

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**“ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DO FLÚOR EM AQUÍFERO DA
REGIÃO DA BARRA FUNDA, SÃO PAULO”**

Diego Felipe Pacheco

**Orientador: Reginaldo Antonio Bertolo
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental**

**Monografia do Trabalho de Formatura
TF/09-08**

**SÃO PAULO
2009**

**TF
P116
DF.e**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



Monografia do Trabalho de Formatura
TF/09-09

"Estudo Hidrogeoquímico do Flúor em Aquífero da Região da Barra
Fundá, São Paulo"

Diego Felipe Pacheco

Prof.º Reginaldo Antonio Bertolo:
Departamento de geologia sedimentar e ambiental - GSA

2009

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026791

P116
DF.e



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Agradecimentos

Acima de tudo, agradeço a minha família por todo apoio, amparo e amor que precisei e que me prestaram. Cada um a sua maneira, mas todos importantes na minha vida.

Gostaria de agradecer à toda família do Laboratório de Modelos Físicos, que propiciaram momentos divertidos e especiais. Agradeço a meu orientador e agora bom amigo, Profº Dr. Reginaldo Antonio Bertolo, pelo apoio e conselho ao longo deste meu último ano na graduação, ajudas que foram além da simples orientação de um projeto de faculdade e com certeza irão me ajudar em todos os momentos da minha vida, a Profª. Dr. Veridiana Martins, ou Veri, por todo apoio no desenvolvimento desse projeto e pela amizade, principalmente nos frequentes momentos em que esta visitava o laboratório com sua canequinha de café ou chá. Sou grato também pelos conselhos acadêmicos e profissionais do Profº. Dr. Ricardo Cesar Aoki Hirata, que além de tudo isso, permitiu interessantes conversas sobre temas diversos, e as risadas e conversas com os Ms. Leonardo Marcolan e Ms. Carlos Maldaner.

Meus sinceros agradecimentos a Profª. Dr. Maria Irene Bartolomeu Raposo, pela ajuda e auxílio na minha primeira iniciação científica e experiência com o mundo acadêmico.

Agradeço à todos os meus amigos por todos os momentos que vivenciamos e dividimos, seja esse amigo companheiro desde a infância, como meu “irmão torto” Edgard Henrique Balam, ou todo o pessoal que conheci durante minha adolescência no Colégio Técnico de Limeira; Diego Góes, Diego Ferrari, Felipe Fernandes, Fernando Loatti, Fernando Portella, Rafael Barzagli, Tiago Bacarin, Felipe Pereira, Bruno Barbosa e Gustavo de Castro, com os quais presenciei os melhores churrasco improvisados de última hora e as festas em repúblicas mais engraçadas; ou a todos que sempre me acompanharam na faculdade, dividindo o tempo de convívio entre pizzas e trabalhos atrasados: Marcelo “Imbecil” Henriques, Pedro “Morsa” Rabello, Sara “Machu Rã” Nomura, Vinicius “Rebitado” Ribau, Victor “Pré Pica” Prates, Danilo “Gonzo” Saunite, Pedro “Porra” Rosa, Lucas “Sal” Claudio, Lucas “Marmota” Gonçalves, Guilherme “Sol” dos Santos, José “Jabá” Manoel, Lyvia “Saravá”, Adina “Placenta”, Felipe “Pimpolho” Antonialli e a minha grande amiga e companheira Giovanna “Furadeira” Pereira.

Entre os funcionários, agradeço especialmente o Henrique da gráfica, Sandra da Biblioteca e o Paulinho do laboratório de geofísica, o qual sem sua força, literalmente meu campo de amostragem de solo não teria ocorrido.

E por último gostaria de agradecer profundamente a todos que me esqueci de citar aqui, mas me acompanharam em algum momento da minha vida.

Epígrafe

Spring came with awakening, came with innocence and joy
Spring came with fascination and desire to deploy
Summer came with restlessness and curiosity
Summer came with longing for the things we could not be

Take me to the forest, take me to the trees
Take me anywhere as long as you take me
Take me to the ocean, take me to the sea
Take me to the Breathe and BE

Autumn came with knowledge, came with ego came with pride
Autumn came with shamefulness for the things we could not hide
Winter came with anger and a bitter taste of fate
Winter came with fear for the things we could not escape

Take me to the forest, take me to the trees
Take me anywhere as long as you take me
Take me to the ocean, take me to the sea
Take me to the Breathe and BE

**Teach me of the forest, teach me of the trees
Teach me anything as long as you teach me
Teach me of the ocean, teach me of the sea
Teach me of the Breathe and BE**

See me! I am the one creation
Hear me! I am all the love that came from Animae
Know me! I am the incarnation
Fear me! I am all the power held by Animae
Me!

Give me of the forest, give me of the trees
Give me anything as long as it's for me
Give me of the ocean, give me of the sea
Give me of the Breathe and BE

Give me all the forests, give me all the trees
Give me everything as long as it's for free
Give me all the oceans, give me all the seas
Give me all the breathing BE

Imago (Homines Partus)

Pain of Salvation

Resumo

Ocorrências de concentrações anômalas de fluoreto em poços tubulares no Bairro da Barra Funda, São Paulo, com valores acima do limite de potabilidade descrito na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (1,5mg/L), foram detectadas pelo Conselho de Vigilância Sanitária em 2007. Tal situação possibilitou a elaboração de um projeto de pesquisa financiado pela CNPq, no qual este trabalho de formatura está vinculado, e teve como objetivo avaliar a extensão da contaminação e contribuir para a definição da sua origem, se natural ou antrópica, além de avaliar se há concentrações anômalas de fluoreto no solo.

Após a elaboração de um banco de dados de poços presentes na área e cadastrados no Departamento de Água e Energia Elétrica, coleta e análise de amostras de água, solo e efluentes, foram realizadas análises hidrogeoquímicas e comparações dos laudos químicos com normas de controle da qualidade da água e solo, e com isso foi verificada a existência da anomalia de fluoreto somente nas amostras de água do Sistema Aquífero Cristalino.

O fluoreto está associado com águas bicarbonatas-sódicas, e sua concentração é diretamente proporcional ao pH, condutividade elétrica, alcalinidade e temperatura, mas inversamente proporcional ao Eh e à quantidade de oxigênio dissolvido nas amostras. Além disso, a disposição da anomalia em relação ao Sistema Aquífero Cristalino indica que o ânion está associado a zonas de falhas e a dissolução de cristais de fluorita presentes nessas estruturas, relacionando a anomalia a fontes naturais.

Abstract

Occurrences of wells with anomalous concentration of fluoride in Barra Funda, São Paulo, with values beyond potability limits accepted by Ministry of Health Decree 518/2004 (1,5 mg/L), has been detected by the Council of Health Surveillance in 2007. That situation allowed the elaboration of this project, supported by CNPq, which was created to study the distribution of fluoride and help to define the origin of that anomalous concentration, if natural or anthropogenic, and to verify if the soil has anomalous concentration too.

After the elaboration of a database of wells which were found in the area and registered at Departament of Water and Eletric Energy, sampling and analysis of water, soil and effluent samples, some hidrogeochemistry analysis and comparison with standards of regulation were made and the results showed anomalous concentration of fluoride only in the groundwater from Sistema Aquifero Cristalino.

The fluoride is associated with sodium-bicarbonate waters, and the concentration is directly proportional to pH, electric conductivity, alkalinity and temperature, but inversely proportional to Eh and dissolved oxygen. Furthermore, the relationship between the distribution of the anomalous concentration an the top of Crystalline Aquifer System suggests that the ion is related to faults, to shear zones and to dissolution of fluorite inside theses structures, associating the anomalous concentration to natural source.

Sumário

Dedicatória.....	i
Agradecimentos	ii
Epígrafe	iii
Resumo	iv
<i>Abstract</i>	v
1. Introdução.....	1
2. Metas e Objetivos.....	2
3. Revisão Bibliográfica	2
3.1. Geoquímica do Flúor	2
3.2. Outros casos de concentração anômala de fluoreto.....	5
3.3. Contexto geológico.....	7
3.3.1. Embasamento cristalino	8
3.3.2. Cobertura sedimentar	10
3. 4. Contexto Hidrogeológico.....	10
4. Materiais e Métodos	13
4.1. Levantamento bibliográfico	13
4.2. Cadastro de poços profundos	13
4.3. Coleta e análises de amostras de água	15
4.3.1. Coleta e medida de parâmetros físico-químicos.....	15
4.3.2. Análises no Laboratório de Modelos Físicos (LAMO)	16
4.3.3 Análise em Laboratório Particular (ICP-OES e Cromatografia Iônica).....	18
4.3.4. Tratamento dos dados	18
4.4. Coleta de efluentes e análise	19
4.4.1. Levantamento de possíveis fontes antrópicas para a anomalia	19
4.4.2. Coleta	20
4.4.3. Análise das amostras.....	20
4.4.4. Tratamento do dados.....	20
4.5. Coleta e análise de amostras de solo	20
4.5.1. Levantamento de área para coleta de solo.....	20
4.5.2. Coleta	21
4.5.3. Tratamento dos dados	24
5. Desenvolvimento do trabalho	24
6. Resultados obtidos	26
6.1. Análise dos perfis construtivos dos poços	26
6.1. Análise de amostras de água	26
6.1.1 Parâmetros físico-químicos e alcalinidade.....	26
6.1.2. Resultados da espectrofotometria.....	28
6.1.3. Resultados da cromatografia iônica e ICP	30
6.2. Correlações da concentração de fluoreto com parâmetros físico-químicos, construtivos e de exploração dos poços	38
6.3. Análises de amostras de efluentes	40
6.4 Análises de amostras de solo	42
6.5. Delimitação da área afetada pela anomalia.....	46
7. Conclusões.....	48
Referências Bibliográficas.....	49

1. Introdução

Este projeto objetivou avaliar a extensão da contaminação de fluoreto na água subterrânea de poços de abastecimento localizados no Bairro da Barra Funda, São Paulo, e contribuir para a definição da sua origem, se natural ou antrópica. Para isso foram realizadas comparações entre análises de amostras de água e solo.

Durante uma campanha de verificação da qualidade da água subterrânea da região do Bairro da Barra Funda, realizada em 2007 pela Coordenação de Vigilância Sanitária (COVISA) em conjunto com alguns pesquisadores do Laboratório de Modelos Físicos (LAMO), do Instituto de Geociências da USP, foram identificados poços tubulares profundos com água apresentando concentrações anômalas de fluoreto, acima de 1,5 mg/L. De acordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, a concentração máxima de F^- permitida para consumo humano é 1,5 mg/L, embora em águas naturais este íon normalmente ocorra em concentração menor que 1,0 mg/L (Hem, 1985). Quando em concentração ótima (na ordem de 0,5 mg/L), o F^- contribui para a saúde humana auxiliando na redução de cáries e formação dentária, principalmente de crianças (CETESB, 2006), porém os efeitos são maléficos quando as concentrações são maiores que o limite de potabilidade, podendo gerar fluorose (Farooqi *et al.*, 2007).

Tal situação despertou interesse de pesquisadores do Instituto de Geociências (IGC-USP), resultando em um projeto de pesquisa intitulado "A Origem da Contaminação de Flúor na Água Subterrânea, por Isótopos de Estrôncio, Oxigênio e Hidrogênio: Um caso na Grande São Paulo", financiado pelo CNPq (processo nº: 482702/2007-9) e em desenvolvimento no período de Fevereiro de 2008 até Fevereiro de 2010. Neste trabalho de conclusão de curso foram realizadas todas as análises físico-químicas e químicas do projeto CNPq, ou seja, análises químicas de amostras de solo, água e efluentes, determinação da alcalinidade e medida *in situ* do pH, Eh, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido em amostras de água. Todas as análises isotópicas foram realizadas pela aluna Daphne Pino como trabalho de conclusão de curso neste ano.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram realizadas análises de cátions (Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn), ânions (F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) e sílica em amostras de águas com e sem anomalia de fluoreto, coletadas em poços com registro no DAEE. Também foram analisados óxidos (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5) e elementos traços (Ba, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, e Zr) em amostras de solo para verificar a possível relação dessa anomalia com atividades industriais/comerciais, pretendendo dessa forma confirmar ou descartar essa hipótese.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a qual se insere a área de estudo, possui aproximadamente 19,5 milhões de usuários do sistema de distribuição de água,

consumindo 2,13 milhões de m³/ano, sendo que os sistemas Alto Tietê, Cantareira e Guarapiranga são responsáveis por 84,2% desse volume (SABESP, 2006). Em comparação com a demanda imposta às reservas superficiais, as águas subterrâneas atendem a uma parcela menor do consumo total, correspondente a 12%, abastecendo principalmente indústrias e conjuntos residenciais (Hirata & Ferreira, 2001). Embora essa contribuição seja menos expressiva, os abastecimentos por água subterrânea diminuem a demanda imposta às reservas superficiais, possibilitando melhor abastecimento e distribuição de água na RMSP. Segundo Rebouças *et al.* (1994), as águas subterrâneas possuem menores riscos de contaminação do que as águas superficiais, porém os processos de poluição dos aquíferos são lentos e discretos, podendo levar anos para que uma contaminação seja detectada, o que é agravado pela carência de cuidados e estudos. Portanto o conhecimento dos problemas de qualidade da água subterrânea e sua extensão, sejam de origem natural ou antrópica, adquirem importância social e econômica, permitindo antever os problemas de abastecimento relacionados com a qualidade da água subterrânea. Além disso, o processo de investigação da anomalia geoquímica envolve a utilização de modernas técnicas analíticas e de campo. E isto, juntamente com o processo de tratamento dos resultados para o estabelecimento do modelo geoquímico conceitual do aquífero, possui considerável valor acadêmico.

2. Metas e Objetivos

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivos:

- 1 – Caracterizar a distribuição da contaminação de fluoreto, através da realização de um cadastro de poços profundos com análises de água;
- 2 – Contribuir para a definição da origem da anomalia de fluoreto na região da Barra Funda (SP), através da realização de coleta e análises de água subterrânea para os parâmetros físico-químicos e químicos;
- 3 – Identificar a existência de anomalia geoquímica de fluoreto em amostras de solo raso coletadas junto a áreas potencialmente contaminadas pelo elemento.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Geoquímica do Flúor

O flúor é um elemento mais leve da família dos halogênios, com alta eletronegatividade e reatividade, capaz de formar ligações estáveis com diversos elementos. Em condições de alta temperatura torna-se móvel, fato este associado ao seu peso e

volatilidade torna-o um elemento comum em soluções hidrotermais, junto com o boro e, em menor expressão, o cloro. As maiores concentrações ocorrem em rochas ígneas ácidas, veios mineralizados e formações sedimentares onde reações biogeoquímicas ocorreram (Fraga, 1992; Edmunds & Smedley 2005).

Sua concentração média na litosfera é de aproximadamente 700 ppm, sendo que grande parte encontra-se em minerais (Hem, 1985), seja como elemento fundamental para a formação do mineral, como na fluorita e fluorapatita (CETESB, 2006), ou como elemento traço em biotitas, hornblenda, argilo minerais e crolita (Leybourne *et al.*, 2008; Msonda *et al.*, 2007).

Um esquema do ciclo hidrogeoquímico do fluoreto foi esboçado por Edmunds & Smedley (2005) (Fig. 1):

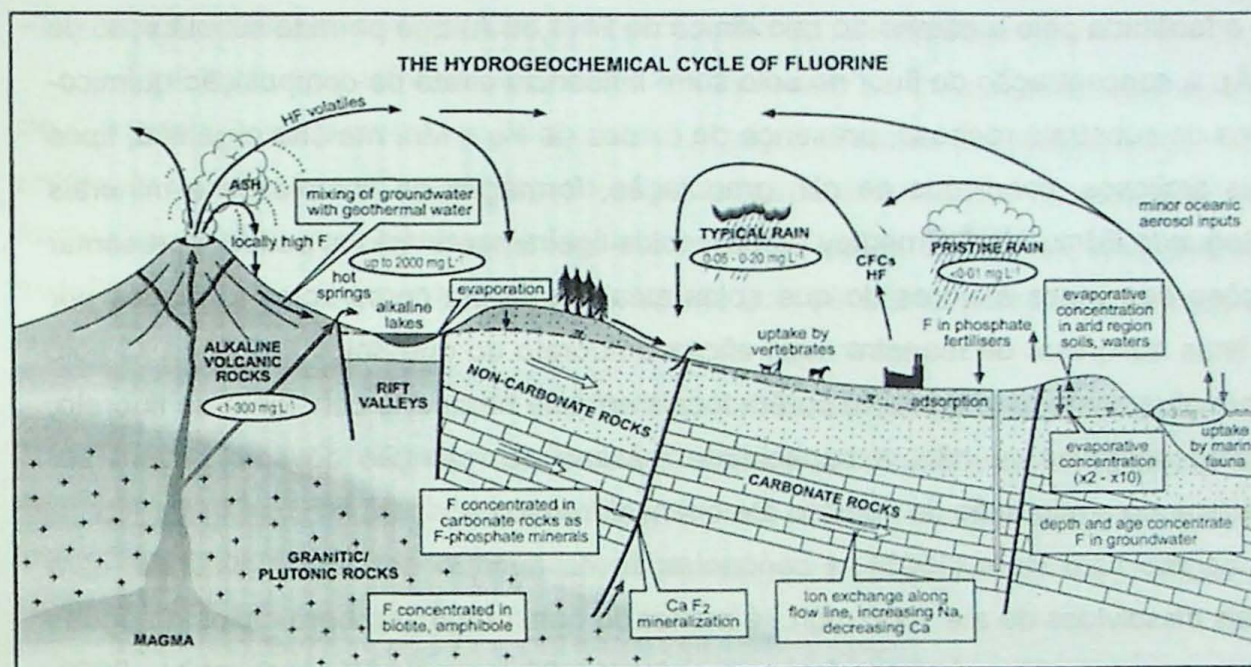


Figura 1 - Diagrama esquemático mostrando o ciclo hidrogeoquímico do flúor

A concentração desse elemento na atmosfera, hidrosfera e na água subterrânea está relacionada com a interação água-rocha e por atividades industriais.

Para Edmunds & Smedley (2005), a concentração na atmosfera será maior conforme maior a intensidade da atividade ígnea, com liberação de gases, evaporação, principalmente de lagos alcalinos, aerossóis marinhos e poluentes industriais. De acordo com a composição química da água marinha e sob influência dos aerossóis, chuvas em regiões costeiras com 10 mg/L de cloreto deveriam apresentar concentração de fluoreto próxima de 0,68 µg/L. Ao contrário do esperado, a concentração de fluoreto nas chuvas é maior do que o estimado indicando que há uma maior contribuição marinha ou um incremento da concentração devido às atividades industriais. Chuvas puras, sem influência de aerossóis, deveriam apresentar em áreas continentais e costeiras valores médios de concentração entre 4 e 9 µg/L. Valores acima de 220 µg/L podem ser considerados indicativos de influência antrópica.

Os valores de concentração para água superficial apresentam normalmente a mesma ordem de grandeza da concentração na atmosfera, não excedendo 300 µg/L. Porém regiões de gradiente geotérmico elevado, como no rift no leste da África, as concentrações superam 1980 mg/L.

A concentração média de fluoreto em solos presentes em zonas mineralizadas hidrotermalmente, de acordo com Kabata-pendia & Pendia (1984), está entre 20 e 500 mg/Kg, e embora esse valor possa ser elevado, normalmente apenas uma pequena fração do elemento presente naturalmente (<10 mg/Kg) é facilmente solúvel. De acordo com Fraga (1992), o flúor está associado nos solos principalmente a colóides e argilas devido à adsorção e troca de ânions. A adsorção ocorre em consequência da atração entre a carga superficial dos minerais argilosos e do íon F^- , enquanto que a troca iônica, normalmente com hidroxilas, é facilitada pelo tamanho do raio iônico do F^- (1,36 Å) que permite substituição de OH^- (1,40 Å). A concentração de flúor no solo sofre influência direta da composição químico-mineralógica do substrato rochoso, presença de óxidos de Fe e Mn, matéria orgânica, tipos de minerais argilosos, condições de pH, granulação, formação de complexos e minerais solúveis. Segundo Edmunds & Smedley (2005), solos ligeiramente ácidos podem apresentar concentrações dez vezes maiores do que solos alcalinos assim como solos formados por partículas finas adsorvem de maneira mais eficaz o fluoreto do que solos arenosos. O solo normalmente atua como uma barreira, porém locais em que há aporte constante de fluoreto, seja por fonte antrópica ou não, a capacidade máxima de retenção do solo poderá ser atingida, facilitando a migração do fluoreto até o lençol freático.

De acordo com Hem (1985), a concentração de fluoreto em águas naturais, com sólidos totais dissolvidos de até 1000 mg/L, é menor do que 1 mg/L, embora casos de águas naturais com concentrações maiores foram registrados (Valenzuela-Vásquez *et al.*, 2006; Msona *et al.*, 2007). A concentração de fluoreto em águas depende de vários fatores, entre eles o pH, a composição química da água, produto de solubilidade da fluorita, temperatura e tempo de interação água-rocha. Segundo Fraga (1992), a solubilização do F^- das rochas é maior para águas do tipo bicarbonatadas-sódicas, embora na Bacia do Paraná os valores anômalos de F^- estejam relacionados a águas do tipo sulfatadas-cloretadas sódicas.

Em pH elevado, o flúor tende a formar complexos hidrolisados, de baixa solubilidade, enquanto que em pH baixo, o F^- pode combinar-se com Al^{3+} , Be^{2+} , Fe^{3+} e B^+ , os quais favorecem a mobilização do flúor. Águas fluoretadas apresentam valores elevados da razão $(Na^+ + K^+)/Ca^{2+}$, e dessa forma qualquer mudança que ocorra na composição química dessas águas é acompanhada pelas alterações dos valores desta relação. Edmunds & Smedley (2005) enfatizam a importância do produto de solubilidade da seguinte maneira:



$$K_{fluorita} = (Ca^{2+}) \cdot (F^-)^2 = 10^{-10.57} \text{ a } 25^\circ C \quad (2)$$

$$\text{Ou, } \log K_{\text{fluorita}} = \log(\text{Ca}^{2+}) + 2\log(\text{F}^-) = -10,57 \quad (3)$$

onde K_{fluorita} = produto de solubilidade

De acordo com essa relação, a concentração de fluoreto é inversamente proporcional à concentração de Ca^{2+} . Dessa forma a concentração de F^- pode aumentar através da substituição do Ca^{2+} por Na^+ , condição essa atingida através de troca iônica com argilominerais em águas Na-HCO_3 .

A solubilidade é ainda diretamente proporcional à temperatura (Eq. 2), por exemplo, com a redução da temperatura para 10°C , o valor de K_{fluorita} seria igual a $10^{-10,8}$. A concentração também é diretamente proporcional ao tempo de interação água-rocha, favorecendo o aumento da concentração de F^- em águas com tempo de residência longo, como águas presentes nas porções mais profundas de um aquífero.

De acordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, a concentração máxima de F^- permitida para consumo humano é 1,5 mg/l. Quando em concentração ótima (na ordem de 0,5 mg/L), o F^- contribui para a saúde humana auxiliando na redução de cáries e formação dentária, principalmente de crianças (CETESB, 2006), porém os efeitos são maléficos quando as concentrações são maiores que o limite de potabilidade, podendo gerar fluorose (Farooqi *et al.*, 2007).

A origem das concentrações anômalas de fluoreto em águas subterrâneas, acima de 1,5mg/l, pode ser natural, quando o fluoreto provém de minerais ricos em flúor, normalmente do próprio aquífero, ou antrópica, quando o fluoreto provém de atividades antrópicas, como fundições, cerâmicas, indústrias de fertilizantes, rações de animais e abatedouros de animais (CETESB, 2006).

3.2. Outros casos de concentração anômala de fluoreto

Embora o flúor não seja um elemento com concentração média elevada na crosta, como o silício, alumínio, cálcio e sódio, este está presente em diversos aquíferos ao redor do mundo em concentrações acima do estabelecido pela World Health Organization (WHO 2004), o qual é igual ao valor permitido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

De acordo com Edmunds & Smedley (2005), embora esse valor seja amplamente utilizado como parâmetro, muitos países adotam diferentes limites máximos de concentração de fluoreto para águas potáveis, devido a condições sociais, econômicas e geológicas. Índia e China consideram águas com concentração de até 1,0 mg/L de fluoreto como potáveis, ao contrário dos Estados Unidos da América e Tanzânia, com valores de até 4 e 8 mg/L, respectivamente. Neste último, as condições de escassez de água e concentrações altas de fluoreto em toda a região impedem um padrão nacional de potabilidade próximo de 1,5 mg/L.

No mesmo trabalho é apresentada uma compilação de diversos trabalhos reportando os valores da concentração do íon em aquíferos. Concentrações acima do valor orientador estipulado pela World Health Organization foram encontrados em aquíferos cristalinos, sedimentares, vulcano-sedimentar e próximos a fontes geotermiais.

No primeiro caso, de ocorrência frequente principalmente na Índia e África, com predomínio de rochas graníticas e gnáissicas no aquífero, as concentrações variam de 0,02 a até mais de 20,0 mg/L. Como exemplo, o caso na cidade de Lilongwe, República do Malawi, África (Msonda *et al.* 2007). Nesse local são reportadas concentrações entre <0,5 e 7,02 mg/L, a qual provavelmente está relacionada com a dissolução de minerais do embasamento, como biotita, homblenda e apatita. Viero *et al.* (2008) mostrou que no Brasil, região de Porto Alegre, o fluoreto foi encontrado somente nas águas do aquífero cristalino fraturado, constituído de granitos e gnaisses Pré-Cambrianos, e a concentração foi correlacionado com a dissolução de cristais secundários de fluorita presentes nas fraturas e falhas.

O segundo caso, de ocorrência mais ampla, atingindo países como Índia, Argentina, Canadá entre outros, a concentração varia de <0,01 a 7,8 mg/L para arenitos, <0,01-8,9 mg/L para rochas carbonáticas e 0,01-12,8 mg/L para sedimentos. Exemplo de concentrações elevadas em aluviões devido influência antrópica foram reportados em Delhi, Índia, por Srivastava & Ramanathan (2008), onde valores de até 50,0 mg/L foram obtidos. Casos na Bacia do Paraná, Brasil, também foram reportados por Nanni *et al.* (2008) e Fraga (1992). No primeiro é relatada a ocorrência do íon em concentração elevada no Aquífero Serra Geral. Esta concentração está correlacionada com a profundidade dos poços exploratórios e fraturas no aquífero, e dessa forma, a concentração poder estar relacionada com aquíferos localizados abaixo do Serra Geral. No segundo trabalho, foram identificadas em locais confinados do aquífero Botucatu concentrações entre 3,6 e 12,0 mg/L, as quais deveriam ser decorrentes da solubilização de compostos com flúor presente em fluidos residuais do evento de magmatismo responsável pela formação da Formação Serra Geral. Além de rochas sedimentares do tipo clásticas, foi reportado por Silva *et al.* (2008) um caso de concentrações elevadas de fluoreto (11,0 mg/L) nas águas subterrâneas contidas nos calcários do Grupo Bambuí, na região de Verdelândia e Jaíba, Minas Gerais. Neste caso, o íon está associado com águas bicarbonatadas cálcicas e profundas, provavelmente devido maior interação entre a água e a rocha, principalmente porções contendo mineralizações de fluoreto.

