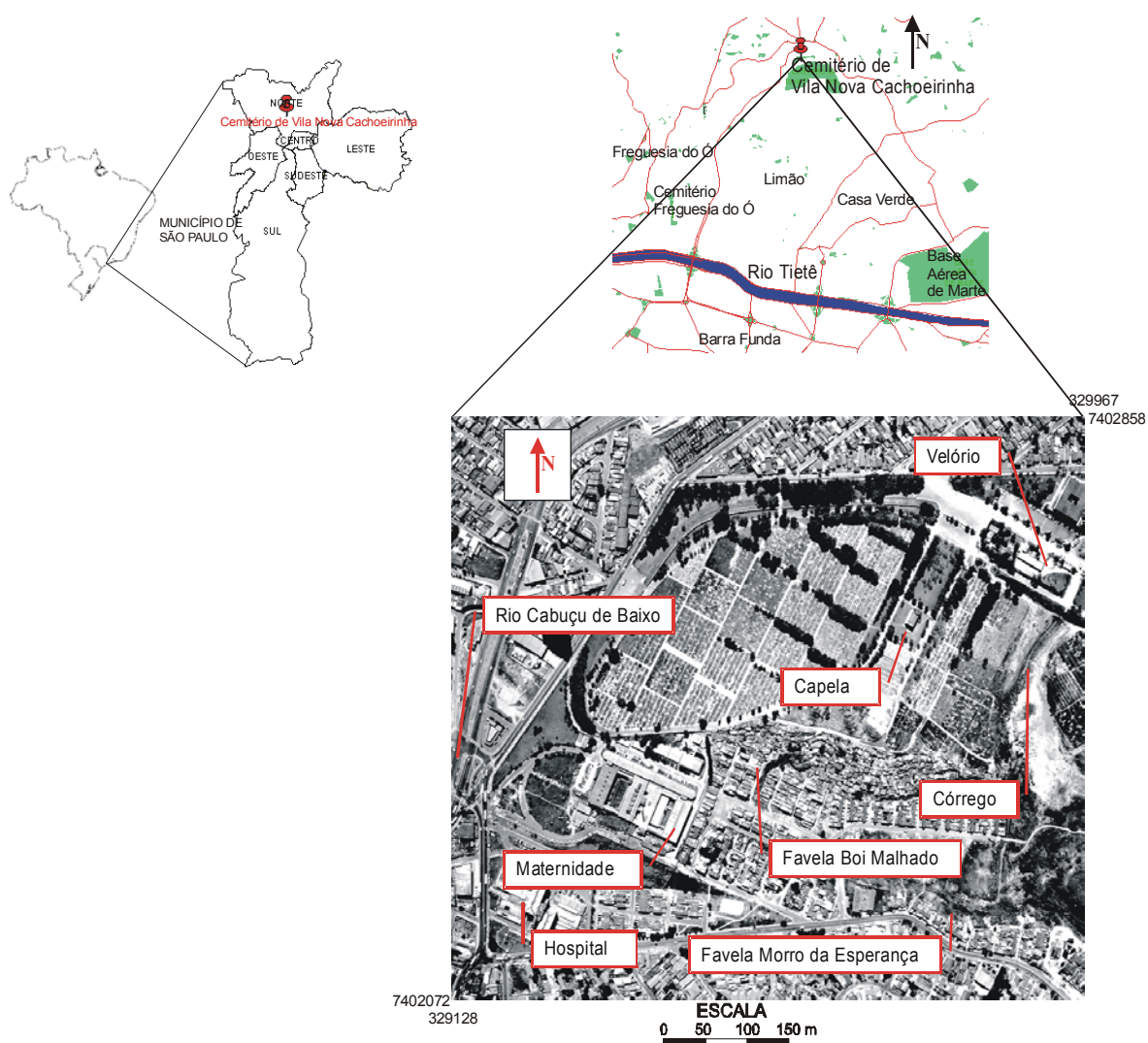


Figura 1. Localização do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha

As sepulturas do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, em sua expressiva maioria, não são perpétuas, havendo reutilização das covas. Após um período mínimo de três anos para adultos e dois para crianças, os restos mortais são retirados da sepultura e dispostos em ossuários construídos ao longo do muro do cemitério. Caso o corpo não esteja decomposto, caracterizando um estado de

³ Livros da administração do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha

conservação (saponificação ou mumificação), o mesmo permanece no local por mais algum tempo (o Código Sanitário não faz referência a este problema) até que o processo de decomposição seja efetivado. Conforme a administração do cemitério, aproximadamente 25% dos corpos exumados estão em estado de conservação. Isso levou a administração do cemitério a desistir da realização de sepultamentos em algumas quadras onde o nível freático encontra-se próximo da superfície.

É usual a falta de cuidados higiênicos e sanitários na operação do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha. Pessoas utilizam as águas empoçadas em covas abertas para regar plantas; coveiros executam exumações sem proteção adequada; restos de caixão e vestes funerárias são encontrados dispostos ao ar livre junto com restos de varrição, capina e poda do cemitério. A disposição final do lixo funerário no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha é inadequada. PACHECO *et al.* (1999) mostram que o lixo citado é transportado para aterros por caminhões contratados pelo Serviço Funerário, não tendo o mesmo tratamento dado aos resíduos sólidos gerados pelos serviços de saúde, como recomenda a Norma Técnica L1.040 (Anexo 1) da COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1999), que regulamenta a implantação de cemitérios no Estado de São Paulo.

No período de chuvas mais intensas pode ocorrer o empoçamento de água nas sepulturas, com o conseqüente extravasamento do necrochorume para a superfície, o qual acaba por escoar nas calçadas e ruelas do cemitério onde circulam pessoas e animais. Em março de 2000, a amostra de solo impregnada com aquele líquido mostrou a presença de bactérias proteolíticas (9.000 NMP/100 mL), enquanto outra amostra de solo do cemitério, sem a presença do mencionado líquido, apresentou menos de 2 NMP/100 mL.

No cemitério, o embasamento está a cerca de 9,0 m de profundidade na cota mais baixa e 20,5 m no topo. O nível freático encontra-se entre 4 e mais de 16 m. O solo do cemitério é formado pelo material de alteração das rochas graníticas, de caráter predominantemente argiloso (~43% de argila), pH =5,0, matéria orgânica entre 0,7 e 4,2% e capacidade de troca de cátions entre 10,2 e 109,0 mmolc/kg. A condutividade hidráulica do aquífero varia de $2,90 \times 10^{-8}$ a $8,41 \times 10^{-5}$ m/s. O gradiente hidráulico na porção oeste do cemitério é de aproximadamente 0,07 m/m; considerando o meio homogêneo e isotrópico e uma porosidade efetiva de 2%, a velocidade linear média foi estimada em 8 cm/dia (MATOS, 2001).

