

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Roberto Soriano Junior<sup>1</sup>; Fábio Augusto Gomes Vieira Reis<sup>2</sup>

---

## RESUMO

O monitoramento da qualidade da água subterrânea assume uma importância pelo fato do crescente uso destas águas em diferentes fins para a sociedade contemporânea. Os métodos para a coleta e monitoramento da água subterrânea podem levar a resultados bem distintos. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo executar estudos comparativos entre três métodos de amostragem de águas subterrâneas: Bailer, Bomba elétrica de alta vazão e Bomba de baixa vazão. Para tanto, optou-se por utilizar técnicas de amostragem quantitativas e qualitativas da qualidade da água, por meio de poços de monitoramento. A pesquisa envolveu a identificação e análise das diferenças nos resultados obtidos por meio dos métodos de amostragem das águas subterrâneas; a descrição geológica e hidrogeológica do poço de monitoramento; e a análise comparativa entre os três métodos de amostragem, determinando qual apresenta melhor eficiência. Foram realizadas medições em campo, coleta de amostras e interpretação de análises químicas. Ao final dos trabalhos, com a integração dos dados geológicos e hidrogeológicos e os resultados analíticos, foi possível indicar que o método de amostragem de águas subterrâneas mais preciso é o de baixa vazão.

**Palavras-chave:** Métodos de Amostragem de Águas Subterrâneas.

## COMPARATIVE ANALYSIS AMONG SAMPLING METHODS OF UNDERGROUND WATER

### ABSTRACT

The monitoring of the underground water quality assumes importance because of the increasing use of it for the different purposes of the contemporaneous society. Different methods for sampling and monitoring of underground water can take to very distinct results. In this way, the present work has as objective to carry out comparative studies among three methods of sampling of underground waters. Bailer, Electric pump of high flowing and pump of low flowing. Quantitative and qualitative sampling techniques of water quality were opted through monitoring wells. The research involved the identification and analysis of the differences in the results obtained by the methods of sampling of underground waters; the geologic and hydrologic description of the monitoring well, on which the sampling was taken from; and the comparative analysis among the three methods of sampling, determining which ones present the best efficiency. There were made mensurations at the site, collection of samples and interpretation of the chemical analyses. At the end of the works, with the integration of the geologic and hydrologic data and analytic results was possible to indicate that the most precise method of sampling of underground water is the low flowing one.

**Keywords:** Sampling Methods of Underground Waters.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Ambiental formado no Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal (UNIPINHAL)

<sup>2</sup> Prof. Dr. do Curso de Engenharia Ambiental – UNIPINHAL - e-mail: fabioreis@linkway.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Desde há muito tempo se anuncia à importância da proteção ao meio ambiente, incluindo seus componentes abióticos (ar, solo/subsolo e águas subterrâneas/superficiais) e bióticos, devido à existência de contaminantes gerados a partir de atividades antrópicas, sejam eles provenientes da disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes líquidos domiciliares e urbanos, industriais e agrícolas ou estéreis e rejeitos de mineração (SILVA, 2002).

Conseqüentemente, os contaminantes por meio de sua mobilização no meio ambiente, quer por processos naturais e/ou decorrentes de atividades industriais e comerciais, alcançam as águas subterrâneas, muitas vezes, importantes reservas de água doce em nosso planeta.

Segundo Kaminski (2003), águas subterrâneas são geralmente amostradas para a determinação de suas características químicas para consumo humano ou para identificação de contaminações causadas por atividades industriais.

Os dados fornecidos pelo programa de amostragem e monitoramento dos aquíferos subterrâneos são subsídios imprescindíveis para a condução de um projeto de remediação ambiental, de maneira que os procedimentos e métodos para obtenção dessas amostras devem ser tratados com máxima atenção antes, durante e após as ações de saneamento, a fim de que as amostras coletadas reflitam a qualidade da água numa área de interesse (NEGRÃO, 1997).

Erros durante a coleta de amostras podem, freqüentemente, levar a obtenção de resultados não representativos e comprometer todo o processo de monitoramento e remediação. A avaliação e quantificação de um “site” são baseadas nos dados analíticos obtidos através dessas amostras, as quais visam revelar a presença ou não de agentes contaminantes. Uma vez que elas não reflitam a realidade, o risco de se classificar de maneira errada o caso diante dos órgãos ambientais e regulamentações cresce (NEGRÃO 1997).

Segundo a Cetesb (1988) muitos países estabeleceram suas próprias estratégias e procedimentos de investigação e amostragem de águas subterrâneas e de percolados, visando à investigação de áreas contaminadas. As diretrizes internacionais sobre esse tipo de amostragem, como, por exemplo, LWA (1989) e USEPA (1992), propõem um procedimento seqüencial contemplando a malha de amostragem na investigação orientativa e detalhada, a sua freqüência, as normas para implantação de poços de monitoramento, a preservação das amostras e os métodos analíticos.

Como, no Brasil, ainda não existem diretrizes específicas que abrangem esse assunto satisfatoriamente, esta seção contém, por enquanto, somente a norma da CETESB: 06.010 ABR/88 sobre a "Construção de poços de monitoramento de aquífero freático".

Essa norma foi adaptada pela ABNT como norma NBR 13.895 "Construção de poços de monitoramento e amostragem", junho de 1997.