Aquíferos com influência de rochas vulcânica sedimentares, como na Tanzânia e Etiópia, as concentrações podem atingir até 250 mg/L.

Influência de fontes geotermiais foi mostrada por Kundui *et al.* (2001), em uma área do estado de Orissa, Índia. Nesse caso, a concentração de fluoreto nessa fonte seria

semelhante a da água subterrânea, indicando que as fontes geotermiais exercem grande influência na composição química da água utilizada para abastecimento dessa região.

Casos em que o íon não está condicionado a um único aquífero também são reportados na literatura. No trabalho de Diniz (2006), foi relatada a ocorrência de fluoreto em concentrações altas na região norte do Estado de Minas Gerais. Nesse caso, não há uma relação exclusiva do íon com algum tipo de rocha ou um aquífero, uma vez que o íon encontra-se em concentrações elevadas nos diversos Sistemas Aquíferos da região, como Carbonático, Pelítico, Pelítico-carbonático, Gnaissico-granítico e Xistoso, e nenhuma fonte do íon foi proposta nesse trabalho. Ezaki *et al.* (2009) reportou caso semelhante nos municípios de Indaiatuba e Salto, São Paulo. Nesta região foram detectadas em poços profundos que exploram o Aquífero Tubarão (sedimentar) e o Cristalino (granítico) concentrações de até 6,95 mg/L. De acordo com os mesmos autores, a anomalia estaria relacionada no primeiro aquífero à troca iônica de OH⁻ e F⁻ entre água e argilominerais, entre eles vermiculita e esmectita. Já no segundo aquífero, os íons estão associados a fluidos de percolação hidrotermal através de fraturas, ou à hidrólise de biotitas ou anfibólios de rochas graníticas.

3.3. Contexto geológico

A área de estudo localiza-se no Planalto Paulistano e está situada no contexto geológico da Bacia de São Paulo. Esta bacia, segundo Riccomini (1989), pertence ao Sistema de Rifts Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), o qual teria se formado durante a abertura do Oceano Atlântico (Cenozóico), durante movimentação transcorrente sinistral de direção E-W, originando feições alongadas e deprimidas, entre as cidades de Curitiba (PR) e Niterói (RJ) (Fig. 2a).

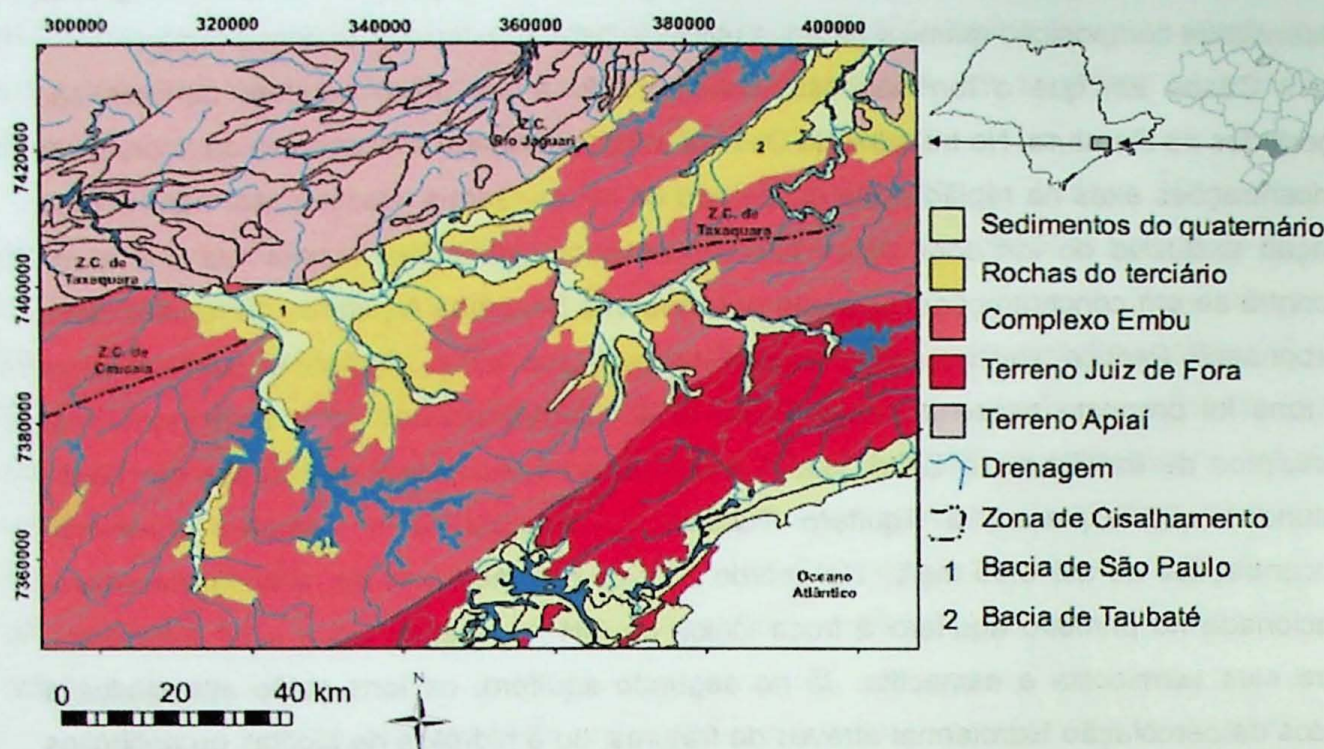


Figura 2a - Localização e contexto geológico da Bacia de São Paulo.

A estratigrafia da bacia é formada pelo embasamento pré-cambriano e rochas sedimentares terciárias do Grupo Taubaté e Formação Itaquaquetuba (Fig. 2b).

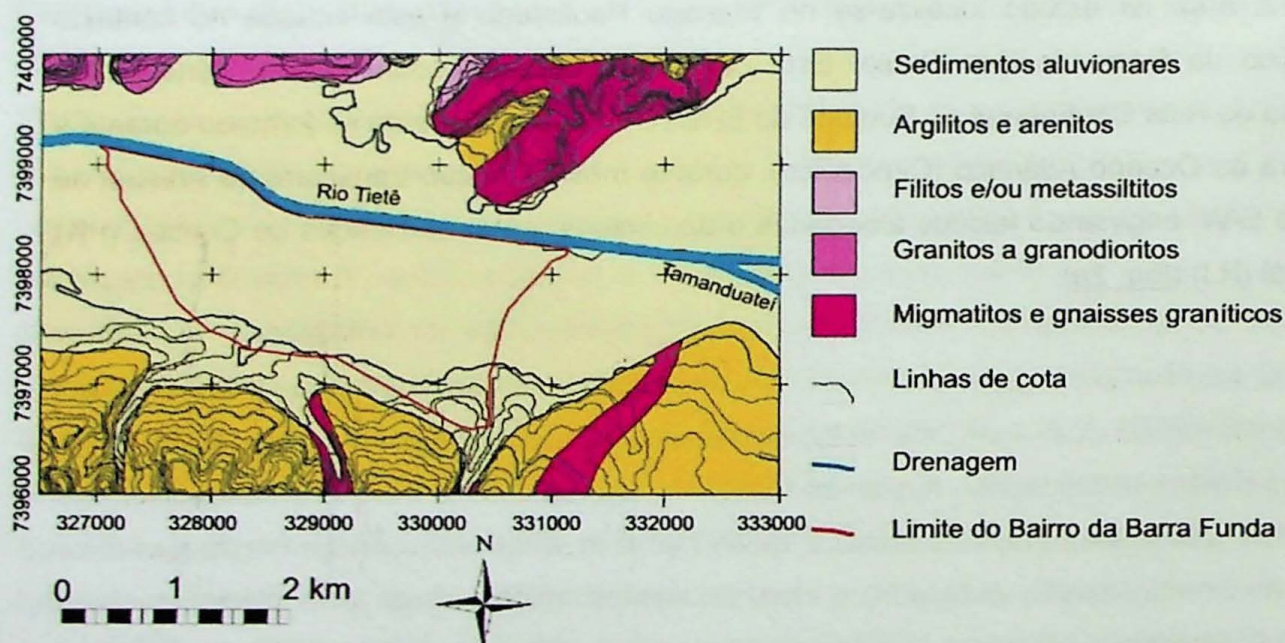


Figura 2b – Geologia da área de estudo. (base cartográfica Emplasa 1981, Emplasa 1995a e b)

3.3.1. Embasamento cristalino

Na RMSP, as falhas de Taxaquara e Rio Jaguarí separam as rochas do embasamento em duas unidades: a norte das falhas estão o Grupo São Roque e Serra do Itaberaba, com predomínio de rochas meta-vulcanicas e metassedimentares, pertencentes

ao Terreno Apiaí; e ao sul, ocorre o Complexo Embu, com rochas metamórficas (Juliani, 1992; Melo *et al.*, 1989; Hasui & Oliveira, 1984).

O Grupo Serra do Itaberaba, de idade Neoproterozoica, é dividido em três formações. Na base ocorrem as rochas vulcano-sedimentares da Formação Morro da Pedra Preta, a qual é recoberta por rochas clasto-químicas, manganíferas e carbonáticas, da Formação Nhangunçu. No topo do grupo ocorre a Formação Pirucaia, com rochas formadas por sedimentos clásticos, em geral quartzosos. O metamorfismo e as deformações são maiores na base do grupo, atingindo grau metamórfico anfibolito, e diminui em direção ao topo, atingindo grau xisto verde (Martin, 2000, Juliani, 1993).

Segundo Coutinho (1968), o Grupo São Roque ao norte da região da capital encontra-se complexamente deformado em uma sucessão de sinformes e antiformes, compondo em seu conjunto uma grande dobra sinclinal, com eixo de direção E-W, localizado nas proximidades da região sul do Bairro Freguesia do Ó. É constituído predominantemente de filitos e xistos com biotita, muscovita, granada, estauroлита e sillimanita alojando intercalações de mármore, rochas cálcio-silicáticas, meta-básicas, de grau metamórfico anfibolito alto na base do grupo passando para xisto verde no topo (Juliani, 1992; Melo *et al.*, 1989; Hasui & Oliveira, 1984), assim como rochas granitóides, sin- a tardi-tectônicas e áreas localmente migmatizadas (Juliani, 1993).

O Complexo Embu, descrito por Santoro (1998), de idade Meso a Neoproterozoico, possui rochas com grau metamórfico médio a forte, separadas na Unidade Xistos e Gnaisses Migmatizados, Gnaisses Bandados e Migmatitos, correlacionáveis as unidades denominadas informalmente por Fernandes (1991) como Rio Una, Redenção da Serra e Rio Paraibuna, respectivamente. A primeira unidade é composta predominantemente de xistos micáceos intercalados com xistos quartzosos em pacotes centimétricos a métricos, os quais intercalam ritmicamente com quartzitos impuros. Os xistos dessa unidade tomam-se gnaisses migmatizados e milonitizados. A segunda unidade é composta por orto- e paragneisses de composição tonalítica a granodiorítica associados às rochas calciosilicáticas e anfibolitos. Na terceira unidade estão presentes todos os litotipos da Unidade Redenção da Serra, além de camadas de quartzito placosos intercalados com rochas calciosilicáticas, formando pacotes métricos. Coutinho (1968) afirma que a mineralogia dos granitóides do Complexo Embu é composta por quartzo, feldspatos (microclino e plagioclásio), biotita e muscovita como minerais formadores de rocha, enquanto que titanita, opaco, calcita, apatita, allanita, zircão, epidoto e fluorita são observados como acessórios. Este último associado a fraturas é interpretado como resultado de ações pneumatolíticas.

3.3.2. Cobertura sedimentar

O Grupo Taubaté é dividido em: Formação Resende, representando 80% do volume de sedimentos da Bacia de São Paulo, que é composta por diamictitos e conglomerados, além de lamitos arenosos, constituindo corpos tabulares de espessuras métricas a decimétricas, com origem associados a sistema de leques em planície aluvial de rios entrelaçados; Formação Tremembé, com predomínio de lamitos e folhelhos, e algumas camadas de argilitos, associados a sistema lacustre e por último; Formação São Paulo, composta desde arenito até argilito siltito, de sistema fluvial meandrante, com ocorrência de clastos pelíticos na base da formação e estratificação no topo. Logo acima, de forma discordante está a Formação Itaquaquecetuba, composta por rochas de granulometria variada, como lamitos, passando por arenitos, até conglomerados e brechas, representando um sistema fluvial entrelaçado (Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 1992; Jesus, 2005). Como depósitos mais recentes, de idade holocênica, há sedimentos inconsolidados, de granulometria argilo-arenosos, depositados ao longo de extensas planícies de inundações associadas aos principais rios da área (Tietê e Pinheiros).

3. 4. Contexto Hidrogeológico

A geologia da Bacia de São Paulo permite, segundo Rocha *et al.* (1989) e Hirata *et al.* (2006), a distinção de dois Sistemas Aquíferos: o Cristalino (SAC), formado pelas rochas do embasamento, e o Sedimentar (SAS), formado pelas rochas de preenchimento da Bacia de São Paulo. Em geral, a água subterrânea no Estado de São Paulo é potável, com boa qualidade, necessitando somente de adição de cloro, para controle bacteriológico, e de fluoreto. Entre todas as bacias hidrográficas do Estado, a Bacia do Alto Tietê (BAT), na qual a área de estudo está inserida, é responsável pelo maior volume de água subterrânea explorado, fornecendo água para aproximadamente 17,5 milhões de pessoas, através de extração superior a 315 milhões de metros cúbicos, a sua maioria na cidade e São Paulo (Hirata *et al.* 2001; Hirata *et al.* 2007).

O Sistema Aquífero Cristalino é o que possui maior exposição em superfície, ocupando uma área de 4.238 km², delimitada pelos divisores de água ente as cotas 800 e 1000 m. Neste sistema é possível diferenciar duas unidades aquíferas. A primeira é composta por um manto de alteração das rochas do embasamento, com porosidade intergranular e espessura de aproximadamente 50 m, do tipo heterogêneo e anisotrópico, de natureza livre. A condutividade hidráulica varia entre 10⁻⁶ e 10⁻⁷ m/h na porção superior dessa unidade, até 10⁻³-10⁻⁴ m/h na base, onde essa unidade grada para a rocha sã (Rocha *et al.*, 1989; Rebouças *et al.*, 1994; Hirata *et al.* 2001). A segunda unidade é composta por rocha sã, possui porosidade secundária e está muitas vezes conectada hidraulicamente com

a primeira unidade. É do tipo heterogêneo e anisotrópico e de natureza livre a semi-livre. A capacidade específica varia de acordo com o litotipo, atingindo valores de 0,20 m³/h/m em granitóides e 1,35 m³/h/m em rochas metamórficas, o que não acontece com a transmissividade, apresentando valores entre 0,4 e 14 m²/dia independente do litotipo. A permeabilidade na zona de transição entre essas unidades é normalmente elevada (Rocha *et al.*, 1989; DAEE, 1975; Hirata *et al.* 2001).

Já o Sistema Aquífero Sedimentar recobre somente 25% de toda a Bacia do Alto Tietê, ocupando uma área de 1,452 km², e tem a soleira de Barueri como local de menor potencial hidráulico. É caracterizado por porosidade primária, de caráter bastante heterogêneo, de natureza livre e com espessura máxima da ordem de 290 a 300 m, com média de 100 m (Rocha *et al.* 1989; Riccomini *et al.* 1992; Hirata *et al.* 2007). Apresenta potencial de produção normalmente maior do que o SAC (Hirata 2006), capacidade específica de 0,48 m³/h/m associada à Formação São Paulo e 0,91 m³/h/m para a Formação Resende, e transmissividade média desse sistema aquífero igual a 50 m²/dia (Hirata *et al.* 2001).

A recarga dos sistemas aquíferos ocorre de forma natural, através de precipitação em toda a área não pavimentada, e através de influência antrópica, com vazamentos das redes de água e esgoto (Hirata *et al.* 2001), totalizando 1.973 Mm³/ano, sendo que deste valor, 473 Mm³/ano (aproximadamente 24%) seria proveniente de vazamentos das redes de tubulações (Rocha *et al.* 1989). As áreas de descargas para os dois sistemas aquíferos seriam os rios presentes na BAT e poços tubulares. A influência de poços como pontos de descarga dos aquíferos pode ser exemplificado por Rebouças (1992), através do rebaixamento do nível freático do SAS (Fig. 3).

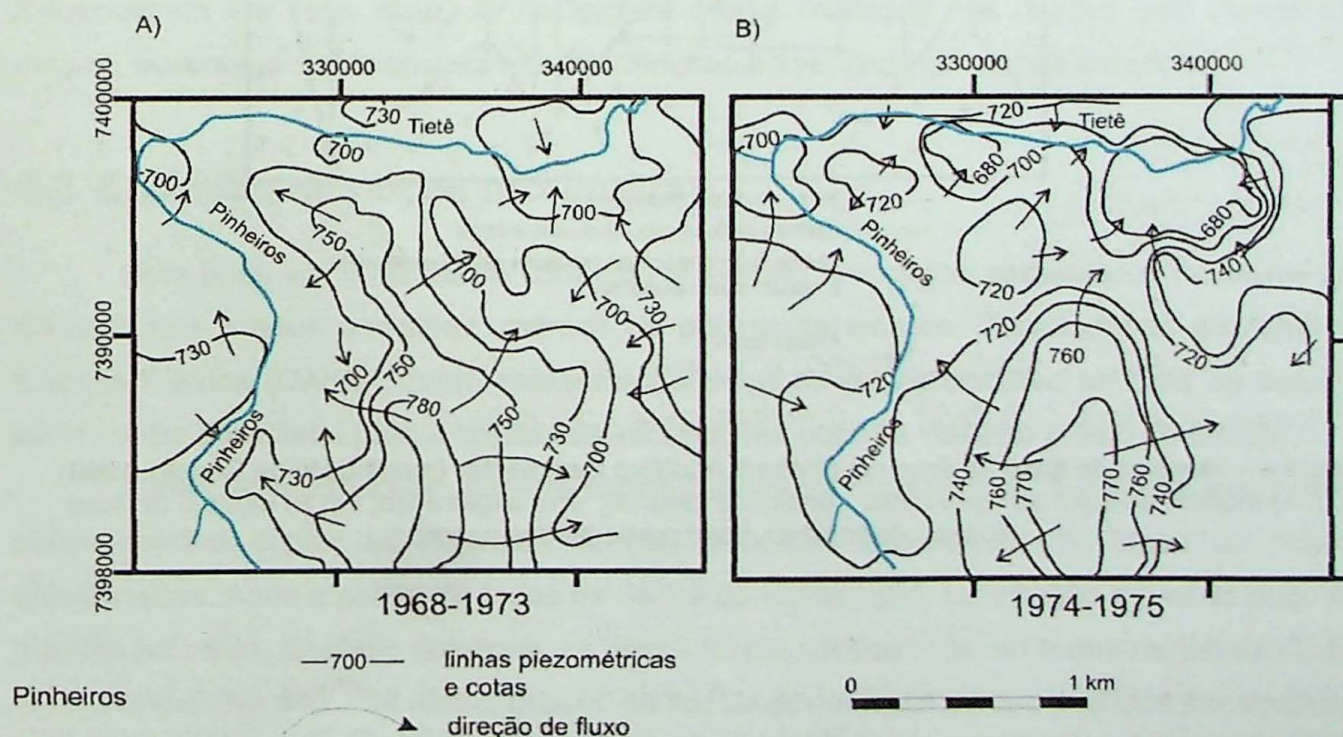


Figura 3 – Mapas de curvas equipotenciais do aquífero sedimentar, durante o período de 1968 a 1973 (A) e de 1974 a 1975 (B). (modificado de Rebouças 1992)

Bertolo (1996) explica esse efeito em zonas com exploração intensa através da formação de cones de rebaixamento formados pelo bombeamento de poços. De acordo com o autor, um poço que é construído nas proximidades de outro poço operante encontrará o nível d'água a uma profundidade maior do que a esperada para a mesma área sem qualquer poço ativo, necessitando dessa forma que os novos poços sejam mais profundos.

No mesmo trabalho, englobando os bairros Pari, Brás, Belém, Tatuapé e Moóca, entre os Rios Tamandateí e Tietê, o autor apresentou um modelo de fluxo de água para a SAS, representado nas figuras 4a e b.

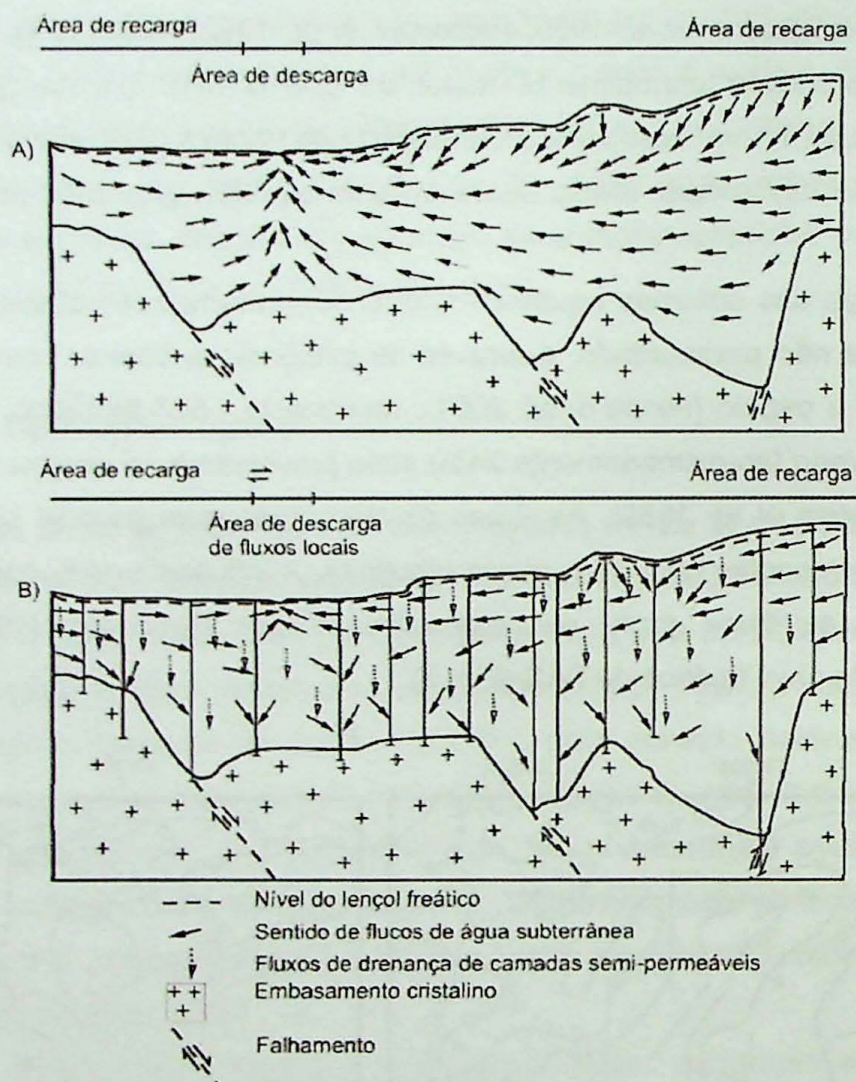


Figura 4 – Modelos de fluxo dá água no Sistema Aquífero Sedimentar (modificado de Bertolo, 1996).
Em A) modelo de fluxo de água sobre condições naturais, sem exploração; em B) modelo de fluxo sobre influência do bombeamento dos poços.

De acordo com esses modelos, sobre condições naturais (sem exploração do aquífero), o Rio Tietê representa a zona de descarga dos fluxos superficiais, considerados fluxos locais abastecidos por infiltrações de águas pluviais e vazamentos de redes de água e esgoto, e dos fluxos mais profundos, considerados regionais e abastecidos principalmente por fluxos laterais e em menor intensidade por camadas sobrejacentes. Sobre condições de exploração, os fluxos superficiais apresentariam comportamento semelhante à situação anterior, porém os fluxos regionais apresentariam um re-direcionamento em sentido aos poços profundos, aumentando a diferença de potencial hidráulico entre esses pontos do aquífero e gerando potenciais verticais descendentes de fluxo de água subterrânea.

4. Materiais e Métodos

Serão aqui descritas todas as atividades realizadas durante o desenvolvimento deste projeto.

4.1. Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico realizado para esse trabalho foi dividido em três etapas. A primeira, realizada durante a elaboração do projeto teve como foco principal o levantamento de informações sobre a geologia e geoquímica do flúor, enquanto que na segunda etapa, realizada nos primeiros 6 meses de projeto, foi priorizado o levantamento de outros casos reportados de anomalia de fluoreto, buscando compreender melhor o comportamento do íon e levantar algumas ocorrências já conhecidas e os fatores que influenciaram em cada caso. Já na terceira etapa, realizada nos últimos dois meses do projeto, buscou-se o refinamento das informações adquiridas nas etapas anteriores.

4.2. Cadastro de poços profundos

Com base em uma tabela contendo o registro dos poços cadastrados no bairro da Barra Funda e seus arredores, retirada da página da web do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), foram selecionados todos os poços contidos na área de estudo inicialmente delimitada para a coleta das informações durante visita ao prédio do DAEE.

Todas as informações reunidas foram obtidas em duas etapas. A primeira etapa teve como objetivo copiar as outorgas de uso e laudos construtivos de todos os poços selecionados. Após a coleta de todos os dados de localização, construção e uso do poço e, quando presente, análises químicas, os poços foram cadastrados em forma de tabela (Tab. 1), em anexo. Na segunda etapa, buscou-se copiar as outorgas de uso e laudos construtivos de poços ativos e normalmente amostrados pela COVISA, porém não registrados no arquivo disponibilizado na página da web do DAEE.

Com a análise dos dados cadastrados, principalmente dos laudos químicos de cada poço, e informações da COVISA de quais poços já apresentavam anomalia em fluoreto, a área de estudo inicialmente proposta entre as coordenadas UTM 326500 x 7396000 m e 338000 x 7400000 m foi reduzida para UTM 326500 x 7396000 m e 333000 x 7400000 m, focando o trabalho no local em que a anomalia foi detectada (Fig. 5).

A partir desse mapa e de acordo com a quantidade e qualidade das informações cadastradas, foram selecionados alguns poços para desenhar o perfil construtivo e geológico, e auxiliar na seleção de poços e da metodologia de amostragem.