METODOLOGIA

Vinte poços de monitoramento foram construídos no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, de acordo com a norma NBR 13.895 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1997), entre dezembro de 1998 e agosto de 1999, para monitorar a carga hidráulica do aquífero livre, a qualidade da água subterrânea e a realização de testes de traçador. A localização dos poços (Figura 2) foi definida através de estudos eletromagnéticos (MATOS, 2001). As áreas que apresentaram maiores valores de condutividade elétrica foram escolhidas para a instalação dos poços. Três dos vinte poços foram construídos para servirem como valores de fundo, sendo localizados em áreas a montante das sepulturas (P11) ou com o nível d'água profundo (P6 e P8).

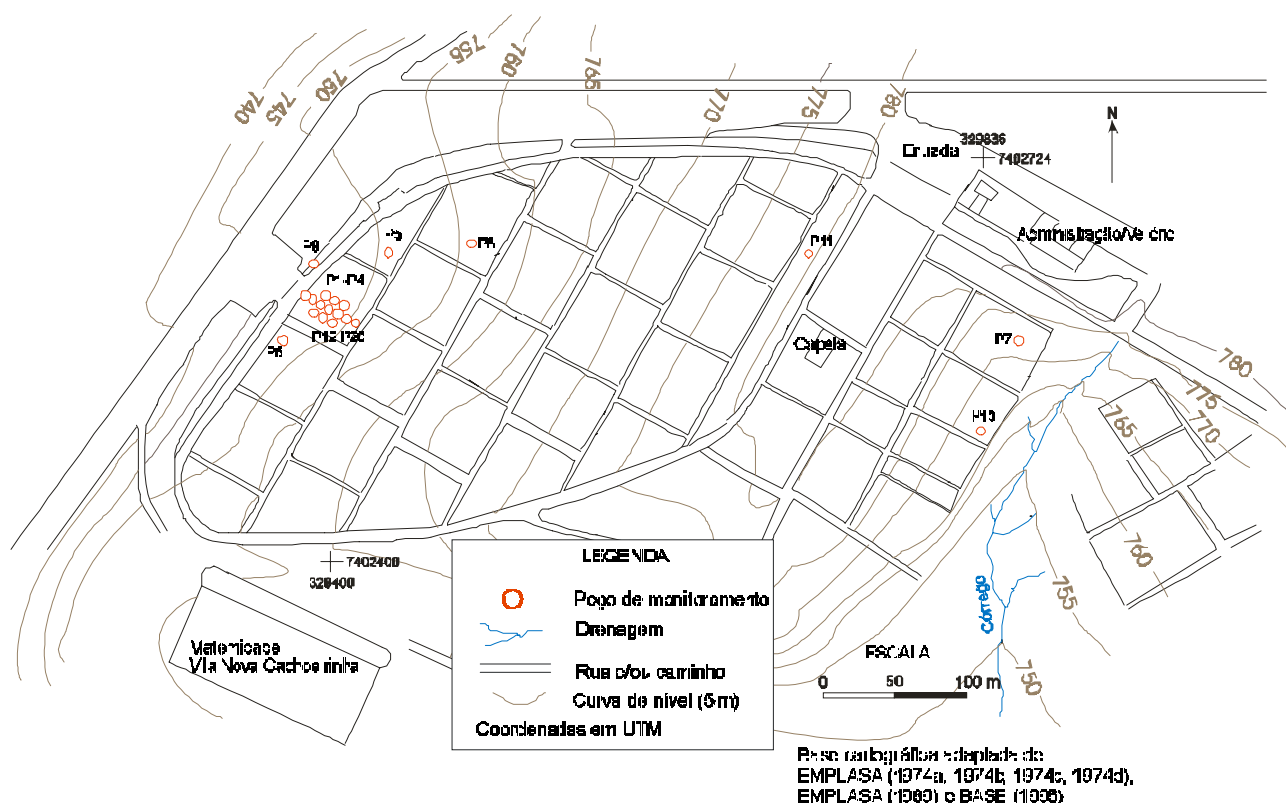


Figura 2. Localização dos poços de monitoramento

O programa de amostragem teve início em janeiro de 1999 com a coleta e análise de água dos primeiros poços construídos para os testes de traçador (P1-P4). Restrita a uma pequena porção do cemitério, estas amostragens tiveram um caráter experimental, definindo-se os indicadores a serem analisados. Com a construção dos novos poços, em julho de 1999, a amostragem ficou mais representativa abrangendo uma área maior do cemitério.

O programa de amostragem foi realizado no cemitério, entre setembro de 1999 e março de 2000. Foram feitos seis programas de coleta para análise microbiológica (total de 54 amostras) e seis para análise química (total de 50 amostras). Devido a resultados insatisfatórios no balanço iônico de algumas análises químicas, um segundo laboratório (AMBIENTAL Laboratório e

Equipamento Ltda.) foi contratado para realizar as análises das amostras coletadas no dia 21/03/00, em que foram utilizados frascos plásticos de 1000 mL com os preservantes adequados cedidos pelo laboratório citado.

O seguinte procedimento foi adotado para a amostragem de água subterrânea no cemitério: inicialmente, o nível estático do poço a ser amostrado foi medido. Depois, este foi esgotado de três vezes a quantidade correspondente à coluna de água existente no seu interior. Finalmente, as amostras de águas subterrâneas foram coletadas com amostradores de acrílico, previamente lavados e desinfetados em laboratório, presos a uma corda limpa e introduzidos no interior do poço. Boca do poço, amostrador e corda foram desinfetados com etanol (70%) minutos antes da coleta. Um conjunto amostrador foi utilizado para cada poço.

As amostras foram armazenadas em frascos: estéreis de plástico de boca larga (200 mL); estéreis de vidro (5 L); de polipropileno de baixa densidade de boca larga (250 mL); de polipropileno de baixa densidade de boca larga (125 mL) e congeladas; de polipropileno de baixa densidade de boca larga (125 mL) e preservadas com HNO₃; de polipropileno de baixa densidade de boca larga (125 mL) e preservadas com H₂SO₄. As amostras foram coletadas e armazenadas segundo CETESB (1988). As amostras foram mantidas sob refrigeração e enviadas no prazo de 24 horas para: Laboratório de Hidrogeoquímica do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do Instituto de Geociências da USP, para análise química; Laboratório de Microbiologia Ambiental do Instituto de Ciências Biomédicas da USP, para indicadores biológicos; Laboratório de Virologia do Instituto de Ciências Biomédicas da USP, para análise de vírus.