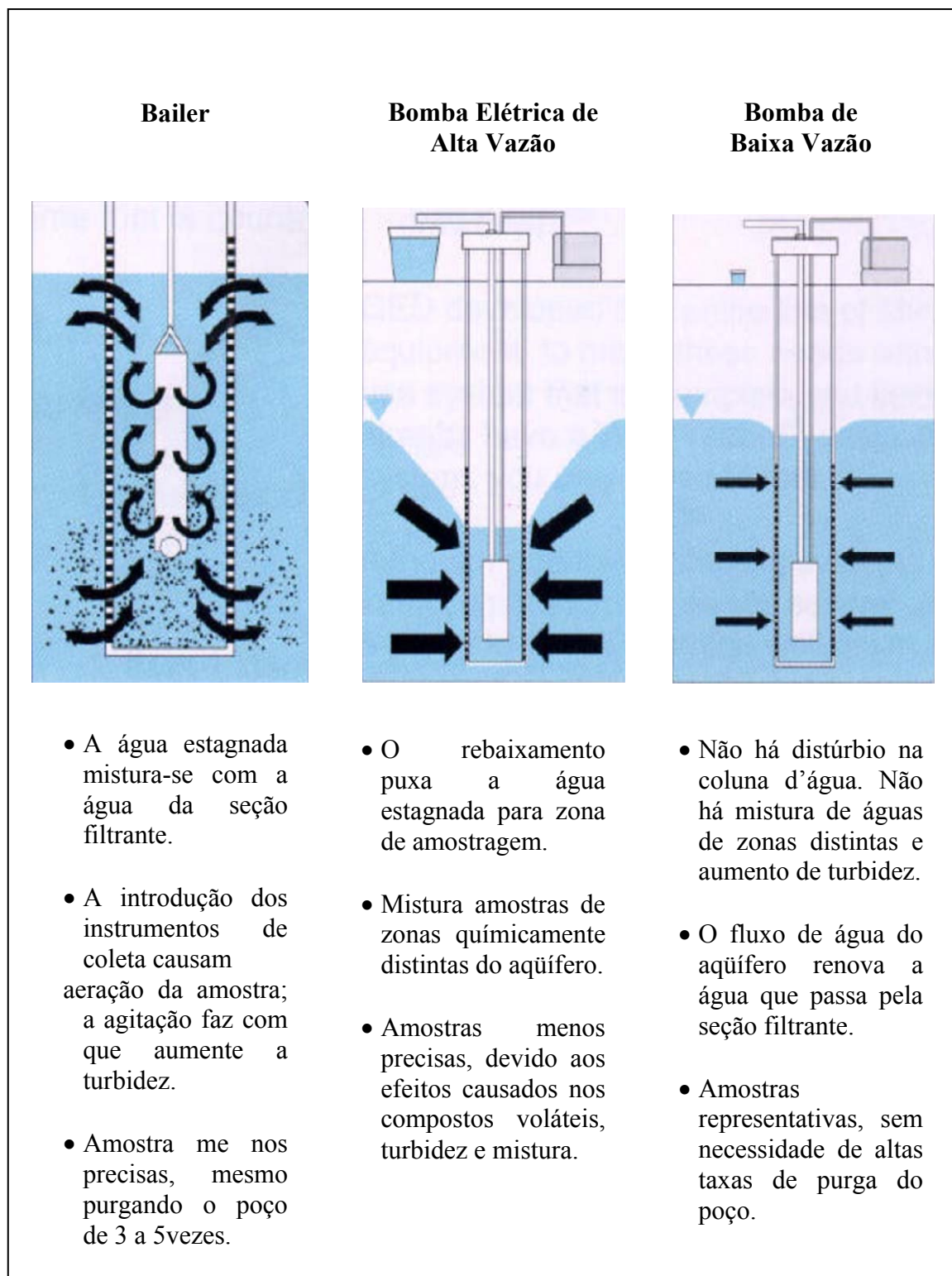
Segundo Barcelona (1994), a amostragem de águas subterrâneas em poços de monitoramento tem tradicionalmente envolvido a purga do poço para a remoção da água estagnada que pode não ser representativa da qualidade da água subterrânea da formação. As regulamentações normalmente recomendam a purga de um volume fixo do poço, geralmente entre três a cinco vezes o volume do poço. Este procedimento resulta normalmente num volume de 15 a 150 litros de água removida de cada poço de monitoramento num site, e pode exceder centenas de litros por poços no caso de poços profundos ou de grande diâmetro.

Segundo a Cetesb (1988), a purga assegura que toda a água estagnada seja substituída por água de formação. A operação deve permitir o rebaixamento do nível de água acima do topo do filtro para assegurar que a água se mova ascendentemente no mesmo.

O procedimento depende das características do poço. Ao esvaziar poços de baixa produtividade (aqueles que são incapazes de produzir 3 volumes do poço), deve-se esgotá-lo completamente. Assim que o poço se recuperar suficientemente, a primeira amostra deverá ser utilizada para medição de pH, temperatura e condutividade. As amostras devem ser acondicionadas na ordem decrescente da susceptibilidade à volatilização.

A figura 1 apresenta três metodologias de amostragem de águas subterrâneas e suas principais características.

O presente trabalho tem como objetivo principal comparar métodos de amostragem de água subterrânea. Nesse sentido, serão apresentadas e discutidas as metodologias de amostragem e os equipamentos utilizados nas referidas técnicas, como também os resultados de análises obtidos num poço de monitoramento amostrado, no município de Poços de Caldas.



**Figura 1.** Métodos de amostragem de águas subterrâneas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de amostragens foram realizados no poço PM-44 pertencente a uma rede de 70 poços de monitoramento da água subterrânea que estão instalados na indústria do alumínio ALCOA ALUMINIO S/A, de Poços de Caldas, estado de Minas Gerais.

Os dados utilizados no trabalho, referentes à construção e perfil geológico do poço, basearam-se no relatório de estudos realizado pela empresa (ENVIRO-TEC, 2001).