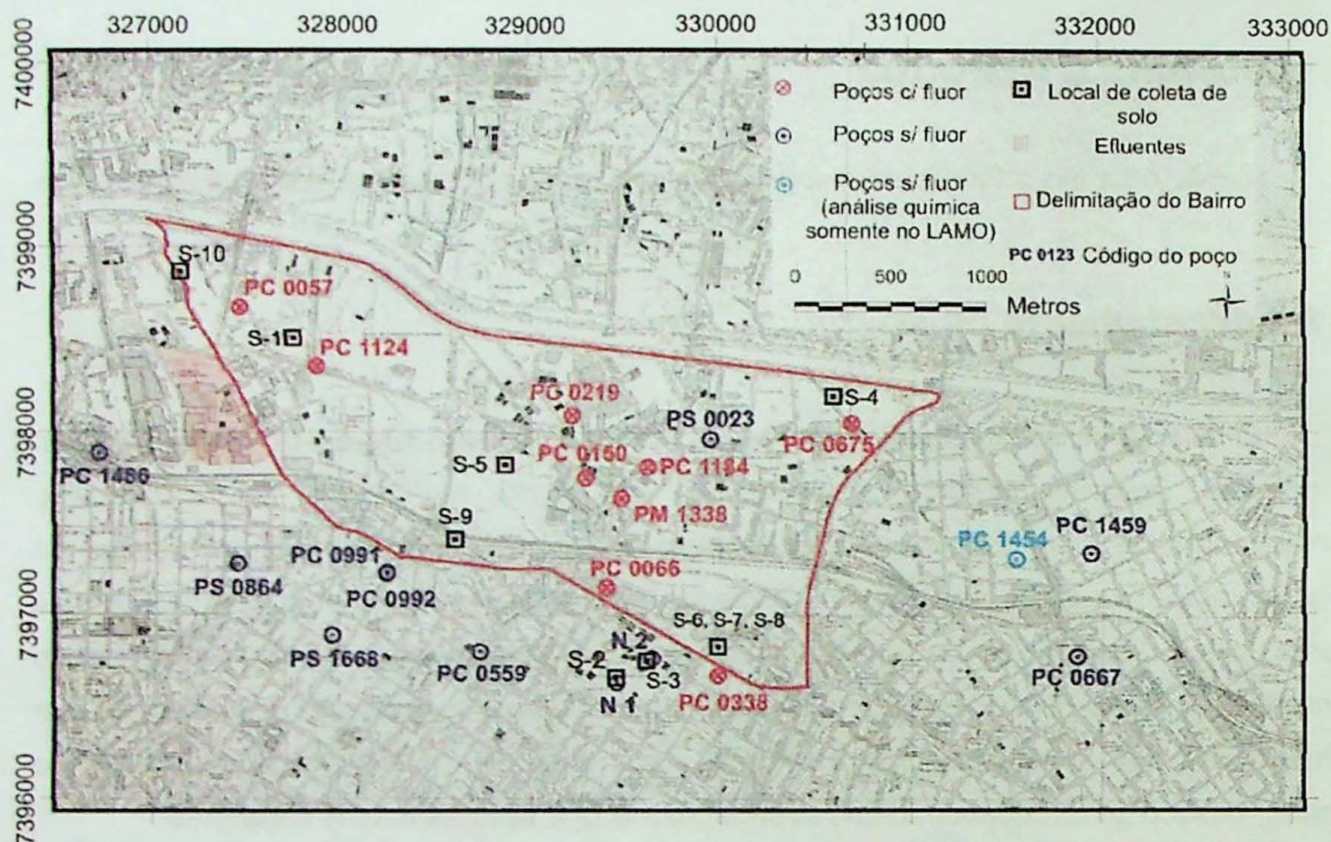


Figura 5 - Nova área de estudo após o redimensionamento. Neste mapa estão representados todos os poços coletados neste projeto, discriminando poços com e sem anomalia, com círculos vermelhos e azuis, respectivamente, locais de coleta de solo, quadrados marrom, e o local da coleta de efluente, área em rosa (base cartográfica Emplasa 1995a e b).

A seleção de poços para amostragem de água foi realizada considerando o quadro inicial da anomalia de fluoreto, descrito pela COVISA, a localização dos poços em relação ao Rio Tietê e a quantidade e qualidade das informações cadastradas de cada poço.

De acordo com análises realizadas pela COVISA, praticamente todos os poços com anomalia em fluoreto estavam contidos na área do bairro da Barra Funda, por isso a seleção priorizou todos os poços da Barra Funda, assim como os poços adjacentes ao bairro sem registro da anomalia. Da mesma forma, como não foram registrados poços rasos ou profundos com alta concentração de fluoreto na margem direita do Rio Tietê foram avaliados somente os poços na margem esquerda do Rio Tietê. Entre os poços restantes, foi realizada uma seleção preliminar de poços que possuíam dados completos da localização geográfica,

produção, registro dos perfis estratigráficos e descrição de construção do poço, como profundidade do topo e base do filtro, presença de tubo liso, cimentação e pré-filtro. Após essa primeira seleção, foi verificada com cada proprietário de poço a permissão para amostragem.

4.3. Coleta e análises de amostras de água

4.3.1. Coleta e medida de parâmetros físico-químicos

Em cada ponto amostrado, uma equipe da COVISA esteve presente acompanhando e verificando todo o procedimento de amostragem e medição em campo dos parâmetros físico-químicos. Foram amostrados 14 poços tubulares profundos, explorando o aquífero cristalino, 4 poços explorando o aquífero sedimentar e 2 nascentes, totalizando 20 amostras.

Todos os poços foram registrados com uma combinação de duas letras e quatro números. As letras referem-se ao aquífero explorado (PC = poço no cristalino, PS = poço no sedimentar, PM = poço misto) e os dígitos representam os quatro últimos números do código de identificação utilizado no DAEE. As duas amostras de nascentes receberam a letra "N", de nascente, e os números 1 e 2 para distingui-las.

Para coleta de amostras com características físico-químicas representativas da água contida no aquífero, todo o volume de água estagnado em cada poço inativo foi purgado antes da coleta. Após a recarga do poço, as amostras foram coletadas no ponto de saída mais próximo da bomba, reduzindo a influência do encanamento nas características das amostras. Durante todas as etapas de amostragem foram utilizadas luvas de procedimento para evitar contaminação das amostras, além de lavagem dos frascos utilizados para coleta e para medida de parâmetros físico-químicos em campo com água do próprio poço. Todas as amostras coletadas tiveram os parâmetros físico-químicos medidos em campo. O pH e Eh foram medidos no equipamento 330/SET-1-WTW, para a condutividade elétrica foi utilizado o condutivímetro WTW modelo LF330/SET, enquanto o oxigênio dissolvido foi determinado utilizando o equipamento OXI315I/SET da WTW.

Para cada poço foram coletados 750 mL de água em frascos de polipropileno para análises de sílica e cátions, pelo método de ICP-OES, e ânions, incluindo flúor, por cromatografia iônica, em laboratório particular. Foram também coletados 200 mL de amostra para as determinações de alcalinidade e concentração de flúor no Laboratório de Modelos Físicos (LAMO) do Instituto de Geociências da USP. Após cada coleta, as amostras foram resfriadas a 4°C em um recipiente com gelo, até serem transportadas para o laboratório LAMO.

Em apenas um poço, código PC 1454, foi coletado amostra somente para análise da concentração de fluoreto e determinação dos parâmetros físico-químicos, pois devido às

instalações do encanamento não foi possível amostrar antes da disposição dessa água na caixa d' água, onde provavelmente ocorre alteração dos parâmetros químicos.

4.3.2. Análises no Laboratório de Modelos Físicos (LAMO)

Em todos os experimentos realizados no LAMO foram utilizadas luvas de procedimento para minimizar contaminação de amostras, soluções e reagentes.

A filtração de todas as amostras foi realizada utilizando-se uma membrana de acetato de celulose com abertura de 0,2 µm e diâmetro de 47 mm, junto com uma bomba a vácuo acoplada a um porta filtro. Durante toda a filtração foi utilizada pinça para troca de filtros. Para minimizar a diluição e contaminação, antes de se iniciar a filtração das amostras de um poço o equipamento de filtração foi lavado com água destilada e em seguida filtrado um pouco de amostra, lavando novamente o compartimento para amostra bruta e filtrada do equipamento. Após o descarte desse primeiro volume filtrado todo o restante da amostra foi filtrado, com exceção do volume destinado à análise de alcalinidade.

Em, seguida as amostras destinadas à análise de ânions foram resfriadas a 4°C, enquanto que as amostras destinadas à análise de cátions e sílica foram acidificadas com 5 gotas de ácido nítrico (HNO₃) concentrado 1:1 e resfriadas à 4°C para preservação.

Para todas as amostras foi determinada a alcalinidade total e somente para amostras com pH ≥ 8,0 durante a coleta foi determinada também a alcalinidade parcial. Todas as dosagens foram realizadas através de titulação, seguindo o mesmo procedimento, utilizando sempre ácido sulfúrico 0,0111N, indicador misto para alcalinidade total e fenolftaleína para alcalinidade parcial. Para cada dosagem foi utilizado no mínimo 50 mL de amostra, medido com uma proveta graduada e com precisão de 1 mL. Este volume foi disposto em um béquer e misturado com 4 gotas de indicador misto ou fenolftaleína, de acordo com o experimento. Após a homogeneização dessa mistura a amostra passava de incolor para rosa, quando utilizado fenolftaleína, ou verde, quando utilizado indicador misto. Em seguida, enquanto a amostra era agitada, era acrescentado ácido até ocorrer novamente mudança na cor da solução, terminando o experimento. A cada troca de amostra o béquer e as provetas eram lavadas duas vezes com água destilada e em seguida com um pouco de amostra a se examinar. A partir do volume de amostra e ácido usado em cada dosagem foi calculada a alcalinidade total e parcial, em mg/L de CaCO₃, para cada amostra da seguinte maneira:

$$\text{Alcalinidade (mg/L de CaCO}_3\text{)} = [\text{ml}_{\text{ácido}} * N_{\text{ácido}} * \text{eq. Wt. CaCO}_3 * 1000 \text{ (mg/L)}] / \text{ml}_{\text{amostra}}$$

onde $\text{ml}_{\text{ácido}}$ = volume de ácido utilizado

$N_{\text{ácido}}$ = concentração do ácido

Eq. Wt. CaCO_3 = peso equivalente de CaCO_3

ml_{amostra} = volume de amostra utilizada

As concentrações dos íons bicarbonato e carbonato, em mg/L de HCO_3 e CO_3 , respectivamente, foram calculadas a partir da alcalinidade em mg/L CaCO_3 , utilizando as fórmulas:

$$[\text{HCO}_3] \text{ (mg/L)} = (\text{Alc. Total}_{\text{CaCO}_3} - \text{Alc. Parcial}_{\text{CaCO}_3}) * 1,22$$

$$[\text{HCO}_3] \text{ (mg/L)} = (\text{Alc. Parcial}_{\text{CaCO}_3})/1,67$$

onde Alc. Total_{CaCO3} = alcalinidade total em mg/L de CaCO_3

Alc. Parcial_{CaCO3} = alcalinidade parcial em mg/L de CaCO_3

A determinação das concentrações de fluoreto nas amostras foi realizada quatro dias após as coletas com um espectrofotômetro portátil Modelo *DR2800* da Hach, com intervalo de detecção de fluoreto de 0,02 a 2,0 mg/L. No primeiro dia, foram medidas 18 amostras, dentre as quais 7 apresentaram concentrações acima de 2,0 mg/L de fluoreto, valores esses acima do limite de detecção do equipamento DR2800. Com exceção da amostra PC 1124, a análise química foi repetida mais três vezes para cada amostra com concentração de fluoreto acima do limite de detecção, para cálculo da média dos valores encontrados. Esta análise consiste na comparação entre o comprimento de onda da refletância de duas amostras, um branco (amostra padrão) com baixa concentração de fluoreto e uma amostra a se analisar, ambas após adição do reagente SPANDS, composto de água desmineralizada e ácido hidrocloreídrico. Para padronização do erro associado ao método, foi utilizado em todos os experimentos a mesma amostra padrão, a qual foi preparada adicionando-se o reagente SPANDS a 10 mL de água destilada.. O procedimento adotado para a preparação do branco foi o mesmo adotado para preparação das amostras de água subterrânea. Usando uma micro-pipeta com 1mL de precisão, foram separados 10mL de amostra e misturada em uma cubeta com 2mL de reagente para fluoreto. Após a adição do reagente, cada amostra era agitada e em seguida descansava por 2 minutos, para homogeneização. Completado esse tempo, a cubeta contendo o branco era posicionada no DR2800 e protegida da luz para realização da primeira medida, necessária para calibrar o equipamento. Após a calibração, a cubeta do branco era substituída pela cubeta da amostra e novamente efetuada uma medida, obtendo a concentração de fluoreto da amostra. A cada troca de amostra, a cubeta de amostra assim como a micro-pipeta eram lavadas duas vezes com água destilada e uma vez com um pouco de amostra a se analisar, fechando um ciclo. Somente os poços PC 0150 e PS 0023 não tiveram a concentração de fluoreto determinada,

pois foi possível coletar volume suficiente de amostra somente para realização de todas as análises químicas em laboratório particular.

Para amostras que apresentaram concentração acima de 2,0 mg/L no primeiro dia, a análise foi realizada mais 3 vezes com diluição das amostras com água destilada. Após a realização da análise a concentração da amostra era calculada considerando a proporção entre amostra e água destilada. Ao final, a concentração adotada foi à média das três últimas análises (três últimos dias).

4.3.3 Análise em Laboratório Particular (ICP-OES e Cromatografia Iônica)

As análises químicas para determinação dos cátions e ânions foram realizados em um total de vinte amostras em laboratório particular.

Os cátions analisados foram Al^{+3} , Ba^{+2} , Ca^{+2} , Cr^{+} , Cu^{+} , Fe_{total} , K^{+} , Mg^{+2} , Mn , Na^{+} , Ni , Sr^{+2} e Zn^{+2} , todos por ICP-OES, método analítico que consiste na comparação entre o espectro de emissão de uma amostra com o espectro de uma amostra padrão, ambos obtidos após a excitação dos átomos dessas amostras após exposição a altas temperaturas (SMEWW 2005). A amostra de banco possui concentração conhecida do elemento que se deseja analisar. A preparação das amostras para esse método seguiu as instruções do SMEWW 21thed 3120B, que diz que cada amostra a se analisar, já preservada com ácido HNO_3 durante a coleta, deve ser sucessivamente acidificada e aquecida até que ocorra a digestão completa da amostra.

Os ânions analisados foram F^{-} , Cl^{-} , Br^{-} , NO_3^{-} e SO_4^{-2} , todos por cromatografia iônica. Esse método se fundamenta na separação dos diversos componentes da de acordo com às diferentes propriedades físico-químicas dos elementos. A preparação das amostras para esse método seguiu as instruções da EPA 300.1.

4.3.4. Tratamento dos dados

Para auxiliar na compreensão de quais fatores influenciam na concentração e distribuição do fluoreto, foram realizadas comparações entre alguns parâmetros físico-químicos medidos *in situ* durante a campanha de coleta de amostras de água, características construtivas e de exploração de cada poço com as concentrações de fluoreto.

Após receber os resultados das análises químicas para cátions e ânions, foi realizado um cálculo do erro analítico (balanço iônico) para cada amostra para verificação da consistência dos resultados. Para isso, todos os valores de concentração foram convertidos de mg/L para meq/L, da seguinte maneira:

$$\text{Meq/L} = [\text{mg/L}] * (\text{valência}/\text{massa atômica})$$

onde $[\text{mg/L}]$ = concentração do elemento em mg/L

valência = número de valência do elemento

massa atômica = massa atômica do elemento

Após a conversão para meq, foi calculado o erro de cada amostra:

$$\text{Erro} = [(\Sigma \text{Cations}_{\text{meq}} - \Sigma \text{Anions}_{\text{meq}}) / (\Sigma \text{Cations}_{\text{meq}} + \Sigma \text{Anions}_{\text{meq}})] * 100$$

onde $\Sigma \text{Cations}_{\text{meq}}$ = somatória de todos cátions de uma amostra, em meq/L.

$\Sigma \text{Anions}_{\text{meq}}$ = somatória de todos os ânions de uma amostra, em meq/L.

Com os dados das análises conferidos, foram selecionados todos os poços com erro inferior a 20% para classificação das amostras quanto à composição química e determinação do índice de saturação da fluorita, utilizando os programas Aquachem e Phreeqc. Para todos os valores de concentração inferiores ao limite de detecção do equipamento, foi utilizada como concentração a metade desse limite para realização das análises hidrogeoquímicas.

4.4. Coleta de efluentes e análise

4.4.1. Levantamento de possíveis fontes antrópicas para a anomalia

Para se determinar a influência de atividades industriais e comerciais na concentração de fluoreto, foi realizado um levantamento de estabelecimentos atuais que usam ou usaram alguma substância em suas atividades que contenha alta concentração do elemento flúor.

Essa pesquisa foi realizada com base no banco de dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Durante a pesquisa, foram analisados relatórios de inspeção realizados por técnicos da CETESB em empresas que já possuem algum registro de manuseio de resíduos, efluentes, produtos acabados e matéria prima que poderiam apresentar flúor na sua composição química.

Ao final da pesquisa, foi identificado somente um local como fonte antrópica potencial da anomalia de fluoreto, no qual se verificou a possibilidade de amostrar solo e efluentes para realização de análises químicas (Fig. 5)

4.4.2. Coleta

Embora a coleta de efluentes não tenha sido permitida para esse trabalho de formatura, foram analisadas duas amostras de efluentes (E-1 e E-2) desse local coletadas em uma campanha de reconhecimento da ocorrência da anomalia, realizada em 2007. Essas amostras foram acidificadas e resfriadas a 4 °C logo após a coleta, para análise de cátions, e somente resfriadas a 4 °C para análise de ânions, permitindo assim serem analisadas ainda hoje.

Devido a pequeno volume de amostra de efluentes disponível, foram realizadas análises de ânions para as duas e somente para uma amostra foi realizada a análise de cátions.

4.4.3. Análise das amostras

As amostras de efluentes foram analisadas em laboratório particular, seguindo as mesmos métodos analíticos e de procedimentos de preparação de amostras. Foram analisados. Foram analisados os cátions Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn para uma amostra, e os ânions F, Cl, Br, NO₃ e SO₄ para as duas amostras.

4.4.4. Tratamento do dados

Os resultados de todos os elementos analisados foram comparados com os Valores Orientadores para Solo e Água do Estado de São Paulo e com os valores estipulados pela *Regional Screening Levels (RSL) for Chemical Contaminants at Superfund Sites* 9 (EPA 2009), para verificar se há algum elemento em concentração elevada que possa oferecer risco de contaminação para a água subterrânea da região e se contém concentrações elevadas de fluoreto ou qualquer outro elemento correlacionado com o mesmo.

4.5. Coleta e análise de amostras de solo

4.5.1. Levantamento de área para coleta de solo

O levantamento de locais para coleta de solo foi realizado durante a campanha de coleta de amostras de água e com imagens de satélite disponíveis no *Google Earth*. Nessa etapa foram selecionados terrenos desocupados e sem cobertura de cimento ou concreto e terrenos ocupados por indústrias ou comércio nos quais já foram realizadas as coletas de

amostras de água. Após o término dessa etapa, foi iniciado o requerimento de permissão para amostragem de solo nos mesmos locais em que foram coletadas amostras de água e que possuem área com solo exposto.

Devido à alta densidade de terrenos pavimentados ou cobertos, o número de 20 amostras de solo inicialmente proposto foi reduzido, de acordo com a disponibilidade de áreas descobertas, para 10 amostras.

4.5.2. Coleta

Foram coletadas amostras em 8 locais diferentes (Fig. 5), distribuídos em toda a área de estudo, sendo que em um desses locais (amostras S-6, S-7 e S-8), foi realizada amostragem em diferentes profundidades (Tab. 2), de acordo com o empilhamento original do solo, representado no perfil da figura 6.

Tabela 2 – Localização, profundidade e descrição macroscópica das amostras de solo

Amostra	Localização (UTM)		Prof. (m)	Descrição macroscópica		
	N (m)	E (m)		Cor	Gran.	Mineralogia
S-1	7398497	327769	1,20-1,30	marrom claro	< 0,5mm	Provavelmente constitui-se por argilas, não sendo possível identificar outros minerais.
S-2	7396741	329635	0,50-0,70	preto amarronzado	0,5 - 1,5mm	Predomínio de matéria orgânica (material preto), com restos vegetais (raízes). Aparenta conter alguns fragmentos de quartzo. Há porções pequenas que são marrom avermelhadas, possivelmente argilas.
S-3	7396,648	329474	1,40-1,60	marrom claro avermelhado	< 1mm	Predomínio de argilas, com alguns fragmentos de quartzo (?).
S-4	7398178	330621	1,10-1,30	avermelhado	< 1,5mm	Predomínio de argilas, com fragmentos de muscovita de até 1mm e de feldspato (possivelmente) de até 1,5mm de comprimento.
S-5	7397806	328887	5,00-5,20	marrom avermelhado	< 1mm	Predomínio de argilas, sendo observados alguns fragmentos de muscovita.
S-6	7396818	330011	4,50-4,70	ocre amarronzado	< 0,5mm	Argilas; não é possível identificar minerais.
S-7	7396818	330011	1,40-1,60	ocre	< 1mm	Argila com fragmentos de muscovita (até 1mm) e de quartzo (até 1mm, aparentemente pouco angulosos).
S-8	7396818	330011	9,00-9,20	ocre	<< 1mm	Argilas; não é possível identificar minerais.
S-9	7397398	328608	1,40-1,60	marrom claro avermelhado	< 0,5mm	Argilas com alguns fragmentos de muscovita.
S-10	7398859	327151	1,30-1,50	marrom avermelhado	< 0,5mm	Argila com fragmentos de quartzo de até 1,5mm.

Durante toda a etapa de amostragem foram utilizadas luvas de procedimentos. O método de amostragem utilizado seguiu as recomendações da CETESB (2001), o qual será descrito a seguir.

Em cada local de coleta, o trado, de aço inoxidável, era inicialmente lavado com água destilada e escova para retirada de partículas de solo e poeira, em seguida era limpo com detergente alcalino, isento de fósforo e repassado com água destilada. Por último era

aplicada uma mistura de água destilada com ácido nítrico (5%) para auxiliar na remoção de metais adsorvidos na parede do amostrador e novamente lavado com água destilada, fechando um ciclo de limpeza.

Após a limpeza, iniciava-se o processo de tradagem. Com exceção da amostra S-02, coletada no Parque da Água Branca próxima ao local da coleta da amostra de água N 1, todas as outras amostras foram coletas com mais de 1 m de profundidade, tentando evitar dessa maneira solo remobilizados. Algumas amostras foram coletadas em construções, aproveitando de escavações que permitiam a exposição do solo original. Nesses locais a coleta também era realizada com trado para evitar a coleta de solos superficiais.

Ao se atingir a profundidade desejada, o trado era retirado com cuidado e a coleta era realizada com auxílio de uma espátula de polipropileno, a qual era utilizada para raspar a lateral do volume de solo contido no amostrador do trado, retirando o solo que manteve maior contato com o metal do equipamento, e também para descarte da porção superior do volume amostrado, o qual normalmente contém interferência de solo localizado nas paredes do furo acima do ponto amostrado, mobilizado devido movimentação e manuseio do trado. Após a limpeza da amostra, a mesma era colocada em cima de um saco plástico. Após a coleta de todo o volume necessário a amostra sempre que possível era misturada para homogeneização. Esse procedimento foi muito dificultado pela consistência dos solos contidos na região, a qual impedia normalmente a plena mistura da amostra.

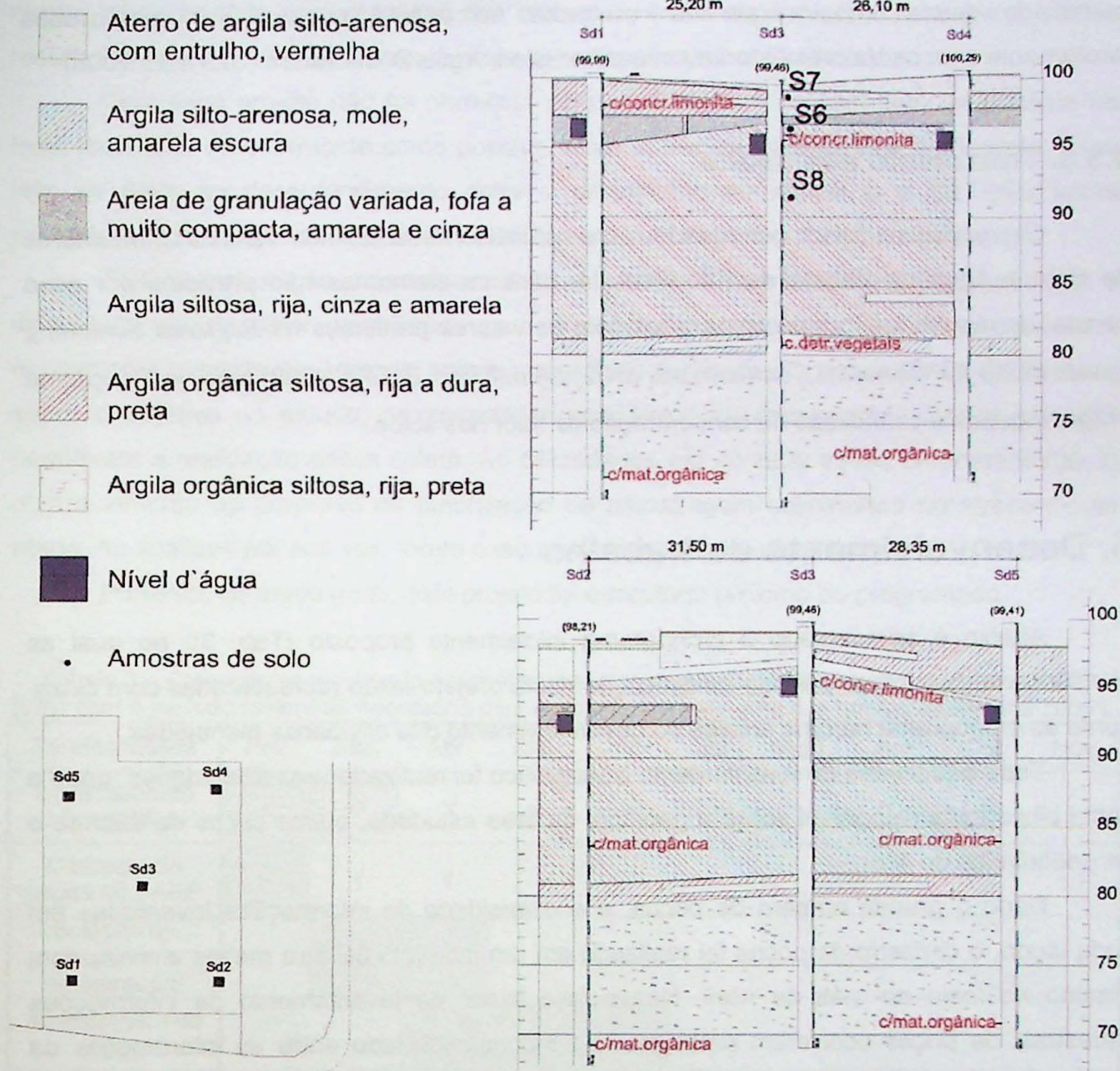


Figura 6 - Perfil de solo obtido em construção, onde foram coletadas três amostras, representadas com círculos pretos no perfil superior. No canto inferior esquerdo há uma representação da disposição dos furos de sondagem no terreno.