Alguns parâmetros físicos e químicos foram determinados *in situ* com aparelhos previamente calibrados. Eletrodos foram limpos e imersos nas amostras para medir: **Temperatura** (°C). Equipamento: Condutivímetro, marca WTW, modelo LF 330, resolução: 0,1 K, precisão de 0,5% do valor medido ± 1 dígito; **pH**. Equipamento: Medidor de pH/potencial redox, marca WTW, modelo: pH 330, resolução: 0,01, precisão: 0,01 ± 1 dígito. Modelo do eletrodo: Sentix 41; **Potencial redox** (mV). Equipamento: Medidor de pH/potencial redox, marca WTW, modelo: pH 330, resolução: 1 mV, precisão: 1 mV ± 1 dígito. Modelo do eletrodo: Sentix ORP; **Condutividade elétrica** (µS/cm). Equipamento: Condutivímetro, marca WTW, modelo LF 330, resolução: 1 µS/cm, precisão: ± 1% do valor medido ± 1 dígito, modelo da célula de condutividade: TetraCon 325. Foi utilizada compensação linear para a temperatura de 25°C; **Oxigênio dissolvido** (mg/L). Equipamento: Oxímetro, marca WTW, modelo: Oxi 330, resolução 0,01 mg/L, precisão: ± 0,5% do valor medido ± 1 dígito. Modelo da sonda: CelloX 325, bico de calibração de ar: OxiCal – SL.

A alcalinidade (em mg/L de HCO₃⁻) foi determinada *in situ*, por titulação alcalinimétrica, de acordo com HYPOLITO (1998).

Os ânions F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} foram analisados pelo processo de cromatografia líquida no aparelho DIONEX 2010i; os cátions Na^+ e K^+ foram analisados pelo processo de fotometria de chama desenvolvido no fotômetro B 262 da Micronal; os cátions Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} , Sr^{2+} , Ag^+ , Cd^{2+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , mais Fe^{total} e Cr^{total} foram analisados pelo processo de espectrofotometria desenvolvido no aparelho de absorção atômica CG AA7000 BC. Os íons maiores foram transformados em meq/L e os balanços iônicos realizados para as amostras de água dos poços. Foram utilizadas apenas as amostras que satisfizeram o afastamento entre cátions e ânions de até 10%. Os resultados foram transformados em percentagem de meq/L para a confecção do diagrama de Piper e classificação das águas.

As primeiras amostras coletadas foram destinadas à análise microbiológica. Foram analisados os seguintes indicadores: **Bactérias heterotróficas**. O método de detecção das bactérias heterotróficas aeróbias e anaeróbias facultativas usado foi a contagem em placas, onde alíquotas adequadas da amostra são inoculadas em placas de Petri com posterior adição de um meio de cultura apropriado, de acordo com a norma L5.201 da CETESB (1996); **Coliformes totais e fecais**. A determinação dos coliformes totais e fecais foi realizada pela técnica de tubos múltiplos, como recomenda a norma L5.202 da CETESB (1993a); **Bactérias proteolíticas**. Geralmente utilizado na microbiologia de alimentos, o método de detecção dessas bactérias foi aplicado em amostras ambientais por MARTINS *et al.* (1991), durante os estudos realizados em três cemitérios do Estado de São Paulo. Esse método é baseado na hidrólise da gelatina pelas bactérias proteolíticas (VERA & DUMOFF, 1974). O meio utilizado é um caldo nutriente onde são acrescentados 12% de gelatina. Pode-se também empregar meios prontos, como o Nutrient Gelatin OXOID. O meio foi distribuído em tubos e autoclavado a $121^\circ C$ por 15 min. Depois da amostra ter sido inoculada, os tubos foram incubados a $21^\circ C (\pm 2^\circ C)$ por 72 horas. Em seguida, foram dispostos a $4^\circ C$ por duas horas. A liquefação do meio indicava a ocorrência da hidrólise. O número mais provável de bactérias foi determinado pela técnica de tubos múltiplos; ***Clostridium perfringes***. O ensaio foi baseado na propriedade dos clostrídios sulfito-redutores de fermentar o leite tornassolado provocando a coagulação do caseinogênio, utilizando a técnica de tubos múltiplos descrita pela norma L5.213 da CETESB (1993b); **Vírus humanos**. Realizada em caráter experimental, a pesquisa de vírus humanos nas amostras de água subterrânea do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha é inédita, pois não há registros de estudos semelhantes em cemitérios. A pesquisa baseou-se na detecção de adenovírus e vírus pertencentes ao gênero *Enterovirus*, uma vez que estes são resistentes a diversos fatores ambientais como temperatura e pH. Além disto, são excretados em grandes concentrações pelas fezes dos indivíduos infectados, sendo freqüentemente isolados de águas de esgoto e de superfície. A concentração das partículas virais foi realizada conforme MEHNERT *et al.* (1997). O método molecular para detecção de adenovírus baseou-se na reação em cadeia da polimerase (PCR)

para amplificação da seqüência gênica, utilizando o par de *primers* hexAA1885 e hexAA1913 (ALLARD *et al.*, 1990). Para a detecção de enterovírus foram usados os *primers* Entero e Entero 1 (SCHWAB *et al.*, 1995).

RESULTADOS

Indicadores químicos

A Tabela 1 mostra os valores médio, mínimo e máximo observados de temperatura, pH, potencial redox, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e alcalinidade. A temperatura média das águas é de 23°C. As águas do cemitério possuem um pH médio de 6,1, mas as águas dos poços P6, P8 e P11 apresentam um pH menor (~5,4). Os resultados de potencial redox (Eh) são bastante variáveis (-225 a 350 mV), notando-se um ambiente redutor na maioria dos poços, sendo que os poços P6 e P8 apresentam um caráter oxidante. A condutividade elétrica das águas pode atingir 600 µS/cm em alguns poços, mas nos P6 e P11 não passa de 100 µS/cm, e no P8, dificilmente passa de 200 µS/cm. A quantidade de oxigênio dissolvido nas águas é de aproximadamente 1,6 mg/L, mas os poços P6 e P8 possuem, em média, 3,2 mg/L. A alcalinidade da água fica em torno de 213 mg/L de HCO₃⁻, mas não passa de 76 mg/L nos poços P6 e P8.

A Tabela 2 mostra os resultados das análises químicas. Apenas as amostras dos poços P5, P6, P8 e P10 satisfizeram o balanço iônico, com afastamento entre cátions e ânions de até 10%. De acordo com a tabela, o ânion predominante é o HCO₃⁻, sendo que este é bem mais expressivo nos poços P5 e P10 (> 100 mg/L); nos poços P6 e P8, esta quantidade é menor (< 40 mg/L). O segundo ânion mais expressivo é o Cl⁻ (~11 mg/L) nos poços P5 e P10 e o NO₃⁻ nos P6 e P8 (11,56 e 21,62 mg/L, respectivamente). Sódio e cálcio são os cátions predominantes, sendo que os P5 e P10 também apresentam quantidades maiores destes elementos (11,8 – 30 mg/L), quando comparados com os P6 e P8 (< 5 mg/L). As águas dos poços P5 e P10 possuem mais ferro, alumínio, chumbo e zinco do que os P6 e P8, como mostra a referida tabela.