O poço de monitoramento PM-44 foi instalado com a utilização de um tubo de PVC “Schedule” 80, com 4 polegadas de diâmetro. O filtro geomecânico “machine-slotted” é feito do mesmo material, PVC “Schedule” 80 com fendas de 0,75 mm de largura. O filtro possui quatro metros de comprimento e foi acoplado ao poço através de rosqueamento. Não foi utilizado lubrificante ou adesivo durante a conexão das juntas.

O filtro foi instalado na sondagem de forma que aproximadamente 3,0 metros do filtro ficasse abaixo e aproximadamente 1,0 metro permanecesse acima do nível d’água. Essa orientação permite a medição representativa da elevação do nível d’água e permite o monitoramento de potenciais de líquidos de fase livre com densidade menor que da água (LNAPLS) tais como Hidrocarbonetos de Petróleo que podem estar flutuando na superfície freática.

A construção do poço foi conduzida de acordo com normas técnicas da ES/EPA e ABNT NBR-13.895 (Norma para Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem)

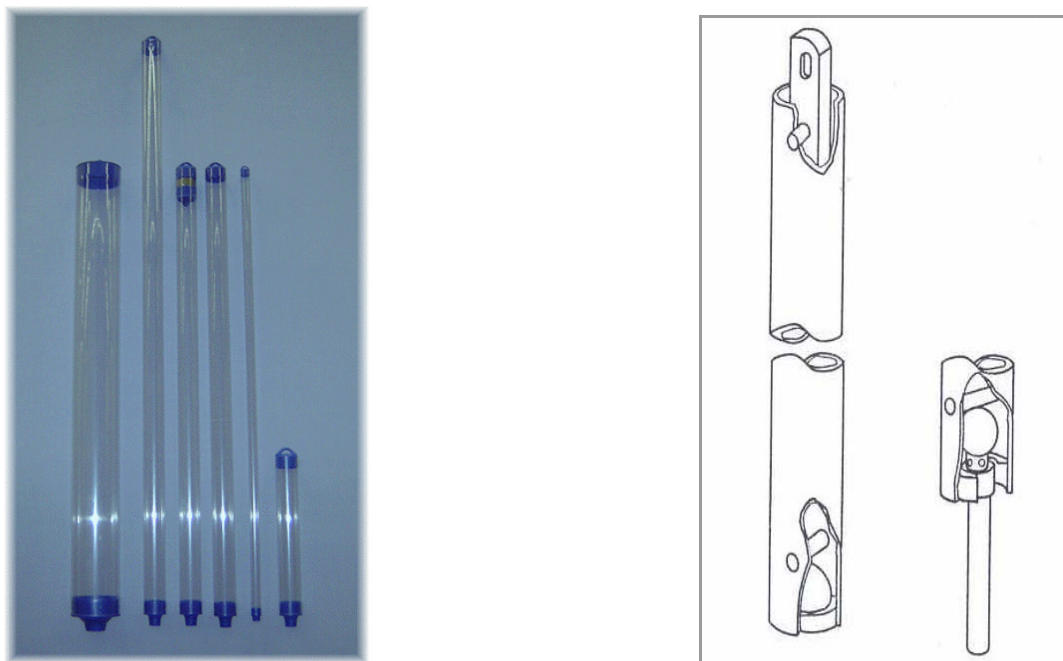
### 2.1. Metodologias de Amostragem

#### 2.1.1. Bailers

Bailer consiste em um equipamento que é utilizado tanto para coletar amostra ou para purgar poços de monitoramento.

Este amostrador é construído por tubo longo de diferentes diâmetros, aberto nas extremidades, na parte do fundo possui uma esfera que trabalha com uma válvula, que fecha quando a amostra entra no tubo, na parte de cima possui um olhal para que possa ser amarrada uma corda. A figura 2 mostra os tipos de bailers, dimensões e o sistema de fechamento.

São confeccionados em materiais específicos (polietileno, PVC, aço inox e Teflon®) e adequados às características químicas dos líquidos a serem amostrados, desde água até os mais diversos tipos de contaminantes orgânicos em fase livre ou dissolvida (SANDERS, 1998).



**Figura 2.** Tipos de bailers, dimensões e o sistema de fechamento.

Fonte: SANDERS, 1998.

Segundo Negrão (1997), teoricamente bailers coletam amostras sem alterar a química das mesmas, uma vez que se enchem e esvaziam sem provocar qualquer sucção ou introdução de pressão na amostra. Infelizmente no campo não é bem assim.

A quantidade de vezes que o bailer é introduzido e retirado do poço faz com que o nível d'água suba e desça, causando fluxo de água para dentro e para fora da secção filtrante. Esta reversão do sentido do fluxo faz com que as partículas finas presas ao revestimento, na secção filtrante e nas imediações do poço aumentem a turbidez da água. O aumento da turbidez está associado ao aumento das concentrações de metais e do tempo de filtragem com filtros para metais. Por ser um método manual, a qualidade do processo está diretamente ligada à habilidade do técnico, podendo ser afetada pela velocidade com que o bailer é introduzido no poço.

Filtrar as amostras para remover turbidez pode alterar ainda mais a química da amostra (PULS, 1992; HEIDLAUF; BARTLETT, 1993).

A introdução do bailer no poço aumenta a aeração da coluna d'água, alterando as concentrações de VOC's e metais. Em poços de baixa permeabilidade, a purga total do poço também pode aerar a amostra, removendo os compostos orgânicos voláteis VOC's e

precipitando metais dissolvidos das amostras, afetando, dessa maneira, a química da amostra (GIDDINGS, 1983).