Ao final, o solo era guardado em potes de polipropileno, tapados e conservados em temperatura de 4 °C.

Em laboratório particular, o procedimento de preparação das amostras para análise adotado foi o EPA 3050B, o qual permite a retirada de todos os elementos adsorvidos nos sedimentos, sem a dissolução dos mesmos, evitando a liberação de elementos contidos no retículo cristalino de cada mineral constituinte do sedimento, permitindo assim que o resultado das análises represente a concentração dos elementos realmente passíveis de serem mobilizados sobre as condições ambientes. Este procedimento é também adotado pela CETESB, órgão regulamentador da qualidade de solos no Estado de São Paulo,

permitindo dessa maneira que os resultados da análise possam ser comparados diretamente com os Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea (CETESB 2005)

4.5.3. Tratamento dos dados

Os resultados foram comparados com os limites descritos nos Valores Orientadores de Solo e Água do Estado de São Paulo, e para os elementos não previstos por essa norma, os resultados foram comparados com os valores presentes na *Regional Screening Levels (RSL) for Chemical Contaminants at Superfund Sites* 9 (EPA 2009) para verificação de irregularidades e verificação da concentração de flúor nos solos.

5. Desenvolvimento do trabalho

Abaixo é apresentado o cronograma inicialmente proposto (Tab. 3), no qual as atividades realizadas no período de execução deste projeto estão representadas com cinza. Junto ao cronograma há uma análise do desenvolvimento das atividades planejadas.

Todo o processo de levantamento bibliográfico foi realizado sem dificuldades, dado a vasta bibliografia disponível sobre a geologia da área estudada, outros casos de fluoreto e da geoquímica do flúor.

Dado o grande número de poços, e a diversidade de informações levantadas em cada laudo, o cadastro de poços foi realizado em um intervalo de dois meses e meio, com término no meio do mês de Abril. Nessa fase inicial de levantamento de informações cadastrais de poços ocorreram problemas de incompatibilidade entre as informações da tabela disponível na página da *web* e as do banco de dados do DAEE. Somado a isso, a compreensão das informações contidas na tabela foi dificultada pela ausência de legendas dos códigos e abreviações contidos na mesma.

A seleção de poços foi realizada em dois meses. Isso ocorreu devido o tempo de espera pela autorização para amostragem por parte dos proprietários dos poços. Durante a fase de coleta de amostras de água, com exceção das nascentes, todas as coletas foram realizadas com a própria bomba do poço. O método de coleta de baixa vazão (*low-flow*) junto com obturadores não foi utilizado, pois todo poço amostrado possuía bomba o que impedia o posicionamento dos obturadores e da bomba nas seções filtrantes. Além disso, para os poços que exploram o aquífero cristalino, o nível estático da região está mais profundo do que a capacidade de bombeamento da bomba *Grundfos*, que é de até 80 metros de profundidade.

Com autorização concedida, a campanha de coleta de amostras de água foi realizada em 5 dias. As análises, por sua vez, levaram no total cinco meses. Todo esse

tempo foi necessário para reanálise dos cátions de todas as amostras, pois nos primeiros resultados foram detectados erros durante a verificação do balanço iônico.

Para esse projeto não foi permitida pelo proprietário a amostragem de efluente no local levantado anteriormente como possível fonte antrópica da anomalia de fluoreto. Esse fato se deve ao desentendimento entre o proprietário do imóvel e a CETESB sobre procedimento de requerimento de permissão para amostragem e o método de coleta.

Toda a elaboração da campanha de solo levou 2 meses, devido principalmente à dificuldade de se obter permissões para a execução do campo. Devido à densidade ocupacional elevada da área de estudo, associado à dúvida de proprietários de terrenos sobre o objetivo do estudo, se puramente acadêmico ou fiscalização, poucas pessoas permitiram a realização dessa coleta. As dificuldades em contatar esses proprietários junto com a lentidão do processo de autorização da amostragem culminaram no atraso dessa etapa. As análises por sua vez, foram executadas em dois meses e meio.

Portanto, de modo geral, este projeto foi executado próximo do programado.

Tabela 3 – Cronograma mostrando o planejamento das atividades apresentado no projeto inicial, junto com o período realmente necessário para execução de cada uma das tarefas assinalada com √.

Tarefas/Meses	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Levantamento bibliográfico	√	√	√	√	√	√		√	√	
Cadastro de poços no DAEE	√	√	√							
Seleção de poços para amostragem		√	√							
Amostragem de água				√						
Análises de água				√	√	√	√	√		
Amostragem de solo					√	√				
Análise de solo						√	√	√		
Interpretação dos resultados				√	√	√	√	√	√	
Redação de relatório parcial							√			
Monografia									√	√

6. Resultados obtidos

6.1. *Análise dos perfis construtivos dos poços*

Os desenhos dos perfis construtivos e geológicos de alguns dos poços com alta concentração de fluoreto estão na figura 7, em anexo.

Esses perfis mostram que, com exceção do PM 1338, todos os outros poços que exploram o SAC possuem revestimento ao longo de todo o trecho contido no SAS, não tendo dessa maneira esses poços influência do SAS na composição química das amostras de água. Além disso, todos os poços desenhados que exploram o SAC possuem concentração elevada de fluoreto, já os poços PS 0023 e PS 0864 exploram somente o SAS e não possuem concentrações elevadas.

A profundidade do nível estático nos poços que exploram somente o SAC também é normalmente muito maior do que as observadas nos poços que exploram somente o SAS, o que implicaria num fluxo de água vertical descendente entre o SAS e o SAC significativo. Porém isso não é o que parece ocorrer, uma vez que instaurada essa comunicação hidráulica entre os aquíferos, a diferença entre os níveis estáticos tenderia a valores muito menores. Isso sugere que a condutividade hidráulica entre esses dois sistemas aquíferos é pequena e, dessa forma, a água contida no SAC possui pouca influência do SAS.

6.1. *Análise de amostras de água*

Serão aqui apresentados os valores obtidos para a concentração do fluoreto a partir do método de espectrofotometria (LAMO) e por cromatografia iônica e ICP (laboratório particular) para fluoreto e outros elementos. Porém, nos próximos tópicos serão adotados somente os resultados do laboratório particular para verificação de correlações do fluoreto com os demais íons e análises hidroquímicas no Aquachem e Phreeqc.

6.1.1 Parâmetros físico-químicos e alcalinidade

Os resultados das medidas dos parâmetros físico-químicos em campo e das dosagens para determinação da alcalinidade podem ser vistos na tabela 4.

Tabela 4 – Tabela dos parâmetros físico-químicos, medidos *in situ*, e alcalinidade, determinada em laboratório, para todas amostras de água. Em baixo são apresentados alguns resultados da análises estatísticas desses parâmetros. SAC = Sistema Aquífero Cristalino, SAS = Sistema Aquífero Sedimentar.

Poço	Prof. Total (m)	Aquífero	Temp. (°C)	pH	O.D. (mg/L)	Conduct. (µS/cm²)	Eh (mV)	Alcalinidade Calculada			
								Total)	Parcial	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)
N 1	0	Nascente	20,2	6,44	2,3	166,2	389	11,7	0	14,3	0
N 2	0	Nascente	23,1	5,26	2,2	203	424	8,2	0	10	0
PC 0057	150	Cristalino	25,1	8,443	1	884	328	368,9	23,3	421,6	14
PC 0066	250	Cristalino	24,8	7,788	0,6	1121	30	219,8	0	268,1	0
PC 0150	405	Cristalino	28,2	8,689	1,3	534	241	203,9	15,5	229,7	9,3
PC 0219	260	Cristalino	26,3	8,528	0,9	568	45	203,5	10	236,1	6
PC 0338	230	Cristalino	27	7,95	1,5	294	375	118,8	0	144,9	0
PC 0559	66	Cristalino	22,4	5,889	1,3	71,3	387	31,7	0	38,6	0
PC 0675	100	Cristalino	23,4	8,461	0,7	610	331	265,8	8	314,4	4,8
PC 0677	324	Cristalino	23,5	5,775	2,9	208	451	26,2	0	31,9	0
PC 0991	165	Cristalino	22,8	5,654	1,5	178,7	410	12	0	14,6	0
PC 0992	150	Cristalino	22,9	5,732	1	183,1	319	28,3	0	34,5	0
PC 1124	390	Cristalino	24,8	8,396	1,1	767	371	317,8	25,1	357,1	15
PC 1184	330	Cristalino	25	8,34	1	947	90	381,8	33,1	425,5	19,8
PC 1454	180	Cristalino	25	7,795	1,7	239	373	96,3	0	117,5	0
PC 1459	180	Cristalino	23,9	8,311	1,2	205	372	75,5	3,1	88,3	1,8
PC 1486	227,5	Cristalino	23,4	7,547	1,3	608	260	301	0	367,2	0
PM 1338	360	Cris. e Sed.	27,6	8,782	0,8	582	20	225,3	28,3	240,4	16,9
PS 0023	100	Sedimentar	24,1	7,068	2,4	69	766	14,4	0	17,6	0
PS 0864	72	Sedimentar	23	4,86	1,4	127,6	487	1,2	0	1,4	0
PS 1668	2	Sedimentar	23,1	4,937	1,3	253	495	3,3	0	4,1	0
Nascentes	Profund. Total (m)	Temp. (°C)	pH	O.D. (mg/L)	Conduct. (µS/cm²)	Eh (mV)	Total	Parcial	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	
Média	0	21,65	5,85	2,25	184,6	406,5	9,95	0	12,15	0	
Mediana	0	21,65	5,85	2,25	184,6	406,5	9,95	0	12,15	0	
Máximo	0	23,1	6,44	2,3	203	424	11,7	0	14,3	0	
Mínimo	0	20,2	5,26	2,2	166,2	389	8,2	0	10	0	
1º Quartil	0	20,925	5,555	2,225	175,400	397,750	9,075	0	11,075	0	
3º Quartil	0	22,375	6,145	2,275	193,800	415,250	10,825	0	13,225	0	
D. Padrão	0	2,051	0,834	0,071	26,022	24,749	2,475	0	3,041	0	
Variância	0	4,205	0,696	0,005	677,120	612,500	6,125	0	9,245	0	
SAS	Profund. Total (m)	Temp. (°C)	pH	O.D. (mg/L)	Conduct. (µS/cm²)	Eh (mV)	Total	Parcial	HCO3	CO3	
Média	58,000	23,400	5,622	1,700	149,867	582,667	6,300	0	7,700	0	
Mediana	72	23,1	4,937	1,4	127,6	495	3,3	0	4,1	0	
Máximo	100	24,1	7,068	2,4	253	766	14,4	0	17,6	0	
Mínimo	2	23	4,86	1,3	69	487	1,2	0	1,4	0	
1º Quartil	37	23,05	4,8985	1,35	98,3	491	2,25	0	2,750	0	
3º Quartil	86	23,6	6,0025	1,9	190,3	630,5	8,85	0	10,850	0	
D. Padrão	50,478	0,608	1,253	0,608	93,999	158,822	7,093	0	8,679	0	
Variância	2548,000	0,370	1,570	0,370	8835,853	25224,333	50,310	0	75,330	0	
SAC	Profund. Total (m)	Temp. (°C)	pH	O.D. (mg/L)	Conduct. (µS/cm²)	Eh (mV)	Total	Parcial	HCO3	CO3	
Média	235,469	24,756	7,630	1,238	500	275,188	179,788	9,150	208,150	5,475	
Mediana	228,75	24,8	8,1305	1,15	551	329,5	203,7	1,55	232,9	0,9	
Máximo	405	28,2	8,689	2,9	1121	451	381,8	33,1	425,5	19,8	
Mínimo	66	22,4	5,654	0,6	71,3	20	12	0	14,6	0	
1º Quartil	161,250	23,400	7,133	0,975	207,250	203,250	64,550	0,000	75,875	0,000	
3º Quartil	325,500	25,400	8,448	1,350	649,250	373,500	274,600	17,450	325,075	10,475	
D. Padrão	102,830	1,759	1,163	0,537	317,359	146,381	126,679	11,955	144,098	7,155	
Variância	10573,982	3,095	1,353	0,288	100716,799	21427,363	16047,493	142,913	20764,191	51,187	

Em todos os três grupos nota-se que a temperatura, pH e O.D. tem os menores desvios padrões, indicando que em cada grupo esses parâmetros são aproximadamente constantes, o que não acontece para todos os outros parâmetros físico-químicos e alcalinidades.

De um modo geral a água do SAC possui pH básico, em sua maioria maior que 7, os mais baixos valores de O.D., o que é esperado para águas profundas e longes da zona de interação entre a atmosfera e zona saturada, a condutividade elétrica é muito maior do que os outros aquíferos, com valores médios de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, porém possui os menores valores de Eh., em torno de 275,188 mV. São as amostras com maiores concentrações dos íons bicarbonato e carbonato.

Com exceção do Eh, que apresenta os maiores valores entre os três tipos de amostras e a temperatura, o SAS é caracterizado pelos menores valores de todos os outros parâmetros.

Por último, as amostras de nascentes possuem o pH ácido, em torno de 5,85 e o maiores valores de O.D, compatível com águas que mantêm contato com atmosfera e Eh, com 582,867 mV. A concentração dos íons bicarbonato e carbonato e a média da C.E. são os mais baixos valores dos três grupos.

6.1.2. Resultados da espectrofotometria

Como pode ser observado na tabela 5 para os resultados dos quatro experimentos realizados no LAMO, há uma variação, aparentemente sem um padrão, entre os valores de concentração de fluoreto acima de 2,0 mg/L, provavelmente decorrente das imprecisões do procedimento adotado na diluição.

Tabela 5 – Resultado das análises realizadas no LAMO para determinação da concentração de fluoreto através do método de espectrofotometria. Amostras não analisadas estão marcadas com "-". A amostra 3431454 teve a concentração de fluoreto determinada somente por esse método. O valor médio foi calculado com base nos três últimos experimentos.

Resultados das análises de fluoreto pelo método de espectrofotometria							
Poço	Prof. Total (m)	Aquífero	[F-] mg/L (22/05/09)	[F-] mg/L (01/06/09)	[F-] mg/L (03/06/09)	[F-] mg/L (19/06/09)	[F-] mg/L Média adotada
N 1	0	Nascente	< 0,002	-	-	-	< 0,002
N 2	0	Nascente	< 0,002	-	-	-	< 0,002
PC 0057	150	Cristalino	4,18	9,72	8,1	11,97	10,04
PC 0066	250	Cristalino	3,53	-	9,65	7,83	8,74
PC 0150	405	Cristalino	-	-	-	-	-
PC 0219	260	Cristalino	3,2	7,15	10	9	9,5
PC 0338	230	Cristalino	3,98	5,6	6,15	5,7	5,93
PC 0559	66	Cristalino	0,56	-	-	-	0,56
PC 0675	100	Cristalino	3,63	3,16	7,28	6,52	6,9
PC 0677	324	Cristalino	0,42	-	-	-	0,42

PC 0991	165	Cristalino	0,24	-	-	-	0,24
PC 0992	150	Cristalino	0,32	-	-	-	0,32
PC 1124	390	Cristalino	-	-	-	-	-
PC 1184	330	Cristalino	3,57	6,65	6,75	6,75	6,75
<u>PC 1454</u>	180	Cristalino	1,37	-	-	-	1,37
PC 1459	180	Cristalino	0,93	-	-	-	0,93
PC 1486	227,5	Cristalino	1,57	-	-	-	1,57
PM 1338	360	Cris. e Sed.	3,72	9,54	12,33	10,53	11,43
PS 0023	100,00	Sedimentar	0,59	-	-	-	0,59
PS 0864	72,00	Sedimentar	0,002	-	-	-	0,002
PS 1668	2,00	Sedimentar	0,07	-	-	-	0,07

Mesmo com essas oscilações, os resultados obtidos por esse método apresentaram uma boa correlação com os dados obtidos pelo método de cromatografia iônica (Fig. 8), o que significa que esses dois resultados induziriam a interpretações semelhantes.

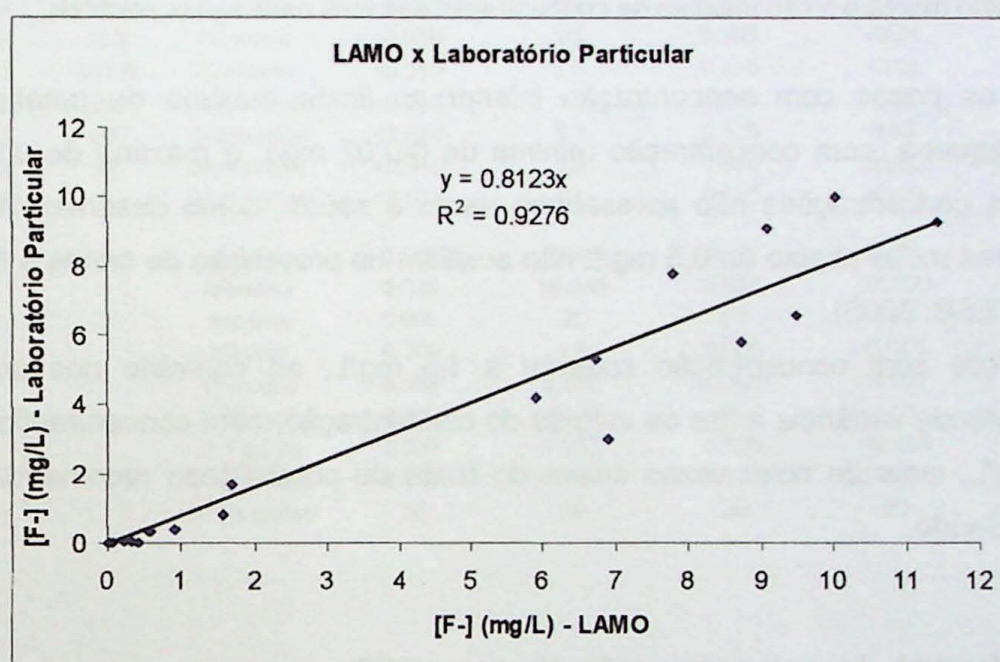


Figura 8 – Correlação entre os resultados obtidos através de espectrofotometria e cromatografia iônica.

De acordo com esses resultados, dos 20 locais de coleta, 9 apresentaram fluoreto acima de 1,5 mg/L. Os valores de concentração obtidos através do DR2800 mostram uma variância muito grande em toda a região da Barra Funda e arredores, com locais de 0-0,02 mg/L até 11,43 mg/L, como pode ser observado na figura 9.

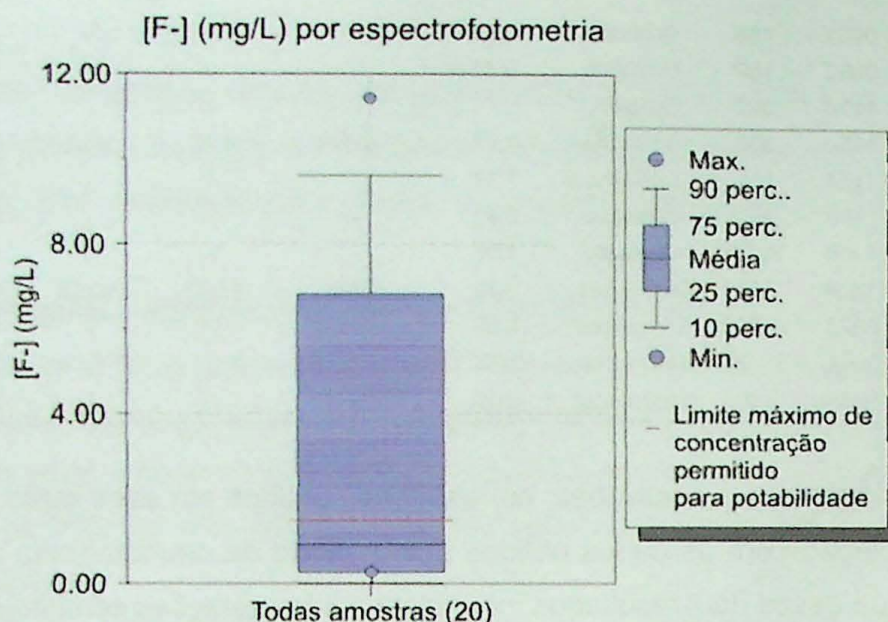


Figura 9 – Gráfico da variação da concentração de fluoreto obtido por espectrofotometria. A linha em vermelho marca o limite máximo de concentração dos íons para águas potáveis.

Entre os poços com concentração inferior ao limite máximo de potabilidade a variância é pequena, com concentração mínima de 0-0,02 mg/L e máximo de 0,95 mg/L. Embora essas concentrações não apresentem riscos à saúde, como desenvolvimento de fluorose, valores muito abaixo de 0,5 mg/L não auxiliam na prevenção de cáries e formação dentária (CETESB, 2006).

Os poços com concentração superior a 1,5 mg/L, ao contrário dos anteriores, apresentam grande variância entre os valores de concentração, com concentrações de 1,5 até 11,43 mg/L, mais de nove vezes acima do limite de potabilidade recomendado pelo Ministério da Saúde.

6.1.3. Resultados da cromatografia iônica e ICP

O resultado das análises em laboratório particular para as 20 amostras podem ser observados na tabela 6a e b.

Tabela 6a – Resultado das análises químicas para ânions por cromatografia iônica. Nos cálculos estatísticos para íons no qual a concentração obtida estava abaixo do limite de detecção, foi utilizada a metade desse limite. Concentrações. L.Q. = limite de quantificação; L.P. = limite de potabilidade.

Amostra	Prof. Total (m)	Aquífero	Brometo - Br (mg/L)	Cloreto - Cl (mg/L)	Fluoreto - F (mg/L)	Nitrato - NO3 (mg/L)	Sulfato - SO4 (mg/L)
			L.Q. - 0.01	L.Q. - 0.01	L.Q. - 0.003	L.Q. - 0.01	L.Q. - 0.02
			L.P. - 0,025	L.P. - 250	L.P. - 1,5	L.P. - 10	L.P. - 250
N - 1	0	Nascente	<0.010	14	0,011	160,00	16
N - 2	0	Nascente	<0.010	17	0,009	60,00	10
PC 0057	150	Cristalino	<0.010	29	10,000	<0.01	29
PC 0066	250	Cristalino	<0.010	13	5,800	0,01	433
PC 0150	405	Cristalino	<0.010	19	7,800	<0.01	27
PC 0219	260	Cristalino	<0.010	21	6,600	<0.01	29
PC 0338	230	Cristalino	<0.010	7,9	4,200	0,04	11
PC 0559	66	Cristalino	<0.010	1,6	0,320	0,32	6,9
PC 0667	100	Cristalino	<0.010	18	0,020	35,00	3,3
PC 0675	324	Cristalino	<0.010	18	3,000	<0.01	8,8
PC 0991	165	Cristalino	<0.010	15	0,050	18,00	41
PC 0992	150	Cristalino	<0.010	17	0,055	23,00	16
PC 1124	390	Cristalino	<0.010	26	9,100	<0.01	18
PC 1184	330	Cristalino	<0.010	33	5,300	<0.01	110
PC 1338	180	Cristalino	<0.010	10	9,300	<0.01	28
PC 1459	227,5	Cristalino	<0.010	6,5	0,410	<0.01	16
PC 1486	360	Cris. e Sed.	<0.010	13	0,840	<0.01	20
PS 0023	100	Sedimentar	<0.010	5,2	0,320	0,39	31
PS 0864	72	Sedimentar	<0.010	5,8	0,010	35,00	6,9
PS 1668	2	Sedimentar	<0.010	23	0,013	60,00	19
		Média	0,005	15,65	3,16	35,61	44,00
		Mediana	0,005	16,000	0,625	23,000	18,500
		Máximo	0,005	33	10	160	433
		Mínimo	0,005	1,6	0,009	0,013	3,3
		1º Quartil	0,005	9,475	0,0425	0,355	10,75
		3º Quartil	0,005	19,5	6	47,5	29
		D. Padrão	0,000	7,953	3,596	40,288	99,423
		Variância	0,000	67,971	13,879	2215,069	8893,282
		Nº de dados	20	20	20	20	20

Tabela 6b – Resultado das análises químicas para cátions e sílica por ICP. Nos cálculos estatísticos para íons no qual a concentração obtida estava abaixo do limite de detecção, foi utilizada a metade desse limite. Concentrações em cinza não foram consideradas nas análises hidrogeoquímicas e estatísticas. L.Q. = limite de quantificação; L.P. = limite de potabilidade