A Tabela 3 mostra os íons maiores em percentagem de meq/L. Esta tabela foi utilizada para a confecção do diagrama de Piper (Figura 3) e classificação das águas. De acordo com o diagrama de Piper, as águas dos poços P5, P6 e P8 são bicarbonatadas sódicas, sendo que as amostras do P5 (11/1999) e do P10 são bicarbonatadas cálcicas.

Tabela 1. Resultados dos indicadores químicos medidos *in situ*

Poço	T (°C)				pH				Eh (mV)				Cond. Elétrica (μS/cm)				O ₂ (mg/L)				Alcalinidade (mg/L HCO ₃ ⁻)			
	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	<i>n</i>	\bar{X}	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>
P1	12	23	21,0	25,6	13	6,6	6,08	6,85	13	-90	-136	56	12	616	516	666	7	1,4	0,81	2,90	1	370		
P2	14	23	21,3	26,5	15	6,6	6,44	6,80	15	-60	-146	8	15	527	455	652	9	1,6	0,85	3,40	2	228	196	261
P3	12	23	21,5	24,9	13	6,7	6,48	6,84	13	-110	-164	-67	13	528	424	594	8	1,0	0,21	1,51	1	261		
P4	14	23	20,8	25,7	15	6,7	6,61	6,84	15	-120	-171	-80	15	592	544	621	11	1,1	0,34	2,46	2	335	332	337
P5	8	23	20,8	25,5	8	6,2	6,02	6,34	8	-15	-68	33	8	369	252	485	7	2,0	0,80	4,70	4	159	44	265
P6	8	23	20,5	23,6	8	4,8	4,47	5,46	8	200	-226	350	8	55	42,4	85,4	7	3,5	2,90	3,93	4	30	<10	76
P7	8	23	20,0	24,9	8	6,2	5,81	6,65	8	-60	-83	-36	8	344	280	409	6	2,4	0,09	5,93	4	184	130	151
P8	9	23	20,7	25,2	9	5,0	4,59	5,51	9	180	66	305	9	181	65	305	8	2,8	1,83	3,78	5	20	<10	34
P9	8	23	21,0	25,2	8	6,4	6,24	6,49	8	-50	-78	-25	8	477	286	577	7	1,7	0,27	7,00	4	257	199	305
P10	8	23	18,8	25,2	8	6,0	5,85	6,41	8	-10	-38	32	8	237	186	280	6	2,3	0,12	6,65	4	140	109	188
P11	1	24			1	5,8			1	1			1	80			0				0			
P12	10	23	18,5	27,0	2	5,5	4,57	6,37	2	120	21	229	10	285	240	378	1	0,6			0			
P13	15	23	19,9	27,0	5	6,6	6,60	6,69	5	-110	-174	-50	15	586	503	627	4	0,4	0,20	0,70	1	261		
P15	15	23	19,0	27,6	8	6,5	6,17	6,75	8	-60	-147	30	15	320	213	610	8	1,0	0,30	2,27	2	258	250	266
P16	11	22	18,7	27,8	4	6,1	5,72	6,77	4	-30	-134	69	11	264	157	622	4	1,3	0,32	2,00	0			
P17	4	22	22,2	23,1	2	5,9	5,88	6,00	2	10	-29	47	4	246	163	287	1	1,3			0			
P19	11	23	18,7	28,9	5	6,3	6,22	6,59	5	1	-87	60	11	466	400	521	4	1,4	0,40	1,90	2	154	44	265
P20	6	23	21,6	26,2	4	6,6	6,38	6,77	4	-85	-134	-50	6	606	521	652	4	1,3	0,32	2,23	2	321	283	359
<i>n</i>	18				18				18				18				17				14			
\bar{X}	23				6,1				-16				377				1,6				213			
<i>s</i>	0,4				0,6				94				181				0,8				105			

n: número de observações; \bar{X} : média aritmética; *s*: desvio padrão; *x_{min}*: valor mínimo observado; *x_{max}*: valor máximo observado.

Tabela 2. Resultados das análises químicas

Elemento (mg/L)	Poço (data da coleta)					
	P5(01/9/99)	P5(28/11/99)	P6(28/11/99)	P8(28/11/99)	P8(21/3/00)	P10(26/10/99)
Na ⁺	27,5	11,8	4,8	3,9	4,2	5,8
K ⁺	4,0	4,3	6,0	3,6	1,7	6,9
Ca ²⁺	20,8	30	3,9	3,8	0,42	34,4
Mg ²⁺	7,7	4,7	1,0	2,8	2,2	3,7
Fe ^{total}	35,73	19,84	7,56	1,07	1,7	81,3
Mn ²⁺	0,53	0,80	0,62	0,45	0,11	4,24
Al ³⁺	5,46	9,35	3,13	4,59	3*	33,59
Ba ²⁺	0,3	0,41	0,29	0,46	-	0,57
Sr ²⁺	0,10	0,11	0,01	0,03	-	0,24
Ni ²⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,02
Pb ²⁺	0,62	n.d.	0,29	0,34	-	0,38
Cu ²⁺	0,06	0,05	0,02	0,02	-	0,01
Zn ²⁺	0,49	0,29	0,19	0,08	-	1,54
Ag ⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.
Cd ²⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.
Cr ^{total}	0,01	n.d.	0,01	0,02	-	n.d.
F ⁻	0,11	0,620	0,010	0,014	0,14	0,16
Cl ⁻	10,4	12,33	1,93	2,35	3,5	6,23
NO ₂ ⁻	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	n.d.
Br ⁻	0,50	0,06	0,04	0,22	-	0,80
NO ₃ ⁻	0,65	0,03	11,56	21,62	0,08	n.d.
PO ₄ ³⁻	0,06	0,060	0,013	0,009		0,11
SO ₄ ²⁻	11,49	30,14	0,85	0,5	7	2,63
HCO ₃ ⁻	188	120	34	34	11	109

n.d.: abaixo do limite de detecção; -: não analisado; *: Al^{total}.