### 2.1.2. Bomba Elétrica de Altas Vazões

Segundo Sanders (1998), são projetadas tanto para purgar como para amostrar a água de poços de monitoramento.

A bomba elétrica submersível da marca Grundfos® modelo Rediflo-2 tem sido empregada para purgar e coletar amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento com um diâmetro interno de pelo menos 50 mm.

A bomba consiste em um conjunto motor/bomba integrado conectado a um conversor de frequência ajustável, que trabalha numa faixa de 50 a 400 Hz, como mostra a Figura 3.

A uma frequência de 400 Hz a bomba possui uma taxa de fluxo de  $1\text{m}^3/\text{h}$  a uma profundidade de 74 metros. A bomba deve trabalhar sempre na zona mais profunda do poço, o conteúdo máximo de areia na água não deve exceder  $50\text{ g/m}^3$ .

Bombas elétricas necessitam de um gerador a gasolina uma vez que os poços de monitoramento se encontram em áreas remotas sem energia elétrica, como também sofrem de um problema congênito. São todas movidas por motores compactos que geram calor, o qual é transferido para a água que passa por ele. O ambiente restrito do poço impede que esse motor se refrigere de maneira adequada.

O calor transferido para a amostra altera as concentrações de VOC's, metais e as características químicas da amostra. Quando se monitora a temperatura da água como parâmetro de estabilização, este aquecimento pode levar a obtenção de dados equivocados.

As bombas elétricas podem produzir vazões excelentes e muito eficientes para a purga de grandes volumes. Porém, as altas vazões são problemas em formações compactas, que não produzem água em volume suficiente para dar continuidade ao bombeamento. O excesso de bombeamento num poço de monitoramento implica no aumento de turbidez da amostra, pode danificar a camada filtrante e selos e criar um rebaixamento excessivo, o qual causa a mistura das camadas distintas de água contidas no poço. O rebaixamento pode fazer com que a pluma de contaminação se espalhe ainda mais (GIDDINGS, 1983).

Os técnicos de campo devem manipular adequadamente os grandes volumes de água gerados pela purga. Caso a água da purga esteja contaminada, ou as regulamentações especificarem, a água de purga deve ser acondicionada em tanques ou tambores e

freqüentemente encaminhada para tratamento ou disposição, aumentando os custos da amostra.



**Figura 3.** Bomba elétrica e conversor de freqüência Grundfos Redi-Flo2®.

### 2.1.3. Baixa Vazão MicroPurge®

A amostragem de baixa vazão é uma metodologia que não requer a remoção de grandes volumes de purga do poço, evitando as conseqüências indesejadas da purga tradicional.

A metodologia de amostragem pelo método de baixa vazão diz que a melhor maneira de se obter uma amostra verdadeiramente representativa é retirar a água do poço de modo bem lento. A vazão de bombeamento deve ser da ordem de 100 a 500ml por minuto, ou de no máximo 1000ml/min, dependendo das condições hidrogeológicas do local. O rebaixamento causado pelo bombeamento deve ser inferior a 10cm (NEGRÃO, 1997).

Segundo Puls e Barcelona, (1995) na coleta de amostras com baixas vazões (Low Flow), a amostra deve ser coletada na metade ou um pouco acima da metade da seção filtrante do poço, ou seja, a captação da bomba deve ser posicionada nesse ponto.

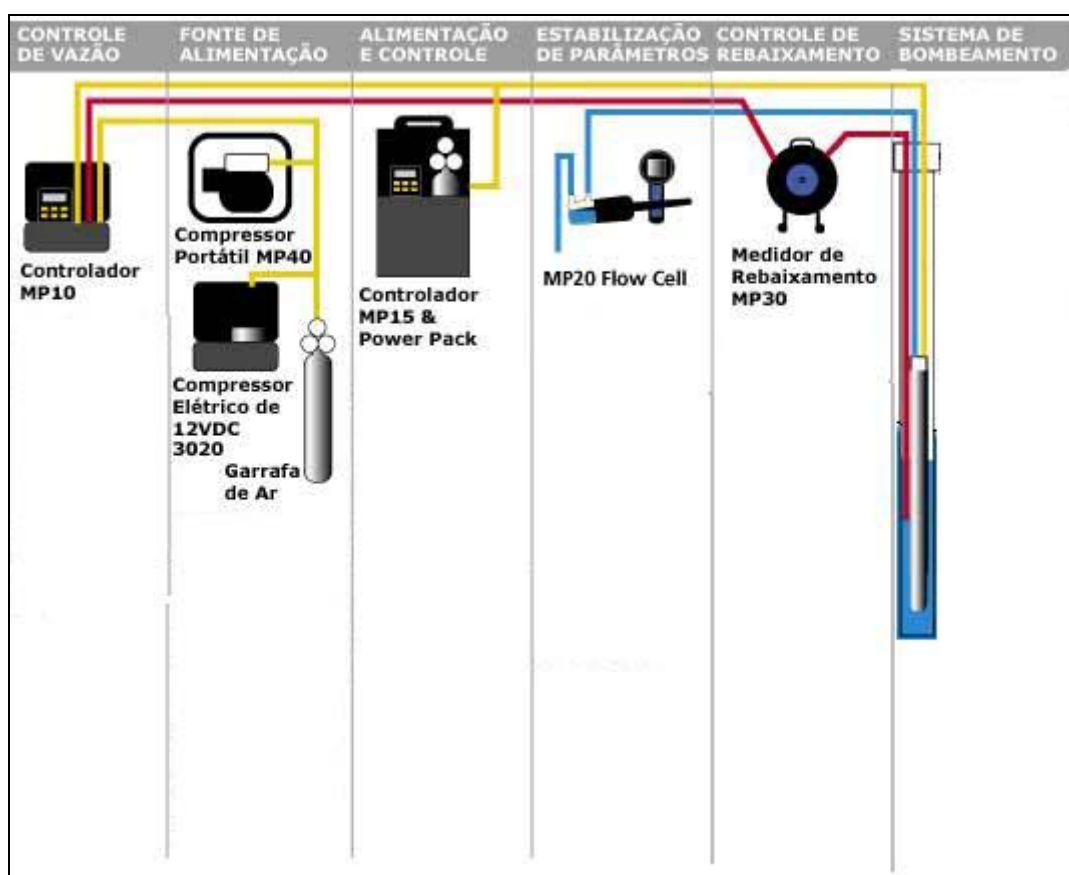
A coleta da amostra deve ser realizada no momento em que os parâmetros de turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido (OD) e potencial de óxido redução (Redox Potencial) da água mostram-se estáveis. As condições de estabilidade não estão rigidamente definidas. Ao invés de se monitorar os cinco parâmetros, aceita-se que sejam monitorados somente o pH, a condutividade, turbidez e oxigênio dissolvido. Três leituras consecutivas devem apresentar variações de  $\pm 0,1$  para o pH,  $\pm 3\%$  para a condutividade,  $\pm 10$ mv no potencial de redox e  $\pm 10\%$  para oxigênio dissolvido e turbidez (BARCELONA, 1994).