Amostra	Prof. Total (m)	Aquífero	Alumínio Al (mg/L)	Bário Ba (mg/L)	Cálcio Ca (mg/L)	Chumbo Pb (mg/L)	Cobre Cu (mg/L)	Cromo Total Cr (mg/L)	Estrôncio Sr (mg/L)	Ferro Fe (mg/L)	Magnésio Mg (mg/L)	Manganês Mn (mg/L)	Níquel Ni (mg/L)	Potássio K (mg/L)	Sílica SiO ₂ (mg/L)	Sódio Na (mg/L)	Zinco - Zn (mg/L)
N - 1	0	Nascente	0,035	0,018	3,2	<0,001	<0,002	<0,001	0,018	0,01	0,710	0,007	<0,005	2,60	4,7	13,0	<0,002
N - 2	0	Nascente	0,130	0,002	5,4	<0,001	<0,002	<0,001	0,034	<0,001	1,100	0,014	<0,005	4,90	5,3	15,0	<0,002
PC 0057	150	Cristalino	<0,001	0,078	1,8	<0,001	<0,002	<0,001	0,170	<0,001	0,210	0,001	<0,005	1,30	1,8	118,0	0,016
PC 0066	250	Cristalino	<0,001	0,005	1,6	<0,001	<0,002	<0,001	0,450	0,004	0,440	0,02	<0,005	3,10	11	199,0	0,31
PC 0150	405	Cristalino	0,095	0,002	2,2	<0,001	<0,002	<0,001	0,055	<0,001	0,110	<0,001	<0,005	1,20	17	106,0	<0,002
PC 0219	260	Cristalino	<0,001	<0,002	1,6	<0,001	<0,002	<0,001	0,060	<0,001	0,110	0,001	<0,005	0,86	22	64,0	<0,002
PC 0338	230	Cristalino	<0,001	0,002	8,9	<0,001	<0,002	<0,001	0,210	<0,001	0,160	0,006	<0,005	0,80	30	21,0	0,005
PC 0559	66	Cristalino	0,011	0,053	1,2	<0,001	<0,002	<0,001	0,024	<0,001	0,530	0,002	<0,005	2,40	76	11,0	<0,002
PC 0667	100	Cristalino	<0,001	0,490	6,6	<0,001	0,043	<0,001	0,260	0,06	3,300	0,027	<0,005	12,00	28	11,0	0,031
PC 0675	324	Cristalino	<0,001	0,002	2,7	<0,001	<0,002	<0,001	0,068	<0,001	0,053	<0,001	<0,005	1,20	16	125,0	<0,002
PC 0991	165	Cristalino	<0,001	0,190	5,7	<0,001	<0,002	<0,001	0,100	<0,001	2,400	0,075	<0,005	5,50	59	7,4	0,007
PC 0992	150	Cristalino	<0,001	0,180	5,8	<0,001	<0,002	<0,001	0,100	0,031	2,500	0,038	<0,005	5,10	57	5,6	0,065
PC 1124	390	Cristalino	<0,001	0,082	2,6	<0,001	<0,002	<0,001	0,190	0,003	0,340	0,002	<0,005	1,80	14	156,0	0,024
PC 1184	330	Cristalino	3,100	<0,002	2,5	<0,001	<0,002	<0,001	0,071	<0,001	0,100	<0,001	<0,005	2,50	8,7	128,0	<0,002
PC 1338	180	Cristalino	0,110	<0,002	1,6	<0,001	<0,002	<0,001	0,054	<0,001	0,025	<0,001	<0,005	1,40	17	120,0	<0,002
PC 1459	227,5	Cristalino	<0,001	0,011	15	<0,001	<0,002	<0,001	0,380	<0,001	0,360	0,023	<0,005	2,00	35	23,0	0,009
PC 1486	360	Crís. e Sed.	<0,001	0,210	23	<0,001	<0,002	<0,001	0,650	0,002	6,000	0,047	<0,005	5,80	25	5,9	0,12
PS 0023	100	Sedimentar	0,029	0,017	5,9	<0,001	<0,002	<0,001	0,044	0,01	0,780	0,002	<0,005	1,70	10	1,7	<0,002
PS 0864	72	Sedimentar	<0,001	0,640	2,3	<0,001	<0,002	<0,001	0,130	0,1	1,800	0,022	<0,005	11,00	21	7,1	0,062
PS 1668	2	Sedimentar	0,040	0,046	6,6	<0,001	<0,002	<0,001	0,037	<0,001	1,500	0,033	<0,005	3,70	4,9	12,0	<0,002
		Média	0,07	0,13	3,94	0,001	0,001	0,001	0,13	0,05	0,46	0,01	0,003	3,00	23,17	78,30	0,03
		Mediana	0,095	0,032	2,300	0,001	0,001	0,001	0,068	0,052	0,340	0,012	0,003	1,800	17,000	106,000	0,024
		Máximo	0,11	0,64	15	0,001	0,001	0,001	0,38	0,1	1,8	0,023	0,003	11	76	156	0,062
		Mínimo	0,011	0,002	1,2	0,001	0,001	0,001	0,024	0,003	0,025	0,002	0,003	1,2	1,8	7,1	0,009
		1º Quartil	0,053	0,00425	1,9	0,001	0,001	0,001	0,0545	0,02725	0,0815	0,002	0,003	1,3	9,675	17	0,0165
		3º Quartil	0,1025	0,07475	2,65	0,001	0,001	0,001	0,16	0,07575	0,445	0,02225	0,003	2,2	28,5	122,5	0,043
		D. Padrão	0,052	0,257	5,334	0,000	0,000	0,000	0,133	0,041	0,676	0,011	0,000	3,851	20,789	57,162	0,025
		Variância	0,003	0,063	24,060	0,000	0,000	0,000	0,015	0,005	0,384	0,000	0,000	12,640	401,692	3896,863	0,001
		Nº de dados	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	20	7	7

De acordo com o resultado do cálculo de balanço iônico (Tab. 7), 7 amostras apresentaram erro inferior a 20%, as quais foram escolhidas para determinação das correlações entre cátions e ânions. Para as outras amostras, a observação do sinal do erro do balanço iônico, relação Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)/Condutividade Elétrica e a correlação entre o resultado da concentração obtida no LAMO e no laboratório particular indicam que as análises de ânions estão corretas para todas as amostras, enquanto que para os cátions as concentrações obtidas não são coerentes. Portanto foram utilizadas neste relatório para interpretação todas as análises de ânions e somente as análises de cátions das amostras com erro inferior a 20%.

Tabela 7 – Resultado do balanço iônico de todas as amostras coletadas. Amostras com o nome em cinza têm erro das análises químicas maior que 20%.

Amostra	Prof. Total (m)	Aquífero	Soma de Cátions	Soma de Ânions	Somatória	Erro	TDS/ Condutiv. = 0,55 a 0,76	Condutiv/ Cations ~100
N 1	0	Nascente	0.855	12.390	13.246	-87.086	4.678	194.327
N 2	0	Nascente	1.161	5.137	6.298	-63.144	1.653	174.920
PC 0057	150	Cristalino	5.279	9.334	14.613	-27.751	0.464	167.463
PC 0066	250	Cristalino	9.581	14.087	23.668	-19.041	0.859	117.005
PC 0150	405	Cristalino	4.772	5.586	10.358	-7.859	0.599	111.899
PC 0219	260	Cristalino	2.896	5.617	8.513	-31.960	0.496	196.117
PC 0338	230	Cristalino	1.397	3.051	4.448	-37.203	0.590	210.524
PC 0559	66	Cristalino	0.646	0.862	1.508	-14.327	2.220	110.369
PC 0675	100	Cristalino	5.609	6.167	11.775	-4.739	0.558	108.760
PC 0677	324	Cristalino	1.403	3.600	5.004	-43.905	1.288	148.204
PC 0991	165	Cristalino	0.953	2.805	3.757	-49.297	1.481	187.609
PC 0992	150	Cristalino	0.879	3.024	3.903	-54.980	1.422	208.409
PC 1124	390	Cristalino	6.996	7.950	14.946	-6.387	0.544	109.637
PC 1184	330	Cristalino	6.111	11.138	17.249	-29.146	0.595	154.974
PC 1459	180	Cristalino	1.840	1.899	3.739	-1.590	0.753	111.429
PC 1486	227,5	Cristalino	2.070	6.847	8.917	-53.578	0.493	293.761
PM 1338	360	Cris. e Sed.	5.351	5.870	11.221	-4.629	0.557	108.767
PS 0023	100,00	Sedimentar	0.445	1.126	1.571	-43.313	1.190	154.959
PS 0864	72,00	Sedimentar	0.872	0.746	1.617	7.800	0.747	146.390
PS 1668	2,00	Sedimentar	1.077	5.397	6.473	-66.740	1.372	235.009

O resultado das análises mostra que além do fluoreto, foram detectadas concentrações acima do limite de potabilidade estipulados pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e dos Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea (Cetesb 2005) para nitrato e sulfato (Fig. 10a e b). Para os outros elementos analisados os resultados são inferiores aos limites de potabilidade. Todas as amostras que estão com nitrato elevado não apresentam concentrações elevadas de fluoreto, e são provenientes de poços distribuídos principalmente a sul do Bairro da Barra Funda. Somente uma amostra, a PC 0066, apresentou concentração alta de sulfato, tratando-se dessa forma de um caso isolado.

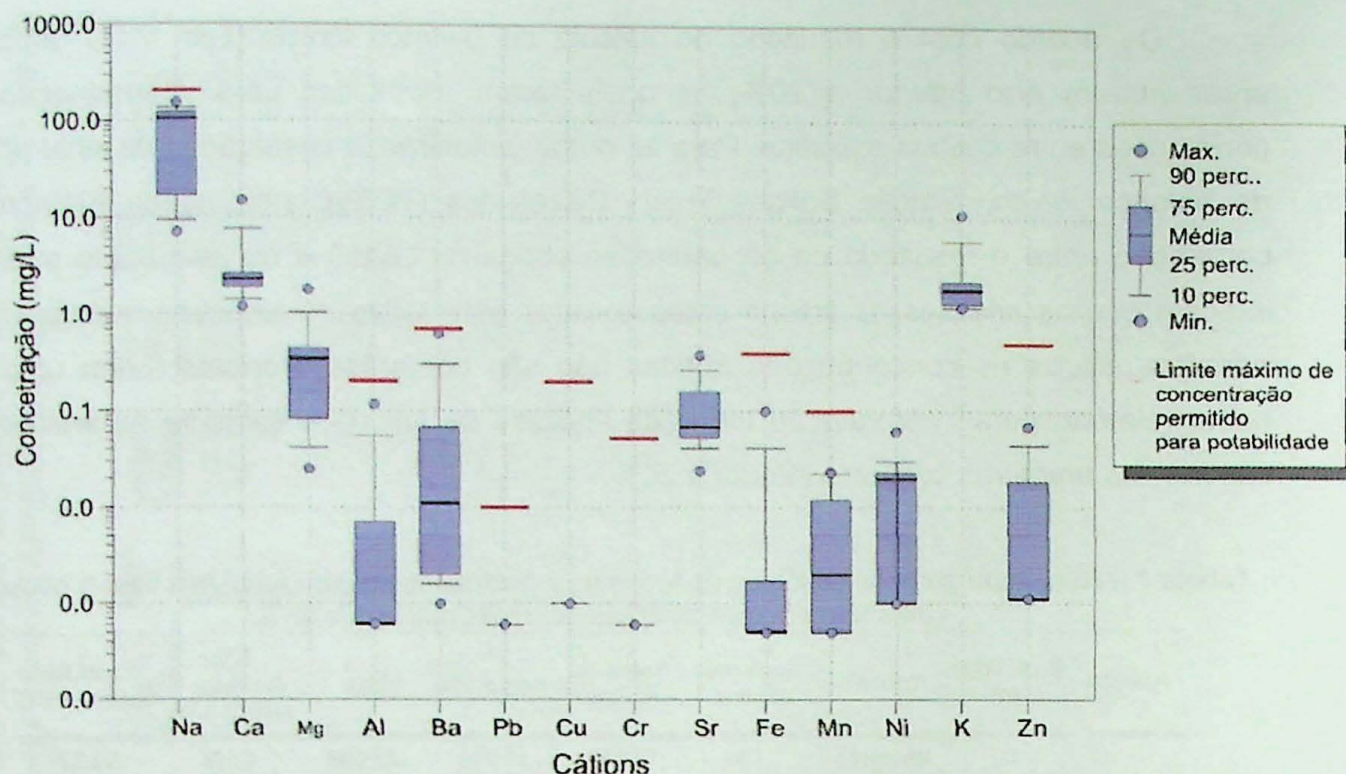


Figura 10a- Gráfico das concentrações obtidas para todos os cátions junto com o limite de concentração para cada elemento (linha em vermelho), quando existente.

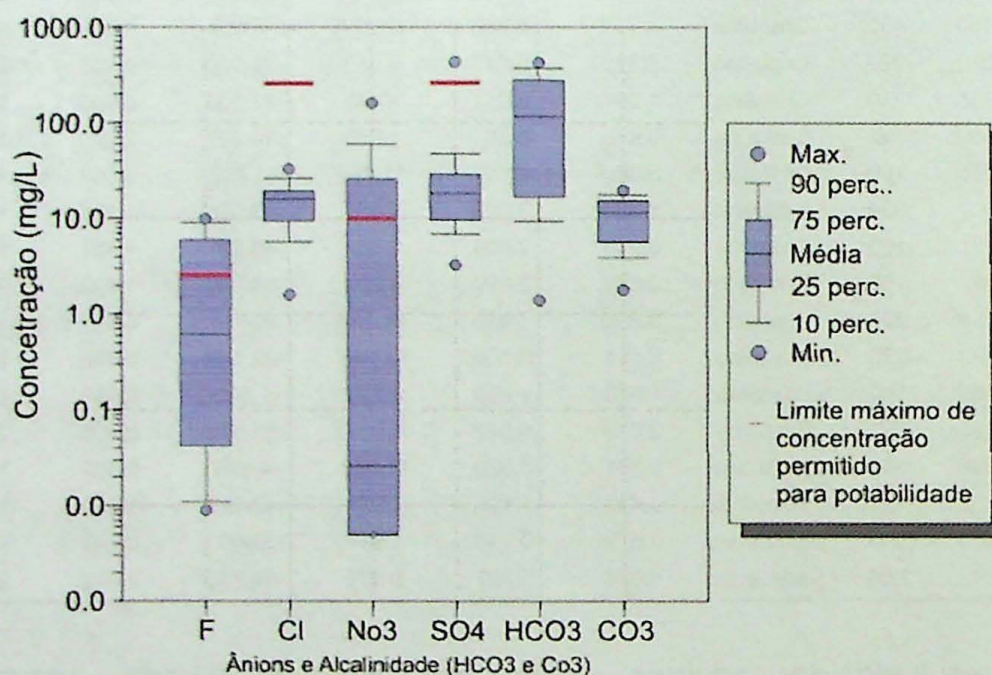


Figura 10b - Gráfico das concentrações obtidas para todos os ânions junto com o limite de concentração para cada elemento (linha em vermelho), quando existente.

As concentrações de fluoreto para todas as amostras variam de 0,009 a 10,0 mg/L, com média de 3,16 mg/L. Das 20 amostras, 10 apresentaram concentrações de fluoreto acima de 1,5 mg/L. De todas amostras com concentração elevada, 9 exploram somente o SAC e 1 explora o SAC e o SAS. Entre as amostras com concentração inferior ao máximo permitido, há amostras com valores entre 0,009 e 0,84 mg/L.

A distribuição das amostras no gráfico de Piper permitiu delimitar uma possível área na qual as amostras de água tenderam a possuir concentração elevada de fluoreto (Fig. 11a). Todas amostras foram classificadas com bicarbonatadas-sódicas, porém as que

possuem concentração de fluoreto elevado não possuem contribuição significativa de magnésio ou cálcio. A maior quantidade de dados no diagrama ternário mostra que amostras com concentração elevada de flúor tendem a ser bicarbonatadas (Fig. 11b), enquanto que as amostras com baixa concentração de fluoreto tendem a serem do tipo sulfatado ou cloretado.

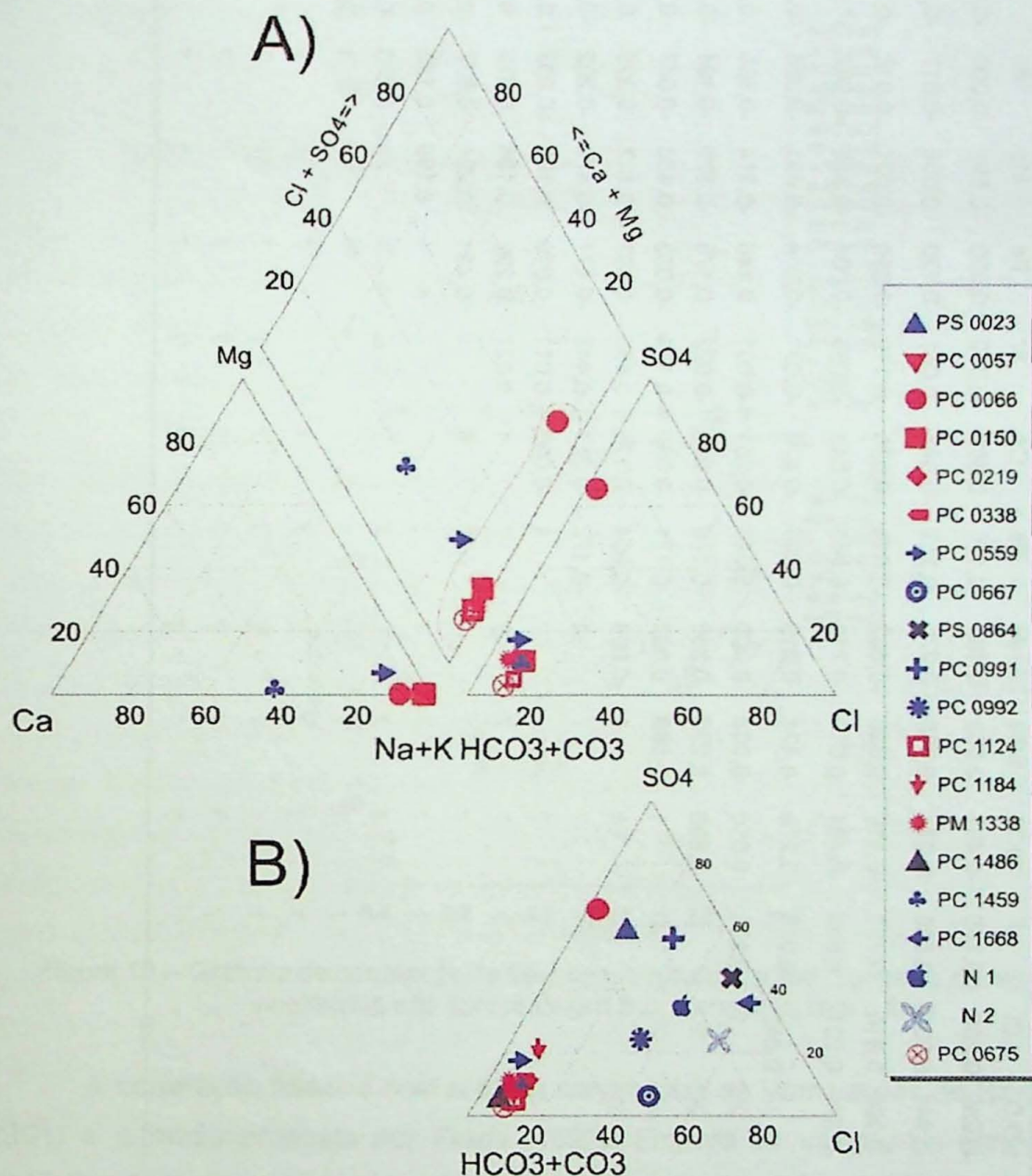


Figura 11 – Símbolos vermelhos representam amostras com concentração de fluoreto acima de 1,5 mg/L. Em A) temos o diagrama de Piper para as amostras com erro inferior a 20%, mostrando que praticamente todas estas classificam-se como bicarbonatada-sódica. Em B) o diagrama ternário de ânions, com todas as 20 amostras, mostrando que o flúor está relacionado com águas bicarbonatadas, enquanto que amostras com pouco fluoreto são predominantemente sulfatadas ou cloretadas.

Tabela 8 – Matriz de correlação entre os elementos analisados nas amostras de água. Números em cinza expressão o número de dados utilizados para cada correlação.

	pH	Eh	C.E.	Temp	O.D.	Cl	F	NO3	SO4	Al	Ba	Ca	Sr	Fe	Mg	Mn	K	Si	Na	Zn
pH	1	-0,317	0,464	0,477	-0,259	0,258	0,789	-0,451	0,033	0,164	-0,175	0,002	-0,010	0,000	-0,591	0,000	-0,354	-0,085	0,477	-0,100
Eh	20	1	0,497	-0,337	0,344	0,001	-0,525	0,074	-0,400	-0,270	0,313	-0,047	-0,041	-0,120	0,088	-0,017	-0,038	0,247	-0,357	-0,317
C.E.	20	20	1	0,230	-0,390	0,816	0,735	-0,119	0,536	-0,002	-0,019	0,080	0,179	0,656	-0,021	0,018	0,056	-0,998	0,973	0,541
Temp	20	20	20	1	-0,379	0,027	0,559	-0,451	0,015	0,779	-0,156	-0,041	-0,035	-0,004	0,395	-0,061	-0,202	-0,329	0,302	-0,003
O.D.	20	20	20	20	1	0,046	-0,515	0,279	-0,124	0,012	0,180	-0,078	-0,091	-0,204	0,081	-0,026	-0,032	0,337	-0,513	-0,346
Cl	20	20	20	20	20	1	0,234	0,010	0,003	0,000	0,046	-0,051	-0,001	0,146	-0,314	-0,108	-0,158	-0,302	0,801	0,040
F	20	20	20	20	20	20	1	-0,896	0,222	0,338	-0,178	-0,096	-0,022	0,178	-0,325	-0,164	-0,138	-0,139	0,875	0,053
NO3	20	20	20	20	20	20	20	1	-0,056	0,037	0,174	-0,089	-0,134	-0,083	0,458	-0,047	0,126	-0,060	-0,583	-0,026
SO4	20	20	20	20	20	20	20	20	1	-0,054	-0,064	0,425	0,486	0,597	0,127	0,325	0,572	-0,034	0,491	0,995
Al	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	-0,172	-0,217	-0,448	-0,171	-0,475	-0,202	-0,284	-0,046	0,001	-0,094
Ba	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	-0,093	-0,011	0,079	0,300	-0,063	0,040	0,121	-0,195	-0,032
Ca	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,927	0,229	0,186	0,973	0,424	-0,031	0,017	0,463
Sr	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,431	0,224	0,877	0,457	-0,079	0,161	0,527
Fe	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,198	0,146	0,454	-0,171	0,292	0,711
Mg	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,233	0,733	0,340	-0,062	0,165
Mn	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,415	-0,003	-0,001	0,342
K	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,078	0,011	0,615
Si	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	-97,43	-0,099
Na	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0,316
Zn	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1

A comparação da concentração do fluoreto com a concentração dos demais elementos (Tab. 8) mostra que o fluoreto possui correlação somente com o sódio e com o nitrato (Fig. 12). Para cada amostra foram realizados também os cálculos dos índices de saturação para fluorita, calcita (Tab. 9).

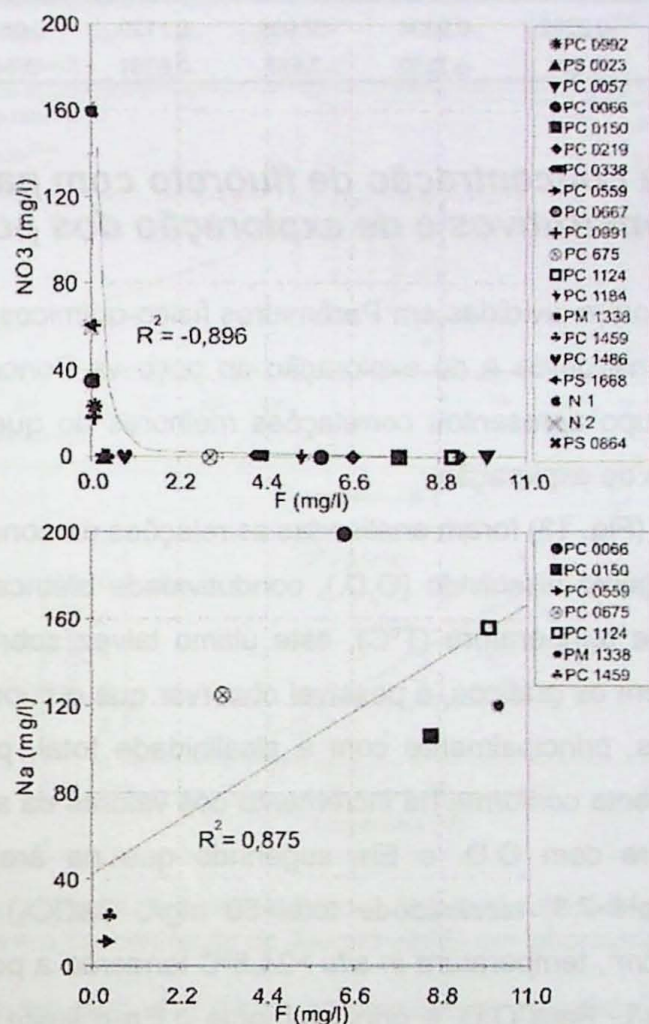


Figura 12 – Gráficos de correlação do flúor com o nitrato e sódio. Todos os outros elementos analisados não apresentaram boa correlação com o flúor.

A correlação positiva com o sódio condiz com as informações de Saxena & Ahmed (2001) e a razão proposta por Fraga (1992). Embora os valores de concentração para potássio não sejam elevados como o do sódio, as concentrações do cálcio são baixas, garantindo valores elevados para essa razão em todas as amostras fluoretadas. Os índices de saturação para fluorita indicam que todas as amostras estão insaturadas, o que significa que qualquer cristal de fluorita estará em condições de subsaturação no SAC e tenderá a ser dissolvido, liberando fluoreto na água. Os valores próximos de zero para os índices de saturação da calcita indicam que este mineral está próximo do equilíbrio químico com a água, o que poderia explicar a baixa concentração do cálcio caso parte do elemento necessário para atingir o equilíbrio fosse retirado do mesmo processo de dissolução da fluorita. A correlação negativa com o nitrato pode indicar que o fluoreto não está associado a

efluentes domésticos, uma vez que concentrações elevadas de nitrato são comuns em água subterrânea devido contaminação por dejetos humanos, comum aos aquíferos mais rasos.

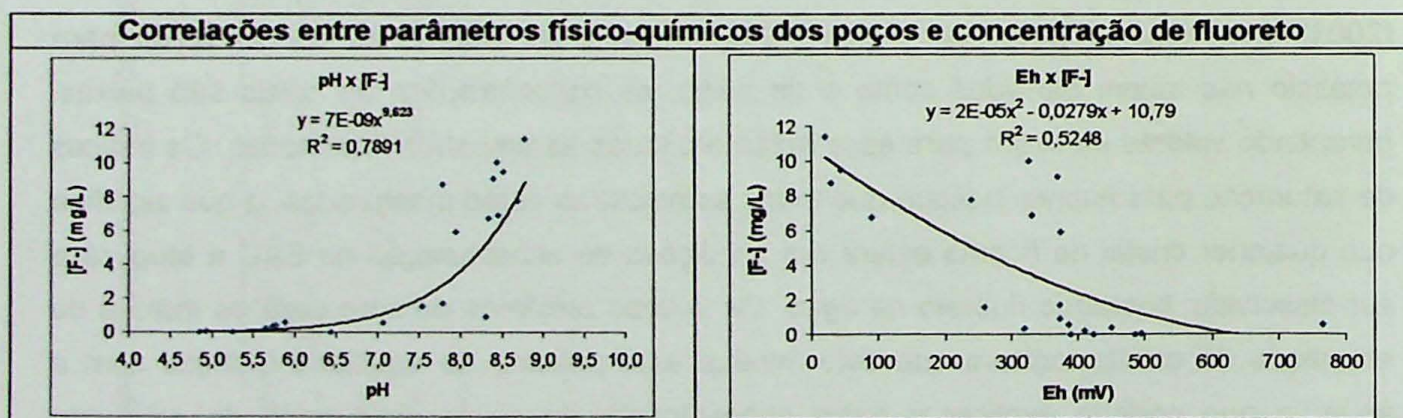
Tabela 9 – Índices de saturação da fluorita e calcita, calculados para as amostras com erro menor do que 20%.