Tabela 3. Cátions e ânions maiores em % de meq/L e classificação

Poço	Cátions (% de meq/L)			Ânions (% de meq/L)			Classificação
	Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻ + NO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
P5 (09/1999)	44	35	21	8	7	85	bicarbonatada sódica
P5 (11/1999)	25	60	15	12	21	67	bicarbonatada cálcica
P6 (11/1999)	57	30	13	30	2	68	bicarbonatada sódica
P8 (11/1999)	38	28	34	42	1	57	bicarbonatada sódica
P8 (03/2000)	53	5	42	24	34	42	bicarbonatada sódica
P10 (10/1999)	18	70	12	9	3	88	bicarbonatada cálcica

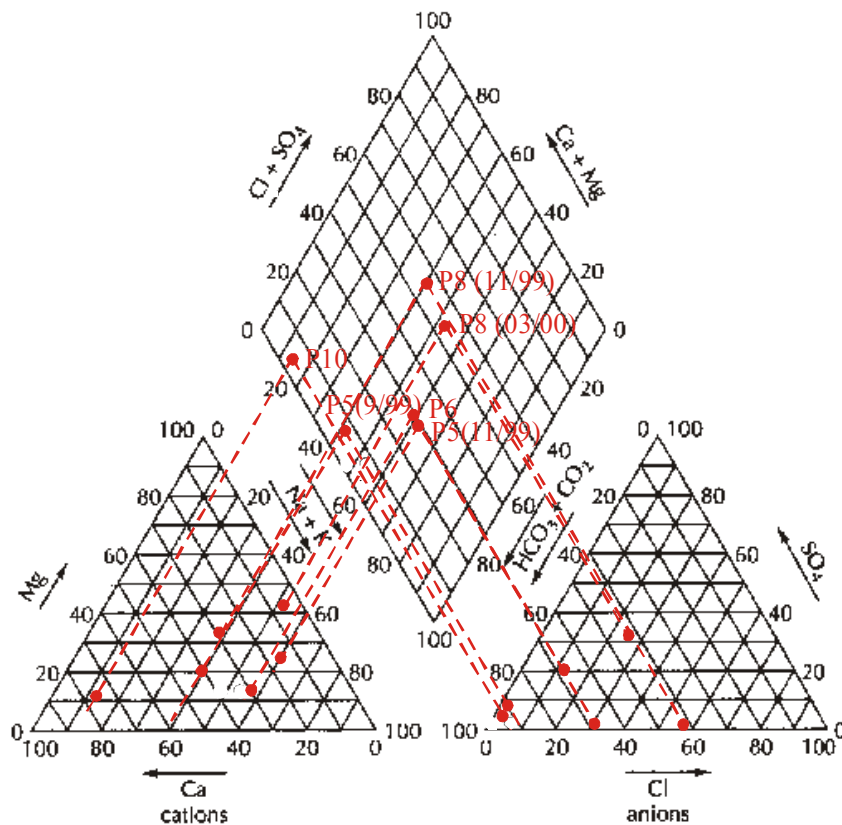


Figura 3. Diagrama de Piper

Indicadores microbiológicos

A Tabela 4 mostra a média geométrica, os valores máximo e mínimo observados de bactérias heterotróficas, coliformes totais e fecais, bactérias proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores nas amostras de água subterrânea do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha.

O número de bactérias heterotróficas varia de 120 a 40×10^5 UFC/mL, sendo maior nos poços P5 (média geométrica de 130×10^3 UFC/mL) e P7 (média geométrica de 280×10^3 UFC/mL). O número de coliformes totais varia de menor que 2 NMP/100 mL a maior ou igual a 1.600 NMP/100 mL (valor observado nos poços P7 e P9). Os poços P5 e P9 apresentam as maiores médias geométricas de coliformes totais (75 e 69 NMP/100 mL, respectivamente). O número de coliformes fecais varia de menor que 2 NMP/100 mL a maior ou igual a 1.600 NMP/100 mL (valor observado no poço P7). O poço P9 chegou a ter um número de coliformes fecais de 300 NMP/100 mL. O número de bactérias proteolíticas varia de menor que 2 NMP/100 mL a maior ou igual a 16.000 NMP/100 mL (observado no poço P7). Novamente, os poços P5 e P7 apresentam as maiores médias geométricas de bactérias proteolíticas (312 e 171 NMP/100 mL, respectivamente). Os clostrídios sulfito-redutores variam de menor que 2 NMP/100mL a maior que 1.600 NMP/100mL (poços P1, P5, P7 e P10).

Tabela 4. Resultados das análises bacteriológicas

Poço	n	Bactérias heterotróficas (UFC/mL)			Coliformes totais (NMP/100mL)			Coliformes fecais (NMP/100mL)			Bactérias proteolíticas (NMP/100mL)			Clostrídios sulfito-redutores (NMP/100mL)		
		\bar{X}_G	x_{min}	x_{max}	\bar{X}_G	x_{min}	x_{max}	\bar{X}_G	x_{min}	x_{max}	\bar{X}_G	x_{min}	x_{max}	\bar{X}_G	x_{min}	x_{max}
P1	8	36E3	120	110E4	3	<2	10	2	<2	10	8	<2	300	15	<2	≥ 1.600
P2	2	47E3	70E2	32E4	3	2	4	1	<2	2	24	14	40	3	<2	12
P3	1	70E2			2			2			80			55		
P4	3	140E2	90E2	30E3	5	<2	13	<2	<2	<2	56	20	300	18	4	50
P5	5	130E3	90E2	77E4	76	23	170	15	2	30	312	22	16.000	407	130	≥ 1.600
P6	5	250E2	30E2	130E3	8	<2	350	<2	<2	<2	18	<2	360	31	4	900
P7	5	280E3	54E3	40E5	10	<2	≥ 1.600	8	<2	≥ 1.600	171	10	≥ 16.000	39	<2	≥ 1.600
P8	5	46E3	50E2	290E3	5	<2	30	<2	<2	<2	9	<2	280	29	4	1.400
P9	5	46E3	180E2	170E3	69	<2	≥ 1.600	7	<2	300	25	<2	1.600	106	13	1.300
P10	5	73E3	50E2	440E3	6	<2	30	<2	<2	<2	31	<2	1.600	43	1	≥ 1.600
P11	1	61E3			4			<2			<20			23		
P13	2	52E3	32E3	86E3	2	<2	4	1	<2	2	71	10	500	173	23	1.300
P15	2	105E3	85E3	129E3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	100	20	500	1.049	500	2.200
P19	4	35E3	75E2	152E3	10	2	23	<2	<2	<2	18	2	170	34	8	170
P20	3	58E3	95E2	152E3	7	2	23	<2	<2	<2	25	8	170	25	8	170
n		56			56			56			56			56		
\bar{X}_G		53E3			8			2			31			45		
x_{min}		120			<2			<2			<2			<2		
x_{max}		40E5			≥ 1.600			≥ 1.600			≥ 16.000			≥ 1.600		

UFC: Unidade formadora de colônia; NMP: Número mais provável.