O intervalo de tempo entre as leituras deve variar em função da velocidade de bombeamento e podem ocorrer a cada 1 minuto, ou no máximo a cada 3 ou 5 minutos.



O equipamento usado para amostragem de baixa vazão utiliza-se de bombas pneumáticas de bexiga com tubos de pequenos diâmetros.

O sistema de amostragem de baixa vazão MicroPurge® da QED consiste num sistema automatizado, que utiliza-se de uma bomba pneumática de bexiga com tubos de pequeno diâmetro e um painel de controle que pode ser alimentado por um pequeno compressor elétrico ou um cilindro de CO<sub>2</sub>. O controle do rebaixamento pode ser realizado automaticamente pelo medidor de nível e pelo controlador. Os parâmetros indicativos podem ser medidos e registrados automaticamente com um sistema de estabilização de parâmetros. A figura 4 apresenta o sistema de amostragem de baixa vazão MicroPurge®.



**Figura 4.** O sistema de amostragem de baixa vazão MicroPurge®.

Fonte: MicroPurge® (<http://www.clean.com.br/qed/portable.html> em 10/2004)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostragens de águas subterrâneas foram realizadas conforme a norma técnica ABNT NBR 13.895 (Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem), durante o período de alta pluviosidade (mês de novembro).

### 3.1. Amostragem da Água Subterrânea Através do Método de Baixa Vazão

A metodologia de coleta de água subterrânea pelo método de baixa vazão não requer a remoção de grandes volumes de água de purga.

Inicialmente um medidor de nível e rebaixamento MP30 MicroPurge<sup>®</sup> foi introduzido no poço até atingir seu nível estático, fixando a altura da sonda do medidor de nível e rebaixamento, como também da água, para que durante o bombeamento não ocorra um rebaixamento excessivo do poço.

Acoplou-se uma bexiga descartável dentro do corpo da bomba e conectou-se a tubulação dupla de descarga da água bombeada e do gás de CO<sub>2</sub> na parte superior da bomba. Tanto a bexiga como a tubulação foram usadas exclusivamente para o trabalho.

A bomba foi posicionada a 1,5 metros abaixo do nível estático ficando na metade do filtro. Este posicionamento aproxima a bomba o mais próximo da condutividade hidráulica do aquífero e uma maior representatividade da água da formação.

Não foi necessário calcular o volume da purga, pois, o volume da purga é bem menor na baixa vazão do que nos demais métodos apresentados anteriormente.

A tubulação de descarga de água foi conectada a célula de fluxo MP20 MicroPurge<sup>®</sup> que por sua vez acoplada a um balde calibrado para monitorar o volume de água bombeada. Uma outra tubulação que alimenta a bomba com CO<sub>2</sub> conectou-se com a saída do cilindro de alimentação do sistema. A figura 5 apresenta o sistema de baixa vazão instalado.

Os parâmetros de estabilização da qualidade da água foram selecionados no painel de leitura da célula de fluxo MP20 MicroPurge<sup>®</sup>, os parâmetros são: pH, Turbidez, Condutividade e Temperatura, sendo que todos os parâmetros selecionados foram devidamente calibrados através de kits de calibração de cada parâmetro.

O bombeamento iniciou com a seleção do modo (MP) no painel de controle do controlador de vazão MP15 MicroPurge<sup>®</sup>. O ciclo de funcionamento da bomba foi programado em CPM 2 (ciclo de enchimento e descarga da bomba por minuto) em função das características hidráulicas e profundidade rasa do poço.

Imediatamente após o início do bombeamento, a uma vazão de descarga da bomba em 300 ml/min, a Célula de Fluxo MP15 MicroPurge<sup>®</sup> iniciou a análise dos parâmetros de estabilização da purga. As leituras foram programadas em intervalos de dois minutos, sendo que a estabilização aconteceu após três leituras consecutivas. A Tabela 1 apresenta as leituras de estabilização da célula de fluxo MP15 MicroPurge<sup>®</sup>.

As amostras das águas subterrâneas foram coletadas após a estabilização dos parâmetros indicando a estabilização do aquífero. A purga durante o bombeamento apresentou um volume de 4,5 litros.