	Índices de saturação de minerais					
	PC 0675	PC 0066	PC 0150	PC 0559	PC 1124	PM 1338
Calcita	-0.1025	-0.2262	-0.0394	-37.988	-0.1129	-0.0882
Fluorita	-14.234	-0.291	-0.7502	-3.537	-0.5261	-0.746

6.2. Correlações da concentração de fluoreto com parâmetros físico-químicos, construtivos e de exploração dos poços

As comparações foram divididas em Parâmetros físico-químicos vs Concentração de fluoreto e Parâmetros construtivos e de exploração do poço vs Concentração de fluoreto, sendo que o primeiro grupo apresentou correlações melhores do que as obtidas com os parâmetros construtivos e de exploração.

No primeiro grupo (Fig. 13) foram analisadas as relações da concentração de fluoreto ($[F^-]$) com o pH, Eh, oxigênio dissolvido (O.D.), condutividade elétrica (C.E.), alcalinidade total, alcalinidade HCO_3 e temperatura ($T^\circ C$), este último talvez sobre influência do grau geotérmico. De acordo com os gráficos, é possível observar que o flúor está correlacionado com os cinco parâmetros, principalmente com a alcalinidade total, pH e com a C.E.. A concentração do íon aumenta conforme há incremento dos valores da alcalinidade, pH, C.E. e $T^\circ C$, o contrário ocorre com O.D. e Eh, sugerindo que na área de estudo águas subterrâneas alcalinas ($pH > 7,3$; alcalinidade total > 50 mg/L $CaCO_3$), com condutividade elétrica acima de $200 \mu S/cm^2$, temperatura *in situ* $> 24,5^\circ C$ tenderão a possuir concentrações de flúor acima de 1,5 mg/L. Para O.D. e principalmente o Eh o limite entre amostras com concentração de fluoreto acima do limite máximo de potabilidade não é evidente, porém valores abaixo de 1,7 mL para O.D. e 420mV para Eh poderiam ser aceitos.



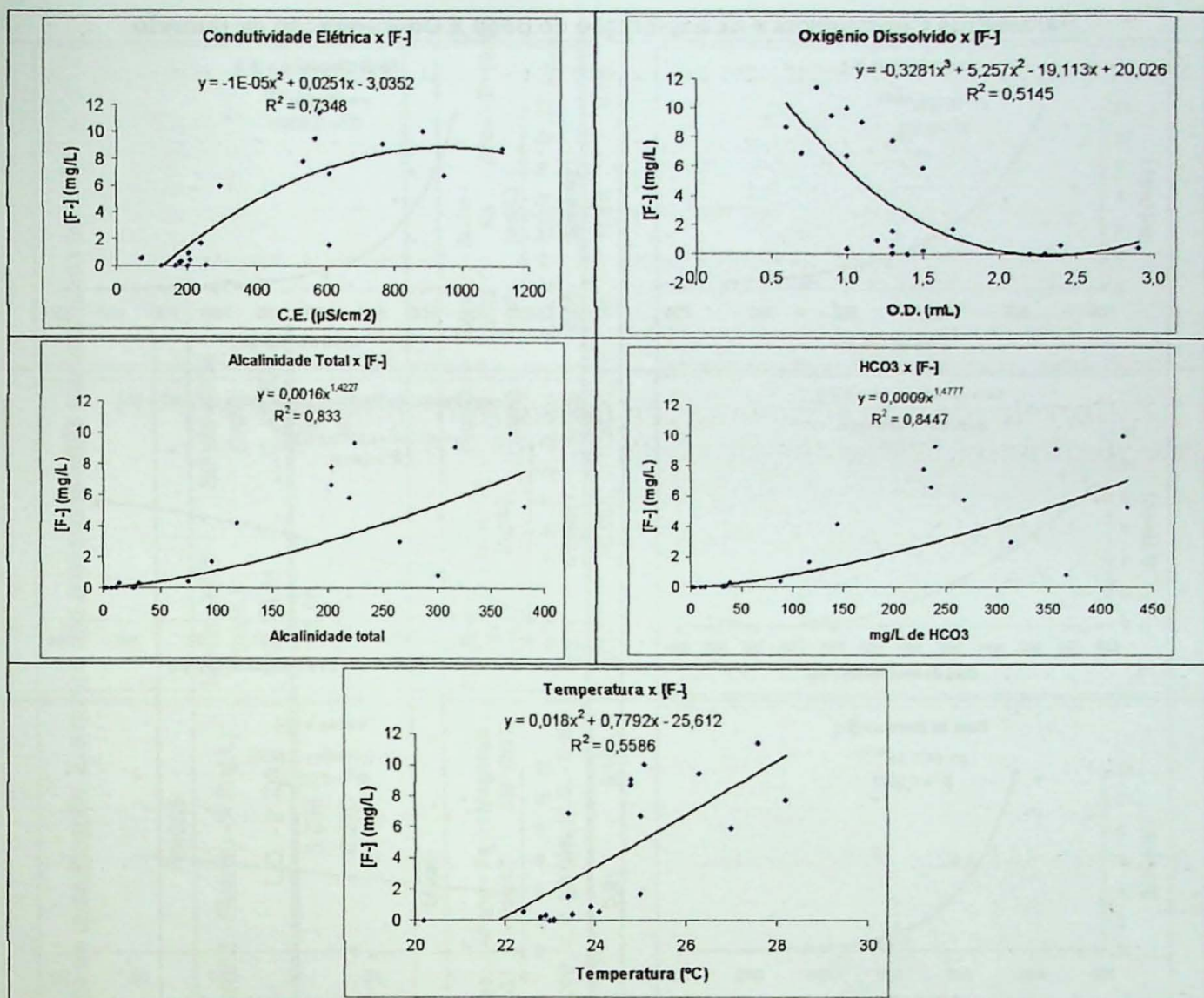


Figura 13- Comparação entre os parâmetros físico-químicos medidos *in situ* das amostras de água coletadas e a concentração de fluoreto obtida em laboratório particular.

No segundo grupo (Fig. 14) foram analisadas as relações do nível estático (N.E.), nível dinâmico (N.D.), cota da base do poço (profundidade do poço), cota da posição da bomba, vazão e comprimento da perfuração do poço no SAC. É possível notar nesse grupo, que as melhores correlações ocorrem com a profundidade da cota da base do poço, cota da bomba e comprimento do furo do poço no SAC, enquanto que os outros parâmetros aparentam não influenciar na concentração do fluoreto, como pode ser observado pelas baixas correlações, indicando dessa maneira que o fluoreto está relacionado com o SAC, e não com o SAS.

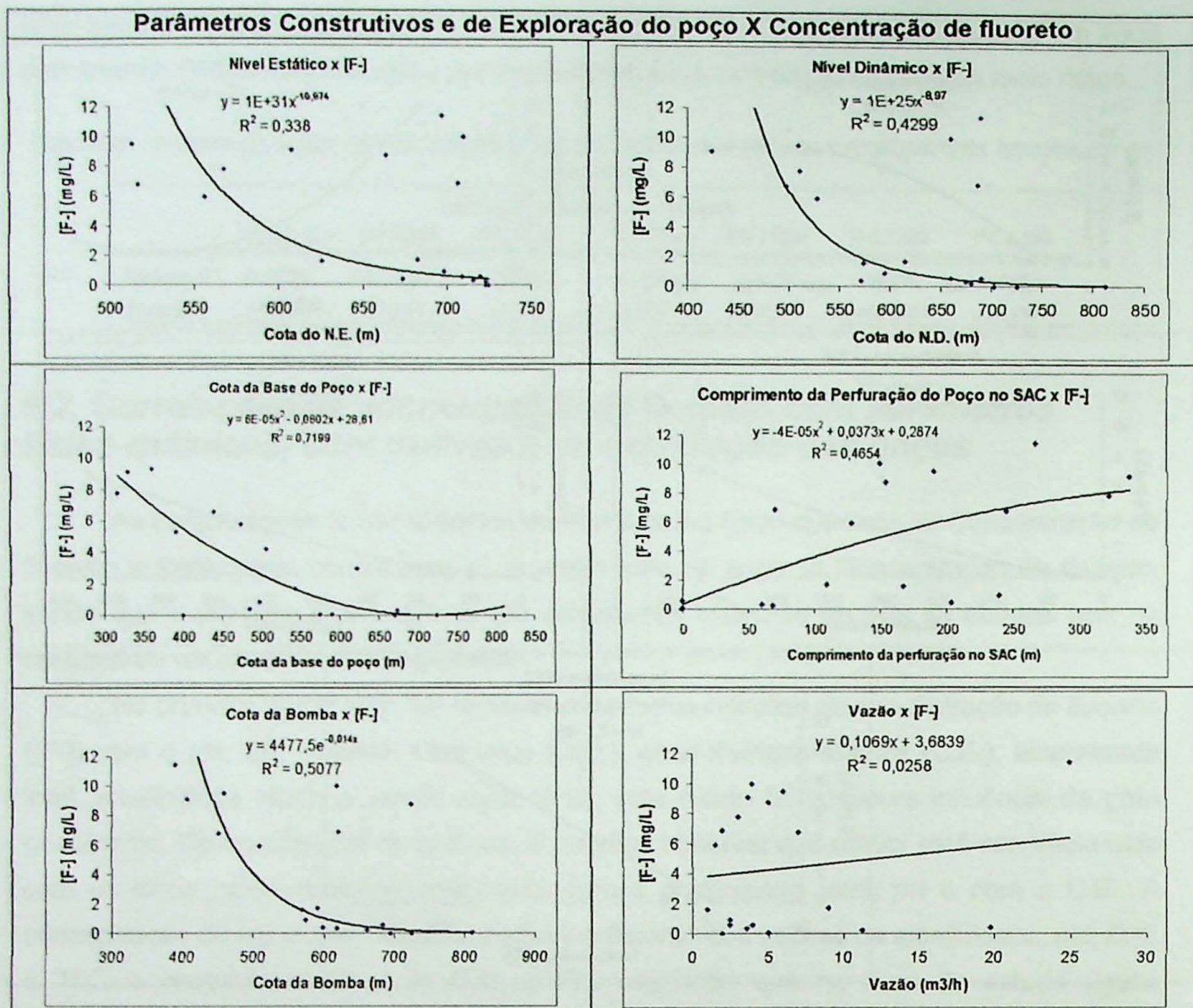


Figura 14 - Comparação entre os parâmetros construtivos e de exploração do poço e a concentração de fluoreto obtida em laboratório particular.

Os gráficos indicam também que uma minoria dos poços profundos, com bombas em níveis profundos ou poços com grandes comprimentos de perfuração no SAC não possuem fluoreto em concentrações elevadas. Esses dados discrepantes representam os poços localizados nos arredores do Bairro da Barra Funda e que também exploram o SAC. Isso sugere que além do SAC deve existir uma segunda feição condicionante do fluoreto nessa região.

6.3. Análises de amostras de efluentes

As análises das duas amostras de efluentes (E-1 e E-2) podem ser vistas na tabela

10.

Tabela 10 – Análises das amostras de efluentes. L.Q. = Limite de quantificação. Elementos não analisados estão representados por "-".

Ânions						
Amostra	Brometo - Br (mg/L)	Cloreto - Cl (mg/L)	Fluoreto - F (mg/L)	Nitrato - NO ₃ (mg/L)	Sulfato - SO ₄ (mg/L)	
	L.Q. - 0,01	L.Q. - 0,01	L.Q. - 0,003	L.Q. - 0,01	L.Q. - 0,02	
E - 1	<0,010	152	0,350	103,00	88	
E - 2	<0,010	117	0,270	160,00	45	

Metals										
Amostra	Alumínio - Al (mg/L)	Bário - Ba (mg/L)	Cálcio - Ca (mg/L)	Chumbo - Pb (mg/L)	Cobre - Cu (mg/L)	Cromo Total - Cr (mg/L)	Estrôncio (St) (mg/L)	Ferro - Fe (mg/L)	Magnésio - Mg (mg/L)	Manganês - Mn (mg/L)
	L.Q. - 0,001	L.Q. - 0,002	L.Q. - 0,002	L.Q. - 0,001	L.Q. - 0,002	L.Q. - 0,001	L.Q. - 0,002	L.Q. - 0,001	L.Q. - 0,002	L.Q. - 0,001
E - 1	0,091	0,030	37	<0,001	<0,002	<0,001	0,160	0,21	5,100	0,19
E - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Potássio - K (mg/L)	Níquel - Ni (mg/L)	Silica - SiO ₂ (mg/L)	Sódio - Na (mg/L)	Zinco - Zn (mg/L)
	L.Q. - 0,005	L.Q. - 0,005	L.Q. - 0,06	L.Q. - 0,05	L.Q. - 0,002
E - 1	20,00	<0,005	10	173,0	0,18
E - 2	-	-	-	-	-

Podem-se notar nas duas análises que praticamente todos os elementos, com exceção do nitrato, estão presentes em concentrações baixas, até mesmo do limite de potabilidade para águas. As concentrações de nitrato são de 10 a 16 vezes maiores do que o máximo permitido, indicando influência de efluente doméstico.

Embora o local de coleta das amostras de efluente esteja próximo (aproximadamente 600 m) do poço com maior concentração de fluoreto (10 mg/L), este valor é mais de 27 vezes maior que a concentração obtida para os efluentes (0,35 mg/L para E - 1 e 0,27 mg/L para E - 2), além do mais, a influência desses efluentes em poços a mais de 4 km de distância e com 1,37 mg/L (mais de 3,9 vezes a concentração do efluente), seria dificultada pela tendência de diluição dessas substâncias, diminuindo a concentração do ânion. Somado a isso, para que não fossem detectadas concentrações elevadas de fluoreto no SAS, os efluentes deveriam ser introduzidos diretamente no SAC e não simplesmente armazenados ou descartados de maneira inadequada.

Dessa forma as baixas concentrações de fluoreto das amostras não seriam suficientes para relacionar esses efluentes como fontes da anomalia de fluoreto na água subterrânea.

6.4 Análises de amostras de solo

Os resultados das análises de solo podem ser observados na tabela 11.

Dos trinta e três elementos analisados, somente 5 deles (bário, chumbo, cobre, cromo e zinco) ocorreram em concentrações acima do valor de referência de qualidade adotados pelo estado de São Paulo, sendo que desses elementos apenas 2 (chumbo e cobre, contidos na mesma amostra, S-2) estão presentes em concentrações que requerem alguma medida de prevenção.

O fluoreto ocorre somente em três amostras com concentração superior ao limite de quantificação (5 mgF/kg), sendo que o máximo é de 6,3 mgF/kg (amostra S-5). Esses valores estão bem abaixo dos valores estipulados máximos permitidos, indicando que não há uma anomalia de fluoreto no solo da região.

Os baixos valores das concentrações de fluoreto adsorvido nas partículas do solo, aliado à inexistência de fluoreto acima do limite de potabilidade nas amostras de água do SAS indicam que o solo não possui concentrações suficientes para resultar na anomalia e, principalmente, não poderia contribuir para as altas concentrações de fluoreto no SAC sem afetar o SAS.

Tabela 11 – (1 de 3) Análises químicas das amostras de solo. Nos cálculos estatísticos para íons no qual a concentração obtida estava abaixo do limite de detecção, foi utilizada a metade desse limite. L.Q = limite de quantificação; Ref. Qualidade = concentrações consideradas boas; Prevenção = concentrações que já requerem alguma medida de prevenção; Residencial = concentrações máximas permitidas para áreas residenciais; Industrial = concentrações máximas permitidas para áreas industriais. Valores sublinhados foram retirados da *USEPA, 2009*, e os não sublinhados da *CETESB, 2005*.

Local	UTM - E (m)	UTM - N (m)	Cloreto (mgCl/kg)	Fluoreto (mgF/kg)	Fosfato (mgP/kg)	Alumínio (mg[Al2O3]/kg)	Bário (mg/kg)	Cálcio (mgCaO/kg)	Cério (mg/kg)	Chumbo Total (mg/kg)	Cobalto (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Cromo Total (mg/kg)	Enxofre (mg/kg)	Escândio (mg/kg)
S 1	327769	7398497	86	< 5	< 1,5	120745	42	1570	24	11	< 0,1	19	29	226	5,5
S 2	329635	7396741	112	< 5	8,9	102126	91	5769	27	331	< 0,1	118	39	377	8,7
S 3	329474	7396648	57	< 5	< 1,5	68315	11	228	12	5,6	< 0,1	5,3	23	126	3,7
S 4	330621	7398178	67	< 5	< 1,5	190730	29	5289	13	18	< 0,1	22	63	112	9,2
S 5	328887	7397806	248	6,3	< 1,5	57661	31	5846	20	8,5	< 0,1	18	45	281	8,8
S 6	330011	7396818	67	< 5	< 1,5	26753	55	279	18	14	< 0,1	13	24	340	8,1
S 7	330011	7396818	67	< 5	< 1,5	22464	8,6	354	6,4	3,7	< 0,1	5,9	6	131	2,2
S 8	330011	7396818	63	< 5	< 1,5	5633	75	709	9,6	8,9	< 0,1	18	35	31	9,1
S 9	328608	7397398	56	5,5	< 1,5	33866	18	1700	9,5	5,6	0,05	14	73	96	10
S 10	327151	7398859	120	6,4	30	69253	104	567	23	9,8	0,5	6,2	13	198	6
L.Q.	5	5	5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,5	1
Ref. Qualidade	-	-	-	-	-	-	75	-	-	17	13	35	40	-	-
Prevenção	-	-	-	-	-	-	150	-	-	72	25	60	75	-	-
Residencial	<u>7500</u>	<u>4700</u>	<u>4700</u>	<u>4700</u>	<u>4700</u>	<u>77000</u>	500	-	-	300	65	400	300	-	-
Industrial	<u>91000</u>	<u>61000</u>	<u>61000</u>	<u>61000</u>	<u>61000</u>	<u>990000</u>	750	-	-	400	90	600	400	-	-
Média	94,30	3,57	4,49	69754,60	46,46	2231,10	16,25	41,61	23,94	35,00	0,10	191,80	7,13	164,50	8,40
Mediana	67,00	2,50	0,75	62988,00	36,50	1139,50	15,50	9,35	16,00	32,00	0,05	164,50	8,40	164,50	8,40
Máximo	248	6,4	30	190730	104	5846	27	331	118	73	0,5	377	10	377	10
Mínimo	56	2,5	0,75	5633	8,6	228	6,4	3,7	5,3	6	0,05	31	2,2	31	2,2
1º Quartil	64	2,5	0,75	28531,25	20,75	407,25	10,2	6,325	7,9	23,25	0,05	115,5	5,625	115,5	5,625
3º Quartil	105,5	4,75	0,75	93907,75	70	4391,75	22,25	13,25	18,75	43,5	0,05	267,25	9,025	267,25	9,025
D. Padrão	58,44	1,74	9,32	55694,27	33,74	2405,70	7,10	101,77	33,59	21,00	0,14	112,97	2,64	112,97	2,64
Variação	3415,57	3,02	86,90	3101851632,71	1138,52	5787415,21	50,42	10356,89	0,02	1128,01	0,02	12761,73	6,96	12761,73	6,96

Tabela 11 – (2 de 3) Análises químicas das amostras de solo. Nos cálculos estatísticos para íons no qual a concentração obtida estava abaixo do limite de detecção, foi utilizada a metade desse limite. L.Q = limite de quantificação; Ref. Qualidade = concentrações consideradas boas; Prevenção = concentrações que já requerem alguma medida de prevenção; Residencial = concentrações máximas permitidas para áreas residenciais; Industrial = concentrações máximas permitidas para áreas industriais. Valores sublinhados foram retirados da *USEPA, 2009*, e os não sublinhados da *CETESB, 2005*.

Local	UTM - E (m)	UTM - N (m)	Estrôncio (mg/kg)	Ferro 3+ (mg/[Fe2O3]/kg)	Fósforo (mg[P2O5]/kg)	Gálio (mg/kg)	Ítrio (mg/kg)	Lantânio (mg/kg)	Magnésio (mg[MgO]/kg)	Manganês (mg[MnO]/kg)	Neodímio (mg/kg)	Nióbio (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Potássio (mg[K2O]/kg)
S 1	327769	7398497	16	18221	206	< 1	1	21	639	54	18	15	7,4	608
S 2	329635	7396741	29	16702	4885	< 1	6,3	30	658	658	24	17	9	1294
S 3	329474	7396648	2,5	17826	144	< 1	1,1	9,5	149	14	8,6	4	2,1	278
S 4	330621	7398178	12	60783	445	< 1	1,8	11	709	80	15	21	7,4	833
S 5	328887	7397806	32	59146	293	< 1	2,6	12	876	253	17	19	3,7	1057
S 6	330011	7396818	14	14957	209	< 1	3,2	24	2499	70	21	22	5,7	3088
S 7	330011	7396818	5,3	23164	149	< 1	1	7,5	187	14	5,3	3,5	0,7	477
S 8	330011	7396818	21	31340	129	< 1	2,2	15	43328	83	13	21	7,5	5288
S 9	328608	7397398	9,1	59126	391	< 1	1,5	8,5	669	199	9,5	13	2,8	876
S 10	327151	7398859	32	38289	617	< 1	4	17	398	65	20	9,9	1,8	1290
L.Q.	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,1	1	0,5	0,1	0,1	1	1	0,2	0,2
Ref. Qualidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-
Prevenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-
Residencial	47000	55000	55000	-	-	-	-	-	-	1800	-	-	100	-
Industrial	610000	720000	720000	-	-	-	-	-	-	23000	-	-	130	-
Média	17,29	33955,40	17,29	746,80	0,41	0,41	2,04	15,55	5011,20	149,00	15,14	14,54	4,81	1508,90
Mediana	15,00	27252,00	15,00	251,00	0,50	0,50	1,80	13,50	663,50	75,00	16,00	16,00	4,70	966,50
Máximo	32	60783	32	4885	0,5	0,5	4	30	43328	658	24	22	9	5288
Mínimo	2,5	14957	2,5	129	0,05	0,05	1	7,5	149	14	5,3	3,5	0,7	278
1º Quartil	9,825	17924,75	9,825	163,25	0,5	0,5	1,1	9,875	458,25	56,75	10,375	10,675	2,275	664,25
3º Quartil	27	53916,75	27	431,5	0,5	0,5	2,6	20	834,25	170	19,5	20,5	7,4	1293
D. Padrão	10,82	19137,71	10,82	1462,47	0,19	0,19	1,06	7,43	13479,26	194,45	6,00	6,85	2,94	1539,21
Variação	117,08	366252019,60	117,08	2138806,84	0,04	0,04	1,12	55,19	181690423,07	37809,56	36,01	46,90	8,62	2369158,10

Tabela 11 – (3 de 3) Análises químicas das amostras de solo. Nos cálculos estatísticos para íons no qual a concentração obtida estava abaixo do limite de detecção, foi utilizada a metade desse limite. L.Q = limite de quantificação; Ref. Qualidade = concentrações consideradas boas; Prevenção = concentrações que já requerem alguma medida de prevenção; Residencial = concentrações máximas permitidas para áreas residenciais; Industrial = concentrações máximas permitidas para áreas industriais. Valores sublinhados foram retirados da *USEPA, 2009*, e os não sublinhados da CETESB, 2005.

Local	UTM - E (m)	UTM - N (m)	Rubídio (mg/kg)	Sódio (mg[Na ₂ O]/kg)	Titânio (mg[TiO ₂]/kg)	Tório (mg/kg)	Urânio (mg/kg)	Vanádio (mg/kg)	Zinco (mg/kg)	Zircônio (mg/kg)	Det. Perda de Peso a 110°C(%peso)	Det. De Sílica (%) massa)
S 1	327769	7398497	21	148	407	12	0,25	38	42	23	19,7	17,3
S 2	329635	7396741	7	297	450	11	0,25	53	248	7,4	42,8	7,9
S 3	329474	7396648	3,6	135	118	12	0,25	49	7,1	19	20,8	12,9
S 4	330621	7398178	15	155	567	16	0,25	133	84	39	21,3	12,4
S 5	328887	7397806	21	176	493	14	0,25	101	34	31	18,7	19,6
S 6	330011	7396818	166	165	576	12	0,25	33	34	11	18,8	20,4
S 7	330011	7396818	3,1	87	162	5,5	0,25	11	5,5	3,6	16,1	14,8
S 8	330011	7396818	211	186	582	5,1	0,25	39	49	9,2	22,5	22,2
S 9	328608	7397398	13	139	351	13	0,25	112	39	28	21,2	18,2
S 10	327151	7398859	8,7	1328	266	8	0,25	66	24	11	22,4	14,1
L.Q.	1			0,1	0,5	1	0,5	0,5	0,1	0,5	0,01	0,01
Ref. Qualidade	-			-	-	-	-	275	60	-	-	-
Prevenção	-			-	-	-	-	-	300	-	-	-
Residencial	-			-	-	-	230	550	1000	-	-	-
Industrial	-			-	-	-	3100	7200	2000	-	-	-
Média	46,94		281,60		397,2	10,86	0,25	63,5	56,66	18,22	22,43	15,98
Mediana	14,00		160,00		428,5	12	0,25	51	36,5	15	21	16,05
Máximo	211		1328		582	16	0,25	133	248	39	42,8	22,2
Mínimo	3,1		87		118	5,1	0,25	11	5,5	3,6	16,1	7,9
1º Quartil	7,425		141,25		287,25	8,75	0,25	38,25	26,5	9,65	19,025	13,2
3º Quartil	21		183,5		548,5	12,75	0,25	92,25	47,25	26,75	22,125	19,25
D. Padrão	75,62		371,58		169,85	3,57	0,00	39,23	70,80	11,69	7,42	4,35
Variação	5718,51		138072,04		28848,18	12,76	0,00	1539,17	5012,34	136,74	55,00	18,95

6.5. Delimitação da área afetada pela anomalia

Como não foram detectadas concentrações de fluoreto acima de 1,5 mg/L no SAS, a tentativa de delimitação da anomalia foi realizada somente para o SAC.

Sabendo que a concentração aumenta com a profundidade do poço, como mostrado anteriormente, uma tentativa de representação em duas dimensões do volume do SAC afetado pela anomalia não mostraria de maneira totalmente correta a variação da concentração, caso a profundidade máxima de cada poço não fosse levada em consideração para realização de cálculos de normalização. Porém a delimitação em duas dimensões ainda permite uma aproximação da disposição da anomalia, e mesmo desconsiderando a profundidade do poço ainda é útil quando correlacionada com o embasamento da bacia, onde se pode comparar se há alguma relação entre poços com alta concentração e a superfície do SAC.