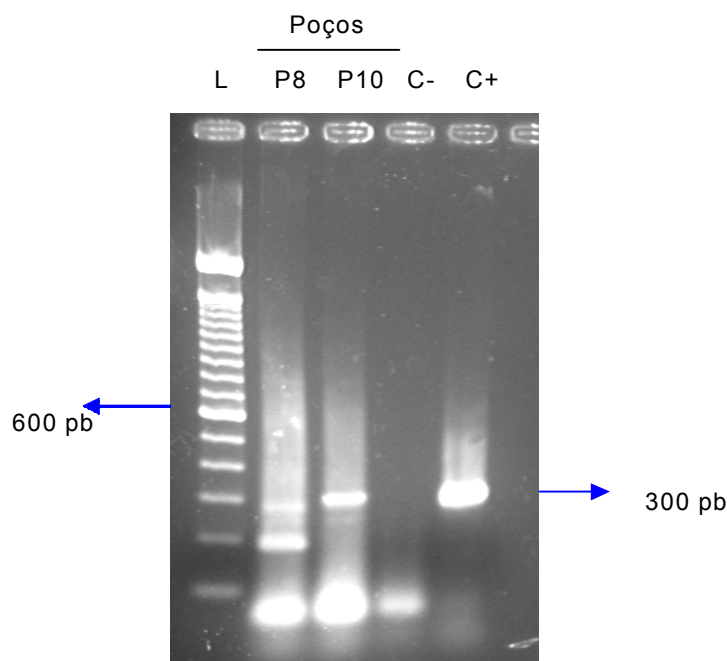
n: número de observações; \bar{X}_G : média geométrica; x_{min} : valor mínimo observado; x_{max} : valor máximo observado

A Tabela 5 mostra os resultados das análises para vírus humanos. A Figura 4 exemplifica os resultados da reação em cadeia da polimerase (PCR), visando detecção de adenovírus em amostras de água subterrânea coletadas nos poços P8 e P10 em 26/10/1999. A presença de adenovírus nas águas dos poços P8 e P10 foi detectada, uma vez que pode ser visualizado o fragmento de 300 pares de base (pb) na Figura 4. Fragmentos inexpressivos, apresentando tamanhos aproximados de 200 pb, também podem ser observados. Os enterovírus foram detectados nas amostras coletadas dos poços P8 e P10 em 21/03/2000.

Tabela 5. Resultados das análises para pesquisa de vírus humano

Poço	Indicador					
	26/10/1999		07/02/2000		21/03/2000	
	Adenovírus	Enterovírus	Adenovírus	Enterovírus	Adenovírus	Enterovírus
P5	-	-	-	-	-	-
P8	+	-	-	-	-	+
P10	+	-	-	-	-	+

-: abaixo do limite de detecção; +: detectado.



L: Marcador de peso molecular, DNA *ladder* de 100 pb (pares de bases); P8: PCR da amostra do poço P8 em 26/10/1999; P10: PCR da amostra do poço P10 em 26/10 de 1999; C-: Controle negativo-água DEPC 0,1%; C+: Controle positivo-Adenovírus 5.

Figura 4. Resultados da reação em cadeia da polimerase (PCR) para pesquisa de adenovírus

DISCUSSÃO

Indicadores químicos

Os poços P6, P8 e P11 foram utilizados como valores de fundo ou de *background*, devido às suas localizações e à maior profundidade do nível freático. Porém, foram encontradas concentrações mais elevadas de NO_3^- (11,56 e 21,62 mg/L) nos poços P6 e P8. Além disso, adenovírus e enterovírus foram detectados no poço P8. O P11 teve um uso restrito, uma vez que só foi possível monitorá-lo por um breve período, pois o nível d'água ficou abaixo do seu filtro, durante os meses de menor precipitação.

Os resultados dos indicadores químicos mostraram que as águas subterrâneas mais próximas da superfície possuem maior condutividade elétrica (chega a atingir 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que as águas mais profundas (não passa de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sugerindo um enriquecimento em íons das águas mais vulneráveis. DENT *apud* WHO (1998) também observou aumento na condutividade elétrica nas águas subterrâneas próximas de sepulturas recentes no cemitério Botany, na Austrália. MIGLIORINI (1994) notou um aumento na condutividade elétrica e na concentração de íons maiores no cemitério de Vila Formosa, em São Paulo.

Os resultados das análises de íons e metais nas águas subterrâneas do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha não foram satisfatórios, porque apenas os poços P5, P6, P8 e P10 tiveram um afastamento entre cátions e ânions abaixo de 10% no balanço iônico. Essas águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e sódicas, como é comum em se tratando de águas do município de São Paulo (PARISOT, 1983; SZIKSZAY *et al.*, 1990; MENEGASSE, 1991; MENEGASSE VELASQUEZ, 1996) e do Estado de São Paulo (CAMPUS, 1993 *apud* ROSA, 1999). MIGLIORINI (1994) classificou as águas do cemitério de Vila Formosa, em São Paulo, como bicarbonatadas cálcicas e sódicas.

As águas dos poços P5 e P10 possuem mais ferro, alumínio, chumbo e zinco do que os P6 e P8. Considerando a possibilidade de pessoas captarem a água subterrânea na proximidade do cemitério, através de poços rasos, e tomando os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (1990), as quantidades de Mn^{2+} , Pb^{2+} e Al^{3+} nos poços P5, P6, P8 e P10 estão acima dos valores máximos admissíveis que são de 0,1, 0,05 e 0,2 mg/L, respectivamente. É importante mencionar que aquela portaria foi substituída pela Portaria nº 1.469 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001), publicada no Diário Oficial em 19 de janeiro de 2001, concedendo 24 meses para que instituições e órgãos se adaptem ao cumprimento dos novos padrões.

Os poços P5, P6, P8 e P10 não apresentaram concentrações elevadas de nitrato ou nitrito, mas isso não implica na ausência de produtos nitrogenados no cemitério, porque não foram analisados outros compostos menos oxidados como o nitrogênio orgânico, amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+).

PEQUENO MARINHO (1998) encontrou a ocorrência de produtos nitrogenados nas águas subterrâneas do cemitério São João Batista, em Fortaleza. MIGLIORINI (1994) também encontrou concentrações elevadas de NH_4^+ e NO_3^- no cemitério de Vila Formosa em São Paulo que, segundo esse autor, provêm do processo de decomposição dos corpos que produz diaminas, como a cadaverina ($\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$) e a putrescina ($\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$), que podem ser degradadas, gerando NH_4^+ .

É possível que MIGLIORINI (*op. cit.*) tenha encontrado quantidades elevadas de NH_4^+ no cemitério de Vila Formosa, devido à escassez de oxigênio imposta pelo alto consumo deste pelas bactérias e reações de oxidação. No cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, as águas mais próximas da superfície apresentam menor quantidade de oxigênio dissolvido ($\sim 1,6$ mg/L) do que as águas mais profundas (P6, P8) que possuem, em média, 3,2 mg/L. Naquele ambiente redutor, nitrogênio orgânico e amônio são mais estáveis, como foi observado em efluente de fossa séptica no Parque Ecológico do Tietê em São Paulo (VARNIER & HIRATA, 2000). Mais distante da fonte de contaminação, como nos poços P6 e P8, encontramos o nitrogênio na sua forma mais oxidada (NO_3^-). Estas suposições precisariam ser confirmadas através do monitoramento mais eficiente dos indicadores químicos, incluindo todos os compostos de nitrogênio e, claro, de melhores resultados analíticos das análises químicas.

As águas mais profundas apresentam um pH menor do que as águas mais próximas da superfície. Esse fato também foi observado por MIGLIORINI (*op. cit.*) no cemitério de Vila Formosa.