Todas as amostras foram coletadas em frascos novos com certificado de limpeza, identificadas individualmente e acondicionadas em caixas termoplásticas (*cooler*). As amostras de metais foram preservadas com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).



**Figura 5.** Sistema de baixa vazão instalado.

Fonte: (Roberto Soriano Jr, Poços de Caldas, Novembro de 2004)

**Tabela 1.** Leituras de estabilização dos parâmetros da célula de fluxo MP15 MicroPurge®.

Temperatura °C	pH	Condutividade mS/cm	Turbidez NTU	Salinidade
22.03	5.58	0.1261	1.5	0.0
22.00	5.59	0.1251	1.3	0.0
22.03	5.58	0.1262	1.35	0.0
22.02	6.00	0.1293	1.1	0.0
22.00	6.01	0.1300	0.1	0.0
22.00	6.01	0.1300	0.1	0.0
22.00	6.01	0.1300	0.1	0.0

### 3.2. Amostragem da Água Subterrânea Através de Bomba Elétrica de Altas Vazões

Inicialmente mediu-se o nível d'água na profundidade total do poço através de um medidor de nível MP30 MicroPurge® para o cálculo do volume da purga. Este equipamento também foi usado para medir o rebaixamento do poço o que não ocorreu devido à sua rápida recuperação.

O volume da purga foi calculado conforme descrito a seguir, incluindo o volume de água do poço de PVC e o da água do pré-filtro de areia ao redor. A partir do cálculo determinou-se um volume de 47,1 litros de purga, sendo documentados no formulário de coleta de amostras.

$$\text{Volume}_{\text{Total}} = \text{Volume}_{\text{Poço}} + \text{Volume}_{\text{Espaço anular}}$$

$$\text{Volume}_{\text{Poço}} = \pi (r_{\text{filtro}})^2 h_{\text{Coluna de água}} \div 1000$$

$$\text{Volume}_{\text{Espaço anular}} = 0,3 \{ [\pi (r_{\text{filtro}})^2 h_{\text{Coluna de água abaixo do selo}}] - [\pi (r_{\text{filtro}})^2 h_{\text{Coluna de água abaixo do selo}}] \} \div 1000$$

A bomba submersível elétrica Grundfos Rediflo-2, limpa e ambientalmente inerte (construída em aço inoxidável e Teflon®) foi posicionada no poço a aproximadamente 0,2 metro do fundo e no centro do mesmo. Uma mangueira de polietileno e um cabo elétrico coberto por Teflon® (usados especificamente para este trabalho) se estenderam da bomba até a superfície. A parte superficial da mangueira de descarga foi acoplada a um balde calibrado para monitorar o volume de água extraído. A parte superficial do cabo foi conectada a um conversor de frequência que controla a vazão de descarga da bomba, que por sua vez, foi conectada a um gerador de energia elétrica.

O bombeamento com fluxo contínuo foi iniciado, usando uma frequência baixa de 97 Hz proporcionando uma vazão de 3 L/min para minimizar o rebaixamento excessivo do lençol freático e a quantidade de material particulado no fundo do poço.

Imediatamente após o início do bombeamento e a uma frequência de metade do volume da purga, uma amostra da descarga da bomba foi coletada e analisada para os seguintes parâmetros de estabilização da qualidade da água: pH, condutividade, temperatura e turbidez. Essas medidas foram determinadas com um medidor calibrado de qualidade da água Horiba U-10.

As amostras foram armazenadas usando os mesmos procedimentos descritos no método de baixa vazão.

### 3.3. Amostragem da Água Subterrânea Através de Bailer

Os procedimentos de medição do nível d'água e da profundidade total do poço, como também do cálculo do volume da purga foram os mesmos utilizados na metodologia de amostragem através da bomba elétrica de alta vazão.

Por meio do cálculo obteve-se um volume de 45 litros de água. Como o bailer possui uma capacidade de 2,5 litros por retirada, foi necessário repetir o processo por 18 vezes até atingir o volume calculado de água estaguinada do poço.

Na metodologia de coleta de água subterrânea através de bailers não se costuma analisar parâmetros de estabilização da qualidade da água (in-situ), porém como o estudo é comparativo entre diferentes metodologias de amostragem, optou-se por medir os parâmetros durante a purga usando um medidor calibrado Horiba U-10, que apresentou valores muito altos de turbidez e variação > 10% dos demais parâmetros pH e condutividade.

Optou-se então por coletar as amostras no dia seguinte para que os parâmetros de estabilização normalizassem, além de permitir uma coleta representativa da água do aquífero.

As amostras foram armazenadas usando os mesmos procedimentos descritos pelos métodos anteriores.

### 3.4. Análises Químicas da Água Subterrânea

Os parâmetros selecionados para as análises das águas subterrâneas não foram comparados com nenhum critério Estadual, Federal e Internacional da qualidade das águas subterrâneas, somente comparou-se com os dados do estudo realizado pela empresa (ENVIRO-TEC, 2001) que apresenta as características físico-químicas da água do poço.

Isso porque o objetivo do trabalho é de comparar os diferentes métodos de amostragem da água subterrânea e não um estudo de investigação ou de monitoramento da qualidade da água subterrânea.

A metodologia utilizada nas análises químicas foi baseada no Standards Methods for the Examination and Wastewater; 17<sup>th</sup> Edition, publicada pelo American Public Health Association e no método USEPA (United States Environmental Protection Agency), de acordo com o Inductively coupled plasma (Atomic Emission Spectrometric Method for Trace Element analysis of water and waster – Method 200.7). A leitura foi efetuado por ICP.

Os parâmetros metais foram selecionados para essa comparação em função de uma melhor resposta comparativa entre os métodos de amostragens.