A representação da área sobre influência da anomalia foi realizada considerando conexão entre o SAC e o rio Tietê (Hirata & Ferreira 2001), e o fato que nenhum poço a norte do rio apresentou anomalia. Já o mapa do topo do SAC foi elaborado com base nos perfis geológicos dos poços cadastrados assim como no mapa geológico (Emplasa 1981) e topográfico do local (Emplasa 1995 a e b).

De acordo com a figura 14, a área com concentração acima de 1,0 mg/L no SAC apresenta-se alongada com o maior eixo alinhado segundo ENE-WSW e ligeiramente oblíqua a direção do Rio Tietê, englobando totalmente o bairro da Barra Funda, atingindo distância máxima de até 4 km do local considerado como possível fonte antrópica para essa anomalia. Os valores da concentração aumentam até 7 mg/L de forma aproximadamente concêntrica, sendo o máximo (10 mg/L) localizado na região nordeste do bairro da Barra Funda.

Quando comparado com a cota do topo do SAC, é possível verificar que a anomalia de fluoreto está sobre uma área deprimida, alongada paralelamente a leste-oeste, podendo ser blocos abatidos, delimitados por falhas e fraturas geradas pelas diversas zonas de cisalhamento na região, como a Zona de Cisalhamento Rio Jaguarí e principalmente a Zona de Cisalhamento do Taxaquara, as quais podem conter minerais secundários como a fluorita cristalizados nas falhas ou fraturas, seja por processos hidrotermais ou pneumatolíticos.

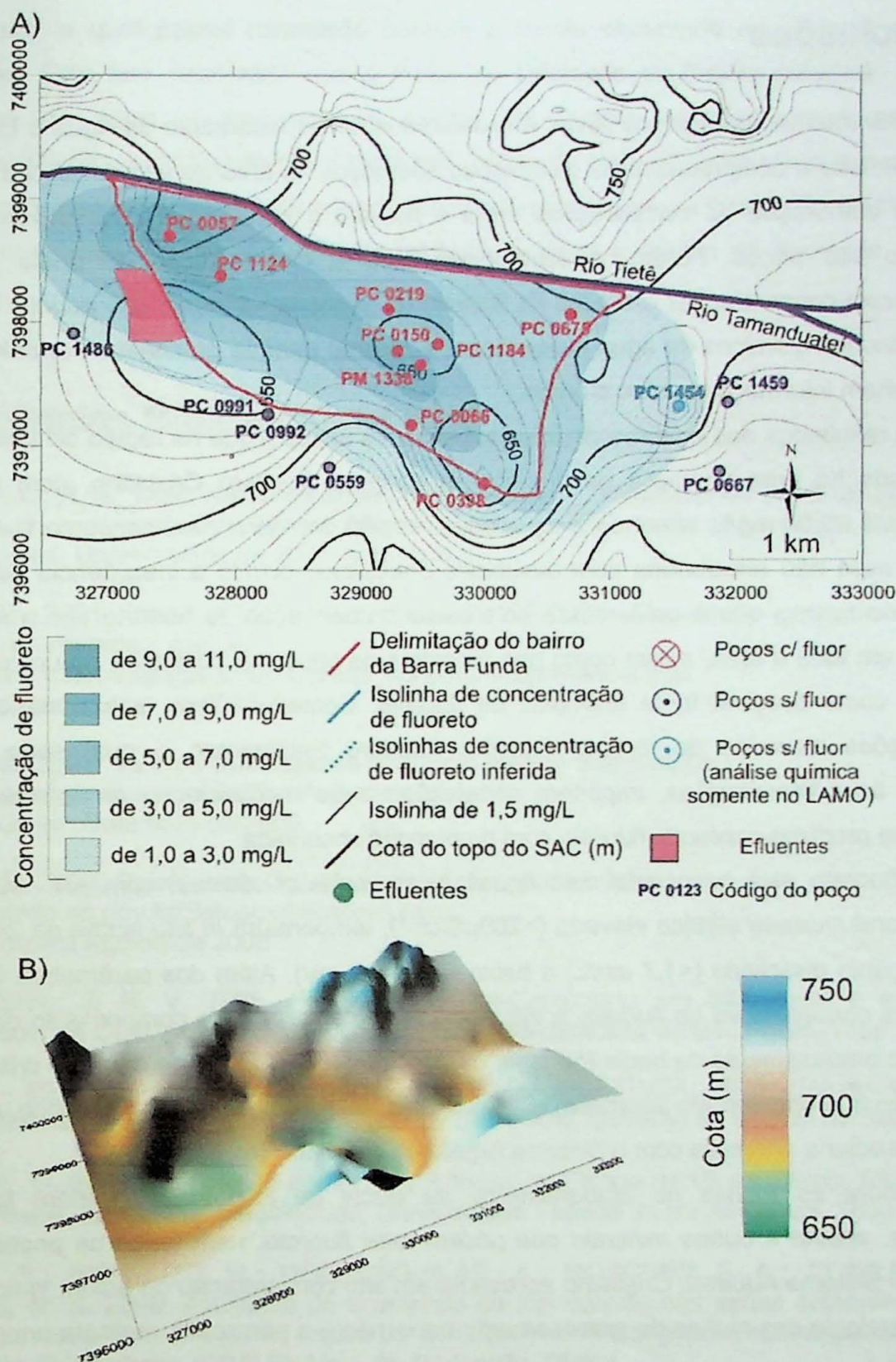


Figura 14 – A) Delimitação da área sobre influência da anomalia de fluoreto e comparação com o topo do SAC. O local da coleta de efluente foi destacado com um círculo verde. O Rio Tietê e Tamanduateí (linhas azuis) foram desenhados somente para auxiliar na localização da anomalia. B) Representação em três dimensões da superfície do SAC, com áreas de menor cota em verde e maior cota em azul.. Notar faixa central, de direção leste-oeste, mais profunda que o entorno, delimitada por declives acentuados.

7. Conclusões

O levantamento de poços ativos e cadastrados no Departamento de Água e Energia Elétrica permitiu a compreensão da distribuição dos poços na área de estudo, assim como auxílio na elaboração de comparações entre o fluoreto e parâmetros construtivos e de exploração dos poços. Porém, a contribuição para a discriminação de quais poços apresentavam concentrações elevadas de fluoreto foi pequena, uma vez que poucos poços possuem laudos químicos da água subterrânea, e mesmo quando presentes, normalmente não continham informações sobre o ânion.

Os resultados das análises de água subterrânea indicam que na região do Bairro da Barra Funda há uma anomalia de fluoreto no Sistema Aquífero Cristalino, com poços contendo até 10,04 mg/L, tornando a água dessa região imprópria para consumo humano. Anomalia essa não relacionada com atividades antrópicas, devido à inexistência de uma anomalia no solo, o que é evidenciada pela baixa concentração de fluoreto em amostras coletadas em toda a área, assim como nas amostras de efluentes coletadas no único local levantado como possível fonte antrópica de fluoreto. Somado a isso, a inexistência de concentrações elevadas do íon no Sistema Aquífero Sedimentar, o qual seria mais suscetível às contaminações, impedem correlações entre manuseio ou armazenamento incorreto de produtos contendo fluoreto com a anomalia observada.

O fluoreto está associado com águas bicarbonatadas-sódicas, com pH neutro a alcalino, condutividade elétrica elevada ($>200\mu\text{S}/\text{cm}^2$), temperatura *in situ* acima de 24,5°C, pouco oxigênio dissolvido ($<1,7\text{ mg/L}$) e baixo Eh ($<420\text{ mV}$). Além dos parâmetros físico-químicos, a concentração do fluoreto é influenciada diretamente pelo comprimento do furo do poço no embasamento da bacia (ou seja, os poços mais profundos do aquífero cristalino são aqueles que apresentam anomalia) e, principalmente, pela cota da base do poço, o que permite associar a anomalia com o Sistema Aquífero Cristalino.

Embora as rochas do embasamento da Bacia de São Paulo tenham biotita, hornblenda, apatita e outros minerais que podem reter fluoreto, nem todos os poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino apresentaram alta concentração do ânion, indicando que a mineralogia das rochas do embasamento da bacia não é a principal fonte para anomalia, ou seja, o fluoreto é proveniente principalmente da dissolução de minerais secundários, não cristalizados concomitantemente com a rocha do embasamento. Esse fato fica claro com a comparação da disposição dos poços com alta concentração do ânion com o topo do Sistema Aquífero Cristalino, onde se observa que o fluoreto ocorre em uma área delimitada por declives do embasamento, muitas vezes acentuados, e com baixos valores de cota em comparação com as áreas adjacentes. Considerando o contexto geológico no qual a bacia se insere, esta feição é interpretada como blocos abatidos, delimitados por falhas e fraturas, e associados às diversas zonas de cisalhamento presentes na região, em especial a de

Taxaquara, a qual possui orientação paralela à feição observada no Sistema Aquífero Cristalino. Este fato, associado com o índice de saturação da fluorita calculado para as amostras de água, a presença de cristais de fluorita associada com processos pneumatolíticos ou hidrotermais, presente nas rochas do embasamento como mineral traço, sugerem que essa anomalia está relacionada principalmente com a dissolução de cristais de fluorita presentes em falhas e fraturas, atribuindo assim a origem da anomalia a fontes naturais.

Referências Bibliográficas

BERTOLO, R. A. 1996. *Relações entre rios e o aquífero sedimentar da Bacia de São Paulo em área de exploração intensiva de água subterrânea*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 108 p.

CETESB. 2001. Investigação confirmatória. In: CETESB, Manual de gerenciamento de áreas contaminadas, cap. VI.
http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp.
Acessado em Junho de 2009.

CETESB. 2005. Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea.
<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/valores.asp>.
Acessado em Setembro de 2009

CETESB. 2006. *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas*.
www.cetesb.sp.gov.br/Solos/publicacoes.asp.
Acessado em Agosto de 2008.

COUTINHO, J. M. V. 1968. *Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores*. Provimento de Cátedra, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 174p.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. 1975. *Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 1, grande São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo.

DINIZ, L. G. 2006. O flúor nas águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 163p.

EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F. A.; MOURA, C. L.; PUGAS, M. S. 2009. Avaliação da ocorrência de íon fluoreto nas águas subterrâneas dos aquíferos Tubarão e Cristalino, região de Salto (SP). In: I Congresso internacional de Meio Ambiente Subterrâneo (CIMAS). Meio de divulgação: Digital.

EDMUNDS, M. & SMEDLEY, P. 2005. Fluoride in natural water. In: O. Selenius, B. Alloway, J. A. Centro, R. B. Finkleman, R. Fuge, U. Lindh e P. Smedley (eds) *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. Burlington, MA, 12, Elsevier Academic Press, p.301-329.

EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo. 1981. *Carta geológica da região metropolitana de São Paulo; Folha SF.23-Y-C-VI-2., 1/50.000*, Governo do Estado de São Paulo.

- EMPLASA** – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo. 1995a. *Levantamento aerofotogramétrico; Folha Barra Funda SF.23-Y-C-VI-2-NO-B., 1/10.000*, Governo do Estado de São Paulo.
- EMPLASA** – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo. 1995b. *Levantamento aerofotogramétrico; Folha Lapa SF.23-Y-C-VI-2-NO-A., 1/10.000*, Governo do Estado de São Paulo.
- FAROOQUI, A.; MASUDA, H. FIRDOUSS, N.** 2007. Toxic fluoride and arsenic contaminated groundwater in the Lahore and Kasur districts, Punjab, Pakistan and possible contaminant sources. *Environmental pollution*, Science Direct, ELSEVIER **45**:839-849.
- FERNANDES, A. J.** 1991. Complexo Embu no leste do estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 120p.
- FRAGA, C. G.** 1992. *Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 178 p.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M. A. F. de.** 1984. A Província Mantiqueira: Setor Central. In: F.F.M. de Almeida & H. Hasui (eds.). *O Precambriano do Brasil*, São Paulo, Edgard Blucher, 344 p.
- HEM, J. D.** 1985. *Study and interpretation of chemical characteristics of natural water*. USGS Water-supply paper 2254. Alexandria. 264 p.
- HIRATA, R. & FERREIRA, L. M. R.** 2001. Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n.1, p. 43-50
- HIRATA, R., ZOBY, J. L., FERNANDES, A., BERTOLO, R.** 2006. Hidrogeología del Brasil: una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas. *Boletín Geológico y Mineiro*, 177, 1:25-36.
- HIRATA, R., SUHOGNISOFF, A., FERNANDEW, A.** 2007. Groundwater resources in the State of São Paulo (Brazil): the application of indicators. *An Acad Bras Ciência* **79**:141–152.
- JESUS, I. P. S. de,** 2005. *Caracterização dos Aquíferos em Meio Cristalino da Porção Oeste da Bacia do Alto Tietê*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 203 p.
- JULIANI, C.** 1992. O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: Seminário Problemas Geológicos e Geotécnicos na região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG-SP. p. 3-20.
- JULIANI C.** 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 703p.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H.** 1984. *Trace elements in soil and plants*. CRC Press, Boca Raton, FL, 315 p.
- KUNDUI, N.; PANIGRAHI, M.K.; TRIPATHY, S.; MUNSHI, S.; POWELL, M.A.; HART, B.R.** 2001. Geochemical appraisal of fluoride contamination of groundwater in the Nayagarh District of Orissa. *Indian Environ. Geol.* **41**, pp. 451–460.

- LEYBOURNE, M. I.; PETER, J. M.; JOHANNESSON, K. H.; BOYLE, D. R. 2008. The Lake St. Martin bolide has a big impact on groundwater fluoride concentration. *Geological Society of América*, February, 36 (2):115-118.
- MARTIN, M. A. B. 2000. Geologia, petrografia e metamorfismo dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque a noroeste da cidade de São Paulo (SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256p.
- MELO M. S.; COIMBRA A. M.; RICCOMINI C. 1989. Evolução dos conhecimentos sobre a geologia da Bacia de São Paulo na década de oitenta. In: Workshop Geologia da Bacia de São Paulo, IG-USP/SBG, São Paulo:1-11.
- MSONDA, K. W. M.; MASAMBA, W. R. L.; FABIANO, E. 2007. A study of fluoride groundwater occurrence in Nathonje, Lilongwe, Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, Science Direct, ELSEVIER, 32:1178-1184.
- NANNI, A.; ROISENBERG, A.; FACHEL, J. M. G.; MESQUITA, G.; DANIELI, C. 2008. Fluoride characterization by principal component analysis in the hydrochemical facies of Serra Geral Aquifer System in Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, 80(4):693-701.
- REBOUÇAS, A. C. 1992. Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. In: Seminário de Problemas geológicos e geotécnicos na região Metropolitana de São Paulo, São Paulo, p. 77-87.
- REBOUÇAS, A. C.; RICCOMINI, C.; ELLERT, N.; DUARTE, U.; MELLITO, K. M.; SENF, L. A. 1994. Diagnóstico hidrogeológico da R.M.S.P.: uso e proteção. In: Anais do 8 congresso brasileiro de águas subterrâneas, Recife. ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Anais, 8, p. 93-102.
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do sudeste do Brasil*. Tese de Doutouramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; TAKYIA, H. 1992. *Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo*. Problemas Geológicos e Geotécnicos na região Metropolitana de São Paulo, ABAS/ABGE/SBG-SP, São Paulo, pp.21-45.
- ROCHA . R.; GONÇALES, V. G.; BARRETO, L. M. B. 1989. Hidrogeologia da Bacia de São Paulo: Estágio atual de conhecimento. In: Workshop sobre a geologia da Bacia de São Paulo, p: 44-59.
- SABESP. 2006. *Relatório de informações anuais – IAN*.
www.sabesp.com.br
Acessado em Agosto de 2008.
- SANTORO, E. 1998. *Evolução geológica do Pré-Cambriano da região de Santo Antônio do Pinhal: importância tectônica da zona de cisalhamento*. Tese de Doutouramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 153p.
- SAXENA, V. & AHMED, S. 2001 Dissolution of fluoride in groundwater: a eater-rock interaction study. *Environmental Geology*. SPRINGER-VERLAG, 40(9): 1084-1087.
- SILVA, S. M. ; VELASQUEZ, L. N. M. ; FREITAS, A. M. ; PEREIRA, C. ; COSTA, D. A. ; SOARES, L. C. ; FANTINEL, L. M. ; FLEMING, P. M. ; RODRIGUES, P. C. H. 2008.. Hidroquímica das águas subterrâneas e anomalia de fluoreto em região do semi-árido

mineiro. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. *Meio de divulgação*: Digital

SMEWW. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater has represented. In: American Water Works Association (ed), 21 th edition, p.34-39

SRIVASTAVA, S. K. & RAMANATHAN, AI. L. 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vinity of Bhalswa landfill, Delhi, Índia, using graphical and multivariate stastistical methods. *Envim. Geol.*, **53**:1509-1528.

USEPA, 2009. Regional Screening Levels (RSL) for Chemical Contaminants at Superfund Sites. RSL Table Update.

<http://www.epa.gov/region09/superfund/prg/>
Acessado em Outubro de 2009.

VALENZUELA-VÁSQUEZ, L.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J.; REYES-LÓPEZ, J.; SOLURIBE, A.; LÁZARO-MANCILLA, 2006. *The origin of flouride in groundwater supply to Hermosillo City, Sonora, México*. *Environ Geol*, **51**:17-27.

VIERO, A. P.; ROISENBERG, C.; ROISENBERG, A.; VIGO, A. 2009. The origin of fluoride in the granitic aquifer of Porto Alegre, Southern Brazil. *Environ Geol*, Springer-Verlag, **56**:1707-1719

WHO. 2004. Chemical fact sheets. In: World Health Organization (ed) *Guidelines for drinking-water quality*, 3 rd edition, World Health Organaization, Geneva, p.296-460

Diego F. Pacheco
Diego Felipe Pacheco

Reginaldo
Profº Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

ANEXOS

1. Documentos por el sistema de la familia

I. Cadastro dos poços tubulares do Bairro da Barra Funda

nº DAEE	UTM - N (m)	UTM - E (m)	Cota (m)	Tipo de Poço	Uso	Estado do Poço	Profundidade Total (m)	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Profundidade da bomba (m)	Perfuração				
												Perf.1	Perf.2	Perf.3	Perf.4	Perf.5
QTD 675	7398032	330721	-	-	-	-	100,00	2,00	15,00	35,00	100,00	0-28,00m-12,1/4"	28,00-30,00m-8,1/2"	30,00-100,00m-6"	-	-
QTD 907	7398930	327245	-	Tubular	Não utilizada	Outro	250,00	-	-	-	-	0-30,00m-10"	30,00-250,00m-6"	-	-	-
QTD 1769	7397040	329210	-	-	Doméstico	-	150,00	3,00	-	-	-	0-28,00m-12,1/2"	28,00-83,00m-8,1/2"	83,00-150,00m-6"	-	-
3430499	7398390	333350	723,000	Tubular	Doméstico	-	291,00	12,00	13,00	31,00	-	0-41,00m-12,1/4"	41,00-46,00m-8,1/2"	46,00-291,00m-6"	-	-
3430005	7399810	328320	734,290	Tubular	Água Mineral	Abandonado	248,50	34,50	129,32	164,10	nc	0-3,00m-20"	3,00-22,00m-12"	22,00-30,00m-10"	30,00-194,00m-8"	194,00-248,50m-6"
3430006	7398650	328340	733,850	Tubular	Água Mineral	Equipado	235,00	21,40	122,08	169,69	180,00	0-14,00m-12"	14,00-28,50m-10"	28,50-180,00m-8"	180,00-235,00m-6"	-
3430020	7397650	330840	721,000	Tubular	-	-	150,00	3,00	185,50	237,00	150,00	0-15,00m-12,1/4"	15,00-30,00m-8,1/2"	30,00-150,00m-6"	-	-
3430023	7397950	329950	721,000	Tubular	-	-	100,00	4,00	12,00	61,00	-	0-20m-16"	20,00-100,00m-10"	-	-	-
3430030	7397715	328928	712,000	Tubular	-	-	100,00	2,00	15,00	20,00	-	0-30,00m-17,1/2"	30,00-100,00m-12,1/4"	-	-	-
3430038	7398330	330000	722,000	Tubular	-	-	-	3,00	15,00	115,00	-	0-40,00m-12,1/4"	40,00-50,00m-8,1/2"	50,00-150,00m-6"	-	-
3430057	7398670	327466	770,000	-	-	-	150,00	4,00	60,00	110,00	150,00	0-28,00m-12,1/4"	28,00-30,00m-8,1/2"	30,00-150,00m-6"	-	-
3430066	7397150	329600	-	Tubular	-	-	250,00	5,00	60,00	-	-	0-96,00m-12,1/4"	96,00-101,00m-8,1/2"	101,00-250,00m-6"	-	-
3430070	7379470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430081	7397550	337070	725,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	109,00	226,00	56,00	78,00	78,00	0-12,00m-17,1/2"	12,00-104,00m-12,1/4"	104,00-109,00m-8,1/2"	-	-
3430083	7396620	334540	-	Tubular	Industrial/Processo	Nº equip. utilizável	200,00	400,00	54,80	124,80	nc	0-12,00m-18"	12,00-40,00m-14"	40,00-55,00m-12"	55,00-76,00m-12"	76,00-200,00m-8"
3430084	7396530	334530	-	Tubular	Industrial/Processo	Jornaleiro equipado	242,00	348,80	15,00	62,00	160,00	0-62,50m-19"	62,50-178,00m-6"	-	-	-
3430107	7397120	329610	725,000	Tubular	-	-	250,00	3,00	50,00	220,00	-	0-90,00m-10"	90,00-250,00m-6"	-	-	-
3430110	7396460	329840	738,000	-	-	-	-	-	-	-	-	0-18,00m-17,1/2"	18,00-98,00m-12,1/4"	98,00-100,00m-8,1/2"	100,00-250,00m-6"	-
3430114	7397220	329390	725,000	Tubular	-	Equipado	300,00	5,00	40,00	160,00	-	0-12,00m-17,1/2"	12,00-98,00m-12,1/4"	98,00-100,00m-8,1/2"	100,00-300,00m-6"	-
3430150	7397800	329620	721,000	Tubular	Sanitário	nc	406,00	3,03	153,25	210,13	-	0-16,00m-18"	16,00-94,00m-12"	94,00-103,35m-10"	103,35-425,00m-6"	-
3430156	7398840	328870	722,000	Tubular	-	equipado	234,15	10,00	157,58	170	180,00	0-13,50m-16"	13,50-66,00m-12"	66,00-84,00m-8"	84,00-234,15m-6"	-
3430192	7399710	328600	725,000	Tubular	-	-	187,50	4,40	11,20	80,00	106,00	-	-	-	-	-
3430192	7399710	328600	725,000	Tubular	-	-	187,50	31,68	64,50	84,70	187,50	-	-	-	-	-
3430195	7398000	328800	721,000	Tubular	-	-	250,00	1,30	155,00	178,00	166,00	0-10,00m-12"	10,00-60,00m-10"	60,00-79,00m-8"	79,00-250,00m-6"	-
3430219	7398080	329220	700,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	260,00	6,00	186,52	190,57	240,00	0-69,00m-12,1/2"	69,00-82,00m-9,7/8"	82,00-85,00m-8,1/2"	85,00-260,00m-6"	-
3430273	7396700	332350	742,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	328,00	5,54	8,00	194,00	204,00	0-12,00m-12,1/4"	12,00-36,40m-8,1/2"	36,40-320,00m-6"	-	-
3430302	7398950	329880	740,000	Tubular	Doméstico	Equipado	210,00	8,00	5,48	64,88	60,00	0-6,00m-12,1/2"	6,00-62,00m-8,1/2"	62,00-210,00m-6"	-	-
3430337	7399700	328750	725,000	-	Industrial/Sanitário	Equipado	130,00	2,70	9,00	84,50	102,00	0-20,00m-10"	20,00-130,00m-6"	-	-	-
3430338	7398870	329990	736,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	230,00	1,56	180,00	208,00	226,00	-	-	-	-	-
3430350	7398040	333430	722,000	Tubular	Recreação	Equipado	228,00	22,62	94,31	167,20	166,00	0-18,00m-17,1/2"	18,00-106,50m-12,1/4"	106,50-110,00m-8,1/2"	110,00-228,00m-6"	-
3430366	7398680	337690	723,000	Tubular	Industrial/Processo	Equipado	100,50	5,00	35,00	68,00	72,00	0-83,00m-12,1/4"	83,00-86,20m-8,1/2"	86,20-100,50m-6"	-	-
3430367	7398760	337680	723,000	Sistema	Industrial/Processo	Equipado	4,50	3,00	1,00	-	-	0-12,00m-12"	-	-	-	-
3430384	7399350	334040	722,000	Tubular	Abastecimento público	Equipado	110,00	2,80	28,13	41,48	48,00	0-25,00m-12,1/4"	25,00-110,00m-6"	-	-	-
3430410	7397940	334880	723,000	Tubular	Recreação	Equipado	284,00	12,00	42,00	152,58	210,00	0-18,20m-12,1/4"	18,20-20,00m-8,1/2"	20,00-284,00m-6"	-	-
3430440	7396243	331574	800,000	Tubular	Doméstico	Equipado	240,00	5,00	6,40	40,40	120,00	0-6,00m-17,1/2"	6,00-96,00m-12,1/4"	96,00-240,00m-6"	-	-
3430457	7397800	336970	725,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	102,00	56,00	25,00	32,00	nc	-	-	-	-	-
3430458	7397680	336850	725,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	132,00	38,00	58,00	78,00	nc	0-9,00m-24"	9,00-132,00m-18"	-	-	-
3430459	7397570	337030	725,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	104,50	26,40	57,19	77,14	nc	0-18,00m-17,1/2"	18,00-106,00m-12,1/4"	-	-	-
3430460	7397580	336770	725,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	135,00	39,60	62,17	71,55	nc	0-18,00m-22"	18,00-174,60m-14,1/4"	-	-	-
3430468	7397350	331930	721,000	Tubular	Sanitário	Equipado	101,00	1,52	36,00	71,00	90,00	-	-	-	-	-
3430473	7379840	337700	723,000	Tubular	Outro	Equipado	257,00	28,70	121,53	131,94	180,00	0-15,00m-12,1/4"	15,00-90,65m-25,1/2"	90,65-257,00m-6"	-	-
3430474	7396170	336990	728,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	134,00	14,20	76,00	89,00	105,00	0-12,00m-2"	12,00-134,00m-11,1/2"	-	-	-
3430475	7396470	336820	728,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	122,00	14,00	70,00	90,00	94,00	0-12,00m-25,1/4"	12,00-122,00m-11,1/2"	-	-	-
3430476	7396510	337100	728,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	128,00	18,00	76,00	112,00	116,00	0-20,00m-25,1/4"	20,00-128,00m-16"	-	-	-
3430477	7396380	337100	728,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	139,00	17,00	76,00	119,00	126,00	0-21,00m-25"	21,00-139,00m-16"	-	-	-
3430478	7396490	336910	728,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Equipado	250,00	30,00	73,75	97,45	132,00	0-12,00m-22"	12,00-134,61m-14,1/2"	134,61-137,11m-12,1/2"	137,11-250,00m-6"	-
3430484	7398430	336870	726,000	Tubular	Outro	Equipado	150,00	12,00	101,00	108,68	120,00	0-15,00m-12,1/4"	15,00-120,00m-8,1/2"	120,00-150,00m-6"	-	-
3430495	7398260	333300	723,000	Tubular	Doméstico	Abandonado	250,00	2,18	78,50	194,41	-	0-6,00m-10"	6,00-200m-8"	200,00-250,00m-6"	-	-
3430496	7398330	333310	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	300,00	2,05	81,50	187,18	220,00	0-74,00m-10"	74,00-107,00m-8"	107,00-300,00m-6"	-	-
3430497	7398370	333230	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	354,00	3,00	94,83	161,14	180,00	0-45,00m-12,1/4"	45,00-48,40m-8,1/2"	48,40-354,00m-6"	-	-
3430498	7398390	333410	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	330,00	6,54	76,27	125,51	180,00	0-73,00m-12,1/4"	73,00-78,50m-8,1/2"	78,50-330,00m-6"	-	-
3430499	7398390	333350	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	291,00	12,00	148,30	212,82	228,00	0-41,00m-12,1/4"	41,00-45,00m-8,1/2"	45,00-291,00m-6"	-	-
3430500	7398300	333530	725,000	Tubular	Doméstico	Equipado	304,00	9,00	146,37	191,10	222,00	0-84,00m-12,1/4"	84,00-98,85m-8,1/2"	98,85-304,00m-6"	-	-
3430501	7398200	333240	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	338,00	2,31	169,89	199,06	222,00	0-63,00m-12,1/4"	63,00-66,45m-8,1/4"	66,45-338,00m-6"	-	-
3430537	7398770	336360	725,000	Tubular	Outro	Equipado	281,00	18,00	71,00	203,00	240,00	0-12,00m-12,1/4"	12,00-91,00m-8,1/2"	91,00-281,00m-6"	-	-
3430538	7398830	336390	725,000	Tubular	Outro	Equipado	252,00	30,00	118,90	130,77	168,00	0-12,00m-12,1/4"	12,00-116,70m-9,7/8"	116,70-252,00m-6"	-	-
3430539	7398840	336370	725,000	Tubular	Outro	Equipado	290,00	25,00	123,00	133,10	168,00	0-15,00m-12,1/4"	15,00-107,50m-8,1/2"	107,50-290,00m-6"	-	-
3430542	7397950	334300	722,000	Tubular	Outro	Equipado	230,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-
3430543	7397720	334250	722,000	Tubular	Industrial/Sanitário	Nº equip. utilizável	57,00	9,00	19,95	26,14	42,00	0-12,00m-12,1/4"	12,00-57,00m-9,7/8"	-	-	-
3430559	7398800	328730	740,000	Tubular	Outro	Equipado	66,00	2,50	20,00	50,00	56,00	0-56,00m-9,7/8"	-	-	-	-
3430571	7396680	332970	740,000	Tubular	Recreação	Equipado	49,50	7,80	11,20	26,54	44,00	0-12,00m-20"	12,00-47,50m-12,1/4"	47,50-49,50m-8,1/2"	-	-
3430614	7397575	336240	723,000	Tubular	Doméstico	Equipado	210,00	6,00	117,00	120,00	144,00	0-12,00m-17,1/2"	12,00-83,00m-12,1/4"	83,00-210,00m-6"	-	-
3430615	7399740	328330	725,000	Tubular	Industrial/Processo	Equipado	120,00	7,05	58,70	88,20	114,00	0-13,00m-15"	13,00-23,00m-12"	23,00-36,00m-10"	36,00-49,00m-8"	49,00-120,00m-6"
3430616	7398180	334430	723,000	Tubular	Outro	Equipado	254,00	5,00	15,00	90,00	205,00	0-24,00m-14"	24,00-80,00m-7"	80,00-102,00m-8"	102,00-254,00m-6"	-
3430617	7398300	334500	723,000	Tubular	Outro	Equipado	316,00	4,00	149,20	177,						