Indicadores microbiológicos

A pesquisa de indicadores microbiológicos demonstrou a presença, principalmente, de bactérias heterotróficas, proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores nas águas subterrâneas do cemitério. Considerando a possibilidade das pessoas captarem essa água para beber, coliformes totais e fecais não devem ser encontrados em águas potáveis, e o número de bactérias heterotróficas não deve ultrapassar 500 UFC/mL (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001). A Portaria nº 1469 não faz menção aos outros indicadores analisados neste estudo..

Os poços P5, P7 e P9 apresentaram os maiores números dos indicadores pesquisados. O poço P5 teve as maiores médias geométricas \bar{X}_G de bactérias heterotróficas (130×10^3 UFC/mL), coliformes totais (76 NMP/100 mL), fecais (15 NMP/100 mL), bactérias proteolíticas (312 NMP/100 mL) e a segunda maior média geométrica de clostrídios sulfito-redutores (407 NMP/100 mL). Durante as coletas, a água do P5 tinha odor nauseabundo, podendo estar relacionado à presença do necrochorume. Neste poço, também foram observadas concentrações elevadas de bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, quando comparado com os poços P6 e P8 onde o nível freático está mais profundo. A menos de 2 m a montante do poço P5, existem sepultamentos de novembro

de 1998 a maio de 1999 que se estendem por aproximadamente 20 m. Aquelas covas parecem ser a fonte principal de contaminação do poço.

No poço P7, foram detectadas concentrações mais elevadas de bactérias heterotróficas ($\bar{X}_G = 280 \times 10^3$ UFC/mL), coliformes totais ($\bar{X}_G = 10$ NMP/100 mL), fecais ($\bar{X}_G = 8$ NMP/100 mL) e bactérias proteolíticas ($\bar{X}_G = 312$ NMP/100 mL), quando comparadas com valores de fundo ou *background* (P6 e P8). Os sepultamentos a montante do P7 são de agosto e setembro de 1997. Cerca de 10 m para cima, existe uma área de jazigos permanentes com sepulturas em datas diversas. Os poços P7 e P10, apesar de não estarem próximos de sepultamentos recentes, estão em uma área onde foi observada a presença de aquíferos suspensos durante a execução das sondagens geológicas. É possível que a contaminação observada no P7, e em menor escala no P10, seja oriunda de corpos saponificados, que segundo PACHECO & BATELLO (2000) podem ser fontes de contaminação.

O poço P9 é contíguo ao muro do cemitério e apresenta números elevados de coliformes totais ($\bar{X}_G = 69$ NMP/100 mL) e fecais ($\bar{X}_G = 7$ NMP/100 mL). Acreditamos que o P9 sofra uma influência maior da galeria de águas pluviais que se encontra a menos de 1 m deste. Os números elevados de bactérias encontrados neste poço não são resultantes dos sepultamentos no cemitério, mas de possíveis vazamentos da galeria que, provavelmente, recebe esgotos. Análises bacteriológicas de amostras de água do córrego canalizado que atravessa o cemitério apresentaram número elevado de coliformes totais (>16.000 NMP/100 mL) e fecais (>16.000 NMP/100 mL), demonstrando a contribuição direta de esgotos (MATOS *et al.*, 1998). Análises bacteriológicas realizadas por TÔRRES (1992) também mostraram concentrações elevadas de coliformes totais ($\bar{X}_G \cong 1.600$ NMP/100 mL) e fecais ($\bar{X}_G \cong 80$ NMP/100 mL) em poços próximos ao muro do cemitério, onde hoje está o P9.

Observar aumento nas concentrações de coliformes totais e fecais em áreas mais a jusante das sepulturas, como o que aconteceu no P9 no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, e foi observado no cemitério do Benguí, em Belém (CARVALHO JUNIOR & COSTA E SILVA, 1997; BRAZ *et al.*, 2000) deve ser visto com desconfiança. Pode ser outra a fonte de contaminação, que não os cemitérios.

Os números observados de bactérias heterotróficas ($\bar{X}_G = 53 \times 10^3$ UFC/mL), coliformes totais ($\bar{X}_G = 8$ NMP/100 mL) e fecais ($\bar{X}_G = 2$ NMP/100 mL) no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha foram semelhantes aqueles observados por PACHECO *et al.* (1991). O número de clostrídios sulfito-redutores ($\bar{X}_G = 45$ NMP/100 mL) foi cerca de seis vezes maior que o encontrado no estudo daqueles autores, enquanto o de bactérias proteolíticas ($\bar{X}_G = 31$ NMP/100 mL) foi trinta e três vezes menor.

As bactérias heterotróficas - aquelas que usam compostos orgânicos como fonte de carbono - foram encontradas em números elevados em todos os poços, principalmente naqueles próximos da fonte de contaminação, funcionando bem como indicadores. Os coliformes totais e fecais foram detectados em concentrações maiores apenas nos poços próximos das fontes de contaminação, mostrando que são transportados para distâncias de alguns metros. Apesar de serem bons indicadores de contaminação de origem humana ou animal, as bactérias do grupo coliforme não são tão resistentes no meio ambiente; além disso, elas podem ser inibidas pela presença de outras bactérias (CETESB, 1996). A utilização destas bactérias para o estudo do transporte de contaminantes em cemitérios, e em geral nas águas subterrâneas, deve ser considerada com cuidado, uma vez que outros contaminantes mais persistentes, como os vírus, podem ser transportados no meio poroso para distâncias maiores (KESWICK *et al.*, 1982).

As bactérias proteolíticas são responsáveis pela hidrólise das proteínas. Análise de uma amostra do percolado de sepultamentos, coletada em março de 2000 por ocasião do extravasamento em uma rua do cemitério, apresentou números elevados de bactérias proteolíticas (9.000 NMP/100 mL). O emprego destas bactérias como indicador foi eficiente na detecção da contaminação oriunda de sepultamentos. Os clostrídios também funcionaram bem como indicadores da contaminação, mostrando a sua persistência no meio.

Os resultados indicam que as bactérias foram transportadas alguns metros, e os vírus, algumas dezenas de metros. A maioria dos estudos realizados (ROMERO, 1970; KESWICK *et al.* 1982; MCDOWELL-BOYER *et al.*, 1986) mostram que os vírus alcançam distâncias maiores que as bactérias. Porém, não é consenso de todos os estudos, segundo WHO (1998), os vírus podem ser retidos no solo por adsorção, atingindo distâncias menores que as bactérias.

CONCLUSÃO

A pesquisa de indicadores microbiológicos demonstrou a presença, principalmente, de bactérias heterotróficas (53×10^3 UFC/mL), bactérias proteolíticas (31 NMP/100 mL) e clostrídios sulfito-redutores (45 NMP/100 mL) nas águas subterrâneas do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha. Também foram encontrados enterovírus e adenovírus.