Ressalta-se também que o poço de monitoramento 44 já tinha sido analisado por estudos anteriores e não apresentava nenhum traço de contaminação por VOCs, em função desta constatação não foi analisado esse parâmetro.

### 3.5. Resultado das Amostragens da Água Subterrânea

A tabela 2 apresenta um resumo com os métodos de amostragens, data da coleta, volume da água retirada (purga) e os parâmetros finais de estabilização do aquífero antes da coleta das amostras.

**Tabela 2** Parâmetros de estabilização da qualidade da água.

Métodos de Amostragem	Data da Coleta	Água Retirada (Litros)	PH Final	Condut. (mS/cm)	Turbidez Final (NTU)	Temp. Final (°C)	Salin. Final (NTU)
Baixa Vazão	10/11/04	4,5	6,01	0,13	0,1	22,03	0,0
Alta Vazão							
(Bomba Elétrica)	11/11/04	47,1	5,95	0,06	2,0	24,00	0,0
Bailer (Purga)	12/11/04	45,0	6,0	0,10	15,0	21,00	0,0
Bailer (Coleta)	13/11/04	-	6,5	0,13	4,0	22,00	0,0

Uma avaliação relativa dos parâmetros finais de estabilização do aquífero foi realizada para procurar valores anômalos. Esta avaliação identificou os seguintes pontos que devem ser considerados durante a avaliação dos resultados laboratoriais correspondentes:

- A turbidez entre os métodos de amostragem variou consistentemente de 0,1 até 15 NTU no decorrer das amostragens. Durante a purga, através do bailer, foi obtido valor de 15 NTU, sendo a coleta realizada no dia seguinte para que o aquífero recupera-se. Mesmo no dia seguinte apresentou um valor de 4 NTU.
- A presença de sedimentos suspensos nessas amostras pode causar interferência em alguns valores de concentração de metais. Por isso, os resultados de cada uma das amostras devem ser interpretados levando em consideração os altos valores de turbidez.

- O pH final em cada método de amostragem apresentou uma pequena variação de 5,95 a 6,5. Essas concentrações são provavelmente o reflexo de condições naturais de *background* causada pelo solo ácido da área (ENVIRO-TEC, 2001).
- Os valores finais de condutividade específica variaram de 0,06 a 013 mS/cm. Essas variações estão diretamente ligadas com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons.
- A salinidade final não apresentou variação, sendo o seu valor fixado em 0,0 NTU. Essas concentrações ocorrem em função das características da qualidade da água da área onde foram realizadas as amostragens. A tabela 3 apresenta os resultados das amostragens da água subterrânea.

**Tabela 3.** Resultados das amostragens da água subterrânea.

Parâmetros Físico-Químicos mg/L	Qualidade da Água Local (ENVIRO- TEC)	Métodos de Amostragens			
		Baixa Vazão	Alta Vazão Bomba Elétrica	Bailer Purga	Bailer Coleta
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade (HCO <sub>3</sub> )	22,3	21,5	27,5	30	29
pH	5,96	6,0	5,78	6,18	6,4
Alumínio (Al)	0,10	0,8	0,3	0,23	0,18
Cálcio (Ca)	5,54	6,2	5,2	6,7	6,2
Ferro (Fe)	0,30	0,31	0,08	0,47	0,40
Potássio (K)	2,00	1,81	1,8	1,3	1,1
Magnésio (Mg)	0,30	0,29	0,32	0,28	0,28
Manganês (Mn)	0,10	0,5	0,5	0,2	0,1
Sódio (Na)	11,0	10,2	9,5	9,8	9,7

Vale ressaltar ainda que o poço de monitoramento 44 foi instalado a jusante dos potenciais de contaminação da unidade para avaliar os padrões do fluxo hidráulico correspondentes e a qualidade das águas subterrâneas. O poço não apresenta evidências de contaminação em função de programa de monitoramento que existe na unidade e estudos realizados.

Os trabalhos de campo e os resultados analíticos demonstraram haver expressiva variação das concentrações dos elementos, comparado às características físico-químicas da água subterrânea utilizando as três metodologias.

Os resultados analíticos através do método de baixa vazão apresentaram valores que mais se aproximaram das características físico-químicas da água subterrânea.

Esses resultados são em função da medição dos parâmetros de estabilização do aquífero através de análises in-situ que apresentaram valores baixos de turbidez e a não precipitação de metais.

A bomba elétrica (Alta Vazão) apresentou variações consideráveis quando comparadas às características físico-químicas da qualidade da água do poço. Os resultados analíticos apresentaram valores baixos para Fe (0,08 mg/L) e Mn (0,5 mg/L).

Esses valores são em função da precipitação causada pelo aumento da temperatura da bomba e da mistura da camada estagnada presente no fundo do poço, onde os metais precipitados estão depositados.

O resultado analítico para o elemento Potássio (K) não excedeu o valor comparativo das características físico-químicas da água do poço, em função da turbidez estabilizada medida in-situ em 2 NTU. Devido possivelmente à sua participação intensa em processos de troca iônica e da facilidade de ser absorvido pelos minerais de argila em suspensão (FEITOSA, 1997).

A água subterrânea purgada através do bailer apresentou valores abaixo comparados com as características físico-químicas da qualidade da água do poço. A água purgada apresentou valor alto de turbidez. Essa turbidez alta é decorrente da quantidade de vezes que o bailer foi introduzido e retirado do poço, o que fez com que o nível d'água subisse e descesse, causando fluxo de água para dentro e para fora da secção filtrante.