nº DAEE	Revestimento							Cimentação					Material	F.1 (de) F.1 (até) F.2 (de) F.2 (até) F.3 (de) F.3 (até)					
	Tubo Liso 1 (material)	Tubo Liso 2 (material)	Tubo Liso 2	Tubo Liso 3	Tubo Liso 4	Tubo Liso 5	Tubo de Boca	C.1 (m)	Traço 1	Volume 1 (m³)	C.2 (m)	Traço 2	Volume 2 (m³)						
QTD 6/75	Aço Preto	-	0-30m-6"	-	-	-	-	0-30.00	-	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QTD 907	Aço Preto	-	0-30.00m-6"	-	-	-	-	0-29.00	-	-	28.00-83.00	-	-	-	-	-	-	-	-
QTD 1760	Aço Preto	-	0-30m-8"	-	-	-	-	0-46	Argamassa	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430499	Aço preto	-	0-50-48m-6"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430005	Aço preto	-	0-3.00m-20"	0-30.40m-8"	-	-	3,000	0-28.5	Calda	1,14	-	-	-	Estampado	69,00	73,00	79,00	83,00	89,00
3430005	Aço preto	-	0-50-28.50m-8"	-	-	-	-	0-15.00	-	1,37	0-30.00	-	-	PVC	32,00	-	-	-	-
3430020	Aço Galvanizado	-	0-30.50m-6"	-	-	-	-	0-20.00	-	4,00	-	-	-	PVC	70,00	100,00	-	-	-
3430023	Aço Galvanizado	PVC Geomecânico	0-20.00m-10"	68.00m-4"	-	-	-	0-30.00	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430030	Aço	PVC Geomecânico	0-30.00m-14"	0-70.00m-6"	-	-	-	0-15.00	-	1,37	15.00-50.00	-	0,64	-	-	-	-	-	-
3430038	Aço Galvanizado	-	0-50.50m-6"	-	-	-	-	0-28.00	-	1,60	28.00-30.00	-	0,04	Aço inox	25,00	27,00	30,00	33,00	35,00
3430057	Aço Galvanizado	-	0-30.00m-6"	-	-	-	-	0-101.00	-	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430066	DIN 2440 - Galvanizado	-	0-101.00m-6"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430070	-	-	-	-	-	-	12,000	0-12	Calda	1,00	-	-	0,28	-	69,00	73,00	79,00	83,00	89,00
3430081	Aço preto	-	0-50-109.00m-6"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430081	Aço preto	-	0-12.00m-16"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430083	Aço preto	-	0-18.00m-20"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430084	Aço preto	-	0-90.00m-6"	-	-	-	-	0-90.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430107	Aço preto	-	0-18.00m-13"	0-100.00m-6"	-	-	-	0-18.00	-	1,30	0-100.00	-	5,50	-	-	-	-	-	-
3430110	Aço Galvanizado	PVC	0-12.00m-14"	12.00-100.00m-100.00-300.00m-6"	-	-	12,000	0-12.00	-	1,41	-	-	-	Espir.	20	-	-	-	-
3430114	DIN 2440 - Galvanizado (1)	Aço Preto (2 a 3)	0-16.00m-12"	0-40-103.35m-6"	-	-	-	0-16	Calda	1,00	99-103	Calda	0,50	-	-	-	-	-	-
3430150	Aço preto	-	0-16.00m-12"	0-40-103.35m-6"	-	-	-	0-12.00	Argamassa	-	66.00-84.00	argamassa	-	-	-	-	-	-	-
3430156	0-13.5	-	0-13.5m	-	-	-	-	6,00	Argamassa	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	Aço preto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	Aço preto	-	-	-	-	-	-	6,00	Argamassa	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	Aço preto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	Aço preto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	Aço preto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430195	Aço preto	-	0-79.00m - 3/16"	-	-	-	-	0-10.00	Calda	0,8	70.00-79.00	Calda	0,2	-	-	-	-	-	-
3430219	Aço preto	-	0-50-85.00m-6"	-	-	-	-	0-85	Calda	4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430273	Galvanizado	-	0-36.40m-6"	-	-	-	-	12,00	Calda	0,64	24.40	Calda	0,33	-	-	-	-	-	-
3430302	Aço preto	-	0-5-62.00m-6"	-	-	-	6,00	6,00	Calda	0,14	62.00	Calda	1,22	-	-	-	-	-	-
3430337	Galvanizado	-	0-20.00m-6"	-	-	-	-	20,00	Calda	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430338	Aço preto	-	0-102.00m-6"	-	-	-	-	nc	nc	nc	nc	nc	nc	-	-	-	-	-	-
3430350	Aço preto	-	0-4-110.00m-6"	-	-	-	18,000	18,00	Calda	1,00	-	-	-	Espir. Inox	58,14	61,22	63,22	66,32	79,90
3430356	Galvanizado	-	0-3-100.50m-6"	-	-	-	-	12	Calda	0,68	-	-	-	Espir.	64,40	76,70	79,70	82,70	-
3430367	-	-	-	-	-	-	4,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430384	Aço preto	-	0-25.00m-6"	-	-	-	-	25,00	Calda	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430410	Aço preto	-	0-25-20.00m-6"	-	-	-	-	20,00	Calda	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430440	Aço Preto	-	0-50-96.00m-6"	-	-	-	6,000	50,00	Calda	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430457	-	-	-	-	-	-	18,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430458	Marmessim	-	0-132.00m-6"	-	-	-	9,000	30,00	-	-	-	-	-	Espirado	59,00	61,00	66,00	69,00	77,00
3430459	nc	-	0-104.50m-6"	-	-	-	18,000	18,00	-	-	-	-	-	Espir. Inox	58,00	61,00	64,00	71,00	72,00
3430460	nc	-	0-135.00m-6"	-	-	-	18,000	18,00	-	-	-	-	-	Espir. Inox	69,00	71,00	74,00	77,00	79,00
3430468	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430473	nc	-	0-7-90.65m-6"	-	-	-	-	0-90.65	Calda	2,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430474	Aço Preto	-	0-50-138.00m-6"	-	-	-	12,450	12,00	Calda	2,80	-	-	-	Espir.	42,00	54,00	58,00	66,00	74,00
3430475	Aço preto	-	0-50-120.00m-6"	-	-	-	12,650	12,00	Calda	2,80	-	-	-	Espir.	57,00	68,00	74,00	76,00	80,00
3430476	Aço preto	-	0-50-126.00m-6"	-	-	-	20,000	12,00	Calda	2,80	-	-	-	Espir.	73,00	80,00	91,00	93,00	100,00
3430477	Aço preto	-	0-50-139.00m-6"	-	-	-	21,000	21,00	Calda	3,50	-	-	-	Espir.	79,00	81,00	87,00	101,00	110,00
3430478	Aço preto	-	0-5-137.11m-6"	-	-	-	12,000	12,00	Calda	2,52	-	-	-	Espir. Inox	78,12	81,12	99,82	105,82	112,43
3430484	-	-	0-120.00m-6"	-	-	-	-	0-15.00	Calda	0,85	15.00-120.00m	Calda	1,90	-	-	-	-	-	-
3430495	-	-	0-20-54.50m-6"	-	-	-	-	6,00	Calda	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430497	Aço preto	-	1-65-46.40m-6"	-	-	-	-	46,40	Argamassa	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430498	Aço preto	-	0-50-78.50m-6"	-	-	-	-	73,00	Argamassa	4,21	5,50	Argamassa	0,10	-	-	-	-	-	-
3430499	Aço preto	-	0-50-46.00m-6"	-	-	-	-	46,00	Argamassa	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430500	Aço preto	-	0-15-98.85m-6"	-	-	-	-	84,00	Argamassa	4,85	14,85	Argamassa	0,27	-	-	-	-	-	-
3430501	Aço preto	-	0-70-66.45m-6"	-	-	-	-	63,00	Argamassa	3,64	3,45	Argamassa	0,96	-	-	-	-	-	-
3430537	Galvanizado	-	0-91.00m-6"	-	-	-	-	0-91.00	Calda	3,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430538	Aço preto	-	0-12.00m	0-116.70m-6"	-	-	-	0-15.00	Calda	0,86	15-116.70	Calda	3,25	-	-	-	-	-	-
3430539	Galvanizado	-	0-50-107.50m-6"	-	-	-	-	0-15.00	Calda	0,86	15.00-157.50	Calda	2,13	-	-	-	-	-	-
3430542	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430543	Outro	-	0-50-56.00m-4"	-	-	-	12,000	12,00	Calda	0,30	-	-	-	Outros	26,00	30,00	34,00	35,00	51,00
3430559	PVC	-	0-48.00m-4"	-	-	-	-	8,00	Calda	0,35	-	-	-	PVC	8,00	10,00	20,00	24,00	26,00
3430571	Aço Preto	-	0-35-43.46m-6"	-	-	-	12,000	12,00	Calda	1,68	-	-	-	Espir. Inox	33,21	43,46	-	-	-
3430614	Outro	-	0-83.00m-6"	-	-	-	15,200	49,00	Calda	2,50	30,00	Calda	1,70	-	-	-	-	-	-
3430615	Aço Preto	-	0-20-49.00m-6"	-	-	-	24,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430616	Galvanizado	-	0-102.25m-6"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430617	Aço Preto	-	0-70-60.00m-6"	-	-	-	24,000	90,00	-	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430663	Galvanizado	-	0-60-135.06m-8"	-	-	-	0-135.06	135,06	Calda	5,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430667	Aço Preto	-	0-20-55.00m-6"	-	-	-	12,000	12,00	Calda	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430676	PVC	-	0-70-137.00m-6"	0-70-137.00m-6"	-	-	15,000	14,15	-	1,05	-	-	-	PVC	69,50	89,50	97,50	106,50	117,50
3430677	Aço inox	-	0-12.00m-12.3/4"	0-132.23m-6"	-	-	12,000	12	-	0,9	-	-	-	Outros	56,94	60,94	65,84	69,84	72,72
3430704	Aço preto (1)	PVC (2 a 4)	0-12.00m - 10"	0-16.00m - 4"	24.00-48.00m - 4"	56.00-66.00m - 4"	12,000	12	Calda	0,7	-	-	-	PVC	16,00	24,00	48,00	56,00	-
3430709	PVC	-	0-48.00m-4"	52.00-58.00m - 4"	64.00-76.00m - 4"	78.00-82.00m - 4"	85.00-92.00m - 4"	12	Calda	0,5	-	-	-	PVC	48	52	58,00	64,00	76,00
3430742	Aço preto	-	0-20-82.00m - 6"	-	-	-	12,000	12	Calda	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430747	PVC	-	0-7 - 4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430782	Galvanizado	-	0-50-60.00m - 6"	64.00-71.00m - 6"	75.00-78.00m - 6"	80.00-87.00m - 6"	91.00-97.50m - 6"	12,000	11,5	Calda	0,7	-	-	Estampado galvaniz	60,00	64,00	71,00	75,00	76,00
3430792	Aço preto	-	0-60-52.00m - 6"	-	-	-	12,000	12	Calda	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430864	PVC	-	0-34.00m - 4"	38.00-39.00m - 4"	43.00-54.00m - 4"														

Antilise Química

r ^o DAE	SO ₄ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Ba (mg/l)	Cd (mg/l)	As (mg/l)	Sb (mg/l)	Mn (mg/l)	Mg (mg/l)	Cn (mg/l)	Na (mg/l)	Zn (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
QTD 675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QTD 907	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QTD 1760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430006	15,30	0,20	0,03	0,10	0,01	0,02	0,01	0,05	0,10	0,05	0,50	0,00	0,05	0,01	0,02	5,20	35,30	21,10	0,09	-
3430020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430084	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430150	47,80	-	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430156	44,7	-	0,13	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430195	75,4	-	0,3	0	1,1	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,00
3430219	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,00
3430273	-	-	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430302	-	-	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430337	-	-	0,02	0,05	0,02	<0,15	<0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430338	16,00	-	0,10	0,01	0,00	nc	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430350	-	-	0,06	0,17	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430366	-	-	0,40	0,03	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430384	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430410	-	-	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430457	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430458	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430459	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,2
3430468	-	-	5,35	0	0,7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0	-	2,9	0	0,3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21,5	0	-	0,5	0	0,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430474	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430475	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430476	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430477	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430478	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430498	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430501	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,65
3430537	-	-	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,20
3430538	-	-	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,00
3430539	-	-	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430542	15,60	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430643	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430659	20	-	0,1	0	0,1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430671	13	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430614	-	-	0,09	0	0,09	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430615	11	0,56	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0,11	-	-	-	0,06	-
3430616	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430617	-	-	0,15	0	0,07	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430620	<7	0,21	<0,004	4,163	<0,002	<0,01	-	<0,010	<0,012	<0,005	<0,045	<0,005	<<0,001	<0,005	<0,015	-	-	10,7	0,307	-
3430663	-	-	0,13	0	0,08	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	0,05	0,09	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	<0,05	-	-	-	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	<0,05	-	-	68,7	0,13	-
3430657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430676	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430677	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430704	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430709	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430742	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430747	36,70	0,08	0,12	-	1,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430782	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430792	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430864	41,8	0	10,2	0	0,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430955	10	-	0,16	0,02	<0,01	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	-	-	-	-	-
3430956	8	-	0,1	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	0,013	-	-	-	-	-
3430957	4	-	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	0,018	-	-	-	-	-
3430972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3430991	17,00	0,30	0,01	6,91	-	-	0,00	-	0,00	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-
3430992	-	0,10	-	0,11	-	-	0,00	-	0,04	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-
3431115	-	-	<0,20	0,02	0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,05	6,81	40,00	-	-	-
3431033	4	-	0,076	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3431034	-	-	0,02	0,09	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3431053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3431124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3431145	-	-	0,43	0	0,09	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3431177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	<0,01	0,2	2	0	<0,001	-	-	<0,01	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	-
3431184	33,00	-	0,15	1,50	<0,001	-</														

II. Perfis construtivos e geológicos de poços tubulares

DOAÇÃO _____
<i>26C-15P</i>
Data: <i>05</i> / <i>02</i> / <i>10</i>

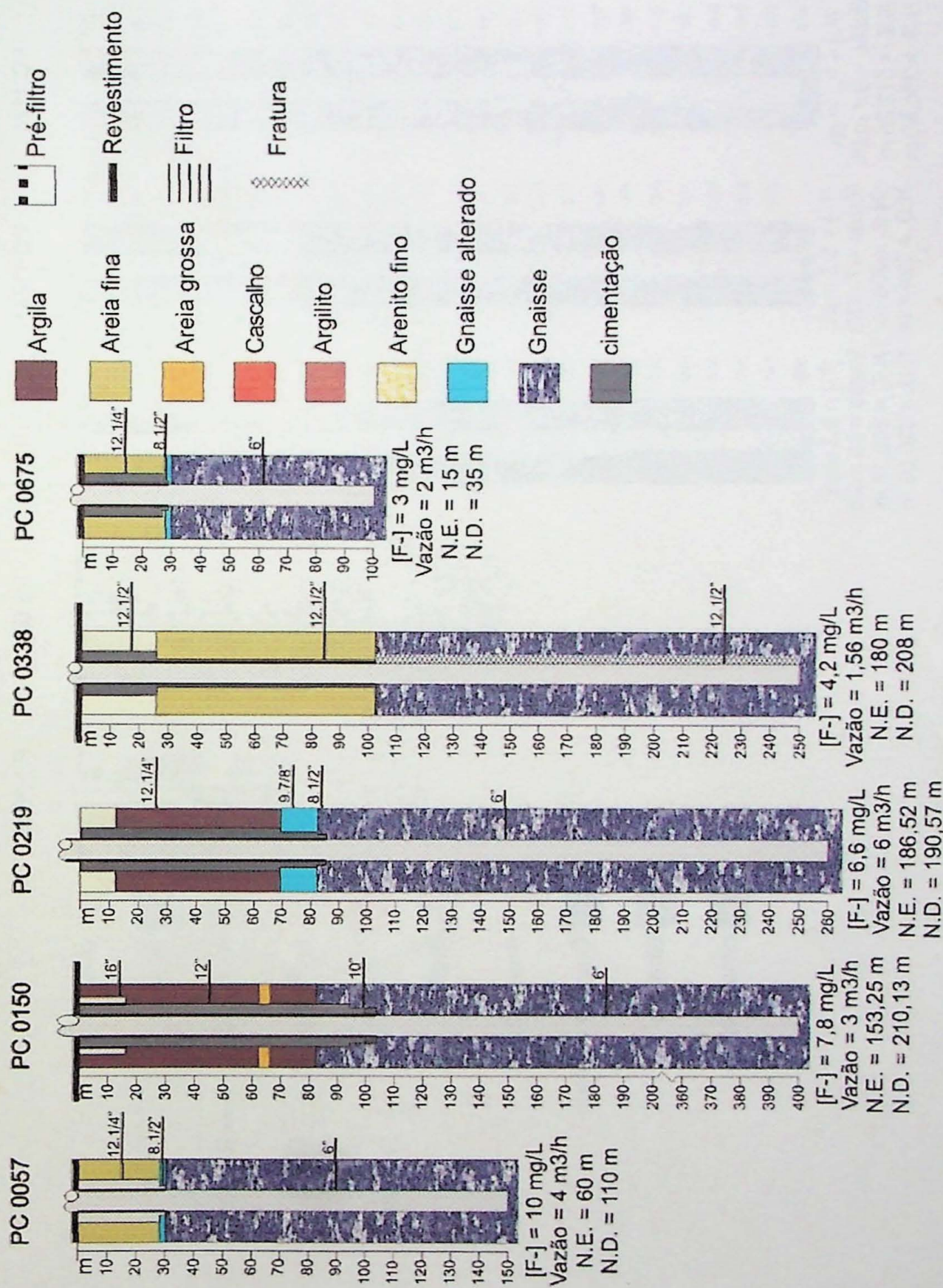


Figura 7a – Perfis construtivos e geológicos de alguns poços da área. Os poços que não possuem concentração elevada são o PS 0023 e OS 0864. Todos os outros poços possuem concentrações elevadas de fluoreto.

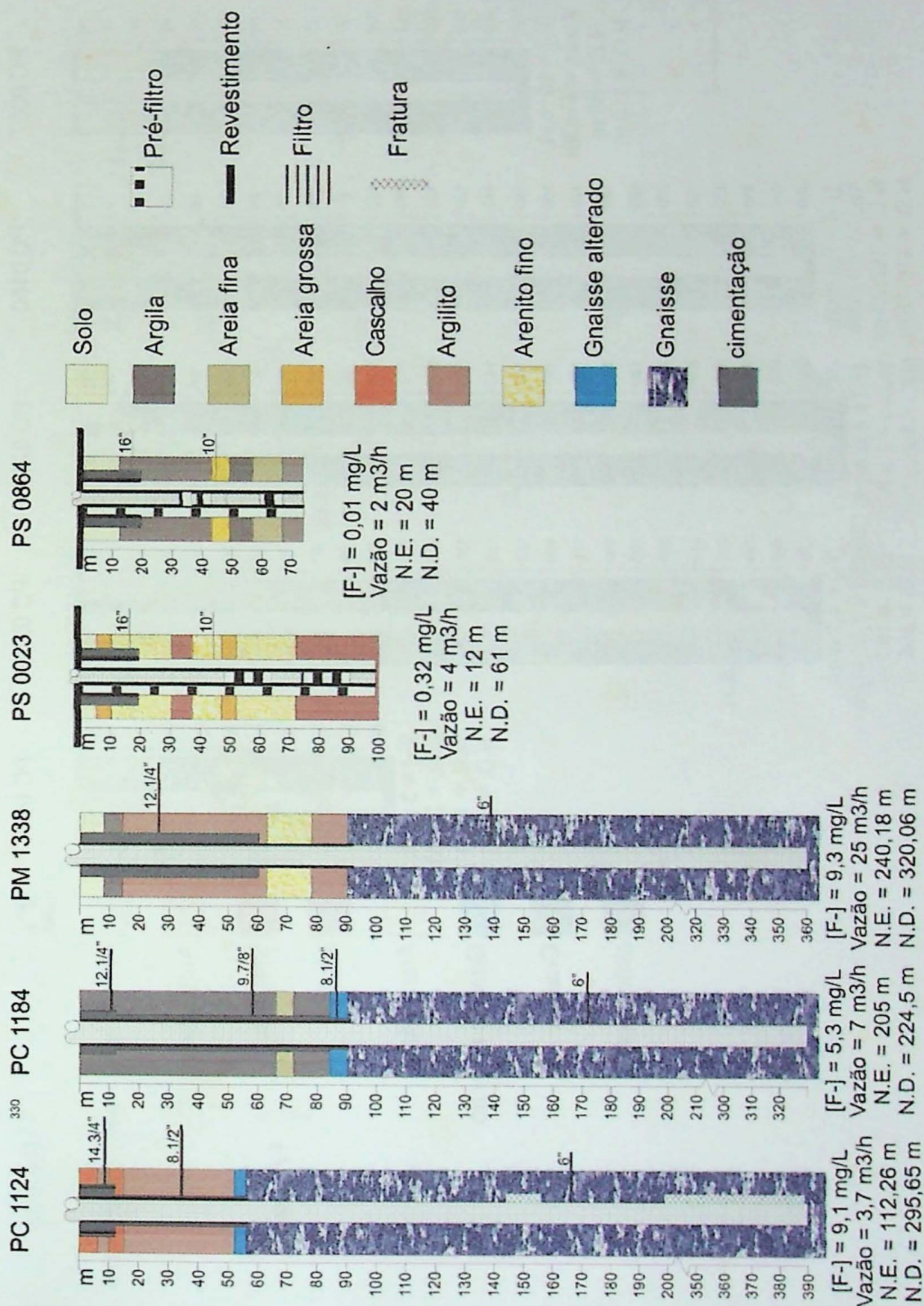


Figura 7b – Perfis construtivos e geológicos de alguns poços da área. Os poços que não possuem concentração elevada são o PS 0023 e OS 0864. Todos os outros poços possuem concentrações elevadas de fluoreto.

São Paulo, 27 de março de 2017

Estamos realizando amostragem de água subterrânea e solo em vários pontos da Cidade de São Paulo, com o intuito de levantar dados químicos e isotópicos para o entendimento da interação entre as águas (subterrâneas e chuva) e os sedimentos. A amostragem faz parte de um projeto de pesquisa da Universidade de São Paulo que está sendo coordenado pela Profa. Veridiana Martins, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os resultados serão apresentados em três trabalhos de iniciação científica de alunos do curso de geologia.

A permissão para amostragem é fundamental para o nosso trabalho e os resultados obtidos servirão apenas para divulgação científica, sem conseqüências legais para seu empreendimento.

Estamos à disposição para qualquer esclarecimento e disponibilização de dados.

Agradeço a atenção

Profa. Dra. Veridiana Martins

Contatos:

Telefones: 3091-4239; 3091-4804

e-mail: veridian@usp.br