As bactérias heterotróficas foram encontradas em números elevados em todos os poços, principalmente naqueles mais próximos da fonte de contaminação, funcionando bem como indicadores. Os coliformes totais e fecais foram detectados em concentrações maiores apenas nos poços próximos dos sepultamentos, mostrando que alcançam distâncias de poucos metros. As bactérias proteolíticas foram eficientes na detecção da contaminação oriunda de sepultamentos. Os clostrídios também funcionaram bem como indicadores da contaminação, mostrando a sua persistência no meio.

As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas no cemitério são as sepulturas com menos de um ano localizadas nas cotas mais baixas, próximas ao nível freático. Nestes locais, é maior a ocorrência de bactérias em geral. Há um grande consumo do oxigênio existente nas águas. As sepulturas ainda provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica destas águas. Parece haver um aumento na concentração dos íons maiores bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais ferro, alumínio, chumbo e zinco nas águas próximas de sepulturas.

As bactérias são transportadas alguns metros, diminuindo em concentração com o aumento da distância à fonte de contaminação. Os vírus parecem ter uma mobilidade maior que as bactérias, alcançando, no mínimo, algumas dezenas de metros no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha. Os vírus foram transportados, pelo menos, 3,2 m na zona não saturada até alcançar o aquífero.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos a Professora Dra. Vivian Pellizari do Laboratório de Microbiologia Ambiental do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, a Professora Dra. Dolores Mehnert do Laboratório de Virologia do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo e a Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio a este projeto. (Processos: 96/01250-3, 97/07511-6).

REFERÊNCIAS

- ALLARD, A.; GIRONES, R.; PER JUTO; WADELL, G. (1990) Polymerase chain reaction for detection of adenoviruses in stool samples. *Journal of Clinical Microbiolog.* v. 28, p. 2659-2667.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1997) *Construção de poços de monitoramento e amostragem* - (NBR 13895). Rio de Janeiro, ABNT. 21 p.
- BRAZ, V.; BECKMANN; COSTA E SILVA, L. (2000) Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, 2000. *Anais*. Fortaleza, ABAS. 1 CD-ROM.
- CARVALHO JUNIOR, M.A.F.; COSTA E SILVA, L.M. (1997) SP e eletrorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., São Paulo, 1997. *Resumos Expandidos*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geofísica, v. 1, p. 471-474.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1988) *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo, CETESB. 150 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1993a) *Coliformes totais e fecais – Determinação pela técnica de tubos múltiplos*. São Paulo, CETESB. 39 p. (Norma L5.202).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1993b) *Clostridium perfringes – Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos*. São Paulo, CETESB. 28 p. (Norma L5.213).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1996) *Bactérias heterotróficas. Contagem em placas*. São Paulo, CETESB. 26 p. (Norma L5.201)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1999) *Implantação de cemitérios*. São Paulo, CETESB. 6 p. (Norma L1.040).
- HYPOLITO, R. (1998) *Alcalinidade*. São Paulo, Instituto de Geociências/USP. 52 p. (Apostila da disciplina Geoquímica da Interação solo/rocha/água).
- KESWICK, B.H.; WANG, D.; GERBA, C.P. (1982) The use of microorganisms as groundwater tracers: a review. *Ground Water*, v. 20, n. 2, p. 142-149.
- MARTINS, M.T.; PELLIZARI, V.H.; PACHECO, A.; MYAKI, D.M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N.R.S.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. (1991) Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Revista de Saúde Pública*, v. 25, n. 1, p. 47-52.

- MATOS, B. (2001) *Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo*. São Paulo, 114 p. Tese (Doutorado)– Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MCDOWELL-BOYER, L. M.; HUNT, J. R.; SITAR, N. (1986) Particle transport through porous media. *Water Resources Research*, n. 22, v. 13, p. 1901-1921.
- MEHNERT, D.U.; STEWIEN, K.E.; HÁRSI, C.M.; QUEIROZ, A.P.S.; CANDEIAS, J.M.G.; CANDEIAS, J.A.N. (1997) Detection of rotavirus in sewage and creek water: efficiency of the concentration method. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, v. 92, n. 1, p. 97-100.
- MENEGASSE, L.N. (1991) *Estudo hidrogeológico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque a NW da Grande São Paulo –critérios para locação de poços profundos*. São Paulo, 104 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MENEGASSE VELASQUEZ, L.N. (1996) *Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial – Área piloto: sub-bacias Sumaré e Pompéia, município de São Paulo*. São Paulo, 124 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MIGLIORINI, R.B. (1994) *Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo*. São Paulo. 74 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001) *Portaria no. 1.469, de 29 de dezembro de 2000*. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jan. 2001. 22 p.
- PACHECO, A.; BATELLO, E. (2000) A influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. *Revista Engenharia e Arquitetura*, v.2, n. 1, p. 32-39.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A. (1991) Cemeteries - a potential risk to groundwater. *Water Science and Technology*, v. 24, n. 11, p. 97-104.
- PACHECO, A.; SILVA, L.M.; MENDES, J.M.B.; MATOS, B.A. (1999) Resíduos de cemitérios e saúde pública. *Revista Limpeza Pública*, v. 52, p. 25-27.
- PARISOT, E.H. (1983) *As águas subterrâneas no centro-oeste do município de São Paulo*. São Paulo, 93 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PEQUENO MARINHO, A.M.C. (1998) *Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza*, 88 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará.

- ROMERO, J.C. (1970) The movement of bacteria and viruses through porous media. *Ground Water*, v. 8, n. 2, p. 37-48.
- ROSA, F.V.T (1999) *Elementos para estudo de viabilidade de projetos de exploração de água mineral*. Campinas, 137 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- SCHWABB, K.J.; DE LEON, R.; SOBSEY, M.D. (1995) Concentration and purification of beef extract mock eluates from water samples for the detection of enteroviruses, hepatitis A and Norwalk virus by reverse transcription-PCR. *Applied Environmental Microbiology*, v. 61, p. 531-537.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A.A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R.M.; SAMESHIMA, R.H. (1990) Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to ground water at an experimental site at the university of São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 118, p. 175-190.
- TÔRRES, S.L. (1992) *O problema geo-ambiental da localização de cemitérios em meios urbano: estudo 2*. São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. p. 1-32. (Relatório final; Processo 91/0360-6).
- VARNIER, C.; HIRATA, R. (2000) Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê – São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, 2000. *Anais*. Fortaleza, ABAS. 1 CD-ROM.
- VERA, H.D.; DUMOFF, M. (1974) *Culture media*. In: LENNETTE, E.H.; SPAULDING, E.H. TRUANT, J.P. (Ed.). *Manual of clinical microbiology*. 2nd ed. Washington, D.C. American Society for Microbiology. p. 881-929.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (1998) *The impact of cemeteries on the environment and public health. An introductory briefing*. Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe. 11 p. (Rept. EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A)).