Esta reversão faz com que as partículas finas presas ao revestimento, aumentem a turbidez. A turbidez final da purga utilizando bailer chegou em 15 NTU. Os metais analisados apresentaram valores altos em função da turbidez como pode ser visto na tabela 3. Segundo Negrão (1997) o aumento da turbidez está associado ao aumento das concentrações de metais.

Os resultados analíticos da água subterrânea, após a coleta do dia seguinte, mostraram uma pequena queda nas suas concentrações. Essa queda considerável é em função da introdução do bailer no poço aumentando a aeração da coluna d'água, como consequência precipitando metais.



#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos o presente trabalho apresenta as seguintes conclusões e recomendações:

- O método de amostragem de baixa vazão MicroPurge<sup>®</sup> não apresentou a necessidade de remover grande volume de água de purga do poço. A água foi bombeada diretamente da seção filtrante, purgando apenas a zona de amostragem evitando assim, a mistura da água estagnada acima e abaixo da seção filtrante. Os resultados de estabilização da purga mostraram que a água que estava sendo bombeada é a água da formação. Os resultados analíticos analisados em laboratório demonstraram que a água amostrada através do método de baixa vazão MicroPurge<sup>®</sup> mais se aproximou das características físico-químicas do aquífero, o que demonstrou maior representatividade.
- A amostragem através da bomba elétrica Grundfos Rediflo-2 necessitou de um volume relativamente alto comparado ao método de baixa vazão MicroPurge<sup>®</sup>, havendo a necessidade de monitorar os parâmetros de estabilização da água purgada.
- Concentrações de Fe e Mn apresentaram-se baixas em função da precipitação desses metais. A precipitação ocorreu em função do aquecimento provocado pela bomba e a mistura da água estagnada.
- Os resultados analíticos das amostras coletadas pela bomba elétrica Grundfos Rediflo-2 demonstraram uma representatividade da qualidade da água da formação.
- A amostragem da água subterrânea através do bailer apresentou valor alto de turbidez durante a purga. Esse valor de turbidez é em decorrência da quantidade de vezes que o bailer foi introduzido e retirado do poço.
- Ressalta-se que a concentração dos elementos analisados das amostras da água de purga apresentou valores altos de metais em função da turbidez. A água analisada após a estabilização do aquífero apresentou uma pequena queda em função da aeração causada pela introdução do bailer no poço.
- Por fim pode-se concluir que a partir da apresentação e discussão dos resultados obtidos na presente trabalho, foram atingidos os objetivos fixados no início. Com emprego dos três métodos de amostragem da água subterrânea foi concluído que o método que apresentou melhor eficiência é o de baixa vazão tecnologia MicroPurge<sup>®</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma para construção de Poços de Monitoramento – NBR 13.895**. Rio de Janeiro, 1997.
- BARCELONA, M. J. Reproducible Well-Purging Procedures and VOC Stabilization Criteria for Ground -Water Sampling. **Ground Water**. V. 32, n. 1. p. 12-22. 1994.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Amostragem e Monitoramento das Águas Subterrâneas - Norma CETESB**. São Paulo, 1988.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo, 1999.
- ENVIRO-TEC. **Avaliação Compreensivas da hidrogeologia ambiental**. Poços de Caldas (MG). 2001.
- FEITOSA, C. E. Pesquisa de água Subterrânea. .; MANOEL FILHO, J (Coord.) Hidrogeologia: conceitos e aplicaões. Fortaleza: CPRM; LABHID-UFPE, 1997. Cap 2.
- GIDDINGS, T. **Bore-Volume Purging to Improve Monitoring Well Performece**: An Often-Mandatend Myth. Proceeding of the NWWA Third National Symposium on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring. Columbus, Ohio. May 1983, p. 253-256.
- HEIDLAF, D. T.; BARTLETT, T.R. **Effects of Monitoring Well Purge and Sample Techniques on the Concentration de Metal Analytes in Unfiltered Ground Water Samples**. Proceedings of the NGWA Outdoor Action Conference, Las Vegas, Nev.; May 1993. p.437-450.
- KAMINSKI, D.B. **Ground Water Sampling**. Pollution Engineering, 2003.
- LWA Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein Westfallen, Düsseldorf, 1989.
- NEGRÃO, P. **A utilização de sistemas dedicados de baixa vazão para coleta de amostras de água subterrâneas aumenta a precisão da amostra, reduz os custos do monitoramento em até 50% e o volume de descarte 90%**. Clean News. Clean. Environment Brasil. N 4. 1997.
- PULS, R.W.; BARCELONA, M.J. **Low-Flow (Minimal Drawdown) Groud Water Sampling Procedures**. US EPA. 1995.
- PULS, R. W.; D.A. CLARK, B.B, R.M. POWELL, and C. J. PAUL. **Metals in Ground Water: Sampling Artifacts and Reproducibility**. “Hazardous Waste and Hazardous Materials. Vol, N2, p. 149-162. 1992.

SANDERS LAURA, L. Sampling Ground Water. **A Manual of Field Hydrogeology**, New Jersey p 263-301. 1998.

SILVA, J. A. F. **Sistematização e avaliação de técnicas de investigação aplicadas à caracterização e diagnóstico de área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo**. Rio Claro, 138p. (Dissertação – Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Instituição de Geociências e Ciências Exatas. 2002.

STANDARDS METHODS FOR THE EXAMINATION AND WASTEWATER; 17<sup>th</sup> Edition, publicada pelo American Public Health Association USEPA – United States Environmental Protection Agency, de acordo com o Inductively coupled plasma – Atomic Emission Spectrometric Method for Trace Element analysis of water and waster. 1989.

US EPA. RCRA **Ground-Water Monitoring**: Draft Technical Guidance, PB93-139350, 1992.